



Aanbevelingen voor visbescherming en stroomafwaartse vismigratie aan waterkrachtcentrales in het Rijnstroomgebied

Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn

Rapport Nr. 303

Disclaimer over toegankelijkheid

De ICBR streeft ernaar haar documenten zo toegankelijk mogelijk te maken. Om redenen van efficiëntie is het niet altijd mogelijk om alle documenten volledig toegankelijk te maken in de verschillende talenversies (bijvoorbeeld met alternatieve, toelichtende teksten voor alle afbeeldingen of in begrijpelijke taal). Dit rapport bevat mogelijk figuren en tabellen. Voor nadere toelichting kunt u contact opnemen met het secretariaat van de ICBR op 0049261-94252-0 of sekretariat@iksr.de.

Colofon

Uitgegeven door de:

Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn (ICBR)
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, 56068 Koblenz, Duitsland
Postbus: 20 02 53, 56002 Koblenz, Duitsland
Telefoon: +49-(0)261-94252-0
Fax: +49-(0)261-94252-52
E-mail: sekretariat@iksr.de
www.iksr.org

Aanbevelingen voor visbescherming en stroomafwaartse vismigratie aan waterkrachtcentrales in het Rijnstroomgebied

Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
1.1 Probleemstelling.....	4
1.2 Opdracht.....	4
2. Doelstellingen	6
3. Aanbevelingen	6
3.1 Algemene aanbevelingen.....	6
3.2 Mogelijke maatregelen	7
3.3 Maatregelen afhankelijk van de grootte van de waterkrachtcentrale	13
4. Praktische voorbeelden uit de landen	15
4.1 Zwitserland	15
4.2 Duitsland.....	17
4.3 Frankrijk	20
4.4 Nederland.....	22
Bibliografie	25
Bijlage	28

1. Inleiding

1.1 Probleemstelling

Migratieknelpunten, zoals stuwen en stuwdammen, hebben op verschillende manieren een nadelige invloed op de ecologische functie en passeerbaarheid van rivieren (zie Vriese 2017). Vooral bij kunstwerken met een waterkrachtcentrale kunnen vissen bij de stroomafwaartse migratie schade oplopen (zie [ICBR-rapport 140](#) (alleen beschikbaar in het Duits en het Frans)):

- bij de passage door de turbine:
 - a. directe schade door de turbine (contact met vaste of bewegende delen, snedes door de hoge snelheden);
 - b. Schade als gevolg van schuifkrachten (van schubverlies tot uiteengereten dieren) en drukverschillen (barotrauma, bijv. schade aan de zwemblaas en de bloedvaten door plotselinge decompressie). Bij zeer grote drukverliezen kan er daarnaast ook cavitatieschade ontstaan (van gasbellen die bij implosie schade kunnen veroorzaken aan de organen) hetgeen als bijzonder gevaarlijk wordt beschouwd.
- aan de onttrekkingsvoorziening, doordat vissen worden platgedrukt tegen vaste structuren (roosters of invloed van de reinigingsmachine);
- bij het doorzwemmen van spuivoorzieningen (in het bijzonder door vallen op het wateroppervlak of botsen tegen stoelementen bij de migratie over de overlaat van stuwen);
- secundaire effecten (indirecte mortaliteit in verband met desoriëntatie, toegenomen predatie benedenstrooms, maar ook bovenstrooms van turbines door vertragingen in de stroomafwaartse migratie).

Bij een aaneenschakeling van waterkrachtcentrales moet er bovendien rekening worden gehouden met het cumulatieve effect (directe en indirecte mortaliteit/visschade, migratievertragingen) op de trekvispopulaties. De gevolgen hiervan zijn negatief voor alle trekvissoorten, maar vooral voor diadrome langeafstandstrekvisen zoals bijvoorbeeld de zalm (anadroom) en de aal (catadroom). Voor een soort als de zalm kan het cumulatieve effect onoverkomelijk zijn als alle jonge exemplaren uit een deelstroomgebied meerdere waterkrachtcentrales moeten passeren bij hun uittrek. Alen, in het bijzonder stroomafwaarts trekkende exemplaren, lopen door hun lengte groot gevaar en de cumulatieve mortaliteit van meerdere, opeenvolgende kunstwerken kan aanzienlijk zijn, vooral als het gaat om voorzieningen waar hydro-elektriciteit wordt opgewekt.

1.2 Opdracht

Tijdens de zestiende Rijnministersconferentie 2020 in Amsterdam heeft de ICBR de opdracht gekregen om voor 2024 aanbevelingen voor visbescherming en stroomafwaartse vismigratie aan waterkrachtcentrales uit te werken. De aanbevelingen zullen conform het ICBR-programma [Rijn 2040](#) als uitgangspunt dienen voor gezamenlijk te stellen doelen - afhankelijk van de technische vooruitgang op dit gebied - voor een visbescherming die volstaat om populaties te behouden.

Sinds 2014 wordt er in de ICBR al informatie uitgewisseld over innovatieve technieken voor de stroomafwaartse migratie langs knelpunten om de verliezen van vissen en de visschade (bijvoorbeeld bij zalmen en alen) in onder meer turbines te beperken. In het kader van deze activiteiten heeft er onder meer in 2016 een internationale workshop over "stroomafwaartse vismigratie" plaatsgevonden in Roermond (Nederland) en in 2021 een webinar over "visbescherming en stroomafwaartse vismigratie aan grote waterkrachtcentrales: ervaringen en kennis delen".

Tegelijkertijd werden de werkzaamheden in de landen van het Rijnstroomgebied voortgezet met als doel:

- In praktijk brengen van technieken voor visbescherming en stroomafwaartse vismigratie, teneinde de vissterfte aan kleine, gemiddelde en middelgrote waterkrachtcentrales (ontwerpcapaciteit < 150 m³/s) te verminderen;
- Verbetering van de stand van onderzoek en kennis voor grote waterkrachtcentrales (ontwerpcapaciteit > 150 m³/s) door middel van pilots in het kader van onderzoeks- en ontwikkelingsprojecten met het oog op de ontwikkeling van zinvolle technische oplossingen; toetsing van aangepast turbinebeheer, bijvoorbeeld in de overgangstijd.

In sommige staten in het Rijnstroomgebied is er al een stand van de techniek voor visbescherming en stroomafwaartse vismigratie aan waterkrachtcentrales met een bepaalde ontwerpcapaciteit. Aan grote centrales worden er op veel plekken overgangsmaatregelen uitgevoerd. Een aantal landen heeft al eigen aanbevelingen of handreikingen gepubliceerd.

In het door de Duitse Milieudienst (Umweltbundesamt, UBA) geleide Forum "visbescherming en stroomafwaartse vismigratie" (<http://forumfischschutz.de/>) is een gezamenlijk, in heel Duitsland gedeeld beeld ontwikkeld over welke eisen en oplossingen er volgens de huidige stand van de kennis en de techniek als uitgangspunt moeten worden genomen voor maatregelen. De resultaten zijn gepubliceerd in verschillende factsheets (<https://forum-fischschutz.de/factsheets>).

Daarnaast zijn er Duitse deelstaten die de visecologische en visserijbiologische eisen aan voorzieningen voor visbescherming en stroomafwaartse vismigratie aan waterkrachtcentrales hebben gedefinieerd in speciale handreikingen, bijvoorbeeld "Handreiking visbescherming en stroomafwaartse vismigratie" in Baden-Württemberg (<https://www.flussgebiete.nrw.de/bauwerke-und-durchgaengigkeit-7387>) en "Handboek migratieknelpunten" in Noordrijn-Westfalen (<https://www.flussgebiete.nrw.de/bauwerke-und-durchgaengigkeit-7387>).

Ook in Frankrijk zijn er nationale leidraden voor het ontwerp van constructies die gebaseerd zijn op empirische waarden:

- **Een leidraad voor het ontwerp van visvriendelijke, hellende en schuine waterinlaten** (Courret & Larinier 2008)
- **Een leidraad voor het ontwerp van bypasses** (Raynal et al. 2013)
- **Een leidraad in verband met drukverliezen** (Raynal et al. 2012)

Er is veel vooruitgang geboekt in het kader van de implementatie van de EU-Aalverordening en in het bijzonder met het O&O-programma "Aalkunstwerken" dat in 2011 is voorgesteld (<https://www.trameverteetbleue.fr/programme-recherche-anguilles-ouvrages>). Op dit moment wordt er gewerkt aan een nieuwe leidraad.

In de ICBR zijn er op basis van de reeds bestaande nationale bevindingen en aanbevelingen gemeenschappelijke aanbevelingen voor visbescherming en stroomafwaartse vismigratie aan waterkrachtcentrales geformuleerd voor de landen in het Rijnstroomgebied.

2. Doelstellingen

In het algemeen is het streven de bescherming van de populaties van alle trekvissoorten in het Rijnsysteem, teneinde het overkoepelende doel van een zo natuurlijk mogelijke levensgemeenschap te bereiken. Dit betreft zowel diadrome alsook potamodrome vissoorten. Een prioritering op basis van de mate van bedreiging en de levenswijze van soorten met betrekking tot de stroomafwaartse vismigratie is echter noodzakelijk. Hieruit vloeit voort dat de bescherming van stroomafwaarts migrerende langeafstandstrekvisen bijzonder urgent is, aangezien voor hen passeerbaarheid essentieel is in verband met hun voortplantingscyclus en omdat ze sterker worden getroffen door cumulatieve effecten. Bij diadrome soorten, zoals de zalm, de zeeforel, de aal, de elft, de houting, de zeeprik en de rivierprik staan daarbij vooral de migrerende levensstadia centraal (o.a. schieraal en smolt). Voor de indicatorsoorten zalm en aal, die representatief zijn voor andere vissoorten, is tot dusver ook de meeste kennis beschikbaar over de technische uitvoerbaarheid van maatregelen voor visbescherming en stroomafwaartse vismigratie. In dit verband wordt in de EU-Aalverordening een concreet streefpercentage voorgeschreven: minstens 40% van de biomassa van schieralen, gerelateerd aan de referentieperiode, moet uit het aalstroomgebied kunnen ontsnappen naar zee, teneinde het aalbestand te herstellen. De visbescherming in aalrivieren dient zich te richten naar dit voorschrift.

3. Aanbevelingen

3.1 Algemene aanbevelingen

In verband met de veelsoortige negatieve effecten op de ecologische functie en passeerbaarheid van rivieren en de bereikbaarheid van nog bestaande paaigronden en opgroeihabitats wordt er conform de doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water gestreefd naar het weghalen van drempels en stuwen in zijrivieren en -wateren van de Rijn, waar de gevolgen van het weghalen en de gebruiksfuncties dit toelaten, zodat goed functionerende habitats kunnen worden hersteld en de vissterfte bij de stroomafwaartse migratie kan worden verminderd (zie ICBR-programma [Rijn 2040](#)). Het herstellen van vrij afstromende riviertrajecten is ook een belangrijk doel van de in 2024 in werking getreden EU-verordening inzake natuurherstel en de in 2020 vastgestelde EU-biodiversiteitsstrategie en levert synergiekansen op voor het verminderen van sterfte van aal door waterkrachtcentrales in de EU-aalverordening.

Als weghalen niet mogelijk is, moeten migratiebarrières worden uitgerust met goed functionerende voorzieningen voor de stroomopwaartse en de stroomafwaartse vismigratie.

In het bijzonder in de programmawateren van het Masterplan trekvisen (zie [ICBR-rapport 247](#)) zou er niet mogen worden toegelaten dat er nieuwe migratiebarrières worden gebouwd (zie ICBR-programma [Rijn 2040](#)).

Voor de visbescherming en stroomafwaartse vismigratie aan bestaande waterkrachtcentrales gelden de volgende aanbevelingen, onafhankelijk van de ontwerpcapaciteit op een locatie:

- 1) Voor het vaststellen van de best toepasbare maatregel of combinatie van maatregelen voor een specifieke locatie, moet er met de volgende factoren rekening worden gehouden:
 - de geografische ligging van de installatie (bijv. positie in stroomgebied en kenmerken rivier);
 - de rol en bijbehorende bedrijfsvoering van de installatie;
 - het ontwerp en de positie van mogelijke routes voor stroomafwaartse vismigratie;
 - de hydraulische omstandigheden (bijv. stromingspatronen en stroomsnelheden in het aanstroomgebied van de rivier én nabij de installatie);
 - vigerende wetgeving;

- doelvissoorten die worden vastgesteld overeenkomstig de potentieel natuurlijke referentievisfauna, rekening houdend met de biologie (bijv. seizoensaanwezigheid en uittrekperiodes, gedrag, zwemvermogen, leeftijd, grootte).

Door evaluatie van deze factoren kunnen de eisen en criteria worden vastgesteld waaraan de maatregel ten minste moet voldoen. Met deze criteria kunnen beschikbare maatregelen vervolgens worden geëvalueerd en geselecteerd op basis van geschiktheid/toepassing op de betreffende locatie.

- 2) Bouwkundige maatregelen moeten in het ideale geval zodanig worden geïmplementeerd dat ze zo nodig achteraf zonder disproportionele kosten kunnen worden geoptimaliseerd. Ze moeten bovendien robuust zijn gebouwd, zodat ze zowel bestand zijn tegen extreme gebeurtenissen als tegen potentiële slijtage door permanent gebruik. Bouwkundige maatregelen moeten zodanig worden geïmplementeerd dat op lange termijn dezelfde, gedefinieerde bescherming wordt geboden.
- 3) De implementatie van innovatieve maatregelen moet worden begeleid door biologische monitoring.
- 4) De informatie-uitwisseling in het kader van de ICBR over onderzoek, monitoring en de evaluatie van maatregelen moet worden voortgezet.
- 5) Voor het in stand houden van de vispopulaties zouden per rivierarm/riviertraject doelen moeten worden gesteld die richting geven aan de te behalen efficiëntie van de voorgestelde maatregelen aan de verschillende knelpunten, zoals ook vanuit een aantal richtlijnen (EU-Aalverordening en Kaderrichtlijn Water) wordt voorgeschreven.

Er zouden duidelijke doelen per locatie en vissoort moeten worden gedefinieerd, rekening houdend met de totale situatie van de rivier (zie hoofdstuk 4.4). Daarbij zouden er altijd ook combinaties van maatregelen voor de minimalisatie van cumulatieve sterfte moeten worden overwogen (zie hoofdstuk 4.2, project "HDX-Wupper"), waarbij deze indien noodzakelijk door monitoring geëvalueerd worden.

Als er voor bepaalde locaties geen doelen kunnen worden gesteld, moet er rekening mee worden gehouden dat er in principe voor elke locatie wordt getracht de beste technische oplossing toe te passen, waarbij de thans bekende stand van de techniek in praktijk wordt gebracht.

3.2 Mogelijke maatregelen

Vanuit visbiologisch oogpunt dient de voorkeur te worden gegeven aan het weghalen van waterkrachtcentrales. Een afweging die gemaakt dient te worden, is in hoeverre de baten van een waterkrachtcentrale voor de productie van hernieuwbare energie opwegen tegen de "ecologische kosten" van habitatverlies en fragmentatie van riviersystemen. De grootste ecologische winst is immers te behalen door bestaande waterkrachtcentrales te ontmantelen of voorgenomen initiatieven voor de aanleg van nieuwe installaties niet te realiseren.

In de programmawateren van het Masterplan trekvis is het daarom in principe niet toegelaten om nieuwe migratiebarrières op te richten (zie ICBR-programma [Rijn 2040](#)).

Als er buiten dit doelgebied nieuwe installaties worden gebouwd, kunnen er hogere doelen worden gesteld dan bij bestaande installaties (zie hoofdstuk 4.4).

Zoals in hoofdstuk 3.1 is beschreven, bestaat er veelal geen pasklare oplossing voor de visbescherming en de stroomafwaartse vismigratie aan waterkrachtcentrales. De uitvoerbaarheid van de genoemde maatregelen moet daarom per locatie worden onderzocht.

Over het algemeen geldt dat de omgang met de beschikbare maatregelen (zie ook hoofdstuk 4) en de aanbevelingen voor bepaalde maatregelen verschillen tussen de landen in het Rijnstroomgebied.

Er bestaat echter consensus over de aanbeveling van horizontale of verticale fijnroosters met bypass (zie ook hoofdstuk 3.3).

3.2.1 Beproefde maatregelen: horizontale of verticale fijnroosters met bypass

Fysieke maatregelen, meestal in de vorm van mechanische (rooster)barrières, hebben als doel te voorkomen dat vissen fysiek in staat zijn de turbine in te zwemmen (beschermend effect). Om stroomafwaartse migratie mogelijk te maken, is het daarnaast van essentieel belang dat er een alternatieve migratieroute aanwezig is in de vorm van een bypass (zie Wagner 2020). Het toepassen van fijnroosters is een effectieve maatregel om de passage van vis via turbines te verhinderen. Dit type maatregel is al op tal van locaties gerealiseerd. Er is ervaring met de aanleg en het beheer (bijv. Cuchet et al. 2018, Ebel 2016, Ebel et al. 2018, Frey et al. 2020, Ingendahl et al. 2024, Tomanova et al. 2018a, Tomanova et al. 2018b, Tomanova et al. 2021). De effectiviteit van de maatregel is afhankelijk van de spijlafstand in relatie tot de minimale visgrootte die dient te worden beschermd (zowel de hoogte als de breedte van de vis zijn doorslaggevend, zie Meister et al. 2022, Knott et al. 2023). Fijnroosters zijn er in verschillende varianten. Er zijn verticale en horizontale roosters, waarbij deze op verschillende wijze in het aanstroomkanaal geplaatst kunnen worden. Anders dan bij verticale roosters hoeven vissen bij roosters waar het water horizontaal schuin tegenaan stroomt hun migratiediepte niet te verlaten om de bypass te bereiken.

Een punt van aandacht bij fijnroosters is de aanstroomsnelheid voor het rooster. Indien deze te hoog is (bijv. 0,5 m/s)¹, bestaat het risico dat vis tegen het rooster aangedrukt wordt. Een ander doorslaggevend punt is de (hellings)hoek van een rooster. Er zou minstens sprake moeten zijn van een aanstroomhoek van <45°, zodat niet alleen de weg naar de turbine wordt versperd, maar de vissen ook uit de gevarenszone richting bypass worden geleid. Specifiek voor verticale roosters zijn aanstroomhoeken van minder dan 26° bijzonder effectief gebleken.

Ongeacht de oriëntatie van een rooster (verticaal of horizontaal) is het van belang dat de bypass goed en zo mogelijk direct aansluit op het stroomafwaartse uiteinde van het rooster om een goede vindbaarheid te garanderen (geleidingseffect) en om vertragende zoekbewegingen te minimaliseren. Hiervoor moeten de afmetingen van de bypass (omvang en bijbehorend debiet en stromingstoename), de plaatsing van de bypass (zo mogelijk direct aan het stroomafwaartse uiteinde van het visbeschermingsrooster) en de opstelling (over de gehele waterkolom één of meerdere kleinere inzwemopeningen) worden aangepast aan de ter plaatse voorkomende visgemeenschap (zie Ebel 2016).

Om de vindbaarheid in onvolkomen situaties te verbeteren, beveelt Ebel (2016) aan om de afmetingen aan te passen aan de ontwerpcapaciteit van de wkc (2-5% wkc-debiet als er sprake is van een horizontale, schuine aanstroming en 5-10% wkc-debiet als er geen horizontale, schuine aanstroming is). Hier moet in het bijzonder rekening mee worden gehouden bij bestaande installaties waar de fysieke barrière vastgestelde doelsoorten niet tegenhoudt, waar de aanstroomsnelheid inadequaet is of waar de bypass ongunstig is gelegen ten opzichte van de barrière (de bypass moet zo dicht mogelijk bij de barrière worden geplaatst).

¹ Bijv. voorschrift in DE-NRW, zie handboek migratiekelpunten

3.2.2 Overige maatregelen

Naast de "klassieke" fijnroosters met een bypass worden er andere maatregelen bij wijze van overgang toegepast of getest. Deze kunnen misschien in de toekomst belangrijker worden, mogelijk beperkt tot bijzondere locaties. Hiertoe behoren naast andere fysieke maatregelen turbines met een gereduceerd visschadepotentieel, beheermaatregelen en gedragsmaatregelen. Deze maatregelen worden hieronder beschreven.

Fysieke maatregelen

Verticale geleidingsroosters van het type "curved bar rack" (CBR): Dit type geleidende roosters (curved bar racks, vertical bar racks, louvers) heeft spijlafstanden waar de meeste vissen fysiek doorheen zouden kunnen, maar waar turbulentie gecreëerd wordt, hetgeen een viswerend effect heeft en de vissen richting bypass leidt. Het voordeel van dit type roosters is dat er geen sprake is van de productieverliezen die gepaard gaan met de eerder genoemde fijnroosters, dat de roosters weinig onderhoud vergen en tegelijkertijd een breed scala aan soorten en maten kunnen geleiden en beschermen. De laboratoriumresultaten zijn zeer veelbelovend, maar er is amper praktische ervaring mee en de kosten voor de implementatie bij bestaande waterkrachtcentrales zijn waarschijnlijk zeer hoog. Bij nieuwbouwprojecten kunnen de kosten hoogstwaarschijnlijk lager uitvallen.² Het potentieel van deze techniek als effectieve methode om visschade te voorkomen, is vooralsnog onzeker.

Coanda-schermen: Deze schermen zijn bedoeld als visveilig alternatief voor klassieke valroosters (ook wel Tirolse stuwen genoemd). Hierbij stroomt het water aan een kant van de stuw over een rooster met een kleine spijlafstand en een glad oppervlak bestaande uit driehoekige spijlen. Vissen en vaste stoffen kunnen in een waterfilm over het overstroomde rooster worden meegespoeld naar het benedenpand (zie BAFU 2022).

Kabelroosters: Voorgaande roosters zijn vaste roosters. In plaats daarvan is het ook mogelijk om zogenaamde "kabelroosters" te installeren. Het gaat daarbij om kabels die tussen twee ankerpunten over het aanvoerkanaal richting de waterkrachtcentrale worden gespannen. De kosten voor een dergelijke constructie zijn beperkt. Vanuit het beheer van de waterkrachtcentrale is het een voordeel dat deze roosters bij hoogwater worden neergehaald om het drijfvuil door te laten. Voor het tegenhouden en geleiden van migrerende vissen is dit echter niet aan te raden. Hiervoor is het namelijk belangrijk dat de afstand tussen de kabels over een groot gebied permanent klein wordt gehouden. Het potentieel van dit rooster voor wijdverspreid toekomstig gebruik is onzeker.

Partial depth geleidingsroosters: Het principe van deze roosters is vergelijkbaar met de geleidingsstructuren van het type CBR, maar ze zijn alleen aanwezig in het bovenste deel van de waterkolom. In het onderste deel van de waterkolom is er dus geen rooster aanwezig. In dit deel worden vissen dan ook niet geweerd of geleid. Volgens de huidige stand van de kennis trekt een aantal vissoorten voornamelijk in de bovenste waterlaag stroomafwaarts, bijvoorbeeld zalmachtigen. Voor deze soorten kan een dergelijk rooster effect hebben, mits de migrerende vissen direct richting de bypass geleid worden en niet naar alternatieve migratieroutes gaan zoeken. Er zijn echter ook soorten (bijvoorbeeld de barbeel) die voornamelijk tegen de waterbodem lijken te migreren. Voor zulke soorten is een dergelijk rooster niet effectief. Er zou aanzienlijk bespaard kunnen worden indien de installatie van structuren beperkt zou blijven tot de eerste meters onder het

² M. Huber-Gysi, mondelinge mededeling

wateroppervlak, maar het is nog onduidelijk of het effect van dergelijke structuren bevredigend is. Het ontbreekt voornamelijk aan gedetailleerd onderzoek.

Geleidingsstructuren aan de oever, zoals geleidingsroosters en stromingsdeflectoren (zie project FishPath (VAW)): Het idee achter dit soort maatregelen is om de geleidingsstructuren ruimtelijk te beperken tot de plekken in de buurt van de stuw waar vissen van nature samenscholen. Geleidingsstructuren kunnen dan speciaal op de aangewezen plekken worden aangebracht, zodat de omvang van de bouwkundige maatregelen en bijgevolg de kosten drastisch worden verlaagd. Om dergelijke oplossingen te implementeren, moet er eerst gedragsonderzoek worden gedaan om de plekken aan te wijzen waar vissen op een natuurlijke manier naartoe worden getrokken. Dit kan bijvoorbeeld door uitvoering van telemetrisch onderzoek, ter identificatie van het zoekpatroon en de plekken waar vissen zich het meest ophouden. Op dit moment is nog onduidelijk of alle vissoorten zich in de buurt van een stuw vergelijkbaar gedragen en of dit type oplossingen effectief kan worden geïmplementeerd voor een breed scala van soorten en maten. Bovendien kan het gedrag van vissen van jaar tot jaar variëren, afhankelijk van abiotische factoren, zoals bijv. het afvoerregime of de temperatuur. Daarom moet de situatie over meerdere jaren worden geobserveerd om er zeker van te zijn dat het visgedrag in de loop der tijd constant blijft.

Mobiele duikschotten: Bij dit type maatregel wordt een drijvende structuur met een duikschot geïnstalleerd, die een paar meter onder het wateroppervlak gaat. De structuur wordt met kabels verankerd aan de oevers en/of de dam en kan daarom gemakkelijk worden verplaatst (bijv. bij hoogwater of als de positie na de implementatie moet worden geoptimaliseerd). De effectiviteit van dit type maatregel is onzeker, omdat de functionaliteit is beperkt tot de eerste meters onder het wateroppervlak.

Turbines met een gereduceerd visschadepotentieel

Het type turbine en het beheer ervan hebben een grote invloed op de mortaliteit van vissen. Veranderingen aan de turbine zelf of aan het beheer van de turbine (zie onderstaand punt 3) kunnen het schade- en sterfterisico reduceren.

Voor de waterkrachtcentrales met een beperkt verval geldt dat vissterfte voornamelijk veroorzaakt wordt door botsing met de bladen van de turbine. Relevante kenmerken van de turbine in relatie tot de vissterfte zijn de dikte van bladen (waar de vis mee in contact komt), de hoek waaronder de vis in contact komt met de bladen en geleide vleugels, de snelheid waarmee de bladen rondgaan en het aantal bladen (Berkel et al., 2016). In de loop der tijd zijn er turbines ontwikkeld waarbij visveiligheid een belangrijk criterium was en waarbij sterftepercentages van maximaal enkele procenten haalbaar zijn, bijv. de RHT-turbine van Natel Energy (het overlevingspercentage bedraagt volgens de producent 98-100%, zie Amral et al. 2020, Watson et al. 2022 en Watson et al. 2023). In situ-onderzoeken zijn al uitgevoerd met bijv. vijzels (Kibel P., 2007; Kibel P. 2008), VLH (very low head) turbines (Courret & Larinier, 2008; Lagarrigue T., 2013) en mobiele waterkrachtinstallaties. In Zwitserland worden momenteel de haalbaarheid en de kosten van de implementatie van een RHT-turbine aan een centrale onderzocht (in discussie voor de energiecentrale Eglisau). Ander onderzoek heeft plaatsgevonden met Fairbanks Nijhuis turbines (Winter et al, 2012; Bruijs & Vriese, 2013; Vriese, 2015) en de Voith Minimum Gap Runner (Robb, 2011).

Beheermaatregelen

Aanpassingen in het beheer van een waterkrachtcentrale kunnen effect hebben op de vissterfte. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de waterverdeling tussen de centrale en de stuw en aan het watergebruik, maar ook aan de instellingen van de turbine of zelfs het stilleggen van turbines op het moment dat er sprake is van een verhoogde mate van vismigratie (zie voorbeelden in hoofdstuk 4).

Stilleggen turbine: Indien het in de praktijk niet mogelijk blijkt om middels andere maatregelen (fysiek, gedrag of visveilige turbines) tot een voldoende mate van bescherming te komen voor stroomafwaartse migratie, kan het stilleggen van de turbine een succesvolle maatregel zijn. Op het moment dat er sprake is van (stroomafwaartse) migratie van de doelsoorten dient de turbine uitgeschakeld te worden. Voor het voorspellen van de migratieperiode kan gebruik gemaakt worden van zogenaamde "early warning" systemen of van modellen die de migratie voorspellen. De mate waarin deze accuraat zijn, kan hierbij per locatie verschillen, wat gevolgen kan hebben voor het gevoerde beheer (korte of juist langere periode van stilleggen). Op het moment dat de turbine uitgeschakeld is, kunnen vissen via de alternatieve routes stroomafwaarts migreren.

Aangepast turbinebeheer: Vissterfte bij waterkrachtcentrales kan gerelateerd zijn aan de hoeveelheid water die door de turbine gaat. Bij turbines waarbij de afvoer door de turbine gereguleerd wordt door de bladen te draaien, geldt dat er bij een hogere afvoer meer ruimte tussen de bladen is. Dit leidt tot een lagere mate van vissterfte. Indien meerdere turbines aanwezig zijn, kan aangepast beheer (streven naar maximale afvoer per turbine) resulteren in een reductie van de vissterfte. De mate van reductie zal hierbij afhankelijk zijn van verschillende factoren. Er zijn voorbeelden bekend waarbij aangepast turbinebeheer resulteerde in 25% minder sterfte van schieraal (Bakker, 2016).

Vangst en transport: Een aanvullende maatregel om sterfte bij stroomafwaartse migratie te voorkomen, is het wegvangen van vis aan de bovenstroomse zijde van de waterkrachtcentrale en het weer uitzetten ervan aan de benedenstroomse zijde. Voor schieraal kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van fuikenvisserij. Deze maatregel vergt een relatief grote inspanning wat betreft arbeidsuren. De mate waarin de maatregel een bijdrage levert aan de overleving van vis is daarbij afhankelijk van de geleverde vangstinspanning en van de efficiëntie van de toegepaste vangtuigen (locatie-afhankelijk). In het algemeen kan gesteld worden dat de efficiëntie beperkt is. Daarnaast geldt dat deze maatregel, afhankelijk van de frequentie waarmee de vangtuigen gelicht worden, leidt tot een vertraging in de migratie van vis.

Geoptimaliseerde sturing van stuwen en turbines: Het idee is om de kosten als gevolg van productie verliezen te verlagen door het watergebruik voor de stroomafwaartse vismigratie te optimaliseren. Dit kan worden bereikt door de veilige routes voor stroomafwaartse vismigratie (bypass, schutten, e.d.) gericht te openen. Deze openingen worden vooraf gedefinieerd, hetzij op basis van de kennis over de periodes waarin de getroffen vissoorten stroomafwaarts migreren, hetzij op een flexibelere manier door realtime monitoring van de vissen aan de stuw (bijv. video of sonar). De bedoeling van deze monitoring is om alleen water te laten stromen door de voorzieningen voor stroomafwaartse vismigratie op momenten dat er vissen zijn. (Dergelijke oplossingsrichtingen worden op dit moment in het kader van een pilot aan de energiecentrale Stroppeel onderzocht).

Gedragmaatregelen

Waar fysieke maatregelen het voor vissen van een vastgestelde minimumgrootte onmogelijk moeten maken om een turbine in te zwemmen, wordt bij gedragmaatregelen gebruik gemaakt van het gedrag van vissen om deze naar een alternatieve route te leiden. Het gaat daarbij om het gedrag van vissen op verschillende soorten prikkels. Gedragmaatregelen dienen in de praktijk toegepast te worden in combinatie met een alternatieve route.

Uit meerdere studies is gebleken dat veel van de sensorische barrières niet of slechts beperkt effectief zijn (bijv. studie naar infrason geluid: Bau et al. 2011).

Op turbulentie gebaseerde geleidingsstructuren (zie onderzoeksproject FishPath): De onderzoeksgroep VAW (proeflaboratorium voor waterbouw, hydrologie en glaciologie) van de Technische Hogeschool Zürich neemt deel aan het FishPath-project, in het kader waarvan visgeleidingsmethodes zullen worden ontwikkeld die zijn gebaseerd op de reactie van vissen op turbulentie. In het project zal worden onderzocht welke soorten turbulentie het beste effect hebben en welke structuren (bijv. cylinders, hydrofoils) het best geschikt zijn om de gewenste turbulentie te creëren. Het project bevindt zich thans in het onderzoeksstadium en zal voor 2026 worden afgerond (zie <https://www.nina.no/fishpath>).

Luchtbellengordijnen dan wel "BioAcoustic Fish Fence" (BAFF): De werking van dit soort barrières is gebaseerd op de creatie van sensorische prikkels (bijv. licht, geluid, bellen), die vissen ertoe brengen om bepaalde gebieden te vermijden en hen geleiden naar veilige migratieroutes (bypasses). Tot dusver was de biologische effectiviteit van dergelijke voorzieningen meestal ontoereikend en ze werden alleen in combinatie met bestaande mechanische barrières gebruikt. Het relatief nieuwe BAFF-systeem, dat akoestische prikkels combineert met een luchtbellengordijn, lijkt echter veelbelovend te zijn en de eerste ervaringen zijn positief. Het grote voordeel van dit soort systemen is dat er geen fysieke barrières in de waterkolom nodig zijn. Dit maakt ze relatief goedkoop en bovendien leiden ze niet tot productieverliezen, omdat ze de stroming richting de turbines niet belemmeren.

Elektrische geleidings- dan wel afschrikssystemen: Er zijn geleidingssystemen die gebruik maken van de afschrikkende werking van een elektrisch veld op vissen. Zo kunnen bijv. geëlektrificeerde kabelroosters vissen vanaf een veel grotere afstand dan fijnroosters naar een bypass geleiden en zodoende de productieverliezen minimaliseren. Bovendien kunnen de kabels bij hoogwater worden neergehaald om drijfvuil door te laten. Vanuit visbeschermend oogpunt is dit echter niet wenselijk, omdat er tijdens hoogwater in het algemeen ook sprake is van een verhoogde mate van vismigratie. Dit type oplossing is voornamelijk niet aan grote centrales getest en de effectiviteit ervan moet nog worden beoordeeld. Een andere oplossing is het elektrificeren van de beschermde roosters voor turbines of de grofvuilroosters (voor waterinlaten). Hierdoor kunnen de kosten worden geminimaliseerd, aangezien er gebruik wordt gemaakt van bestaande roosters, en er dus geen omvangrijke werkzaamheden aan de dam nodig zijn. De richting en positie van bestaande roosters in de waterloop zijn echter zelden optimaal voor de geleidende werking richting uitlaat dan wel bypass. Er zijn echter nog niet genoeg bewijzen dat dergelijke roostersystemen voldoende bescherming bieden en vooral bij hogere aanstroomsnelheden is dit twijfelachtig. Bovendien zijn er bezwaren in verband met de veiligheid van elektrische geleidings- dan wel afschrikssystemen voor de mens (september 2022: ongeluk met twee dodelijke slachtoffers in de Arve bij Genève, waarbij mogelijk een elektrisch visbarrièresysteem in het spel was).

IDA-benadering (induced drift application): De onlangs ontwikkelde IDA-techniek is ook veelbelovend om schade aan vissen bij hun passage door de turbine te verminderen. Bij deze benadering wordt er direct aan de turbine een elektrisch systeem geïnstalleerd dat de vissen vlak voor ze door de turbine gaan verdooft. Verdoofde vissen vechten niet

tegen de stroming en daardoor is de kans dat ze bij hun passage door de turbine schade oplopen veel kleiner. De vissen passeren sneller door de turbine, waardoor de kans op een (letale) botsing vermindert. De eerste resultaten laten een 50% reductie van de sterfte en de visschade zien. Deze methode is nog zeer nieuw en er zijn nog geen empirische waarden. Een belangrijke opmerking hierbij is dat het passeren van turbines die niet als visveilig zijn geclassificeerd voor vissen allesbehalve ideaal is en altijd een risico op schade en sterfte inhoudt, ook al kan dit risico bij enkele soorten en/of leeftijdscategorieën klein zijn. Temeer daar de vissen benedenstrooms van de uitlaat van de turbine waarschijnlijk nog suf en/of gedesoriënteerd zijn en bijgevolg zijn blootgesteld aan meer predatie. Bij toepassing van de IDA-benadering moet er daarom dwingend rekening worden gehouden met het effect van predatie.

3.3 Maatregelen afhankelijk van de grootte van de waterkrachtcentrale

Het effect en de toepasbaarheid van de maatregelen hangen per geval af van de omvang van de centrale en de manier waarop ze is gebouwd. Met het oog op het energierendement en het versturende effect op de wateren dient er voor alle centrales eerst te worden nagedacht over de optie "ontmanteling". Als centrales niet kunnen worden ontmanteld, kunnen de onderstaande maatregelen de visschade beperken, afhankelijk van de ontwerpcapaciteit van de waterkrachtcentrale.

3.3.1 Kleine waterkrachtcentrales (ontwerpcapaciteit van de totale centrale tot 50 m³/s)

Voor bestaande kleine waterkrachtcentrales met een ontwerpcapaciteit tot 50 m³/s is er al een stand van de techniek³ en zijn er ervaringen met goed functionerende stroomafwaartse vismigratievoorzieningen.

Bij kleine waterkrachtcentrales moeten bouwkundige/fysieke maatregelen die technisch beproefd zijn en voldoen aan de stand van de wetenschap⁴ de voorkeur krijgen boven beheermaatregelen. Daartoe behoren:

- Horizontale en verticale fijnroosters met bypass
- Coanda-schermen
- Turbines met een gereduceerd visschadepotentieel (verschillende bouwtypes: vijzels, VLH, ...)

Doorgaans kan de installatie van fijnroosters (10-15 mm spijlafstand), die vanaf een bepaalde vismaat een betrouwbare en hoge fysieke bescherming bieden, relatief gemakkelijk worden geïmplementeerd.

Als er geen fysieke maatregelen kunnen worden geïmplementeerd, dan kan er als alternatieve oplossing gebruik worden gemaakt van beheermaatregelen, zoals het tijdelijk stilleggen van de centrale gedurende de vismigratie.

3.3.2 Middelgrote waterkrachtcentrales (ontwerpcapaciteit van de totale centrale 50- 100 m³/s, kan afhankelijk van de regionale definitie ook tot 150 m³/s zijn)

Voor middelgrote waterkrachtcentrales is er de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan met heel wat aanpassingen tot gevolg (zie voorbeelden in hoofdstuk 4). Bij meerdere

³ In Duitsland: resultaten van het "Forum over visbescherming" (zie Umweltbundesamt 2023)

⁴ In Duitsland: resultaten van het "Forum over visbescherming" (zie Umweltbundesamt 2023)

waterkrachtcentrales van deze orde van grootte zijn er al functionerende voorzieningen voor de stroomafwaartse vismigratie aangelegd.

Voor installaties van deze orde van grootte dient de voorkeur te worden gegeven aan fysieke maatregelen (zie hoofdstuk 3.2). Deels zullen fijnroosters met een kleine spijlafstand en een groot beschermend effect om hydraulische redenen niet meer kunnen worden toegepast of alleen met grote inspanningen mogelijk zijn en er zal meer moeten worden gewerkt met grotere spijlafstanden en het geleidende effect van schuin geplaatste roosters. Oplossingen met fijnroosters worden op dit moment op veel locaties gepland.

De effectiviteit en toepasbaarheid van beheermaatregelen en maatregelen die zijn gericht op het visgedrag dienen nog nader te worden onderzocht (zie hoofdstuk 3.2). In principe moet er bij de keuze van alle maatregelen rekening worden gehouden met het te bereiken doel (bijv. doelsoort).

3.3.3 Grote waterkrachtcentrales (ontwerpcapaciteit van de totale centrale meer dan 100 m³/s)⁵

Speciaal voor grote waterkrachtcentrales en in het bijzonder voor de grote centrales op de Rijn is er nog steeds veel behoefte aan onderzoek en ontwikkeling. Daarom zijn in het kader van het door de ICBR georganiseerde [webinar](#) "Visbescherming en stroomafwaartse vismigratie aan grote waterkrachtcentrales: ervaringen en kennis delen" op 15 en 16 september 2021 met name best-practicemaatregelen evenals recente resultaten van onderzoeksprojecten naar visbescherming en stroomafwaartse vismigratie aan grote waterkrachtcentrales voorgesteld.

Uit het webinar is gebleken dat er een breed scala aan maatregelen beschikbaar is om stroomafwaartse passage van vis bij waterkrachtcentrales te faciliteren. Daarbij gaat het om:

- geleidende systemen (fysieke systemen of gebaseerd op gedrag);
- aangepast turbinemanagement (bedrijfsvoering in combinatie met early warning);
- toepassing van turbines met een gereduceerd schadepotentieel;
- civieltechnische aanpassing van de ligging en lay-out van de inlaat;
- en de aanwezigheid van een goed vindbare en passeerbare alternatieve route (bijv. stuw/spillway, bypass, vispassage, etc).

De hier voorgestelde maatregelen zijn gecontroleerd bij installaties tot 450 m³/s. Voor centrales van deze orde van grootte kunnen de bovengenoemde maatregelen worden aanbevolen, evenals de eventuele toepassing van verdere maatregelen die in hoofdstuk 3.2 zijn beschreven. Het gebruik van roostersystemen is hier echter veel complexer dan aan kleinere installaties en rekening houdend met de actuele stand van de ervaring en de ontwikkeling veelal niet mogelijk.

Bovendien zou er moeten worden onderscheiden tussen de lange termijn en de korte termijn. Beheermaatregelen, zoals geoptimaliseerde sturing van stuwen en turbines, zijn - anders dan bouwkundige maatregelen - omkeerbaar en uitvoerbaar op korte termijn. Er zouden in principe, afhankelijk van de beschikbare methodes voor de controle van het doelbereik, soortspecifieke overlevingspercentages moeten worden gedefinieerd voor stroomgebieden. Daarbij moet er worden uitgegaan van populatiebiologische overwegingen en rekening worden gehouden met de cumulatieve mortaliteit van een aaneenschakeling van waterkrachtcentrales op het riviertraject in kwestie. Om de doelen te bereiken, kunnen maatregelen stapsgewijs worden uitgevoerd, waarbij er vanuit visserijbiologisch oogpunt prioriteit dient te worden gegeven aan de maatregelen met de beste kosten-batenverhouding (in de regel bevinden die zich in de benedenloop).

⁵ Zie hoofdstuk 3.3.2

4. Praktische voorbeelden uit de landen

De landen in het Rijnstroomgebied hebben de afgelopen jaren veel ervaring opgedaan met de praktische implementatie van visbeschermende maatregelen en technieken voor de stroomafwaartse vismigratie om de vissterfte aan waterkrachtcentrales te verminderen. Daarnaast is in het bijzonder voor grote waterkrachtcentrales (ontwerpcapaciteit > 150 m³/s) de stand van het onderzoek en de kennis verbeterd, dankzij de realisatie van pilots, en zijn er effectieve overgangsmatregelen uitgevoerd. In bijlage 1 wordt een uitgebreid overzicht gegeven van de onderzoeken naar visbescherming en stroomafwaartse vismigratie die hebben plaatsgevonden in de landen van het Rijn- en Maasstroomgebied.

Hieronder worden praktische voorbeelden van maatregelen en regelgeving in de landen beschreven.

4.1 Zwitserland

Waterkrachtcentrale Dietikon

Aan de waterkrachtcentrale Dietikon (ontwerpcapaciteit 95 m³/s) is het vooralsnog grootste horizontale fijnrooster in het Duitstalige gebied geïnstalleerd. De spijlafstand bedraagt 20 mm. Het rooster is sinds 2019 in gebruik en volgens de beheerder zijn er geen problemen met het gebruik of het onderhoud. De biologische effectiviteitscontrole start pas in 2023 en daarom kan er nog niets concreets worden gezegd over de effectiviteit.

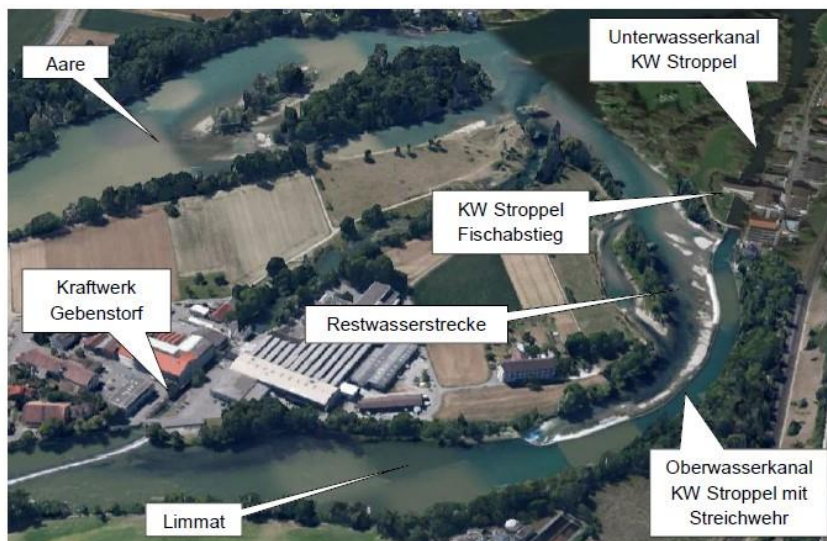
Waterkrachtcentrales Stroppel en Röchlig

De ontwerpcapaciteit bedraagt 40 m³/s voor de restafvoercentrale Röchlig en 33 m³/s voor de waterkrachtcentrale (wkc) Stroppel. Beide centrales zijn voorzien van een horizontaal geleidingsrooster met een bypass en een spijlafstand van 20 mm, evenals een bodemgeleidingsscherm. Bij de wkc in Röchlig is de aanstroomhoek bijna nul (evenwijdig met de stroming) en bij de wkc Stroppel 38°. Aan de wkc Stroppel op de Limmat en aan de restafvoercentrale van de wkc Röchlig op de Aare zijn er effectiviteitscontroles uitgevoerd, waarover uitvoerige rapporten zijn geschreven. Bij geen van de centrales zijn er relatieve uittrekcijfers verzameld (uittrek via de turbine en uittrek via de verschillende alternatieve routes voor de stroomafwaartse vismigratie, zoals bypass, voorziening voor stroomopwaartse vismigratie, overlaat, enz. - over de stroomafwaartse migratie via deze routes zijn geen cijfers beschikbaar). Dit betekent dat er op basis van de biologische effectiviteitscontroles geen grondig kwantitatief uitsluitsel kan worden gegeven over het visgeleidings- en visbeschermingseffect. In beide gevallen bestonden de steekmonsters in de ankerkuilen benedenstrooms van de bypasses voor meer dan 95% uit vissen met een lichaamslengte < 10 cm, die in theorie door het rooster hadden kunnen zwemmen. Daarom kan er volgens de rapporten voor beide wkc's van worden uitgegaan dat alleen een zeer klein deel van de vissen door de roosters en via de turbine stroomafwaarts trekt. Dit zijn gefundeerde aannames die echter niet onomstotelijk kwantitatief kunnen worden bewezen (aan de hand van bevissingen bovenstrooms van de centrales kan er een vergelijking worden gemaakt met de verdeling van de vissoorten en -lengtes die stroomafwaarts zijn getrokken. Deze vergelijking doet voor de wkc Stroppel vermoeden dat er geen sprake is van selectiviteit op vissoorten en -lengtes. De hoge uittrekcijfers doen ook vermoeden dat het rooster een goede geleidingswerking heeft en de bypass(es) in beide wkc worden gevonden. In de wkc Stroppel kon met video-opnames worden aangetoond dat de vissen de twee ingangen van de bypass goed vinden)⁶.

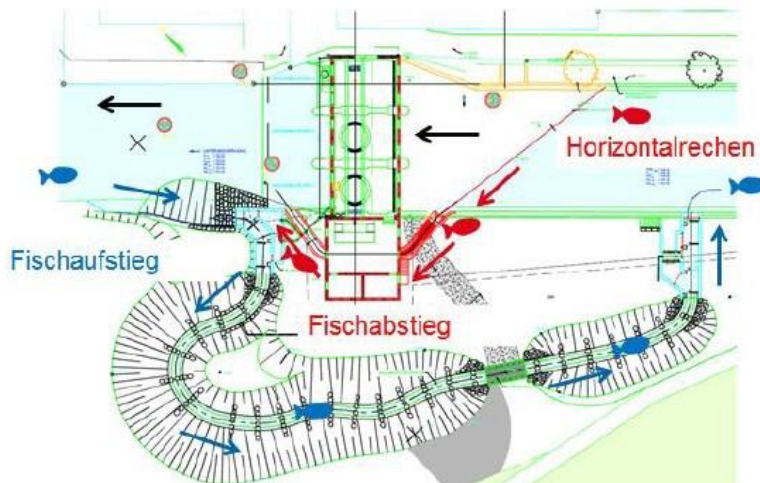
⁶ <https://plattform-renaturierung.ch/massnahmen-renaturierung/>



Figuur 1: Overzicht van de onderdelen van de wkc Rüchlig (ArcGIS, gecheckt op 18 september 2018)



Figuur 2: Overzicht van de microcentrale Stroppeel inclusief bovenstrooms gelegen wkc Gebenstorf op de Limmat en de Aare (stroomrichting van links naar rechts, bron: Google Earth)



Figuur 3: Overzicht van de stroomafwaartse vismigratie aan de microcentrale Stroppel. De Limmat stroomt van rechts naar links.

4.2 Duitsland

Voorlopige, tijdelijke maatregelen voor visbescherming en stroomafwaartse vismigratie aan grote waterkrachtcentrales op de Main aan het voorbeeld van de locaties Offenbach en Kesselstadt (Mühlheim)

Er zijn 34 stuwen op de Main. De zes stuwen op de benedenloop van de Main voor de monding in de Rijn bevinden zich in Hessen, aan vijf van deze stuwen zijn er waterkrachtcentrales (wkc's). Deze wkc's hebben elk een ontwerpvermogen van 4 à 5 MW en een ontwerpcapaciteit van 160-210 m³/s. Doorgaans zijn bij grote wkc's, zoals op de Main, alleen beschermingsroosters met een grote spijlfstand ingebouwd om te voorkomen dat groot drijfvuil de turbine indrijft. De meeste vissen kunnen deze roosters echter passeren en komen dan in de turbines terecht. Afhankelijk van de lichaamslengte en -vorm van de vissen wordt een groot percentage (tot ruim 50%) door de turbineschoepen beschadigd of zelfs gedood. Daarnaast kan er ook door de drukverschillen bij de passage door het turbinekanaal schade worden aangericht (bijv. aan de zwemblaas). Dit moet worden beoordeeld tegen de achtergrond van het feit dat de installaties op de Main zo zijn ontworpen dat al het rivierwater (afgezien van de sluisinhoud) op ongeveer 240 dagen per jaar door de waterkrachtcentrale stroomt. Andere uittrekroutes zijn er in de regel niet.

De stuw Kostheim is een uitzondering. Reeds sinds de ingebruikneming in 2008 beschikt ze over een fijnrooster met een spijlfstand van 20 mm evenals voorzieningen voor de stroomopwaartse en de stroomafwaartse vismigratie. Beide passages worden op dit moment in het kader van een pilot geoptimaliseerd.

De wkc's aan de stuwen Offenbach en Mühlheim zijn al midden en eind jaren tachtig van de vorige eeuw gebouwd. Elke centrale heeft twee turbines (elk 90 m³/s). Tot het najaar van 2018 zijn de centrales bouwkundig niet veranderd en bevond er zich voor elke turbine alleen een grofvuilrooster met een spijlfstand van 100 mm. In het kader van de afgifte van een waterrechtelijke vergunning voor de verdere exploitatie van de twee installaties hebben de overheid en de beheerder een tussentijdse oplossing gezocht, waarin gedurende een overgangperiode rekening wordt gehouden met de fundamentele voortzetting van de exploitatie en met de bescherming van vissen.

Op verzoek van de beheerder zijn er in 2018 en 2019 beschikkingen afgegeven voor de verdere exploitatie van de twee wkc's gedurende een tijdelijk beperkte periode van vijf jaar tot eind juni 2024. Essentiële regelingen in verband met de exploitatie zijn:

- Er mogen alleen turbines worden gebruikt waar een 15 mm-rooster voor staat.
- De aanstroomsnelheid voor het rooster mag hooguit 0,5 m/s bedragen.
- Alleen de helft van de afvoer van de Main mag worden gebruikt voor de opwekking van hydro-elektriciteit. Hierdoor stroomt er continu water over de overlaat, hetgeen een potentiële uittrekroute voor vissen vormt.
- Bij onderhouds-, controle-, herstel- of andere werkzaamheden aan of in de omgeving van de stuwkleppen door de Duitse Waterweg- en Scheepvaartadministratie kan er tijdelijk ook meer water van de Main via de wkc worden afgevoerd.
- Dit kortstondige, hogere debiet gaat gepaard met intensievere monitoring van het roostergoed, omdat de hogere afvoeren leiden tot hogere snelheden aan het rooster (> 0,5 m/s) en, naar verwachting, meer visschade.

Deze tot nu toe gehanteerde werkwijze heeft zijn waarde bewezen tegen de achtergrond van de visbescherming, waarbij wordt aanvaard dat de stroomafwaartse vismigratie plaatsvindt, maar niet optimaal is, en dat de prestaties van de wkc worden beperkt. Het is echter slechts een tijdelijk compromis tot er een definitieve oplossing is ontwikkeld en geïmplementeerd waarmee de best mogelijke visbescherming in combinatie met een optimaal gebruik van de wkc op lange termijn kan worden gewaarborgd.

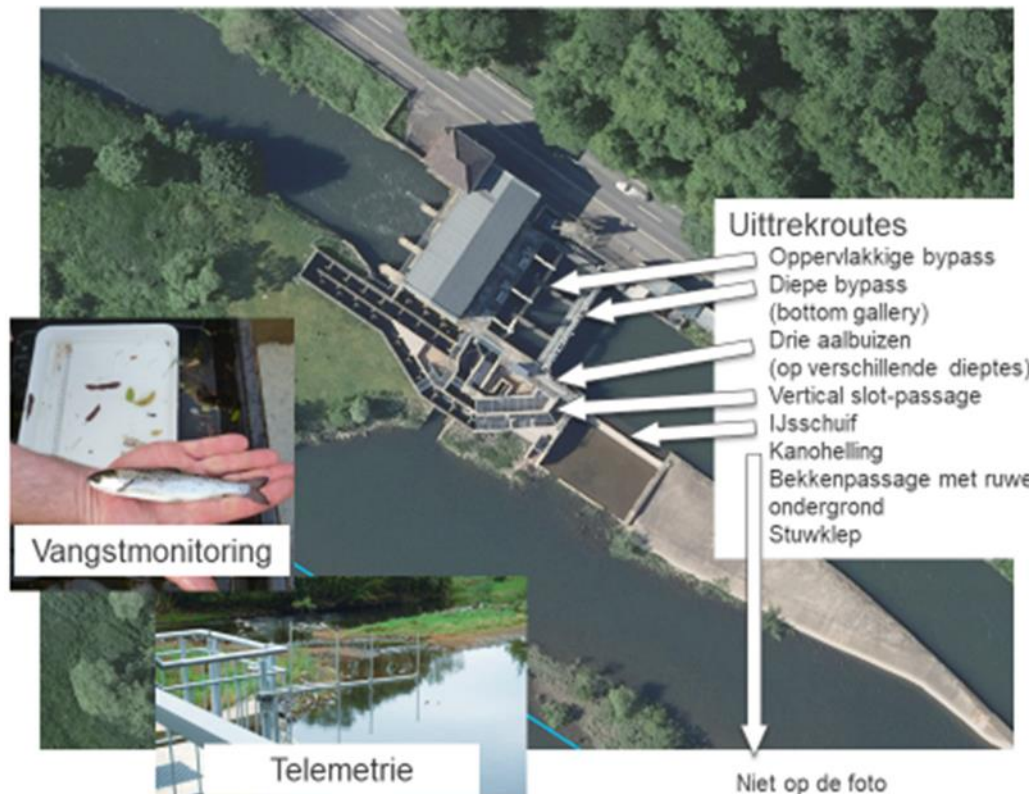


Figuur 4: Stuw Mühlheim/Main (foto: Regeringspresidium Darmstadt)

Project "Visbescherming en stroomafwaartse vismigratie aan de pilotinstallatie Unkelmühle" op de Sieg

De Sieg is aangewezen als een doelsoortrivier voor zalm (*Salmo salar*) en aal (*Anguilla anguilla*) en is bovendien een programmawater voor de herintroductie van de zalm in Noordrijn-Westfalen. Voor de verbetering van de passeerbaarheid en de visbescherming aan de wkc "Unkelmühle" (ontwerpcapaciteit: 27 m³/s) zijn in het kader van een pilot (2011) een verticaal rooster met een spijlfstand van 10 mm en een hellingshoek van 27°, meerdere bypasses (zes doorgangen dichtbij het wateroppervlak, één bottom gallery, drie aalbuizen op verschillende waterdieptes) en één voorziening voor stroomopwaartse vismigratie (nieuwe vertical slot-passage) gebouwd. De bedoeling van

de verbouwing was om een zo evenwichtig mogelijk compromis te bereiken tussen zo goed mogelijke visbescherming en zo min mogelijk energieverlies. Hiervoor is naast biologische monitoring (vangstmonitoring van niet-gezenderde en gezenderde vissen door middel van telemetrie) ook operationele monitoring gedaan. Uit de operationele monitoring is gebleken dat een rooster met druppelprofiel minder energieverliezen veroorzaakt dan een rooster met Y-profiel. De biologische monitoring heeft uitgewezen dat er in het structuurarme en diepe, opgestuwde water aan de wkc veel meer stroomafwaarts trekkende zalmsmolts verloren gaan dan op het stroomopwaartse gelegen, vrij afstromende referentietraject (vrij afstromend: 0,5% - 1,6%; gestuwd: 4,4% - 17,1%). Het 10 mm-fijnrooster bleek de geteste vismaten (vanaf ca. 13 cm totale lengte voor zalmsmolts, vanaf 60 cm totale lengte voor alen) 100% effectieve bescherming te bieden tegen een passage door de turbines. Uittrekkende schieralen en zalmsmolts gebruikten als route voor hun stroomafwaartse migratie voornamelijk de oppervlaktebypasses en de stuwklep, als die openstond. Vergeleken met een benedenstrooms gelegen stuw zonder wkc (stuw Buisdorf) was de migratiesnelheid direct aan het kunstwerk een factor 10 lager (mediaan 0,4 km/u versus 5,6 km/u). De technische structuren, het bypasssysteem, het afvoeraandeel van de verschillende migratieroutes en/of de geluiden en/of drukgolven die ontstaan doen de zalmen hier misschien aarzelen (Ingendahl et al. 2019).

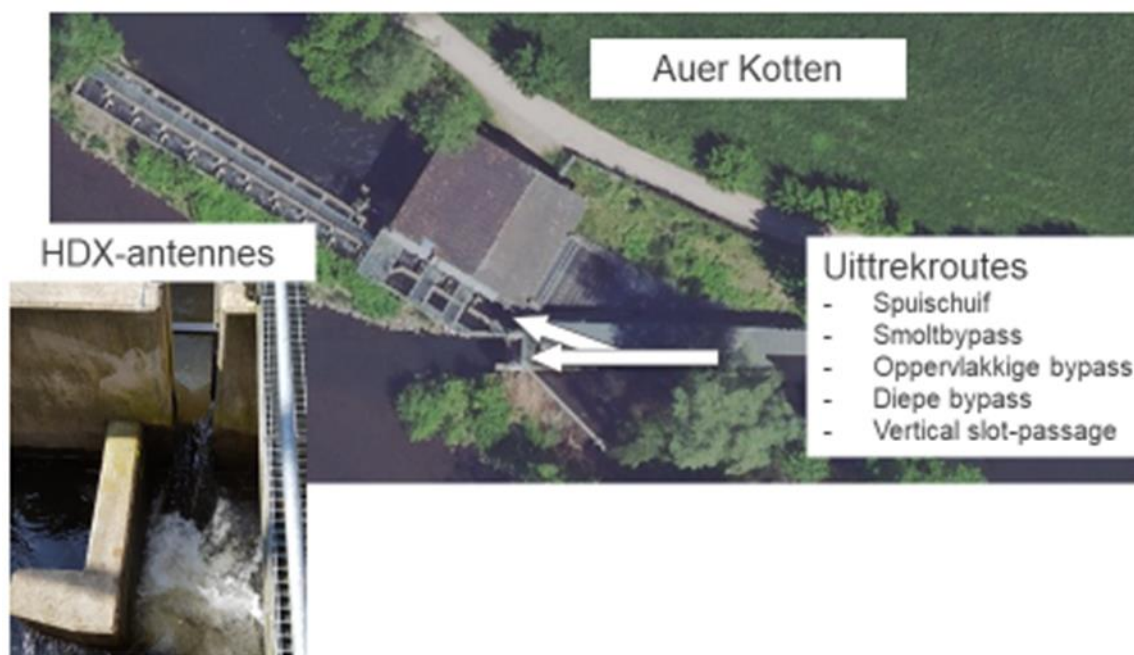


Figuur 5: Waterkrachtcentrale Unkelmühle op de Sieg (zijrivier van de Duitse Nederrijn)

Project "HDX-Wupper"

Omdat de Wupper is aangewezen als een doelsoortrivier voor zalm (*Salmo salar*) en aal (*Anguilla anguilla*) en tevens een programmawater voor de herintroductie van de zalm in Noordrijn-Westfalen is, is het herstel van de stroomopwaartse en de stroomafwaartse passeerbaarheid van bijzonder belang. Voor het herstel van de passeerbaarheid zijn er aan de wkc op het omleidingskanaal "Auer Kotten" (ontwerpcapaciteit 14 m³/s) in het kader van een verbouwing (2009) drie bypasses (aan de bodem, smoltbypass aan het

wateroppervlak en een spuischuif) en twee nieuwe voorzieningen voor stroomopwaartse vismigratie (aan de wkc en aan de stuw op het omleidingskanaal) gebouwd. Daarenboven is er als beschermingsmaatregel voor de stroomafwaartse vismigratie een horizontaal rooster met een spijlafstand van 12 mm geïnstalleerd. Het onderzoek naar de effectiviteit van deze maatregelen maakte deel uit van het HDX-Wupper-project (2013-2018), in het kader waarvan de passeerbaarheid van de Wupper over een lengte van 65 km inclusief zes wkc's is geëvalueerd met behulp van met HDX-transponders gezenderde vissen (564 schieralen, 1.500 zalmsmolts, 3.088 "wilde vissen"). De studie heeft uitgewezen dat het horizontale rooster (spijlafstand: 12 mm) in de wkc Auer Kotten zijn beschermende functie tegenover uittrekkende alen en zalmsmolts vervult. 80% van de stroomafwaarts trekkende vissen volgde de hoofdstroming naar de centrale, waar de meest efficiënte uittrekkroute de weg via de tijdelijk geopende spuischuif was. Ook de vertical slot-passage en de oppervlakkige bypass werden goed gebruikt. Door de spuischuif tijdens de uittrekperiode van de zalm en de aal (van 1 september t/m 31 mei) regelmatig te openen (tussen 19.00u en 6.00u minstens om de 30 minuten) nam het aantal stroomafwaarts trekkende vissen toe (Wölleke et al. 2020).



Figuur 6: Wkc op omleidingskanaal Auer Kotten op de Wupper (zijrivier van de Duitse Nederrijn)

4.3 Frankrijk

Op de Maas:

De wkc in Revin (turbinedebiet 60 m³/s) is uitgerust met een visvriendelijke waterinlaat. Het betreft een fijnrooster met een spijlafstand van 20 mm, dat is aangebracht onder een hoek van 45°. Deze voorziening heeft tot doel om te voorkomen dat vissen de turbines inzwemmen en om hen ongedeerd naar het gebied benedenstrooms van de centrale te geleiden.



Fotoverantwoording: Office Français de la Biodiversité

De stuwen in Givet, Ham-sur-Meuse en Saint Joseph (turbinedebiet 50 m³/s) zijn in het kader van een publiek-privaat partnerschap (PPP) omgebouwd en voorzien van visvriendelijke turbines, die zodanig zijn ontworpen dat vissen er zonder schade door kunnen passeren. Het gaat om "very low head" turbines (VLH), die zich geheel onder water bevinden, vrijwel geruisloos zijn en traag roteren. Dankzij dit partnerschap kon een twintigtal knelpunten op de Maas worden uitgerust met voorzieningen voor de stroomopwaartse en/of de stroomafwaartse vismigratie.

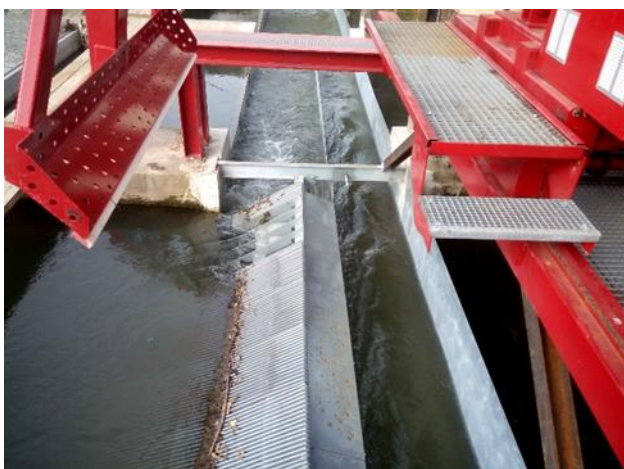
Meer informatie over de turbines is te vinden op:

<https://www.vlh-turbine.com/fr/products/vlh-turbine>

Op de Ill:

In Illkirch-Graffenstaden is de waterkrachtcentrale van Niederbourg (maximum turbinedebiet: 45 m³/s) uitgerust met een voorziening voor stroomafwaartse vismigratie.

Bovenstrooms van de centrale zijn er vijf horizontale roosters met een spijlafstand van 20 mm aangebracht onder een hoek van 33°. Aan de punt van elk rooster bevindt zich een bypass. De hellingshoek van de roosters en de stroomsnelheid bij de bypasses helpen de vissen om de doorgangen te vinden. Daarna komen de vissen in een verzamelkanaal achter de roosters terecht, waarlangs de vissen naar het gebied benedenstrooms van de centrale worden geleid.



Fotoverantwoording: Association Saumon Rhin

4.4 Nederland

In Nederland is onderscheid te maken tussen rijkswateren en regionale wateren. De rijkswateren, waaronder de grote rivieren, zijn in beheer van Rijkswaterstaat. Deze kennen landelijk beleid met betrekking tot waterkracht. De regionale wateren, bijvoorbeeld zijbeken van de grote rivieren, zijn veelal in beheer van regionale waterbeheerders (waterschappen). In deze wateren gelden regionale richtlijnen.

Wetgeving

Met betrekking tot vergunningen voor waterkrachtcentrales in de rijkswateren is de "Beleidsregel watervergunningverlening waterkrachtcentrales in rijkswateren 2021" van kracht (Staatscourant, 2021). Een watervergunning kan hierbij slechts verleend worden indien de waterkrachtcentrale voldoet aan de maximale beschikbare mogelijkheden van visbescherming voor stroomafwaartse migratie en indien eventuele negatieve effecten op de stroomopwaartse vismigratie gecompenseerd worden.

Voor de Maas (traject Eijsden tot en met Lith) en voor de Nederrijn en Lek geldt daarbij dat een watervergunning voor een waterkrachtcentrale alleen verleend kan worden indien het in bedrijf hebben van de waterkrachtcentrale niet leidt tot een cumulatieve vissterfte door waterkrachtcentrales van meer dan 10% voor zalm (smolts) en schieraal. In bovenstaande riviertrajecten is een sterfte van meer dan 10% alleen toegestaan indien de sterfte van zalm(smolts) en schieraal veroorzaakt door nieuwe waterkrachtcentrales ten hoogste 0,1% bedraagt. Daarnaast mag niet meer dan vijf maal in het relevante gebied een watervergunning voor een waterkrachtcentrale verleend zijn met toepassing hiervan.

Voor rijkswateren buiten de relevante gebieden van de Maas, Nederrijn en Lek kan een watervergunning voor een waterkrachtcentrale slechts verleend worden indien de waterkrachtcentrale ten hoogste 0,1% vissterfte veroorzaakt voor zalm (smolts) en schieraal in het waterlichaam waarin de waterkrachtcentrale is gelegen en indien in dat waterlichaam niet reeds een watervergunning voor een waterkrachtcentrale is verleend. Uitzondering hierop zijn een divers aantal wateren, zoals genoemd in de Beleidsregel watervergunningverlening waterkrachtcentrales in rijkswateren 2021 (artikel 5 lid 4).

Voor de regionale wateren geldt dat de verschillende waterbeheerders eigen beleid voeren. Veelal wordt hierbij van uitgegaan dat het opwekken van waterkracht geen belemmering voor vismigratie mag vormen, zowel naar boven als naar beneden. Daarnaast dient veelal te worden voldaan aan de eis dat er geen of vrijwel geen schade aan vis veroorzaakt mag worden. Er zijn een beperkt aantal kleine waterkrachtcentrales en oude watermolens in regionale wateren. De bekendste hiervan is waarschijnlijk de ECI Waterkrachtcentrale in de Roer (zijbeek van de Maas).

Rijkswateren

In Nederland zijn drie grote waterkrachtcentrales aanwezig in de rijkswateren (10-14 MW, ± 400 m³/s). De waterkrachtcentrales bevinden zich in de Maas (Linne en Lith) en in de Nederrijn (Maurik). Voor deze waterkrachtcentrales is de Beleidsregel watervergunningverlening waterkrachtcentrales van toepassing. De cumulatieve sterfte door waterkrachtcentrales mag in deze rivieren daarom niet meer dan 10% zijn. Voor de Maas mogen beide individuele waterkrachtcentrales maximaal 5% vissterfte veroorzaken (smolts en schieraal), de waterkrachtcentrale in de Nederrijn mag maximaal 10% vissterfte veroorzaken.

De afgelopen jaren waren een periode van onderzoek waarbij gekeken is of een maximale sterfte van 5% of 10% voor smolts en schieraal haalbaar is. Hiervoor werd onder andere gebruik gemaakt van de migromat® en early warning systemen. Hoewel maatregelen tot een zeker niveau effectief waren, was dit op de Maas onvoldoende om tot een maximale

sterfte van 5% per waterkrachtcentrale te komen. Bij de waterkrachtcentrale in de Nederrijn loopt het onderzoek nog.

Aanvullende maatregelen

Om in de praktijk tot een maximale sterfte van 5% (Maas) of 10% (Nederrijn) te komen, zijn er aanvullende maatregelen vereist (best beschikbare technieken). Het gaat daarbij veelal om een combinatie van maatregelen in de vorm van het (periodiek) stilleggen van de turbines, aangepast turbinebeheer en/of het vangen en overzetten van schieraal.

- *Stilleggen waterkrachtcentrale*

De waterkrachtcentrales in de Maas te Linne en te Lith worden periodiek stilgelegd om de uittrek van schieraal en smolts te faciliteren. Dit om een maximale sterfte van 5% te garanderen. Het stilleggen gebeurt 's nachts in de periode dat schieraal en smolt migreren. Er zijn hierbij kleine verschillen in de duur van de periode tussen de verschillende waterkrachtcentrales. Dit doordat bij de ene waterkrachtcentrale meer inspanning noodzakelijk is om de vissterfte voldoende laag te krijgen dan bij de andere waterkrachtcentrale. Bij de waterkrachtcentrale van Linne wordt voor het stilleggen in het voorjaar gebruik gemaakt van het model van Teichert om de migratie van smolt te voorspellen; het model is daarbij geoptimaliseerd voor de situatie te Linne (Teichert 2020). Bij de waterkrachtcentrale te Maurik is het stilleggen van de turbines afhankelijk van veranderingen in de afvoer. Wanneer het debiet stijgt tot boven een bepaalde grenswaarde worden de turbines gedurende een periode van 48 uur buiten werking gezet. In de periode van 1 augustus tot en met 30 november geldt hierbij een maximum van één sluiting per drie weken. In de periode van 1 december tot en met 31 januari worden de turbines alleen stilgelegd tijdens de eerste overschrijding in deze periode.

- *Aangepast turbinebeheer*

De turbines in de Maas en Nederrijn zijn zogenaamde horizontale Kaplan turbines. Het debiet door de turbines kan gereguleerd worden door de schoepen te draaien. Bij lage debieten wordt de vrije ruimte tussen de schoepen hierbij kleiner, resulterend in een hogere mate van vissterfte. Door aangepast turbinebeheer wordt getracht de vissterfte zoveel als mogelijk te reduceren. In de praktijk betekent dit dat het beheer is gericht op de inzet van minder turbines met een groter debiet. In het verleden is berekend dat de sterfte van schieraal hierdoor met circa 25% gereduceerd kan worden (Bakker, 2016).

- *Vangen en overzetten schieraal*

In de periode van 1 september tot 1 december wordt er bij de waterkrachtcentrale te Maurik visserij uitgevoerd die erop gericht is zoveel mogelijk schieraal voor de waterkrachtcentrale weg te vangen en naar het benedenstroomse gebied te verplaatsen. Hiermee wordt voorkomen dat deze schieralen door de turbine kunnen migreren. In het algemeen kan gesteld worden dat de efficiëntie van deze maatregel relatief laag is. Ter illustratie: voor de Maas is berekend dat in het verleden circa 1/30 deel van de schieralen op deze wijze werd gevangen, in de Nederrijn was dit circa 1/6 deel (Bakker, 2016). De toepasbaarheid is sterk afhankelijk van de kenmerken van de locatie en van de wijze waarop en het aantal vangtuigen (fuiken) dat wordt toegepast. Een nadeel van deze methodiek is daarnaast dat er vertraging in de migratie van de schieraal zal optreden.



Figuur 7: Stuw te Lith (Maas) met aan de linkerkzijde de waterkrachtcentrale en vistrap en aan de rechterzijde de scheepvaartsluis (foto: Rijkswaterstaat)

Bibliografie

- Amaral, S. V.; Watson, S. M.; Schneider, A. D.; Rackovan, J. & Baumgartner, A. (2020). Improving survival: injury and mortality of fish struck by blades with slanted, blunt leading edges, *Journal of Ecohydraulics*, 5:2, 175-183, DOI: 10.1080/24705357.2020.1768166
- BAFU (2022). Wiederherstellung der Fischwanderung. Gute Praxisbeispiele für Wasserkraftanlagen in der Schweiz), <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien.html>
- Bakker, H. (2016). Lowering fish mortality at hydropower stations in Dutch rivers. Dead ends and new chances. Rijkswaterstaat. Presentation Fish market 2016, Roermond.
- Bau et al. (2011). Test d'un dispositif de répulsion à infrasons au droit de deux ouvrages sur le Gave de Pau. 92 p. <https://hal.inrae.fr/hal-02596839/document>
- Berkel, J. van; Esch, B. van & Vriese, T. (2016). Fish safety of large, low-head turbines. HZ University of applied sciences, Eindhoven University of Technology & ATKB. Presentation Fish market 2016, Roermond.
- Cuchet, M., Geiger, F. & P. Rutschmann (2018): Zum Fischschutz und Fischabstieg an geneigten und horizontalen Rechen. *WasserWirtschaft* 9/2018, 36-40
- Bruijs & Vriese: Workshop Fish Protection at Hydropower Stations in the River Meuse, the Netherlands, 2013
- Courret & Larinier: Guide pour la conception de prises d'eau „ichtyocomptables“ pour les petites centrales hydroélectriques. RAPPORT GHAAPPERA.08.04 : <https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/00000000189951d34aab740c6732a54>, 2008
- Cuchet, M; Geiger, F. & Rutschmann, P. (2018). Zum Fischschutz und Fischabstieg an geneigten und horizontalen Rechen. *WasserWirtschaft* 9/2018, 36-40
- Ebel, G. (2016). Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen - Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. In: Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie. 2. A. Band 4, Halle/Saale: Eigenverlag
- Ebel, G.; Kehl, M. & Gluch, A. (2018). Fortschritte beim Fischschutz und Fischabstieg: Inbetriebnahme der Pilot-Wasserkraftanlagen Freyburg und Öblitz. *WasserWirtschaft* 9/2018, 54-62
- Frey A. ; Tomanova S. ; Mercier O. ; Richard S. ; Courret D. ; Tetard S. ; Tissot L. ; Mataix V. ; Lagarrigue T. (2020). Etude d'efficacité de prises d'eau ichtyocompatibles pour les smolts de saumon atlantique – Projet EFFIGRI. Synthèse des résultats 2017-2018. Rapport OFB-Pôle Ecohydraulique, EDF R&D, ECOGEA.
- Handbuch Querbauwerke (2005). Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. ISBN 3-9810063-2-1
- ICBR-rapport 140. Effecten van waterkrachtcentrales in zijrivieren van de Rijn op de stroomafwaartse vismigratie, ICBR, 2004 (alleen beschikbaar in het Duits en het Frans). www.iksr.org
- ICBR-rapport 247. Masterplan trekvis Rijn 2018, ICBR, 2018, www.iksr.org
- ICBR. Rijn 2040. De Rijn en zijn stroomgebied: duurzaam beheerd en klimaatbestendig, ICBR, 2020, www.iksr.org
- Ingendahl, D.; Weimer, P.; Wilke, T. et al. (2019). Abschlussbericht zum Projekt Fischschutz und Fischabstieg an der Pilotanlage Unkelmühle, (www.flussgebiete.nrw.de/abschlussbericht-zum-projekt-fischschutz-undfischabstieg-der-pilotanlage-unkelmuehle-8039, (2019); laatst gecheckt op 14 juni 2023)
- Ingendahl, D.; Burghardt, G.; Geist, S. J. (2024). Fischschutz an Wasserkraftanlagen durch Vertikal- oder Horizontalrechen, *Wasser und Abfall*, Ausgabe 9/2024

Kibel P. (2007). Fish Monitoring and Live Fish Trials. Archimedes Screw Turbine, River Dart. Phase 1 Report: Live fish trials, smolts, leading edge assessment, disorientation study, outflow monitoring. FISHTEK consulting, 38 p. + annexes.

Kibel P. (2008). Archimedes Screw Turbine Fisheries Assessment. Phase II: Eels and Kelts. FISHTEK consulting, 18 p. + annexes

Knott J., Mueller M., Pander J., Geist J. (2023). Bigger than expected: Species- and size-specific passage of fish through hydropower screens. *Ecological Engineering*. 188:106883. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2022.106883

Lagarrigue T. (2013). Tests d'évaluation des dommages subis par les espèces piscicoles en dévalaison lors de leur transit à travers le groupe turbogénérateur VLH installé sur le Tarn à La Glacière (Millau). Principaux résultats des tests effectués en mai-juin 2013. https://www.vlh-turbine.com/wp-content/uploads/2019/01/vlh_fish_test_fr.pdf

[Meister J., Selz O.M., Beck C., Peter A., Albayrak I., Boes R.M. \(2022\). Protection and guidance of downstream moving fish with horizontal bar rack bypass systems. *Ecological Engineering* 178 \(2022\) 106584.](#) Raynal S., Chatellier L., David L., Courret D., Larinier M. (2012). Définition de prises d'eau ichtyocompatibles - pertes de charge au passage des plans de grille inclinés ou orientés dans des configurations ichtyocompatibles et champs de vitesse à leur approche. RAPPORT POLE RA11.02. 114 pages.

Raynal S., Chatellier L., David L., Courret D., Larinier M. (2013). Définition de prises d'eau ichtyocompatibles – Etude de l'alimentation en débit et du positionnement des exutoires de dévalaison au niveau des plans de grille inclinés ou orientés dans les configurations ichtyocompatibles. Rapport Pôle RA.12.02. 112 pages.

Staatscourant 2021. Beleidsregel watervergunningverlening waterkrachtcentrales in rijkswateren Nr. 35745, 20 juli 2021

Teichert, N.; Benitez, J.P ; Dierckx, A.; Tétard, S.; Oliveira, E. de; Trancart, T.; Feunteun, E. & Ovidio, M. (2020). Development of an accurate model to predict the phenology of Atlantic salmon smolt spring migration. *Aquatic Conservation, Marine and Freshwater Ecosystems*. Volume 30, Issue 8. August 2020. Pages 1552-1565.

Tomanova S. ; Courret D. ; Alric A. ; De Oliveira E. ; Lagarrigue T. ; Tetard S. (2018a). Etude d'efficacité des exutoires associés à des grilles inclinées ou orientées pour la dévalaison des smolts de saumon atlantique. Etude 2016 et synthèse des résultats 2015-2016. Rapport AFB-Pôle Ecohydraulique, EDF R&D, ECOGEA.

Tomanova S. ; Courret D. ; Alric A. ; De Oliveira E. ; Lagarrigue T. ; Tetard S. (2018b). Protecting efficiently sea-migrating salmon smolts from entering hydropower plant turbines with inclined or oriented low bar spacing racks. *Ecological Engineering*. Volume 122: 143-152.

Tomanova S.; Courret D.; Richard S.; Tedesco PA.; Mataix V.; Frey A.; Lagarrigue T.; Chatellier L.; Tetard S. (2021). Protecting the downstream migration of salmon smolts from hydroelectric power plants with inclined racks and optimized bypass water discharge. *Journal of Environmental Management* 284 (2021) 112012.

Umweltbundesamt (2023). Abschlussbericht. Forum Fischschutz und Fischabstieg: Ergebnisse und Ausblick, <https://forum-fischschutz.de/forum-dokumente.html>

Vriese F. T.: Evaluation of Fish Injury and Mortality Associated with scale models of the Pentair Fairbanks Nijhuis Modified Bulb turbine and the Water2Energy Cross Flow turbine. Rapport Pro-Tide, 2015

Vriese, F. T., (2017). Vissterfte bij passage van stuwen. Rapport 20170587/01. ATKB, Waardenburg.

Wagner, S. (2020). „Wann ist ein Rechen ein Fischschutzrechen“, <https://forum-fischschutz.de/factsheets>, Fact Sheet 05

Watson, S.; Schneider, A.; Santen, L.; Deters, K. A.; Mueller, R.; Pflugrath, B.; Stephenson, J.; Deng, Z. D. (2022). Safe passage of American Eels through a novel hydropower turbine, *Transactions of the American Fisheries Society*. 2022;151:711–724, DOI: 10.1002/tafs.10385

Watson, S. M.; Schneider, A. D.; Gardner, L. C.; Apell, B. R.; Thompson, P. C.; Cadman, G. B.; Gagnon, I. F.; Frese, C. R.; Wechsler, J. F. (2023). Juvenile Alewife Passage through a Compact Hydropower Turbine Designed for Fish Safety, *North American Journal of Fisheries Management*. <https://doi.org/10.1002/nafm.10866>

Winter, Bierman & Griffioen: Field test for mortality of eel after passage through the newly developed turbine of Pentair Fairbanks Nijhuis and FishFlow Innovations, 2012. <http://www.fairbanksnijhuis.com/resources/images/3381.pdf>

Wöllecke, B.; Adam, B. & Scheifhacken, N. (2020). Blankaale und Lachssmolts – Abwanderung aus der Wupper. Erkenntnisse aus der Freilanduntersuchung zur Abwanderung der Fischarten über mehrere Kraftwerksstandorte. *Natur in NRW* 4/2020, 34-38

Bijlage

Overzicht van studies naar visbescherming en stroomafwaartse vismigratie aan waterkrachtcentrales (stand: november 2024)

	Studie	Ontwerpcapaciteit	Type studie	Hydraulische kenmerken van de visbeschermingsvoorziening	Onderzochte vissoorten	Onderzoeksresultaten	Beoordeling van het succes/potentieel van de maatregel (+) positief (-) negatief (o) geen duidelijke tendens	Behoeftte aan nader onderzoek	Deelnemende instellingen/contact	Link	Status (bezig of klaar)	Gepubliceerd (ja/nee)	Land
1	Visgeleidingssysteem met verticale staven "mechanische gedragsbarrières" Curved-Bar Rack-Bypass System (f-CBR-BS)	Tot dusver alleen laboratoriumproeven, maar potentieel voor grote wkc's	Etohydraulisch laboratoriumonderzoek	Spijlfstand: 50 mm Hellingshoek van het rooster $\geq 30^\circ$ Aanstroomsnelheid 0,5 en 0,7 m/s	Gestippelde alver, barbeel, sneep, beekforel, Atlantische zalm, Europese aal	FGE > 85 % gestippelde alver, barbeel, sneep en zalm FGE < 60% beekforel FGE < 40% aal FPE > 90% gestippelde alver, barbeel, sneep en zalm FGE < 40% aal FGE < 60% beekforel Kleiner verlies van de productiehoeveelheden door geoptimaliseerde hydraulica	(+)	- Pilotproject i.v.m. de installatie van een f-CBR-BS aan de waterkrachtcentrale Herrentöbeli (< 50 m ³ /s) in de Thur (CH), uitgevoerd in 2023. Spijlfstand 26 mm - Het onder stroom zetten van de f-CBR in een vervolgproject kon voor sommige soorten de FPE en FGE verhogen (tot 100% FPE en >60% FGE voor alen, >70% FPE en >50% FGE voor forellen). Geavanceerd zijn	VAW; Ismail Albayrak	Publicatie over visgedrag Publicatie over hydraulische componenten: head Publicatie over hydraulische componenten: flow field	klaar	ja	CH
2	Geëlektrificeerde beschermingsvoorziening voor stroomafwaartse vismigratie	Tot dusver alleen laboratoriumproeven, maar potentieel voor grote wkc's en retrofitting van bestaande installaties	Etohydraulisch laboratoriumonderzoek	Inlaatrooster met 90 mm spijlfstand, f-CBR-BS en HBR-BS met 50 mm spijlfstand en elektrificatie	Kopvoorn, beekforel, aal	Resultaten deels gepubliceerd. Afronding gepland voor de zomer van 2025.	(+)	- Zie pilot Herrentöbeli (bovenstaande studie): mogelijke elektrificatie is ingepland bij de aanleg van de installatie - Problematiek van visschade door elektrificatie. Onderzoek aan de VAW gepland voor de winter	VAW; Anita Moldenhauer, Ismail Albayrak	doi://10.3850/IAHR-39WC2521716X202292 https://www.youtube.com/watch?v=...	bezig	deels	CH
3	FishPath: turbulente wervels om migratieroutes voor stroomafwaarts trekkende zalm en alen te creëren aan waterkrachtcentrales	Tot dusver alleen laboratoriumproeven, maar potentieel voor grote wkc's	Etohydraulisch laboratoriumonderzoek	Turbulente stroming gecreëerd door hindernissen voor de wkc Vortex Generator afstand: 14,5 cm, systeemhoek: 30°, stroomsnelheid: 0.3, 0.6 & 0.8 m/s	Beekforel, zalm, aal	Project is bezig, afronding waarschijnlijk in 2026 Voorlopige resultaten van proeven met levende vissen (Atlantische zalm smolts) laten tot 97% FGE zien	(+)	- Grootchalige tests in het Vattenfall-laboratorium in 2025, tests op prototypeschaal in de rivier de Mandal in Noorwegen in 2026	VAW; Ismail Albayrak	https://www.nina.no/fishpath	bezig	nee	CH
4	Haalbaarheidsonderzoek VBR plus wkc Bannwill (Aare)	450 m ³ /s (warmtekrachtkoppelingcentrale)	haalbaarheidsonderzoek						BAFU; Martin Huber Gysi BKW Energie AG; Sandra Krähenbühl	https://www.svw.ch/fileadmin/user_upload/18/18_PDF/WKW_BAN_Tech...	klaar	ja	CH
			Numerieke onderzoeken			Verlenging van de pijler in het bovenpand is noodzakelijk			VAW, ETZ Zürich	https://www.svw.ch/fileadmin/user_upload/18/18_PDF/WKW_BAN_Tech... isches_Vorproj... ekt_final_2403_20.pdf	klaar	ja	CH
			Gedragsbiologische onderzoeken met radiotelemetrie			Er zijn 108 vissen (37%) stroomafwaarts getrokken. Van de 292 gemerkte vissen zijn er 257 (88%) gedetecteerd met behulp van manual tracking.			FishConsulting	https://www.svw.ch/fileadmin/user_upload/18/18_PDF/WKW_BAN_Radiotelemetrische_Untersuchunge...	klaar	ja	CH
			Sensorvissen						TU Tallinn	https://www.svw.ch/fileadmin/user_upload/18/18_PDF/WKW_BAN_Sensordatenuntersuchungen_vs_d... 230520.pdf	klaar	ja	CH

	Studie	Ontwerpcapaciteit	Type studie	Hydraulische kenmerken van de visbeschermingsvoorziening	Onderzochte vissoorten	Onderzoeksresultaten	Beoordeling van het succes/potentieel van de maatregel (+) positief (-) negatief (o) geen duidelijke tendens	Behoeft aan nader onderzoek	Deelnemende instellingen/contact	Link	Status (bezig of klaar)	Gepubliceerd (ja/nee)	Land
5	Haalbaarheidsonderzoek VBR plus wkc Wildegg-Brugg (Aare)	420 m³/s (wkc op omleidingskanaal)	Haalbaarheidsonderzoek (numerieke onderzoeken)	Geplande configuratie: Rooster met een hoek van 31° op de as van het kanaal Spijlafstand van 50 mm						https://www.sv.ch/fileadmin/user_upload/site/PDF/KW/WB_2024_03_27_H-12248-Fachbeurteilung.pdf	klaar	ja	CH
			Gedragbiologische studie met akoestische telemetrie		Barbeel en andere soorten					BAFU; Martin Huber Gysi Axpo Power AG; Ricardo Mendez			
6	Pilotproject wkc Herrentöbeli (Thur)	11 m³/s	Aanleg en effectiviteitscontrole curved bar rack	f-CBR-BS, 37° aanstroomhoek, spijlafstand 25 mm	Forel & vlagzalm	Aanleg in 2022, vervolgens effectiviteitscontrole	in uitvoering	Elektrificatie van het geleidingsrooster in potentie mogelijk. (Momenteel niet gepland, omdat de kleine spijlafstanden een ongunstig elektrisch veld doen ontstaan met elektroden benedenstrooms en elektroden aan de voorkant van de spijlen duur om te	SAK. BAFU; Martin Huber Gysi		bezig	nee	CH
7	Wkc Dietikon (Limmat)	95 m³/s	Aanleg en effectiviteitscontrole horizontaal fijnrooster	Horizontaal fijnrooster, 45°, spijlafstand 20 mm	Diverse	Ruim een jaar geleden opgeleverd, gebruik en onderhoud zonder problemen. Biologische effectiviteitscontrole begint in 2023	(+) beheer Actuele hydraulische metingen door VAW		EKZ, BAFU; Martin Huber Gysi VAW, ETZ Zürich		bezig	nee	CH
8	Restafvoercentrale Rühlig (Aare)	40 m³/s	Aanleg en effectiviteitscontrole horizontaal fijnrooster	Horizontaal geleidingsrooster bijna evenwijdig met de stroomrichting van de rivier, bodemgeleidingswand (50 cm hoog), spijlafstand 20 mm	Diverse, 22 soorten, groot aandeel karperachtigen en baarzen bij de controles van de stroomafwaartse migratie	Sinds 2015 in gebruik, biologische effectiviteitscontrole in 2017 m.b.v. ankerkuil aan de bypass en Aris sonar. Helaas geen relatieve registratie vergeleken met het aantal vissen dat via de turbine of andere uittrekwegen stroomafwaarts is getrokken - Klein risico op letsel bij de stroomafwaartse migratie via de bypass - Goede geleiding door het rooster aan de bypass - De meeste (> 95%) stroomafwaarts getrokken vissen < 10 cm	(+) beheer (0) biologische effectiviteitscontrole		Axpo Power AG; Ricardo Mendez, WFN (Wasser, Fisch, Natur AG), Ökobüro; Martina Breitenstein	https://plattform-renaturierung.ch/wp-content/uploads/2019/01/20200714-Ru%CC%88chlig-Wiko-Fischabstieg.pdf			CH

	Studie	Ontwerpcapaciteit	Type studie	Hydraulische kenmerken van de visbeschermingsvoorziening	Onderzochte vissoorten	Onderzoeksresultaten	Beoordeling van het succes/potentieel van de maatregel (+) positief (-) negatief (o) geen duidelijke tendens	Behoeft aan nader onderzoek	Deelnemende instellingen/contact	Link	Status (bezig of klaar)	Gepubliceerd (ja/nee)	Land
9	Wkc Stroppel (Limmat)	33 m ³ /s	Aanleg en effectiviteitscontrole horizontaal fijnrooster	Horizontaal geleidingsrooster, 38° aanstroomhoek, bodemgeleidingsscherm, spijlafstand van 20 mm	Diverse, 28 soorten, groot aandeel karperachtigen en baarzen bij de controles van de stroomafwaartse migratie	Sinds 2013/2014 in gebruik, biologische effectiviteitscontrole in 2015-2017 m.b.v. ankerkuil aan de bypass, video-opnames voor het rooster en Aris sonar voor en achter het rooster. Helaas geen relatieve registratie vergeleken met het aantal vissen dat via de turbine of andere uittrekweg stroomafwaarts is getrokken: - De meeste (> 95%) stroomafwaarts getrokken vissen < 10 cm - Goede geleiding door het rooster - Stroomafwaartse migratieroute niet selectief op bepaalde soorten en lengtecategorieën	(+) beheer, maar uitlaat van de bypass aangepast (kromming verminderd) (+) biologische effectiviteitscontrole	https://www.mdpi.com/2073-4441/14/5/776/pdf?version=1646128343	Axpo Power AG; Ricardo Mendez	https://platform-rena.turien.ch/wp-content/uploads/2019/04/KWKS1_2018_09_04-Bericht-Erfolgskontrolle-Fischabstieg_inkl.-Anhang_final.pdf			CH
10	Geavanceerd bypass-systeem voor de stroomafwaartse vismigratie van belangrijke Europese paraplu-soorten (Advanced Bypass System for Downstream Migration of European Key Umbrella Fish Species (ABSYS))	Tot dusver alleen laboratoriumproeven, maar potentieel voor grote wkc's en retrofitting van bestaande installaties	Etohydraulisch laboratoriumonderzoek	Inlaatrooster met 90 mm spijlafstand, f-CBR-BS en HBR-BS met 50 mm spijlafstand	Gestippelde alver, barbeel, beekforel, aal, zalm	Afronding gepland voor het najaar van 2027		Zie pilot Herrentöbeli (bovenstaande studie); mogelijke elektrificatie is ingepland bij de aanleg van de installatie	VAW; Ismail Albayrak, Yuhao Yan	https://www.ethz.ch/en/research/hydraulic-engineering/research/	bezig	nee	CH
11	Stroomafwaartse migratie van schieralen uit de Rur naar de wkc Lith (Maas)	± 400 m ³ /s	Gedragbiologische studie met NEDAP-transponders	-	Schieraal	2018-2019: 91% van de alen migreert stroomafwaarts via de wkc Lith bij Mioromat-alarm 2019-2020: 56% van de alen migreert stroomafwaarts bij Mioromat-alarm Migromat voorspelt de aaluittrek niet elk jaar met dezelfde betrouwbaarheid Slechts 8 van 24 alen overleefden de uittrek via de wkc/stuw Lith	(+) (-)		Rijkswaterstaat; André Breukelaar ATKB; Tim Vriese		klaar		NL
12	EWS (Migromat) Stroomafwaartse migratie van schieralen Lith en Linne (Maas) en Maurik (Rijn)	± 400 m ³ /s	Monitoring, telemetrie (NEDAP transponders)		Schieraal	Voor wkc Lith zou in die twee meetjaren 60% en 32% van de alen zijn omgeleid (sterftereductie) over de stuw als de wkc twee nachten had stilgelegd na een Migromat-alarm. Er is echter een omleiding van minimaal 85% nodig om de norm van max 5% sterfte te halen. Dit experiment wordt daarom als mislukt beschouwd en de Migromat wordt niet verder ingezet in de toekomst. Ook "Paling over de Dijk" is te weinig effectief en te onbetrouwbaar gebleken in de Maas bij Lith. Op basis van wat nu bekend is, is de conclusie dat de Migromat® als EWS niet voldoet om de sterfthenorm op de Maas elk jaar te halen. De Migromat blijkt niet betrouwbaar de schieraalmigratie te voorspellen bij Maurik, Lith en Linne. Dit blijkt uit de continue monitoring van de schieraal die door de wkc migreerde gedurende de periode 1 aug-31 jan gedurende twee meetjaren per wkc.			Samengevat in: Microsoft Word - 20200920_rap01_de_finitief_29_9_2021.docx (waterecologie.nl)	gepubliceerd	ja	NL	

Studie	Ontwerpcapaciteit	Type studie	Hydraulische kenmerken van de visbeschermingsvoorziening	Onderzochte vissoorten	Onderzoeksresultaten	Beoordeling van het succes/potentieel van de maatregel (+) positief (-) negatief (o) geen duidelijke tendens	Behoeftte aan nader onderzoek	Deelnemende instellingen/contact	Link	Status (bezig of klaar)	Gepubliceerd (ja/nee)	Land
13	EWS Stroomafwaartse migratie zalmsmolts Maas (Lith)	± 400 m³/s	Modelontwikkeling o.b.v. monitoringsdata 2018/2019 bij Lith. Early Warning System	Zalmsmolts	Eenvoudig model dat uitgaat van drie elementen: de temperatuur van het Maaswater, de gemiddelde duur van de migratie van molts op de Maas en de constatering dat molts voornamelijk in de nacht de wkc te Lith passeren. Een voorzichtige conclusie kan zijn dat het EWS voor molts in de huidige situatie kan voldoen, maar dat deze zeer waarschijnlijk niet toekomstbestendig is (nu alleen effectief voor in de Grensmaas uitgezette molts en niet voor molts uit Ourthe, Berwijn, Geul, Roer). Voor lange termijn lijkt model van Teichert et al. (2020a) Life4Fish beter geschikt. Er is bij Wkc Linne gekeken of een alternatief voorspellingsmodel voor schieraalmigratie, namelijk dat van Teichert et al., 2020 (Life4Fish project), beter presteert dan de Migromat. Dit model is gebaseerd op de toename van de rivierafvoer. Dit blijkt inderdaad zo te zijn. Uit de berekening voor de twee meetjaren blijkt dat 82% en 62% van de alen zou worden omgeleid over de stuw door 's nachts stil te liggen bij een alarm van Teichert. Voor de Migromat was dit percentage omleiding veel lager, namelijk 21% en 9%. Helaas is het voorspellingsmodel van Teichert nog niet goed genoeg om elk jaar onder de 5% sterfte te blijven. Daarvoor is minimaal 75% omleiding nodig.			Rijkswaterstaat; Marjoke Muller/Harriet Bakker ATKB; Tim Vriese	Vis, H., J.H. Kemper & T. da Graça 2020. Definitief Early Warning System en protocol voor de smoltmigratie bij WKC Alphen. VisAdvies BV, Nieuwegein. VA2019_3 1. 29, pag. Samengevat in: Microsoft Word - 20200920_rap01_definitief_29_9_2021.docx (waterscolmie.nl)	klaar	ja	NL
14	EWS stroomafwaartse migratie schieraal Linne (Maas)	± 400 m³/s	Modeltoepassing	Schieraal	Effectiviteit van elektrische schermen bij alen: 46%; Bij zalmsmolts heeft het scherm waarschijnlijk veeleer een negatief effect		Onderzoek naar het effect van elektrische schermen op het aedra van molts			?	?	?
15	Bescherming van molts en schieralen aan de wkc's in de Maas (Wallonië)		Gedragbiologische studies	Schieraal Zalmsmolt	Effectiviteit van de voorspelling van de uittrek van schieralen op basis van modellen en stopzetten van de turbines: 50% Luchtbellenscherm heeft geen afwijzend effect op alen en was al defect na een heel korte tijd	(-)	Effect van aangepaste overlaat op de smoltuittrek wordt nader onderzocht	Luminus; P. Theunissen Universiteit Luik; S. Erpicum Profish; Sonny Damien Universiteit Namen; P. Kestemont EDF R&D; Eric De Oliveira Project LIFE4FISH		bezig	bezig	BE

Studie	Ontwerpcapaciteit	Type studie	Hydraulische kenmerken van de visbeschermingsvoorziening	Onderzochte vissoorten	Onderzoeksresultaten	Beoordeling van het succes/potentieel van de maatregel (+) positief (-) negatief (o) geen duidelijke tendens	Behoeftte aan nader onderzoek	Deelnemende instellingen/contact	Link	Status (bezig of klaar)	Gepubliceerd (ja/nee)	Land
					Overlaat van 20-30 cm in Lixhe bereikt voor smolts een vergelijkbare effectiviteit als de bypass in Namen							
16	Tuilières - strekdam voor de uittrek van zalm-smolts	320 m ³ /s	Gedragsbiologische studies met radiotelemetrie	Strekdam (4,07 m), hellingshoek ~43° in verhouding tot de centrale • 3 vakken gescheiden door twee pijlers (phi 90 cm) • 3 bypasses: 2 in de pijlers (2,5 m ³ /s + rooster e=13cm) en 1 stuwklep (21 m ³ /s) Loodrechte aansluiting op de wkc (boomeranq)	Zalmsmolt	<ul style="list-style-type: none"> • Ontsnappingspercentage (passage via de bypass) afhankelijk van het debiet door de turbines (75% voor Q<175 m³/s en anders 20%) • Stuwklep wordt duidelijk vaker gekozen dan de secundaire bypasses • 20 tot 38 % van de smolts arriveert direct bij de stuwklep • Smolts die bij de strekdam arriveren gebruiken de vakken 2 en 3 • De strekdam geleidt de vissen zeer goed bij Q<100 m³/s, maar slecht bij Q>200 m³/s (74% van de smolts dompelt onder) • Smolts die onder de strekdam door zwemmen draaien niet meer om <p>Conclusies:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gedragsbarrière: niet geschikt voor alle soorten • Het gedrag van de soorten in alle richtingen moet goed bekend zijn • Een zeer goed overzicht van de stromingsomstandigheden van de locatie en van alle afvoeren die tijdens de stroomafwaartse migratieperiode voorkomen is noodzakelijk • De geometrie van de strekdam dient het volgende te garanderen: • Duikdiepte > zwemdiepte van de smolts, maar het is niet mogelijk om een standaarddiepte vast te leggen • Snelheid onder de strekdam < gemiddelde snelheid van de smolts (50- 60 cm/s) • Aan het oppervlak, bovenstrooms van de strekdam, tangentiële snelheid > normale snelheid (bij Tuilières Vt=20 cm/s) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aantal, noodzaak en effectiviteit van de secundaire bypasses • Beheer van drijfvuil ter hoogte van de secundaire bypasses, omdat strekdam = harrière-effect • Veiligheid van de vissen in het benedenpand van het kunstwerk in de opvangvoorzieningen van de bypass • Gevolgen voor het stuwbeheer (prestatieverlies geschat 30 cm) • Wisselwerkingen met de stroomopwaartse migratievoorzieningen • Wisselwerkingen met predatoren (meervallen) 	EDF; Lionel Dumond		klaar	?	FR
17	Baigts-de-Béarn (64) - stroomafwaartse migratievoorziening aal - test van bypasses en fijnroosters	90 (wkc) + 12 m ³ /s (microcentrale)	Radiotelemetrie: migratieroutes (Meerdere onderzoeken en installaties in de loop der jaren: 2001/2005/2010)	Roosters met spijlafstand van 30 mm voor de hoofdcentrale; roosters met spijlafstand van 20 mm voor de microcentrale. Bodembypass (7 m) en/of oppervlaktebypass + 3 bypasses aan de microcentrale (2 aan het oppervlak, 1 aan de bodem)	Aal	<p>Bypasses + fijnroosters + overlaat: 92% ontsnapping voor grote vissen (2006)</p> <p>Hoe groot de dieren zijn, maar ook het debiet/de watertoevoer hebben een effect</p>	+	ONEMA EDF O&O				FR
18	Gave de Pau - aal en voorzieningen: stroomafwaartse vis migratie (2007-2010) rapport 2013	28-110 m ³ /s (6 verschillende wkc's)	Visbiologische studie met radiotelemetrie	Schuine en loodrechte roosterschermen, verschillende maten en tussenruimtes (van 2 cm tot 9,2 cm) Bypasses voor verschillende afvoeren	Aal	<p>De bypasses worden weinig gebruikt</p> <p>Sommige spijlafstanden beperken de passage, afhankelijk van hoe groot de dieren zijn: fysieke barrière</p> <p>De opbouw van de voorziening en vooral de ligging van de overlaten en hun hellingshoek werken de migratie van aalen in de hand.</p>		ONEMA / IRSTEA EDF				FR
19	Test voor de beoordeling van de schade die jonge salmoniden en schieralen oplopen bij hun stroomafwaartse migratie door de VLH-turbines in de Tarn bij Millau (2008)	20 m ³ /s	Studie naar de impact van een VLH-turbine	Visveilige VLH-turbines	Zalm	<p>Uitgestelde sterfte verwaarloosbaar</p> <p>Smoltmortaliteit geschat op 3,1%</p>		ECOGEA				FR

	Studie	Ontwerpcapaciteit	Type studie	Hydraulische kenmerken van de visbeschermingsvoorziening	Onderzochte vissoorten	Onderzoeksresultaten	Beoordeling van het succes/potentieel van de maatregel (+) positief (-) negatief (o) geen duidelijke tendens	Behoeftte aan nader onderzoek	Deelnemende instellingen/contact	Link	Status (bezig of klaar)	Gepubliceerd (ja/nee)	Land
20	De stroomafwaartse migratie van diadrome trekvis aan kleine wkc's	< 100 m ³ /s	Nota over aan te leggen oplossingen voor de stroomafwaartse vismigratie: op basis van de actuele technische en biologische kennis (2012) + geleerde lessen						ONEMA DIR Sud-Ouest & ONEMA Pôle Eco-hydraulique				FR
21	HDX-Wupper-Monitoring	14 m ³ /s (Auerkotten)	Gedragbiologische studies met radiotelemetrie	Auerkotten: spijlafstand horizontaal rooster: 12 mm; lengte schuin rooster: 26,25 m; aanstroomhoek 30°; 3 bypasses: aan de bodem, aan het oppervlak, smoltbypass	Schieraal, zalmsmolt, "wilde vis" (Wilde vis = beekforel, vlagzalm, sneep, barbeel, kopvoorn, serpel, baars, zeeforel, rivierprik, snoek, bronforel, regenboogforel, blankvoorn)	<ul style="list-style-type: none"> 80% van de stroomafwaarts trekkende vissen volgt de hoofdstroming naar de centrale, de migratieroute via de stuw in het omleidingskanaal speelt een minder rol Het horizontale rooster (spijlafstand: 12 mm) vervult zijn beschermende functie tegenover uittrekkende alen en zalmsmolts. De meest efficiënte uittekroude is de weg via de geopende spuiscuif. Een aan de uittekroude van zalmsmolts aangepaste openingsmodus voor de spuiscuif doet het aantal stroomafwaartse passages toenemen. Even goed gebruikte uittekroudes zijn de verticaal slot-passage en de oppervlaktebypass. De bodembypass en de smoltbypass worden minder goed gebruikt. 	(+)	Districtsregering Düsseldorf (NRW): Britta Wöllecke	https://www.brd.nrw.de/themen/umwelt-natur/wasserwirtschaft/oberflaechengewasserswasserbuch-und-wasserrahmenrichtlinie/durchgaengigkeit-fischschutz/fischmonitoring	klaar	ja	DE	
22	Visbescherming en stroomafwaartse vismigratie aan de pilot Unkelmühle	27 m ³ /s	Vangstmonitoring, telemetrisch onderzoek	Verticaal rooster helingshoek 27°, 3 roosterschermen, spijlafstand: 10 mm; 3 bypasses: aan het oppervlak, 3 aalgoten en bottom gallery (aalgoot en bottom gallery monden uit in het monitoringsbekken)	Zalmsmolt, aal, "wilde vis" (Wilde vis = beekforel, barbeel, elrits, kopvoorn, sneep, alver, driedoornige stekelbaars, gestippelde alver, blankvoorn, riviergrondel, serpel, vlagzalm, baars, regenboogforel, zeelt, biermpje, karper, bittervoorn, brasem, pos, prik, bronforel, meerval, blauwneus)	<ul style="list-style-type: none"> Een rooster met druppelprofiel veroorzaakt minder energieverlies dan een rooster met Y-profiel. Het 10 mm-fijnrooster biedt de geteste vismaten (vanaf ca. 13 cm totale lengte voor zalmsmolts, alen vanaf 60 cm totale lengte*) 100% effectieve bescherming tegen een passage door de turbines. In het structuurarme en diepe, opgestuwde water gaan er veel meer stroomafwaarts trekkende zalmsmolts verloren dan op het stroomopwaartse gelegen, vrij afstromende referentietraject (vrij afstromend: 0,5% - 1,6%; gestuwd: 4,4% - 17,1%). De belangrijkste stroomafwaartse migratieroute is voor schieralen de geopende stuwklep en voor zalmsmolts zijn het de oppervlaktebypasses. 		Er is meer onderzoek nodig naar de effecten in gestuwde zones (predatie, desoriëntatie, tijverlies bij de stroomafwaartse migratie)	Districtsregering Keulen (NRW): Thomas Wilke	klaar		DE	
23	Swimway Vechte		Gedragbiologische studies met radiotelemetrie met als doel om de vismigratie van de bron naar de zee te verbeteren		Zeeforel, winde, kwabaal, houting, rivierprik, schieraal	Project is bezig (tot 2023)			Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz: Karin Camara		bezig		DE
24	Classificatie van de vispasseerbaarheid van de rivieren in NRW	-	Ontwikkeling van een methode voor de classificatie van de vispasseerbaarheid van de rivieren in Noordrijn-Westfalen (inclusief literatuurstudie)			Project is bezig, afronding gepland voor medio 2024			Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz: Karin Camara, Sebastian Emde, Beate Bierschenk		bezig		DE
25	LAWA-project: Ontwikkelen en testen van criteria voor de beoordeling van de passeerbaarheid van kunstwerken (LFP O 3.19; in opdracht van de expertgroep "Hydromorfologie" van het "Comité oppervlaktewateren en kustwateren" van de LAWA (samenwerkingsverband "water" van de Duitse deelstaten en de Duitse Bond))	-	Ontwikkeling van een handreiking voor de classificatie van de vispasseerbaarheid van rivieren			Project is bezig, afronding gepland voor eind 2022			Umweltbundesamt: Stephan Naumann		bezig		DE

FGE = Fish guidance efficiency = N_{bypass}/N_{total} FPE = Fish protection efficiency = $(N_{bypass} + N_{refusal})/N_{total}$