

Vispasseerbaarheid stuwcomplexen

Kennisvragen beantwoorden en Analysetool ontwikkelen



Vispasseerbaarheid stuwcomplexen
Kennisvragen beantwoorden en Analysetool ontwikkelen

Auteur(s)
Erik Ruijgh
Jurjen de Jong
Nienke Kramer

Vispasseerbaarheid stuwcomplexen

Kennisvragen beantwoorden en Analysetool ontwikkelen




Opdrachtgever	Rijkswaterstaat
Contactpersoon	Hans Brinkhof, Roel van der Schee
Referenties	Opdracht 30 oktober 2018 (RWS-2018/41516) voor de uitvoering van het project "Onderzoek optimale vismigratie stroomop- en afwaarts door barrières van zomerdijk tot zomerdijk".
Trefwoorden	Vismigratie, Stuwcomplexen, Verliesposten, Maas, Nederrijn

Documentgegevens

Versie	1.2
Datum	12-05-2021
Projectnummer	11201844-003
Document ID	11201844-003-HYE-0002
Pagina's	117
Status	definitief

Auteur(s)

	Erik Ruijgh, Jurjen de Jong, Nienke Kramer	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.2	Erik Ruijgh 	Tom Buijse 	Bas van Vossen 	

In vergelijking tot versie 1.0 zijn in deze versie 1.2 de resultaten verwerkt van een externe review van het rapport door 3 externe deskundigen, namelijk Jan Kranenburg (in samenwerking met Jeroen Tummers) – RAVON, Johan Coeck – INBO, en Erwin Winter – WUR. Dit heeft diverse plaatsen in het rapport geleid tot aanvullingen en correcties. Graag willen we de externe reviewers hier bedanken voor hun waardevolle bijdrage aan dit rapport!

Samenvatting

Vismigratie vormt een belangrijk aspect van het functioneren van het ecosysteem in het hoofdwatersysteem van Rijkswaterstaat. Slechte passeerbaarheid voor vis van barrières zoals stuwcomplexen is een risico voor het in stand houden van vispopulaties. Het passeerbaar maken van deze barrières, en daarmee het herstel van de longitudinale connectiviteit in de rivieren, speelt een sleutelrol in het herstel van de populaties van migrerende vissoorten.

In de literatuur is allerlei informatie beschikbaar over de bijdrage van de verschillende verliesposten bij de stuwcomplexen – zowel in stroomopwaartse als in stroomafwaartse richting – voor verschillende vissoorten/gildes. Veel van deze informatie is gebaseerd op meetgegevens bij een specifiek object, voor een specifieke soort, op een bepaald moment, onder bepaalde omstandigheden. De bijlages van dit rapport geven een overzicht van deze informatie.

Om deze informatie op een gestructureerde wijze te verwerken, en op een generieke wijze toe te passen voor een watersysteem met diverse stuwcomplexen, zoals bijvoorbeeld de Maas en de Nederrijn, is een flexibel analysetool ontwikkeld. Dit analyse tool biedt de mogelijkheid om de gekozen waardes voor de cruciale parameters te variëren, daarmee de verliezen te berekenen van een soort, voor de afzonderlijke objecten binnen de stuwcomplexen, alsmede het totale verlies bij een stuwcomplex, en het verlies in het volledige watersysteem.

Het analysetool is in deze studie toegepast voor de Maas en Nederrijn. Daarbij is de beschikbare kennis over de diverse objecten binnen de stuwcomplexen verwerkt, inclusief een schatting van de verdeling van de afvoer over de verschillende objecten. Daarnaast is informatie over de migratiekalenders en de verliezen bij de objecten voor verschillende voorbeeldsoorten opgenomen. Ook zijn de verliezen in de stuwpannen – tussen de stuwcomplexen – in de berekeningen opgenomen. De eindgebruikers van het analysetool kunnen deze parameters per stuwcomplex specificeren.

Het analysetool geeft inzicht in de bijdrage van de diverse verliesposten bij de verschillende objecten in een stuwcomplex, en in de stuwpannen. Daarmee kunnen de effecten van maatregelen gericht op het verbeteren van de vispasseerbaarheid worden geanalyseerd. Eén van die mogelijke maatregelen die zijn beschouwd betrof de aanleg van een stuwpasserende Nevengeul-2.0, dus een nevengeul die van het bovenstrooms pand naar het benedenstrooms pand stroomt. Het primaire doel van een Nevengeul-2.0 is om stromend habitat te creëren. Het aanvullende effect hiervan op de stroomafwaartse passeerbaarheid van een stuwcomplex blijkt beperkt te zijn; in de stroomopwaartse richting kan een Nevengeul-2.0 vooral bij een relatief lage rivierafvoer wel een bijdrage leveren aan de verbeteren van de passeerbaarheid (mits de ingang goed vindbaar is).

In dit project heeft Deltares (als ontwikkelaar) het tool toegepast om de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen op de Maas en Nederrijn nader te analyseren. Andere gespecialiseerde partijen (zoals adviesbureaus en eventueel universiteiten) kunnen het analysetool ook gebruiken. Het tool zal dus openbaar beschikbaar worden gemaakt. Daarbij is de gedachte overigens niet om een volledig robuust en gebruikersvriendelijk tool te ontwikkelen, geschikt voor willekeurige toepassingen en gebruikers. De doelgroep bestaat uit gespecialiseerde deskundigen die binnen hun eigen expertise en verantwoordelijkheden desgewenst gebruik kunnen maken van het analysetool. In de toekomst kunnen nieuwe inzichten en aanvullende kennis in het analysetool worden opgenomen, zodat die op een gestructureerde wijze beschikbaar is voor alle betrokkenen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Vismigratie en Stuwcomplexen	8
1.2	Stuwcomplexen als onderdeel verschillende programma's RWS	9
1.3	Stuurgroep Vismigratie	10
2	Kennisvragen	11
2.1	Focus	11
2.2	Detailniveau kennisvragen	12
2.3	Literatuur	13
3	Analysetool Vispasseerbaarheid Stuwcomplexen	14
3.1	Inleiding	14
3.1.1	Achtergrond en doelstelling analysetool	14
3.1.2	Opzet analysetool	15
3.1.3	Toepassing in Excel	15
3.1.4	Toepassing en toekomst	15
3.2	Tabbladen "Algemene invoergegevens"	17
3.2.1	Afvoerverdeling rivier	17
3.2.2	Migratiekalender	17
3.2.3	Verliesposten stuwcomplexen en stuwpannen	19
3.2.4	Schematisatie stuwcomplexen	21
3.3	Tabbladen "Berekeningen stuwcomplexen"	22
3.3.1	Afvoerverdeling stuwcomplexen	22
3.3.2	Passeerroutes stuwcomplexen	23
3.3.3	Passeerbaarheid	25
3.4	Dashboards	26
3.4.1	Dashboard stuwcomplexen	26
3.4.2	Dashboard riviertakken	26
4	Gevoeligheidsanalyse	28
4.1	Invoergegevens	28
4.2	Verliesposten	31
4.3	Maatregelen	34
4.4	Overig	38
5	Conclusies	41
6	Literatuur	43
A	Vismigratie in het watersysteem	48
A.1	Welke functies zijn er benoemd voor het watersysteem?	49
A.2	Wat is de seizoensvariatie van de afvoer?	52
A.2.1	Inleiding	52
A.2.2	Aanpak	52
A.2.3	Resultaat Eijsden	55
A.2.4	Resultaat Driel	56
A.2.5	Analyse dagafvoeren	57

A.3	Hoe ziet de migratiekalender er uit?	59
A.4	Welke informatie over verliesposten is uit de literatuur beschikbaar?	61
A.5	Welke stuwpannen zijn er in de Maas en Nederrijn, en welke verliesposten hebben we daar?	65
A.6	Uit welke objecten bestaan de stuwcomplexen op de Maas en de Nederrijn?	68
A.6.1	Maas	68
A.6.2	Rijntakken	70
B	Passeerbaarheid stuwcomplexen	72
B.1	Hoe is de verdeling van de afvoer over de verschillende objecten van de 10 stuwcomplexen?	73
B.1.1	Stuurprogramma	73
B.1.2	Bepaling schutdebiet	75
B.1.3	Afvoerverdeling bij stuwcomplexen	77
B.1.4	Concluderende figuren	78
B.2	Welke routes kan de vis nemen om de stuwcomplexen te passeren?	83
B.2.1	Stroomafwaarts	83
B.2.2	Stroomopwaarts	86
B.3	Hoe vertaalt zich dat naar de vispasseerbaarheid van het volledige stuwcomplex?	88
B.3.1	Stroomafwaarts	88
B.3.2	Stroomopwaarts	88
B.4	Welke mogelijkheden zijn er om de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen te verbeteren door de verdeling van de afvoer over de objecten aan te passen?	89
B.4.1	Stroomafwaarts	89
B.4.2	Stroomopwaarts	89
C	Inzoomen op de Nevengeul-2.0	90
C.1	Welke doelstellingen heeft een Nevengeul-2.0?	91
C.2	Met welke afvoer (m ³ /s) moeten we rekening houden voor een Nevengeul-2.0?	92
C.3	Wat is de (optimale/maximale) stroomsnelheid in een Nevengeul-2.0?	93
C.4	Hoe lang, breed en diep zou een Nevengeul-2.0 dan moeten worden?	93
C.5	Welke constructie is bovenstrooms nodig?	94
C.6	Welke constructie is benedenstrooms nodig?	94
C.6.1	Lokstroom	95
C.6.2	Sedimentatie	95
C.6.3	Scheepvaart	95
D	Inzoomen op de stuwen binnen het stuwcomplex	96
D.1	Wat zijn de hydraulische eigenschappen van de verschillende stuwtypes die voorkomen bij de 10 stuwcomplexen ?	97
D.1.1	Beschrijving stuw Borgharen en Lith: hefsluizen met overstortklep	97
D.1.2	Beschrijving stuw Linne, Roermond, Belfeld en Sambeek: Stoney schuiven met Poirée schotten	100
D.1.3	Beschrijving stuw Grave: wegklapbare jukken met wielschotten	103
D.1.4	Beschrijving stuw Driel, Amerongen en Hagestein: Vizierschuiven en cilinderschuiven	105
D.2	Wat zijn de limiterende waarden van verschillende hydraulische parameters van de verschillende typen stuwen voor (stroomafwaarts) passerende vis.	108
D.3	Hoe vertaalt zich dat naar vispasseerbaarheid van de stuwtypes?	110
D.3.1	Stroomafwaarts	110
D.3.2	Stroomopwaarts	110
D.4	Welke mogelijkheden zijn er om de hydraulische kenmerken van de stuwtypes aan te passen om de vispasseerbaarheid te verbeteren?	111
D.4.1	Stroomafwaarts	111
D.4.2	Stroomopwaarts	112

E	Gebruikerseisen	113
E.1	Wat is precies het doel van het te ontwikkelen tool?	113
E.2	Voor wie is het analysetool bedoeld?	114
E.3	Welke eisen stellen de eindgebruikers aan het analysetool?	115

1 Inleiding

1.1 Vismigratie en Stuwcomplexen

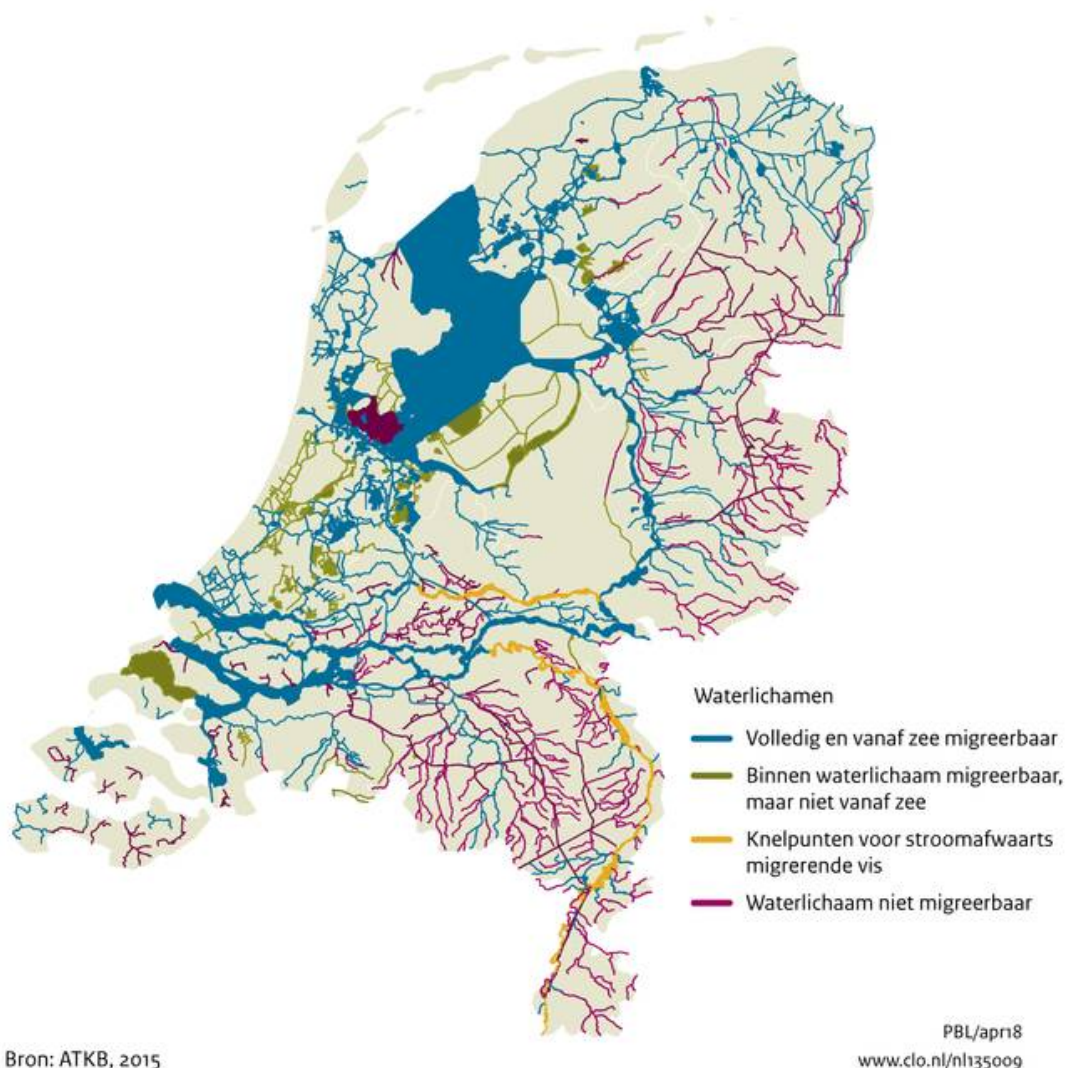
Vismigratie vormt een belangrijk aspect van het functioneren van het ecosysteem in het hoofdwatersysteem van Rijkswaterstaat. Slechte passeerbaarheid voor vis van barrières zoals stuwcomplexen is een risico voor het in stand houden van vispopulaties. Het passeerbaar maken van deze barrières, en daarmee het herstel van de longitudinale connectiviteit in de rivieren, speelt een sleutelrol in het herstel van de populaties van migrerende vissoorten (bv. PIANC, 2013, Coeck et al., 2019). Rijkswaterstaat heeft de afgelopen jaren bij alle stuwcomplexen vistrappen aangelegd om de stroomopwaartse vismigratie te faciliteren. Gebleken is dat ook de stroomafwaartse migratie aanvullende maatregelen vraagt bij de barrières in het watersysteem. Kroes et al (2018) geven een overzicht van alle knelpunten voor vismigratie in Nederland. Zie bijvoorbeeld Figuur 1.1, waaruit knelpunten voor de stroomafwaartse migratie op de Maas en Nederrijn blijken.

Over de mogelijke effecten van verschillende maatregelen bij stuwcomplexen op de vispasseerbaarheid bestaat voornamelijk nog geen eenduidig beeld. Tegen deze achtergrond heeft RWS aan Deltares op 30 oktober 2018 (RWS-2018/41516) opdracht verleend voor de uitvoering van het project “Onderzoek optimale vismigratie stroomop- en afwaarts door barrières van zomerdijk tot zomerdijk”. De eerste versie van het (concept) Plan van Aanpak (PvA) voor de uitvoering van het project (versie 0.1) is op 18 december 2018 besproken met de Stuurgroep van RWS (zie paragraaf 1.3), en vervolgens is op 12 februari 2019 versie 1.0 van het PvA besproken. De uiteindelijke versie 1.1 (Ruijgh, 2019) vormt de definitieve versie van het PvA.

De uitvoering van dit project verliep parallel aan die van het CIP-project ¹⁾ Nevengeul-2.0, waarvoor Rijkswaterstaat apart opdracht heeft verleend. Anders dan een ‘klassieke’ nevengeul in een uiterwaard, is een Nevengeul-2.0 stuwpasserend en verbindt deze het bovenstroomse pand en het benedenstroomse pand. Het primaire doel van een Nevengeul-2.0 is om stromend habitat te creëren. In het kader van het CIP-project zijn twee bijeenkomsten georganiseerd (‘Hackathon’ in Delft op 15 oktober 2019 en ‘Belvédère Atelier’ in Maastricht op 13 februari 2020) met diverse deskundigen over de mogelijke toepassing van een Nevengeul-2.0. Van beide bijeenkomsten is een verslag opgesteld (Ruijgh en Brinkhof, 2019 en 2020). De resultaten van het CIP-project zijn volledig afgestemd en geïntegreerd met het voorliggend project. Bijlage C gaat in detail in op de Nevengeul-2.0.

In de eerste fase van het project zijn de kennisvragen geïnventariseerd en deze zijn vastgelegd in het PvA (Ruijgh, 2019). Deze kennisvragen hebben betrekking op verschillende schaalniveaus (namelijk het watersysteem, de stuwcomplexen, de Nevengeul-2.0 en de stuwen). Hoofdstuk 2 beschrijft de kennisvragen uit het PvA; de Bijlages van dit rapport gaan inhoudelijk in op de beantwoording van deze kennisvragen. De verzamelde kennis vormt de benodigde input voor de ontwikkeling van het Analysetool Vispasseerbaarheid Stuwcomplexen, zoals beschreven in Hoofdstuk 3. Met dit analysetool kunnen de mogelijke effecten van eventuele maatregelen bij de stuwcomplexen op de passeerbaarheid voor vissen worden geanalyseerd. Hoofdstuk 4 gaat in op de resultaten van een globale gevoeligheidsanalyse die met het analysetool is uitgevoerd. De resultaten van deze analyse bieden informatie over de gevoeligheid van de berekende effecten voor verschillende invoergegevens. Met deze informatie kan in de toekomst gericht verder gewerkt worden aan het verbeteren van de nauwkeurigheid van het analysetool. Daarnaast biedt de analyse een eerste inschatting van de mogelijke effecten van maatregelen om de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen in de Maas en Nederrijn te verbeteren. Tenslotte zijn in Hoofdstuk 5 de conclusies en aanbevelingen uit deze studie opgenomen.

¹⁾ CIP staat voor Corporate Innovation Program van RWS.



Figuur 1.1 Landelijk overzicht van de migratiemogelijkheden in de KRW waterlichamen (overgenomen van PBL-website, en Kroes et al, 2018.)

1.2 Stuwcomplexen als onderdeel verschillende programma's RWS

Rijkswaterstaat werkt momenteel aan een aantal programma's die (mede) betrekking tot de stuwcomplexen op de Maas en Nederrijn, zoals:

Programma V&R: Vervanging en Renovatie

De komende jaren is een aanzienlijk deel van de infrastructuur van Rijkswaterstaat – zoals de stuwen op de Maas en Nederrijn – toe aan (grootschalige) renovatie of volledige vervanging. Het Prognoserapport (RWS, 2017) geeft een (eerste, ruwe) inventarisatie van de benodigde vervanging en renovatie van de infrastructuur die in beheer is van Rijkswaterstaat, plus een inschatting van het benodigde budget daarvoor. In de loop van 2020 zal een update van het Prognoserapport beschikbaar komen. De komende jaren zal naar verwachting – naast de inschatting van het einde van de technische levensduur van de infrastructuur – ook een inschatting worden gemaakt van het einde van de functionele levensduur.

In het kader van V&R zal stuw Grave in 2028 worden vervangen. De vervanging van de stuwen van Sambeek, Belfeld, Roermond en Linne staat op het programma voor 2035.

Programma Implementatie van de KRW

In het kader van de implementatie van de Kaderrichtlijn Water zal Rijkswaterstaat een pakket aan maatregelen uitvoeren in het hoofdwatersysteem. Verschillende aspecten van het pakket aan maatregelen worden momenteel onderzocht door Antea, Arcadis en Deltares. Een deel van deze KRW-maatregelen heeft ook betrekking op de Maas en Nederrijn, en de stuwcomplexen in deze rivieren. De combinatie van de KRW met V&R biedt mogelijkheden om maatregelen op een efficiënte(re) manier te implementeren.

Programma Energietransitie

De energietransitie in Nederland vormt een grote en brede opgave waaraan ook Rijkswaterstaat haar bijdrage wil leveren. Met name de winning van energie uit water biedt mogelijkheden; daarbij kan worden gedacht aan waterkracht en de winning van thermische energie uit water ten behoeve van het energiegebruik van RWS. Stuwcomplexen vormen hiervoor in principe een goede locatie, al moeten de voordelen qua energie natuurlijk afgewogen worden tegen de nadelen qua vis.

Programma Integraal Rivier Management (IRM)

Het Programma Integraal Rivier Management (IRM) is gericht op de onderlinge afstemming van de verschillende programma's binnen Rijkswaterstaat. Binnen dit programma worden de kansen voor de combinatie van doelstellingen en maatregelen in beeld gebracht. Omdat de stuwcomplexen in de regel meerdere verschillende functies vervullen, biedt de uitvoering van het IRM programma bij uitstek kansen om ook de doelstellingen van andere programma's te realiseren.

1.3 Stuurgroep Vismigratie

Voor de begeleiding van de uitvoering van het project is een stuurgroep opgezet onder leiding van Roel van der Schee. Deze stuurgroep heeft gedurende de uitvoering van het project overlegd op:

1. *vond plaats vóór de start van het project*
2. 18 december 2018 in Utrecht
3. 12 februari 2019 in Arnhem
4. 9 juli 2019 in Arnhem
5. 29 oktober 2019 in Utrecht
6. 14 januari 2020 in Den Bosch
7. 2 april 2020 als video-meeting i.v.m. Corona virus
8. 6 mei 2021 als video meeting i.v.m. Corona virus

De stuurgroep bestond uit de volgende deelnemers (in wisselende samenstelling):

- Roel van der Schee (vz) (RWS – PVP Midden Nederland)
- Hans Brinkhof (RWS – PPO ZN)
- Marjoke Muller (RWS – WVl)
- Eddy Lammens (RWS – WVl)
- André Breukelaar (RWS – WVl)
- Harriet Bakker (RWS – Zuid Nederland)
- Marja Hamilton (RWS – Oost Nederland, tot juli 2019)
- Marco Tijnagel (RWS – Oost Nederland, vanaf juli 2019)
- Marloes Baijens (RWS – PPO / RWS-ontwerpt)
- Kees Roelse (RWS – Midden Nederland)
- Jos Wieggers (RWS – PPO)
- Robert Alers (RWS – Midden Nederland)
- Erik Ruijgh (Deltares)

2 Kennisvragen

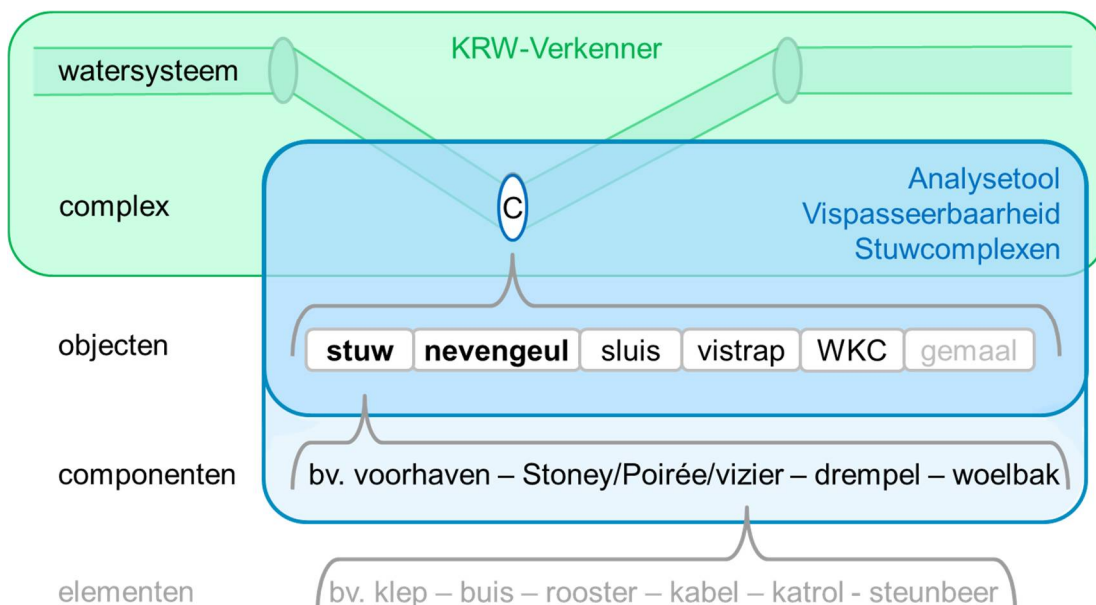
2.1 Focus

Het onderzoek richt zich op de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen in de Maas en Nederrijn. De stuwcomplexen vormen een onderdeel van het watersysteem, en elk complex bestaat uit een aantal objecten. Per object wordt daarbij onderscheid gemaakt in componenten, en per component wordt onderscheid gemaakt in elementen. Dit onderscheid is gebaseerd op de Basisspecificaties Rijkswateren (RWS, 2015 en 2017). Zie ook Figuur 2.1

De vispasseerbaarheid van het stuwcomplex (de volledige barrière) is afhankelijk van de vispasseerbaarheid van de opgenomen objecten. De focus in het huidige project ligt op de invloed van de (objecten) stuw en Nevengeul-2.0 op de vispasseerbaarheid van het volledige stuwcomplex. Daarbij worden ook andere objecten (vistrap, sluis, WKC) beschouwd, gebruik makend van de beschikbare informatie. Een gemaal kan ook een onderdeel vormen van een barrière, maar is voornamelijk buiten beschouwing gelaten.

De centrale doelstelling van het Analysetool Vispasseerbaarheid Stuwcomplexen is om de vispasseerbaarheid (in beide richtingen) van een individueel stuwcomplex/barrière (7 op de Maas en 3 op de Nederrijn) te analyseren. De vispasseerbaarheid van alle stuwcomplexen samen kan in de context van de vismigratie en ecologie in het volledige watersysteem eventueel nader worden onderzocht met de KRW-Verkenner. De afstemming met de KRW-Verkenner is in Figuur 2.1 weergegeven.

Per object worden verschillende componenten onderscheiden, en per component verschillende elementen. Het huidige project beschouwt wel de componenten van de objecten stuw en Nevengeul-2.0; voor de overige objecten wordt in het huidige project geen nader onderscheid gemaakt. Ook de elementen worden in het huidige project niet nader beschouwd.



Figuur 2.1 Schematische weergave van de scope van het Analysetool Vispasseerbaarheid Stuwcomplexen, in relatie tot de KRW-Verkenner en het begrippenkader uit Basisspecificaties Rijkswateren (RWS, 2015/2017).

2.2 Detailniveau kennisvragen

In de eerste fase van het project is een aantal essentiële kennisvragen geïdentificeerd rond de vispasseerbaarheid van stuwcomplexen. Deze kennisvragen zijn beschreven in het Plan van Aanpak (Ruijgh, 2019). In de kennisvragen zijn drie verschillende detailniveaus onderscheiden, namelijk het niveau van het watersysteem, van het stuwcomplex en van de objecten Nevengeul-2.0 en stuw.

Op het detailniveau van het **watersysteem** (de Maas en de Nederrijn) zijn de volgende zes algemene kennisvragen geformuleerd:

- A.1 Welke functies zijn er benoemd voor het watersysteem?
- A.2 Wat is de seizoensvariatie van de afvoer?
- A.3 Hoe ziet de migratiekalender er uit?
- A.4 Welke informatie over verliesposten bij de stuwcomplexen is uit de literatuur beschikbaar?
- A.5 Welke stuwpannen zijn er in de Maas en Nederrijn, en welke informatie is beschikbaar over verliesposten in de stuwpannen?
- A.6 Uit welke objecten bestaan de stuwcomplexen in de Maas en de Nederrijn?

Deze zes algemene kennisvragen komen aan de orde in Bijlage A.

De kennisvragen rond de vispasseerbaarheid op het detailniveau van de **stuwcomplexen** komen aan de orde in Bijlage B. Het gaat daarbij om de volgende vier kennisvragen:

- B.1 Hoe is de verdeling van de afvoer over de verschillende objecten van de 10 stuwcomplexen?
- B.2 Welke routes kan de vis stroomop – en stroomafwaarts nemen om de stuwcomplexen te passeren?
- B.3 Hoe vertaalt zich dat naar de vispasseerbaarheid van het volledige stuwcomplex?
- B.4 Welke mogelijkheden zijn er om de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen te verbeteren, door de verdeling van de afvoer over de objecten aan te passen?

Tenslotte zoomen Bijlage C en Bijlage D in op de kennisvragen rond de vispasseerbaarheid van de **objecten** Nevengeul-2.0 en de stuwen binnen de stuwcomplexen. De volgende zes vragen zijn geformuleerd voor de Nevengeul- 2.0:

- C.1 Met welke afvoer moeten we rekening houden voor een Nevengeul-2.0?
- C.2 Wat is de maximale stroomsnelheid in een Nevengeul-2.0?
- C.3 Hoe lang, breed en diep zou een Nevengeul-2.0 dan moeten worden?
- C.4 Welke constructie is nodig bij de bovenstroomse instroming?
- C.5 Welke constructie is nodig bij de benedenstroomse uitstroming?
- C.6 Welke habitats moeten in de Nevengeul-2.0 beschikbaar komen?

En voor de stuwen binnen de stuwcomplexen zijn de volgende 4 kennisvragen geformuleerd:

- D.1 Wat zijn de hydraulische eigenschappen van de verschillende stuwtypes die voorkomen bij de 10 stuwcomplexen?
- D.2 Wat zijn de limiterende waarden van verschillende hydraulische parameters voor de (stroomafwaarts) migrerende vis?
- D.3 Hoe vertaalt zich dat naar de vispasseerbaarheid van de stuwtypes?
- D.4 Welke mogelijkheden zijn er om de hydraulische kenmerken van de stuwtypes aan te passen om de vispasseerbaarheid te verbeteren?

De kennis die met bovenstaande vragen is verzameld is verwerkt in het analysetool.

2.3 Literatuur

In de beantwoording van de kennisvragen is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de beschikbare literatuur uit Nederland en het buitenland, in combinatie met gesprekken met verschillende experts in Nederland. Er is zeer veel informatie beschikbaar in de (internationale) literatuur over vismigratie bij stuwen in rivieren, omdat deze problematiek over de hele wereld zeer actueel is. Zie ook Hoofdstuk 6.

In de literatuur zijn diverse detailstudies beschikbaar over de migratie van bepaalde vissoorten op specifieke locaties (zoals bijvoorbeeld Winter et al, 2005, Winter, 2006 en Winter, 2007). Daarnaast zijn verschillende overzichtsdocumenten beschikbaar. Voor het Nederlandse taalgebied hebben Kroes en Monden (2005) een toegankelijk overzicht opgesteld. Schmutz en Mielach (2013) hebben een vergelijkbaar overzichtsrapport opgesteld voor de Internationale Commissie voor de bescherming van de Donau (ICPDR). In Duitsland worden de rapporten van de DWA (2006 en 2014) en het handboek van Ebel (2018) algemeen beschouwd als standaardwerken. Ook in Amerika, Frankrijk, Engeland en Australië bestaat veel aandacht voor de problematiek rond vismigratie bij de grote stuwdammen, in combinatie met waterkrachtcentrales (zie bv. Goodwin et al, 2014).

3 Analysetool Vispasseerbaarheid Stuwcomplexen

3.1 Inleiding

3.1.1 Achtergrond en doelstelling analysetool

Binnen Rijkswaterstaat bestaat veel aandacht voor de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen op de Nederrijn en Maas. De implementatie van de Kaderrichtlijn Water en de noodzaak om de stuwcomplexen de komende jaren (decennia) te vervangen biedt de mogelijkheid om de huidige situatie qua vispasseerbaarheid te verbeteren.

In Nederland wordt voor ecologisch onderzoek naar het gedrag van trekvis in het hoofdwatersysteem gebruik gemaakt van telemetrie technieken (NEDAP). Uit dit onderzoek zijn gegevens en kennis beschikbaar gekomen op het niveau van watersystemen, maar het blijkt lastig om daarmee ook uitspraken te kunnen doen over het gedrag bij stuwcomplexen. Voor gedragsonderzoek van vissen bij objecten van stuwcomplexen zijn andere technieken bekend, zoals hoge frequentie akoestische telemetrie (bv. Martins et al, 2014), camera onderzoek (bv. Keeken et al, 2020) en PIT-telemetrie.

Bij het ontwerp van (hydraulische) constructies wordt vaak gebruik gemaakt van gedetailleerde en deterministische analyses, al dan niet in combinatie met de toepassing van de Best Bestaande Technieken (BBT). Voor testen van de visveiligheid van het ontwerp van pompen, vijzels en drukturbines is een (ontwerp) NEN-norm opgesteld (NEN-8775, 2018). Voor de vertaling hiervan naar maatregelen bij stuwcomplexen gericht op het verbeteren van de vispasseerbaarheid ontbreekt nog veel detailinformatie.

In de wetenschappelijke literatuur is veel aandacht voor zowel vismigratie in het algemeen, als de vispasseerbaarheid van stuwcomplexen. Zie bijvoorbeeld Katapodis (2005), Barry et al (2018) en Ebel (2018). Daarbij is ook veel aandacht voor de ontwikkeling van rekenmethoden om de effecten van ontwerpkeuzes voor de vispasseerbaarheid te kunnen kwantificeren.

Het Analysetool Vispasseerbaarheid Stuwcomplexen beoogt een verbinding te leggen tussen enerzijds de ecologische kennis over het gedrag van vissen in watersystemen en anderzijds de gedetailleerde kennis over de hydraulische condities bij de stuwcomplexen. De beoogde functionaliteit van het analysetool is vooraf besproken en in Bijlage E zijn de Gebruikerseisen van het analysetool beschreven.

Disclaimer

De doelstelling van het analysetool is om de mogelijke effecten van verschillende maatregelen en scenario's op de passeerbaarheid van de stuwcomplexen en de vismigratie in de riviertakken in te schatten. De doelstelling is nadrukkelijk niet om de passeerbaarheid en vismigratie te voorspellen of te beoordelen in het kader van operationeel waterbeheer of voor vergunningverlening. De resultaten van de berekeningen met het analysetool kunnen worden gebruikt voor de onderlinge vergelijking van maatregelen of scenario's, maar niet als absolute waarden.

De formuleringen en de waarden voor de verschillende parameters in de opgeleverde versie van het analysetool zijn gebaseerd op informatie vanuit de literatuur in combinatie met expert judgement, zoals in dit rapport wordt beschreven. Dit rapport kan als referentie worden gebruikt voor de onderbouwing van de gekozen waarden. Nieuw onderzoek en/of nieuwe gegevens kunnen aanleiding zijn om de waarden van de parameters aan te passen. De gebruiker van het analysetool kan deze waarden naar eigen inzicht aanpassen; voor een berekening met aangepaste waarden voor de parameters zal de gebruiker zelf een onderbouwing moeten documenteren.

3.1.2 Opzet analysetool

Voor de berekening van de vispasseerbaarheid van een stuwcomplex wordt in het analysetool onderscheid gemaakt in de verschillende objecten waaruit het stuwcomplex bestaat. De verdeling van de afvoer van water over de verschillende objecten vormt de basis van de analyse. Daaruit wordt eerst de verdeling afgeleid van de stroomopwaarts en stroomafwaarts migrerende vis over de verschillende objecten, en vervolgens het verlies (mortaliteit) per object, om daarmee het totale verlies van het volledige stuwcomplex te bepalen. Tenslotte wordt het verlies per stuwcomplex vertaald naar het verlies in het watersysteem, waarin meerdere stuwcomplexen aanwezig zijn.

De berekeningen worden gemaakt op jaarbasis, waarbij als temporele resolutie gekozen is voor een maand. Er kunnen zowel verschillende afvoerverdelingen (droge jaren, natte jaren) als verschillende migratiekalenders worden gekozen/ingevoerd.

Het analysetool biedt de mogelijkheid om berekeningen te maken voor verschillende soorten vissen. Per berekening wordt steeds een soort beschouwd; door meerdere berekeningen te maken kan de passeerbaarheid van stuwcomplexen voor verschillende soorten, en verschillende omstandigheden worden geanalyseerd.

3.1.3 Toepassing in Excel

Tijdens de ontwikkeling van het analysetool vond regelmatig afstemming plaats met Stuurgroep en externe deskundigen. Er is eerst een proto-type opgezet, en vervolgens is dat proto-type uitgewerkt tot een 'beta-release' op basis van de reacties van de Stuurgroep en externe deskundigen.

Voor de opzet van het analysetool is gekozen om Excel te gebruiken. Dat is in zekere mate een arbitraire keuze, want er zijn ook andere ontwikkelomgevingen beschikbaar. Excel is echter zeer toegankelijk voor veruit de meeste mensen, en daarmee konden alle betrokkenen de ontwikkeling van de inhoudelijke formuleringen blijven volgen.

Het analysetool zoals nu beschikbaar is, bestaat uit een aantal tabbladen waarvan de nummering en naamgeving verwijst naar de kennisvragen. Met andere woorden, de kennis die is verzameld bij het beantwoorden van de kennisvragen is verwerkt in de informatie op de verschillende tabbladen van het analysetool. Zo zijn in de tabbladen A2 t/m A6 algemene invoergegevens opgenomen over de afvoerverdeling, migratiekalenders, verliesposten, stuwcomplexen en stuwpannen (zie Paragraaf 3.2). Vervolgens worden in tabbladen B1 t/m B3 de berekeningen voor de objecten binnen de stuwcomplexen stapsgewijs uitgevoerd: eerst de verdeling van de afvoer over de objecten, dan de verdeling van de vis over de objecten, en tenslotte de verliezen per object (zie Paragraaf 3.3). Tenslotte worden de berekeningsresultaten in een dashboard voor de stuwcomplexen en een dashboard voor de riviertakken samengevat (Paragraaf 0).

In aanvulling hierop is ook nog een specialistisch tabblad beschikbaar om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren. Dit wordt nader toegelicht in Hoofdstuk 4.

3.1.4 Toepassing en toekomst

Het analysetool is in de huidige vorm opgezet en toegepast voor de analyse van de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen in de Maas en Nederrijn. De eerste resultaten van het analysetool bleken al tijdens het ontwikkelen van het tool bruikbaar in de discussies in het kader van de besluitvorming rond de implementatie van de KRW.

De velden waar gegevens kunnen worden ingevoerd door de gebruikers zijn groen gekleurd. De grijze velden bevatten headers en titels. Witte velden bevatten formules en zijn beveiligd tegen aanpassingen door gebruikers.

Het is mogelijk om (in de toekomst, in een ander project, voor een andere toepassing) het analysetool uit te breiden door bijvoorbeeld extra visgildes -of voorbeeldsoorten- toe te voegen (bv. houting, rivierprik), of de gebruikte formuleringen aan te passen op basis van aanvullende

informatie. Wanneer meer kennis beschikbaar komt kan wellicht ook de temporele resolutie worden verfijnd (van een maand naar een dag of uur). Ook is het mogelijk om andere objecten toe te voegen binnen de stuwcomplexen (bv. een gemaal of een vaste overlaat). Tenslotte is het heel denkbaar om extra stuwcomplexen op te nemen (bv. Born en Maasbracht, Panheel, of Lixhe en Monsin), of het analysetool toe te passen op een andere rivier of watersysteem (bv. de Vecht, een Waterschap, of de Neckar).

Op (veel) langere termijn is het wellicht denkbaar om het gedachtengoed zoals nu opgenomen in het analysetool over te nemen in een extra plug-in voor netwerkmodellen, zoals Sobek (1D) en Waqua (2D) en Delft3D (of D-HYDRO suite, zoals deze drie modellen tegenwoordig samen genoemd worden). Daarvoor lijkt het dan wel goed om de huidige toepassing in Excel om te zetten naar een programmeertaal zoals C++ of Java. Het analysetool zal dan ook een plaats kunnen krijgen in het beheer- en onderhoudssysteem voor standaard software van Deltares.

3.2 Tabbladen “Algemene invoergegevens”

In het Analysetool zijn 6 tabbladen met Algemene invoergegevens opgenomen. Het eerste tabblad “A1. Colofon” geeft de disclaimer voor het gebruik weer, en de versie van het Analysetool. Daarna volgen tabbladen met de rivierafvoer (A2), de migratie kalender (A3), de verliesposten (A4), de stuwpanden (A5) en de stuwcomplexen (A6). Onderstaande paragrafen beschrijven deze tabbladen.

3.2.1 Afvoerverdeling rivier

De verdeling van de afvoer van de rivier in m³/s (dus de afvoer over het volledige stuwcomplex) op maandbasis is opgenomen in het Tabblad “A2. Afvoerverdeling rivier”. Bijlage A.2 geeft de achterliggende informatie over de afvoerverdeling van de Maas en Nederrijn.

In de groene vakken (zie Figuur 3.1) kunnen verschillende scenario's worden gespecificeerd voor de afvoerverdeling, en de gebruiker kiest welke in de berekening wordt gebruikt met de dropdown-box **1. Afvoerverdeling** in cel B7. Deze gekozen afvoerverdeling wordt automatisch gekoppeld aan de keus voor de afvoerverdeling in de overige tabbladen. De waarden die in de berekening worden gebruikt staan vermeld in de cellen B8:B19.

Er zijn 2 tijdreeksen opgenomen voor een extreem droog (1976) en een extreem nat (1995) jaar. Tevens zijn er 3 tijdreeksen (langjarig gemiddeld en 20- en 80- percentielwaarde ²⁾) opgenomen voor een Referentie scenario, voor het klimaatscenario GL2050 en voor het klimaatscenario WH2050. Deze (9) klimaatscenario's zijn gebruikt in de gevoeligheidsanalyse. Zie Hoofdstuk 4.

Tenslotte zijn in het analysetool nog twee tijdreeksen opgenomen voor het uitvoeren van testen, namelijk een ‘vrije keuze’ en een gelijkmatige toename van de afvoer in het jaar met 125 m³/s per maand. Deze tijdreeksen zijn dus niet realistisch.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	A2. Afvoerverdeling Maas			De afvoerverdeling van de rivier geeft de maandelijkse afvoer (m ³ /s), voor het gehele beschouwde riviertraject.											
2	In de groene vakken kunnen diverse scenario's worden gespecificeerd voor de afvoerverdeling, en de gebruiker kiest welke in de berekening wordt gebruikt.														
3				Extremen			Ref2015		GL2050			WHdry2050 & WH2050			
4				1976	1995	20%	gemiddeld	80%	20%	gemiddeld	80%	20%	gemiddeld	80%	
5				Extreem droog jaar 1976	Extreem nat jaar 1995	Ref2015 20% (1911-2011)	Ref2015 gemiddeld jaar (1911-2011)	Ref2015 80% (1911-2011)	GL2050 20% (1911-2011)	GL2050 gemiddeld jaar (1911-2011)	GL2050 80% (1911-2011)	WHdry2050 20% (1911-2011)	WH2050 gemiddeld jaar (1911-2011)	WH2050 80% (1911-2011)	
6	Maas	1. Afvoerverdeling (m ³ /s)													
7		Ref2015 gemiddeld jaar (1911-2011)		[m ³ /s]											
8	jan	490	jan	240	1171	262	490	679	293	535	738	282	568	794	
9	feb	450	feb	253	1033	248	450	635	272	492	699	250	647	906	
10	mrt	373	mrt	115	600	218	373	514	251	428	589	200	486	670	
11	apr	287	apr	71	439	149	287	440	167	322	493	140	303	470	
12	mei	180	mei	41	196	108	180	239	115	194	258	98	188	251	
13	jun	122	jun	26	167	76	122	158	77	125	163	63	106	139	
14	jul	99	jul	20	89	57	99	124	55	99	123	40	76	94	
15	aug	88	aug	15	50	48	88	120	46	91	124	27	48	65	
16	sep	90	sep	18	71	43	90	125	44	99	138	22	47	63	
17	okt	132	okt	22	75	44	132	219	54	174	295	22	85	140	
18	nov	257	nov	41	65	92	257	392	125	341	519	61	271	421	
19	dec	401	dec	142	188	211	401	548	279	519	723	216	494	696	

Figuur 3.1 Screenshot van een deel van Tabblad A2. Afvoerverdeling rivier.

3.2.2 Migratiekalender

De migratiekalender geeft de verdeling van de stroomopwaartse en stroomafwaartse migratie over het jaar (in % per maand) van enkele voorbeeldsoorten voor verschillende visgildes. Deze informatie is opgenomen in het Tabblad “A3. Migratiekalender”. Bijlage A.3 bevat de achterliggende informatie over deze migratiekalenders.

²⁾ De 20- of 80-percentiel waarde geeft de afvoer waarbij 20% resp. 80% van de tijd de afvoer wordt onderschreden.

De gebruiker kan in de groene vakken (zie Figuur 3.2) de verschillende migratiekalenders eventueel zelf aanpassen. Daarbij is het van belang dat het totaal op jaarbasis 100% bedraagt. Vervolgens kan met de dropdown-box **4. Migratiekalender** in cel B6 gekozen worden welke migratie kalender/voorbeeldsoort/visgilde in de berekening wordt gebruikt. De gekozen migratiekalender wordt automatisch gekoppeld aan de keus voor de migratiekalender in de overige tabbladen. De waarden die in de berekening worden gebruikt staan vermeld in de cellen B8:C19.

De informatie over de stroomopwaartse en stroomafwaartse migratiekalender voor de drie voorbeeldsoorten voor de visgildes katadroom, anadroom en potamodroom (zoals nu is opgenomen in het analysetool) volgt uit gegevens uit de literatuur en expert schattingen (zie Bijlage A.3). De tijdreeksen voor de stroomopwaartse en stroomafwaartse migratie van deze soorten zijn verschillend.

In de berekeningen in het analyse tool voor de eerste drie voorbeeldsoorten (voor de visgildes katadroom, anadroom and potamodroom) wordt de migratiekalender niet automatisch aangepast op basis van de (gekozen) afvoerverdeling. De 4^{de} mogelijke migratiekalender “Volgt afvoer” is juist wél gebaseerd op de gekozen afvoerverdeling. Dat wil zeggen, bij een grotere afvoer wordt hier verondersteld dat ook meer vis zal migreren. De tijdreeksen voor de stroomopwaartse en stroomafwaartse migratie zijn in dit geval identiek. Omdat deze migratiekalender direct gekoppeld is aan de gekozen afvoerverdeling, kan deze niet worden aangepast door de gebruiker.

Deze 4^{de} migratiekalender is opgenomen omdat uit de praktijk bekend is (mond. comm. T. Vriese) dat bij een snelle toename van de afvoer in het voorjaar (mogelijk gerelateerd met een snelle temperatuurstijging) de stroomafwaartse migratie van salmoniden op gang kan komen. Stroomafwaartse migratie tijdens een afvoerpiek heeft meerdere voordelen, namelijk (mond. comm. E. Winter): het kost minder energie en de kans op predatie is kleiner in een groter watervolume en bij hogere troebelheid. Dat gaat dan over periode van orde grootte van enkele dagen tot een week en niet over een maand. Deze 4^{de} migratiekalender op maandbasis is daarom niet geschikt om realistisch ingezet te kunnen worden voor alle gildes/voorbeeldsoorten, maar kan wel gebruikt worden in de gevoeligheidsanalyse.

Tenslotte zijn nog twee tijdreeksen opgenomen voor het testen van het analysetool, namelijk een ‘vrije keuze’ en een constante waarde voor de migratie. Ook deze twee tijdreeksen zijn – uiteraard – dus niet als realistisch te beschouwen.

A3. Migratiekalender																
De migratie kalender geeft de verdeling van de stroomopwaartse en stroomafwaartse migratie over het jaar (in % per maand).																
De gebruiker kan in de groene vakken 6 verschillende migratie kalenders specificeren, en kiest welke kalender in de berekening wordt gebruikt.																
4. Migratiekalender			Katadroom (Aal)		Anadroom (Salmoniden)		Potamodroom		Volgt afvoer		Vrije keuze		Constant			
Katadroom (Aal)			maandelijkse migratie als percentage van de jaarlijkse migratie (%)													
	Opwaarts	Afwaarts		Opwaarts	Afwaarts	Opwaarts	Afwaarts	Opwaarts	Afwaarts	Opwaarts	Afwaarts	Opwaarts	Afwaarts	Opwaarts	Afwaarts	
8	jan	0%	5%	jan	0%	5%	0%	0%	5%	4%	17%	17%	4%	4%	8%	8%
9	feb	5%	0%	feb	5%	0%	5%	0%	10%	4%	15%	15%	12%	12%	8%	8%
10	mrt	25%	0%	mrt	25%	0%	10%	10%	15%	8%	13%	13%	4%	4%	8%	8%
11	apr	50%	0%	apr	50%	0%	10%	40%	20%	10%	10%	10%	12%	12%	8%	8%
12	mei	15%	0%	mei	15%	0%	5%	40%	20%	10%	6%	6%	4%	4%	8%	8%
13	jun	5%	0%	jun	5%	0%	0%	10%	10%	12%	4%	4%	14%	14%	8%	8%
14	jul	0%	0%	jul	0%	0%	5%	0%	5%	12%	3%	3%	4%	4%	8%	8%
15	aug	0%	5%	aug	0%	5%	10%	0%	3%	12%	3%	3%	14%	14%	8%	8%
16	sep	0%	10%	sep	0%	10%	20%	0%	3%	12%	3%	3%	4%	4%	8%	8%
17	okt	0%	30%	okt	0%	30%	20%	0%	3%	8%	4%	4%	12%	12%	8%	8%
18	nov	0%	40%	nov	0%	40%	10%	0%	3%	4%	9%	9%	4%	4%	8%	8%
19	dec	0%	10%	dec	0%	10%	5%	0%	3%	4%	14%	14%	12%	12%	8%	8%
20		100%	100%		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Figuur 3.2 Screenshot van een deel van Tabblad A3. Migratiekalender.

3.2.3 Verliesposten stuwcomplexen en stuwpannen

Er wordt onderscheid gemaakt tussen de verliesposten voor vis bij de stuwcomplexen en in de stuwpannen.

Stuwcomplexen

Wanneer stroomafwaarts (of stroomopwaarts) migrerende vissen één van de verschillende objecten binnen het stuwcomplex passeren, zal een deel van deze vissen niet succesvol zijn, en treedt dus een verlies op. Dit verlies (uitgedrukt als % van de totale hoeveelheid vis die passeert) verschilt per object en per vissoort. De achterliggende informatie over de verliesposten bij de verschillende objecten en voor de onderscheiden vissoorten is opgenomen in Bijlage A.4. Voor de objecten stuwen wordt in Bijlage D.3 nader onderscheid gemaakt naar de verschillende typen stuwen.

De waarde van de verliesposten bij de verschillende objecten geeft het totaal van verschillende verliesprocessen; ook de 'uitgestelde sterfte' is daarbij inbegrepen. Strikt genomen vindt de 'uitgestelde sterfte' plaats in de stuwpannen stroomafwaarts van de stuwcomplexen – en niet bij het stuwcomplex zelf -, maar omdat de 'uitgestelde sterfte' het directe gevolg is van het passeren van het object wordt deze toch inbegrepen bij de waarde van de totale verliespost bij het object ³⁾.

In Tabblad "A4. Verliesposten" kunnen drie "sets" (Hoog (200%) – Gemiddeld – Laag (50%)) met verliesposten bij stuwcomplexen worden gespecificeerd in de groene vakken. De waarden voor de verliesposten bij "Hoog" zijn tweemaal zo groot als bij "Gemiddeld", en bij "Laag" de helft van "Gemiddeld". De gebruiker kiest in de dropdown-box **7. Verliesposten stuwen** in cel E6 welke set in de berekening wordt gebruikt. Vervolgens kan met de dropdown-box **4. Migratiekalender** in cel B8 gekozen worden welke migratiekalender/vissoort in de berekening wordt gebruikt. Zie ook Figuur 3.3. Deze gekozen migratiekalender wordt automatisch gekoppeld aan de keus voor de migratiekalender in de overige tabbladen. De waarden die in de berekening worden gebruikt staan vermeld in de cellen B10:C17.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	A4. Verliesposten				Voor de onderscheiden type objecten specificeert de gebruiker in de groene vakken					
2					Er kunnen drie "sets" met verliesposten (Hoog - Gemiddeld - Laag) worden gespec					
3										
4										
5					7. Verliesposten stuwen					
6					Gemiddeld					
7					Katadroom (Aal)		Anadroom (Salmoniden)		Potamodroom	
8					Anadroom (Salmoniden)					
9									verliespost (%) bij passage v	
		Opwaarts	Afwaarts		Opwaarts	Afwaarts	Opwaarts	Afwaarts	Opwaarts	Afwaarts
10	vispassage	0,04%	0,04%		0,04%	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%
11	nevengeul	0,4%	0,4%		0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%
12	sluis	0,5%	0,5%		0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
13	WKC	nvt	9,4%		nvt	18,0%	nvt	9,4%	nvt	6,0%
14	hefstuw	nvt	1,3%		nvt	1,0%	nvt	1,3%	nvt	3,0%
15	Stoney schuif	nvt	1,3%		nvt	1,0%	nvt	1,3%	nvt	3,0%
16	Poiree stuw	nvt	1,3%		nvt	1,0%	nvt	1,3%	nvt	3,0%
17	vizierstuw	nvt	1,3%		nvt	1,0%	nvt	1,3%	nvt	3,0%
18										

Figuur 3.3 Screenshot van een deel van Tabblad A4. Verliesposten.

³⁾ Ook stroomopwaarts van een stuwcomplex kan extra verlies optreden omdat stroomafwaarts migrerende vissen (smolts) daar wachten of aarzelen voordat ze het complex passeren, waardoor extra predatie optreedt (zie Gauld et al., 2013 en Økland et al. 2016). Zie ook Bijlage B.2.1. Deze verliespost is in de huidige analyse (nog) niet expliciet verdisconteerd.

Stuwpannen

In de stuwpannen tussen de stuwcomplexen treedt ook verlies op. De mate van verlies is mogelijk mede afhankelijk van de intensiteit van de scheepvaart in het stuwpan, de inrichting van de oevers (rust-, foerageer- en schuilplaatsen) en de stroomsnelheid. Ook (beroeps- en sport-) visserij en predatie (bv. door aalscholvers) dragen bij aan het verlies in de stuwpannen. Daarbij zal het verlies in de stuwpannen waarschijnlijk variëren voor de verschillende visgildes/soorten, en bestaat er verschil in het verlies bij stroomopwaartse en stroomafwaartse migratie. Concrete informatie over de verschillende verliesposten in de stuwpannen is echter vooralsnog zeer beperkt beschikbaar, en daarom wordt het verlies in de stuwpannen in het analysetool vrij rechttoe rechtaan berekend op basis van de lengte van het pand en een totale verliespost (%) per km. De achterliggende informatie over de verliesposten in de stuwpannen is opgenomen in Bijlage A.5.

De lengte van de stuwpannen staat in rij B van het Tabblad "A5. Stuwpannen". Met de scrollbars in box **8. Verliespost (%/km) stuwpannen** in G5 kan de gebruiker de verliespost (%/km) voor de stroomopwaartse en stroomafwaartse migratie in de stuwpannen aanpassen (zie Figuur 3.4).

De waarde voor de verliespost in de stuwpannen wordt automatisch gekoppeld aan de keus voor deze verliespost in de overige tabbladen.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	A5. Stuwpannen			Verliesposten in de stuwpannen tussen de stuwcomplexen worden berekend op basis van de lengte van het stuwpan en een totale verliespost (%/km) per km. Met de spinboxes in J5 en J6 kan de gebruiker de verliespost (%/km) voor de stuwpannen aanpassen.							
2											
3											
4											
5			4. Migratiekalender				8. Verliespost	OP		0,20	< >
6			Anadroom (Salmoniden)				(%/km)	AF		0,20	< >
7											
8											
9	Maas										
10		lengte (km)					Opwaarts	Afwaarts		Opwaarts	Afwaarts
11		pand	lengte (km)				Stuwpan			Cumulatief	
12	Bovenmaas	0	0							66%	100%
13	St Pieter	15	15		2,96%	2,96%				68%	97%
14	Borgharen	15	15							68%	97%
15	Grensmaas	54	69		10,25%	10,25%				75%	87%
16	↔ Geul	69	69							75%	87%
17	↔ Kanaal Vessem Nederweert	69	69							75%	87%
18	Linne	69	69							75%	87%
19	Plassenmaas	12	81		2,37%	2,37%				77%	85%
20	↔ Roer	81	81							77%	85%
21	Roermond	81	81							77%	85%
22	Zandmaas	20	101		3,92%	3,92%				80%	82%
23	↔ Swalm	101	101							80%	82%
24	↔ Neerbeek (Tungelroyse beek)	101	101							80%	82%
25	Belfeld	101	101							80%	82%
26	Zandmaas	45	146		8,62%	8,62%				88%	75%
27	↔ Molenbeek	146	146							88%	75%
28	Sambeek	146	146							88%	75%
29	Zandmaas	30	176		5,83%	5,83%				93%	70%
30	↔ Niers	176	176							93%	70%
31	↔ Maas-Waal kanaal	176	176							93%	70%
32	Grave	176	176							93%	70%
33	Bedijkte Maas	25	201		4,88%	4,88%				98%	67%
34	↔ Graafse Raam	201	201							98%	67%
35	Lith	201	201							98%	67%
36	Getijde Maas	10	211		1,98%	1,98%				100%	66%
37										100%	66%

Figuur 3.4 Screenshot van een deel van Tabblad A5. Stuwpannen.

3.2.4 Schematisatie stuwcomplexen

Het Tabblad "A6. Stuwcomplexen" geeft de namen van de objecten die in de verschillende stuwcomplexen aanwezig zijn. Zie Figuur 3.5. Deze komen automatisch terug in de legenda's van verschillende figuren in de rest van het analysetool.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	A6. Stuwcomplexen		Stuwcomplexen bestaan uit verschillende objecten.							
2			In de groene vakken kan de gebruiker aangeven uit welke objecten de stuwcomplexen zijn opgebouwd.							
3										
4										
5	Maas		vispassage	sluis	nevengeul	WKC	stuw 1	stuw 2		
6	Borgharen		vispassage	sluis	nevengeul	WKC	klepbereik	schuifbereik		
7	Linne		vispassage	sluis	nevengeul	WKC	Stoneys (3)	Poiree stuw		
8	Roermond		vispassage	sluis	nevengeul	WKC	Stoneys (2)	Poiree stuw		
9	Belfeld		vispassage	sluis	nevengeul	WKC	Stoneys (2)	Poiree stuw		
10	Sambeek		vispassage	sluis	nevengeul	WKC	Stoneys (2)	Poiree stuw		
11	Grave		vispassage	sluis	nevengeul	WKC	Poiree stuw			
12	Lith		vispassage	sluis	nevengeul	WKC	klepbereik	schuifbereik		
13	Nederrijn									
14	Driel		vispassage	sluis	nevengeul	WKC	vizierstuw (2)			
15	Amerongen (Maurik)		vispassage	sluis	nevengeul	WKC	vizierstuw (2)			
16	Hagestein		vispassage	sluis	nevengeul	WKC	vizierstuw (2)			
17										

Figuur 3.5 Screenshot van een deel van Tabblad A6. Stuwcomplexen.

3.3 Tabbladen “Berekeningen stuwcomplexen”

De berekening van de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen bestaat uit drie deelstappen. Eerst komt de verdeling van de afvoer over de objecten binnen de stuwcomplexen aan de orde in paragraaf 3.3.1. De berekende afvoerverdeling vormt invoer voor de berekening van de verdeling van de passerende vis over de verschillende objecten, zoals beschreven in paragraaf 3.3.2. En tenslotte wordt de vispasseerbaarheid berekend op basis van de verliezen van de passerende vis per object (zie paragraaf 3.3.3).

3.3.1 Afvoerverdeling stuwcomplexen

De afvoerverdeling van de rivier is beschreven in Tabblad “A2. Afvoerverdeling rivier”. Zie ook paragraaf 0. De gebruiker kan ook in Tabblad “B1. Afvoerverdeling stuwcomplex” in dropdown-box **1. Afvoerverdeling** in cel K8 de afvoerverdeling van de rivier kiezen; de keuze wordt automatisch gekoppeld. Daarnaast kan de afvoercapaciteit van de Nevengeul-2.0 en de capaciteit van de WKC’s bij alle stuwcomplexen worden gekozen in dropdown-box **2. Capaciteit NG2.0 (m³/s)** en **3. WKC**. Zie Figuur 3.6.

1	De verdeling van de rivierafvoer over de verschillende objecten in het stuwcomplex is afhankelijk van de dimensionering/capaciteit van de objecten.										
2	In de groene vakken kan de max afvoercapaciteit (m ³ /s) en de max % afvoer (tov. de rivierafvoer) worden gespecificeerd voor elk object.										
3	Kolom B geeft de gekozen rivierafvoer in dropdown box 1 (zie ook Tabblad A2); kolom C t/m H geeft de berekende afvoer langs de verschillende objecten. De gebruiker kan de capaciteit van een Nevengeul 2.0 en de WKC's aangeven in de dropdown boxes 2 en 3; dit geldt voor alle stuwcomplexen.										
6											
7		1. Afvoerverdeling (m³/s)			2. Capaciteit NG2.0 (m³/s)				3. WKC		
8		Ref2015 gemiddeld jaar (1911-2011)			0				WKC bij Linne, Lith en Amerongen		
9									Minimale afvoer (m ³ /s) voor WKC	50	
10											

Figuur 3.6 Screenshot van dropdown-boxes op van Tabblad B1. Afvoerverdeling stuwcomplex.

De verdeling van de maandelijkse rivierafvoer over de verschillende objecten binnen het stuwcomplex is opgenomen in Tabblad “B1. Afvoerverdeling stuwcomplex”; in de groene vakken staan voor elk object de relevante kenmerken. Zie bijvoorbeeld C12:H13 voor stuwcomplex Borgharen, zoals weergegeven in Figuur 3.7. Het betreft de maximale afvoercapaciteit van elk object (m³/s) en het maximale aandeel (%) van de totale afvoer dat via elk object afgevoerd kan worden. De achterliggende informatie over de parameters en de berekening van de verdeling van afvoer over de verschillende objecten per stuwcomplex is opgenomen in Bijlage B.1 en Bijlage D.1.

	A	B	C	D	E	F	G	H
12	Borgharen	cap. m ³ /s:	5	0	0	0	200	1300
13		max %:	10%	100%	75%	75%	100%	100%
14		totaal	vispassage	sluis	nevengeul	WKC	klepbereik	schuifbereik
15	jan	490	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	485,1
16	feb	450	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	445,0
17	mrt	373	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	368,0
18	apr	287	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	282,2
19	mei	180	5,0	0,0	0,0	0,0	175,4	0,0
20	jun	122	5,0	0,0	0,0	0,0	116,8	0,0
21	jul	99	5,0	0,0	0,0	0,0	94,4	0,0
22	aug	88	5,0	0,0	0,0	0,0	82,7	0,0
23	sep	90	5,0	0,0	0,0	0,0	84,7	0,0
24	okt	132	5,0	0,0	0,0	0,0	127,3	0,0
25	nov	257	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	251,6
26	dec	401	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	396,3

Figuur 3.7 Screenshot van deel Borgharen van Tabblad B1. Afvoerverdeling stuwcomplex.

Op basis van de gekozen instellingen geven de kolommen B t/m H de resultaten voor elk stuwcomplex op maandbasis.

Kolom B geeft de gekozen afvoerverdeling van de rivier (zie ook dropdown-box 1 en Tabblad A2). Deze waarde vormt het uitgangspunt voor de verdeling van de afvoer over de objecten.

Kolom C geeft de berekende afvoer via de vispassage; het gaat steeds om 4 of 5 m³/s, waarbij maximaal 10% van de afvoer via de vispassage mag gaan (om ervoor te zorgen dat voldoende water beschikbaar blijft voor het schutbedrijf van de sluisen).

Kolom D geeft de afvoer via de schutsluis. Bij sommige stuwcomplexen (Borgharen, Linne) is geen sluis aanwezig en staat de afvoer dus op 0 m³/s. Zie ook Bijlage B.1.2.

Kolom E heeft betrekking op de (stuwpasserende) Nevengeul-2.0. Er is aangenomen dat de afvoer via de Nevengeul-2.0 maximaal 75% bedraagt van de totale rivierafvoer minus de afvoer via de vispassage en schutsluis. De afvoercapaciteit van de Nevengeul-2.0 volgt uit de selectie in dropdown-box 2. **Capaciteit NG2.0 (m³/s)**. Daarom wordt veld E12 automatisch gevuld, en is dus niet groen maar grijs. Zie Figuur 3.6 en Figuur 3.7.

Kolom F geeft de berekende afvoer via een WKC in het stuwcomplex. Bij Linne, Lith en Amerongen is op dit moment een WKC aanwezig. De maximale capaciteit van deze WKC's is op 400 m³/s gesteld. Mogelijk komen er bij andere stuwcomplexen in de toekomst ook WKC's. De maximale afvoercapaciteit van de WKC's kan met dropdown-box 3. **WKC** worden geselecteerd. Daarom wordt veld F12 automatisch gevuld, en is dus niet groen maar grijs. Zie Figuur 3.6 en Figuur 3.7.

Daarbij is aangenomen dat maximaal 75% van de beschikbare afvoer (totale afvoer minus de afvoer via de vistrap, de sluis en de nevengeul) via de WKC loopt. Ook is aangenomen dat de WKC niet wordt gebruikt bij een beschikbare afvoer van minder dan 50 m³/s. Deze waarde kan in cel W9 worden aangepast. Zie Figuur 3.6.

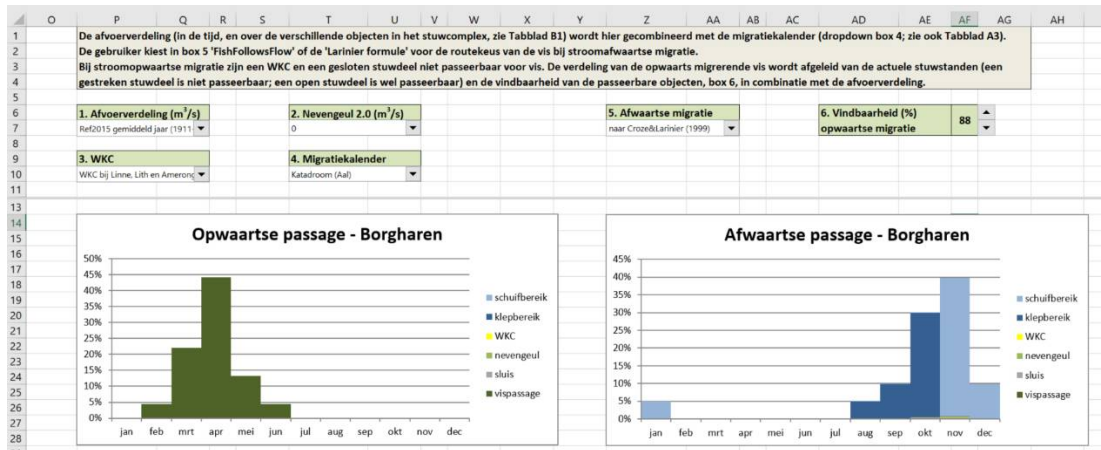
Tenslotte is aangenomen dat de afvoer via de WKC afneemt met de toename van de afvoer tot nul op het moment dat de stuw volledig gestreken is (omdat er dan geen verhang meer over de stuw is).

Kolom G en H geven de berekende (resterende) afvoer over de verschillende stuwen in het stuwcomplex.

De berekende afvoerverdeling over de objecten wordt voor elk stuwcomplex in 2 figuren gepresenteerd, namelijk een figuur met de afvoer (m³/s) via elk object op maandbasis, en een figuur met de relatieve verdeling (%) over de verschillende objecten. Deze figuren zijn ook opgenomen in het Dashboard Stuwcomplexen (zie paragraaf 3.4.1), en in Bijlage B.1.4.

3.3.2 **Passeerroutes stuwcomplexen**

De vis die stroomopwaarts of stroomafwaarts het stuwcomplex wil passeren, kan daarvoor verschillende routes (=objecten) volgen. Afhankelijk van de verdeling van de afvoer over de routes (dropdown-box 1, 2 en 3, zie Tabblad B1) en de migratiekalender (dropdown-box 4, zie Tabblad A3), varieert ook de procentuele verdeling van de vis over de verschillende passeerroutes in de tijd. Voor de berekening van de verdeling van de vis over de routes binnen het stuwcomplex kunnen in Tabblad "B2. Visroutes" enkele keuzes worden opgegeven in de dropdown-boxes 5. **Afwaartse migratie** en 6. **Vindbaarheid (%) opwaartse migratie**. Zie ook Figuur 3.8. Deze keuzes worden onderstaand nader toegelicht. De achterliggende informatie over de verdeling van vis over de verschillende passeerroutes per stuwcomplex is opgenomen in Bijlage B.2.



Figuur 3.8 Screendump van een deel van Tabblad B2. Visroutes.

Stroomafwaartse migratie

Voor de stroomafwaartse migratie zijn in het analysetool twee opties opgenomen voor de verdeling van de (stroomafwaarts) migrerende vis over de verschillende routes bij een splitsingspunt. De optie "FishFollowsFlow" veronderstelt dat de vis zich verdeelt over de beschikbare routes conform de afvoerverdeling. De optie "Croze&Larinier" veronderstelt dat vis een voorkeur heeft voor de hoofdstroom, en dat relatief minder vis routes volgt met geringe afvoer. In de toekomst is het wellicht mogelijk om deze opties verder uit te breiden door (naast de voorkeur voor afvoer) de voorkeur voor stroomsnelheid en diepte van verschillende soorten/gildes te verdisconteren ⁴. Zie voor meer toelichting Bijlage B.2.

De gebruiker kan in dropdown-box **5. Afwaartse migratie** kiezen voor "FishFollowsFlow" of "Croze&Larinier" voor de verdeling van de vis over de verschillende objecten bij stroomafwaartse migratie. Zie ook Figuur 3.8.

Stroomopwaartse migratie

Bij stroomopwaartse migratie zijn een WKC en een gesloten stuwdeel niet passeerbaar voor vis. Een vispassage, sluis en Nevengeul-2.0, en een gestreken stuwdeel zijn wel stroomopwaarts passeerbaar. Naarmate de wel-passeerbare routes minder goed vindbaar zijn, zal de vis langer moeten zoeken/wachten en is de kans op verlies/predatie groter. Zie voor meer toelichting Bijlage B.2.

De vindbaarheid van een wel-passeerbare route voor vis die bij een niet-passeerbaar object terecht komt wordt in dropdown-box **6. Vindbaarheid (%) opwaartse migratie** opgegeven. Zie ook Figuur 3.8. Per stuwcomplex wordt deze waarde verder geschaald op de verhouding van de afvoer via de wel- en niet-passeerbare routes: hoe groter de afvoer via de wel-passeerbare routes, des te hoger ook de vindbaarheid van die routes, en des te kleiner het verlies bij de stroomopwaartse passage.

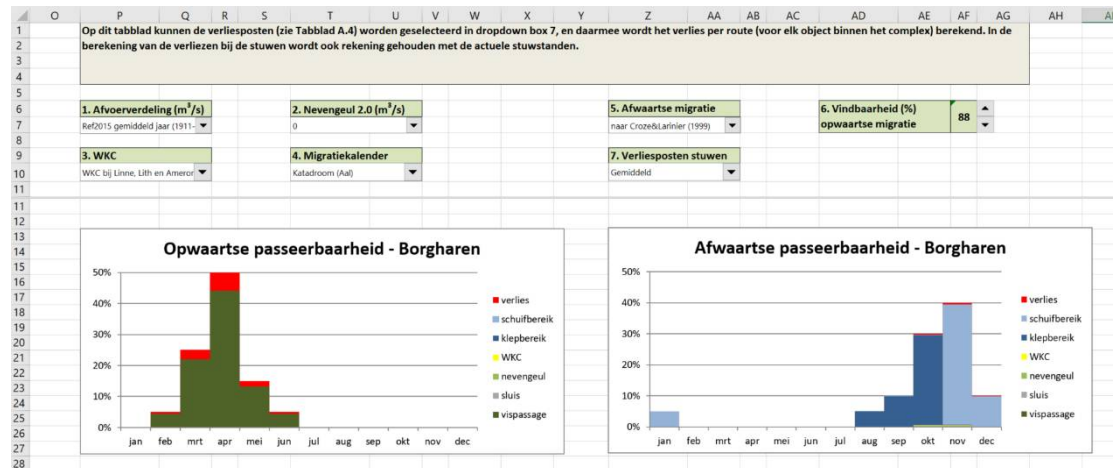
Omdat nog onvoldoende informatie beschikbaar is over de vindbaarheid van passeerbare routes bij de verschillende stuwcomplexen is de gekozen waarde voor de vindbaarheid vooralsnog identiek voor alle stuwcomplexen, en alle onderscheiden vissoorten/gildes. Op termijn is het

⁴ Een verdere uitbreiding van het analysetool met diverse mogelijkheden rond visgeleiding (incl. roosters, geluid en licht) bij stroomafwaartse migratie komt dan ook binnen bereik.

wellicht mogelijk om de vindbaarheid in meer detail in te schatten, bijvoorbeeld door gebruik te maken van 'migratielinielijnen' (Kranenburg en Kemper, 2006). Daarbij wordt de vindbaarheid ingeschat op basis van informatie over de exacte locatie van ingang van de passeerbare routes in combinatie met de informatie over de zwemcapaciteit van de stroomopwaarts migrerende vis en de berekende stroomsnelheid benedenstrooms het stuwcomplex.

3.3.3 Passeerbaarheid

Op Tabblad "B3. Passeerbaarheid" kan de set met verliesposten (zie ook Tabblad A4) worden geselecteerd in dropdown-box 7. **Verliesposten stuwen** (zie Figuur 3.9). De 'vispasseerbaarheid' van elk object per maand is gedefinieerd als het percentage vis dat een object passeert (zoals berekend in Tabblad B2) min het verlies tijdens die passage. De totale vispasseerbaarheid van het stuwcomplex volgt uit de sommatie van de passeerbaarheid van de verschillende objecten. In de grafieken met de passeerbaarheid (zie Figuur 3.9) is het totale verlies bij het stuwcomplex met rood aangegeven.



Figuur 3.9 Screenshot van een deel van Tabblad B3. Passeerbaarheid.

In de berekening van de verliezen bij de stuwen wordt voor zowel de stroomopwaartse migratie als de stroomafwaartse migratie rekening gehouden met de afvoerdeling in relatie tot de stuwstanden:

- als de stuw gestreken is, bestaat er geen hindernis en is er dus ook geen verlies bij de stuw (in beide richtingen);
- als de stuw niet is gestreken, dan kan geen vis passeren in stroomopwaartse richting en is de grootte van de verliespost irrelevant (het verlies treedt op bij het wachten/zoeken vóór de stuw, zie paragraaf 3.3.2).

De achterliggende informatie over de verliezen bij de verschillende objecten per stuwcomplex en de berekening van de vispasseerbaarheid is opgenomen in Bijlage B.3.

3.4 Dashboards

Twee “dashboards” geven een samenvatting van de resultaten van de berekeningen, namelijk een dashboard met de resultaten per stuwcomplex en een dashboard met de resultaten per riviertak. Op beide dashboards zijn dezelfde dropdown-boxes beschikbaar als in de hierboven beschreven tabbladen en de gemaakte keuzes zijn onderling gekoppeld. De grafieken in deze dashboard zijn kopieën van de grafieken in de eerder beschreven tabbladen. Op deze wijze kan de gebruiker in één tabblad direct het resultaat zien van de veranderingen van de instellingen.

3.4.1 Dashboard stuwcomplexen

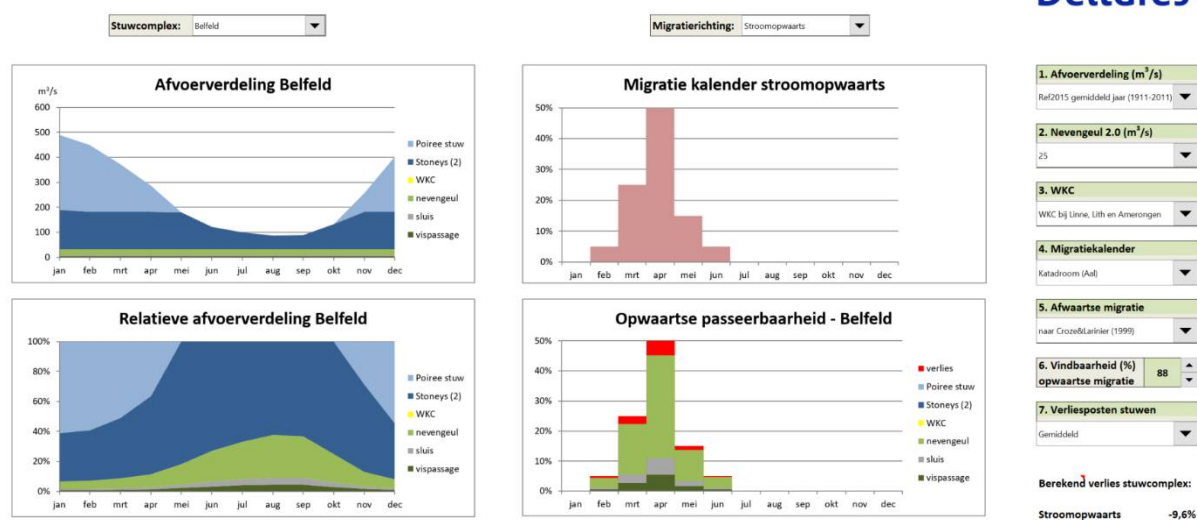
Het dashboard stuwcomplexen bevat 4 grafieken voor één stuwcomplex, namelijk:

- afvoerverdeling stuwcomplex
- relatieve afvoerverdeling stuwcomplex
- migratiekalender
- passeerbaarheid stuwcomplex

De dropdown-box linksboven (zie Figuur 3.10) geeft het gekozen stuwcomplex, en de dropdown-box rechtsboven geeft de gekozen migratierichting. De rechterzijde van het dashboard bevat alle eerder genoemde dropdown-boxen, zodat direct inzicht verkregen kan worden voor de gevolgen van de diverse keuzes voor vispasseerbaarheid van het stuwcomplex.

Het totaal berekend verlies bij het stuwcomplex voor stroomopwaarts of stroomafwaarts staat rechtsonder vermeld.

Dashboard resultaten analysetool vispasseerbaarheid stuwcomplexen



Figuur 3.10 Screenshot van het Dashboard Stuwcomplexen.

3.4.2 Dashboard riviertakken

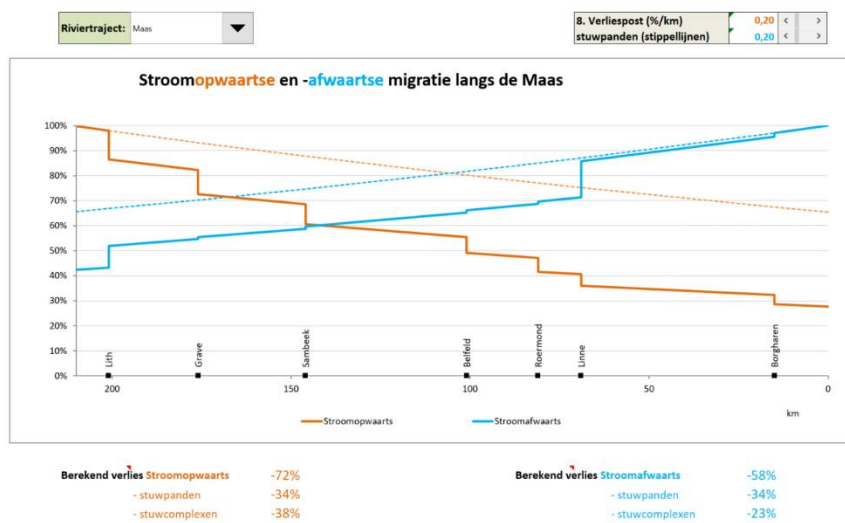
In het dashboard riviertakken is één grafiek opgenomen. Deze grafiek geeft voor de Nederrijn óf voor de Maas een overzicht van de berekende verliesposten bij stroomopwaartse en stroomafwaartse migratie. Uitgangspunt is een ‘aanbod’ van 100% bij de Belgische grens op de Maas voor de stroomafwaartse migratie en een ‘aanbod’ van 100% op ca. 10 km. Benedenstreams van Lith voor de stroomopwaartse migratie. Voor de Nederrijn is het uitgangspunt het splitsingspunt van de Nederrijn en de IJssel bij Arnhem voor de stroomafwaartse migratie en Krimpen aan de Lek voor de stroomopwaartse migratie.

In Figuur 3.11 is een screendump van beide grafieken opgenomen. De stippellijnen geven de verliesposten aan voor alleen de stuwpanden (dus de situatie zonder stuwcomplexen). Deze worden berekend op basis van de aanname over het verlies in de stuwpanden, uitgedrukt in % / km, zoals opgenomen in box 8. **Verliespost (%/km) stuwpanden**. Zie ook Bijlage A.5.

De rechterzijde van het dashboard bevat alle eerder genoemde dropdown-boxen, zodat direct inzicht verkregen kan worden voor de gevolgen van de diverse keuzes voor migratie van de riviertak.

Het totaal berekend verlies in de riviertak stroomopwaarts en stroomafwaarts staat onder de grafiek vermeld, waarbij onderscheid is gemaakt in de verliezen in de stuwpanden en bij de stuwcomplexen. De hier berekende verliezen komen – orde grootte – overeen met de informatie uit telemetrie onderzoek, zoals bijvoorbeeld beschreven in Vriese (2017). Zie ook Bijlage A.5.

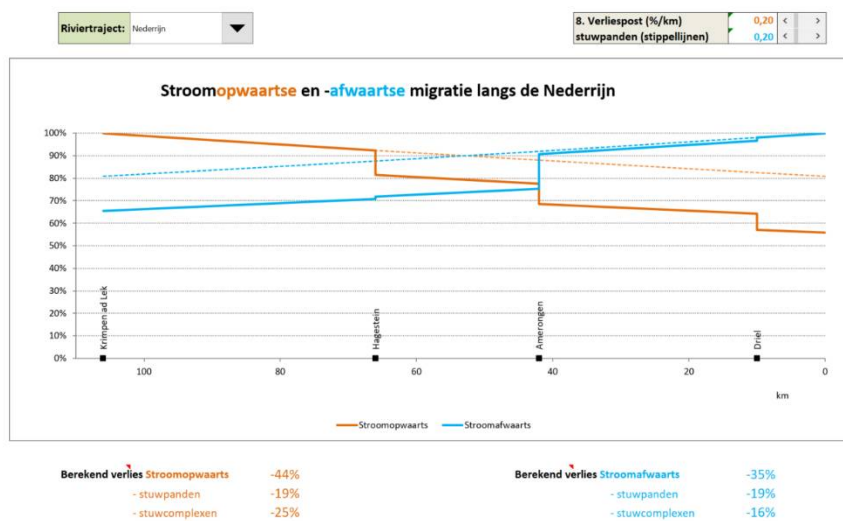
Dashboard resultaten analysetool vismigratie riviertraject



Deltares

- 1. Afvoerdivergentie (m³/s)
Ref2015 gemiddeld jaar (1911-2011)
- 2. Neveugeul 2.0 (m³/s)
0
- 3. WKC
WKC bij Linne, Lith en Amerongen
- 4. Migratiekalender
Kadadroom (Aal)
- 5. Afwaartse migratie
naar Croze&Larrier (1999)
- 6. Vindbaarheid (%) opwaartse migratie
88
- 7. Verliesposten stuwen
Gemiddeld

Dashboard resultaten analysetool vismigratie riviertraject



Deltares

- 1. Afvoerdivergentie (m³/s)
Ref2015 gemiddeld jaar (1911-2011)
- 2. Neveugeul 2.0 (m³/s)
0
- 3. WKC
WKC bij Linne, Lith en Amerongen
- 4. Migratiekalender
Kadadroom (Aal)
- 5. Afwaartse migratie
naar Croze&Larrier (1999)
- 6. Vindbaarheid (%) opwaartse migratie
88
- 7. Verliesposten stuwen
Gemiddeld

Figuur 3.11 Screendump van het Dashboard Riviertakken voor Maas (boven) en Nederrijn (onder).

4 Gevoeligheidsanalyse

Dit hoofdstuk gaat in op de resultaten van een globale gevoeligheidsanalyse die met het ontwikkelde tool is uitgevoerd. Het doel van deze analyse is om in beeld te brengen in welke mate een aanpassing in de invoerparameters van het tool leidt tot een verandering in de berekende vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen. De analyse heeft betrekking op 4 verschillende aspecten, namelijk (1) de (algemene) invoergegevens, (2) de verliesposten bij de stuwcomplexen en in de stuwpannen, (3) de mogelijke maatregelen, en (4) overig. Onderstaande paragrafen gaan nader in op de gebruikte invoer en resultaten van deze analyses.

4.1 Invoergegevens

Voor de (algemene) invoergegevens wordt onderscheid gemaakt in de gegevens over de rivierafvoer (klimaatscenario's), en de migratiekalenders voor de verschillende voorbeeldsoorten per visgildes.

In de invoer zijn 9 verschillende afvoerverdelingen beschikbaar (dropdown box 1, zie ook Bijlage A.2) voor verschillende klimaatscenario's, namelijk:

1. Referentie 2015 – 20-percentiel waarde ⁵⁾
2. Referentie 2015 – gemiddeld
3. Referentie 2015 – 80-percentiel waarde
4. GL2050 – 20-percentiel waarde
5. GL2050 – gemiddeld
6. WH2050 – 80-percentiel waarde
7. WH2050 – 20-percentiel waarde
8. WH2050 – gemiddeld
9. WH2050 – 80-percentiel waarde

Voor 3 voorbeeldsoorten zijn de migratiekalenders beschikbaar in het Analysetool, zoals beschreven in Bijlage A.3 (dropdown box 4).

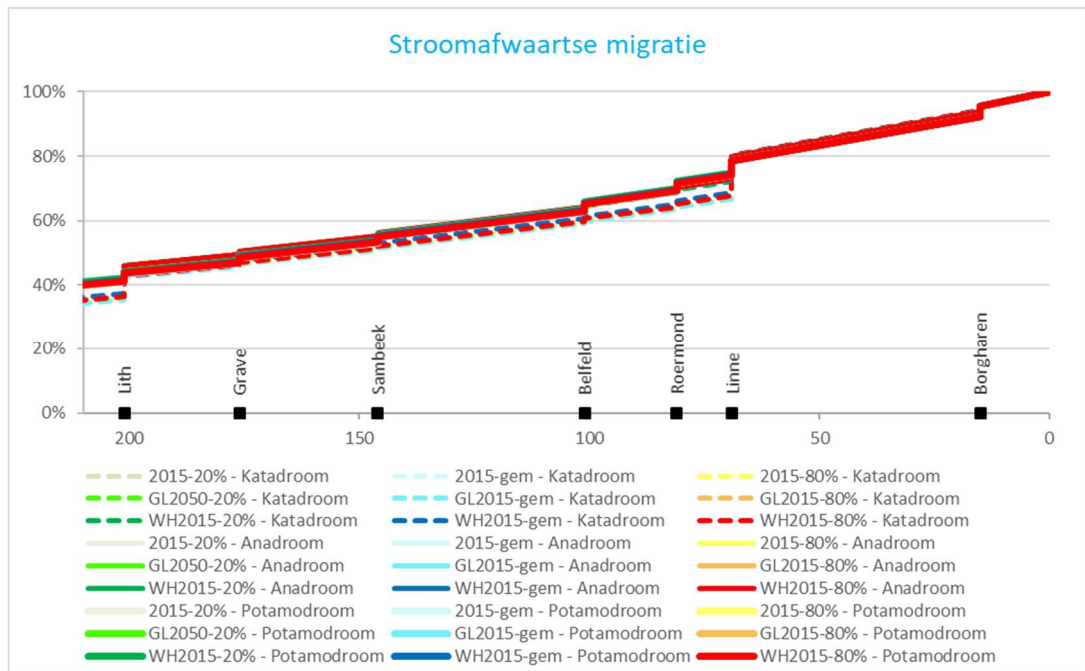
In de analyse zijn de 9 datasets voor de klimaatscenario's gecombineerd met de 3 verschillende migratiekalenders; in totaal zijn dit 27 berekeningen. Voor de overige invoergegevens zijn de volgende standaardwaarden gebruikt:

- Geen Nevengeul-2.0
- WKC bij Linne, Lith en Amerongen
- Stroomafwaartse migratie berekend volgens Croze&Larinier
- Vindbaarheid vispassage bij stroomopwaartse migratie "Gemiddeld 88%"
- Verliesposten bij stuwen "Gemiddeld 100%"
- Verliespost in stuwpannen "Gemiddeld" (0,3 %/km)

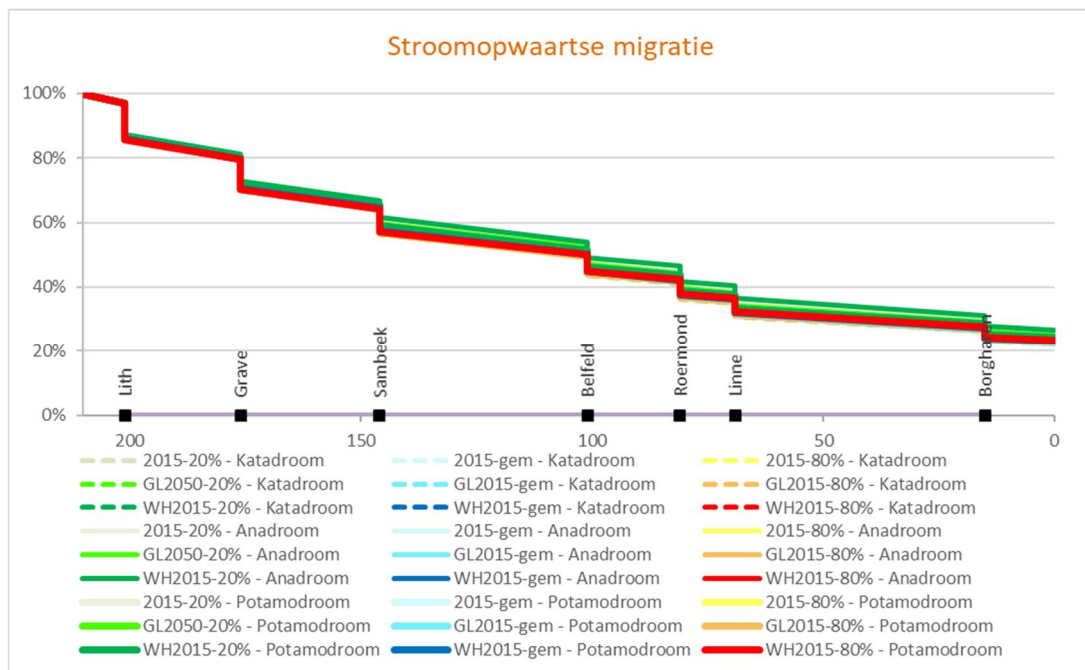
De resultaten van deze 27 berekeningen zijn weergegeven in Figuur 4.1 (stroomafwaartse migratie) en Figuur 4.2 (stroomopwaartse migratie). Uit deze figuren komt naar voren dat de verschillen in de berekeningsresultaten voor zowel de stroomopwaartse als de stroomafwaartse vismigratie op de Maas zeer beperkt zijn; de resultaten overlappen elkaar veelal. Nadere analyse van de resultaten op basis van Figuur 4.3 geeft aan dat het berekende effect van de afvoerverdeling cq. klimaatscenario's verwaarloosbaar klein is. De berekende verschillen tussen de onderscheiden visgildes/soorten cq. migratie kalenders is ook zeer beperkt.

⁵⁾ De 20- of 80-percentiel waarde geeft de afvoer waarbij 20% resp. 80% van de tijd de afvoer wordt onderschreden.

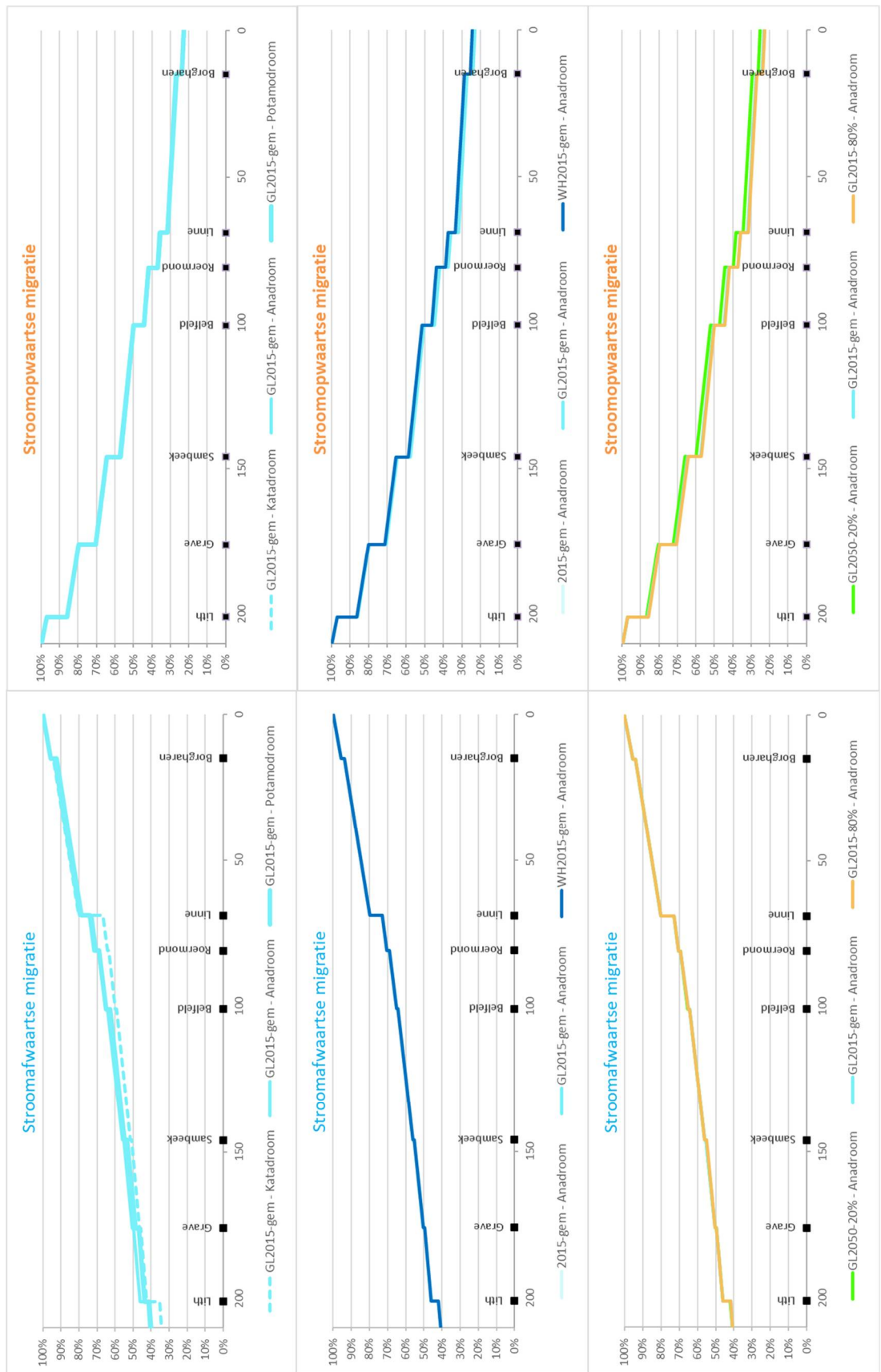
Opgemerkt moet worden dat deze figuren de berekende resultaten op jaarbasis weergeven. Omdat zowel in de afvoerverdelingen als in de migratiekalenders verschillen op maandbasis bestaan, bestaan er ook verschillen in de berekeningsresultaten op maandbasis. Deze verschillen op maandbasis leiden op jaarbasis echter niet tot onderscheid.



Figuur 4.1 Resultaten berekeningen gevoeligheidsanalyse invoergegevens stroomafwaartse migratie.



Figuur 4.2 Resultaten berekeningen gevoeligheidsanalyse invoergegevens stroomopwaartse migratie.



Figuur 4.3 Resultaten berekeningen gevoeligheidsanalyse invoergegevens visgilde/migratie kalender (boven), klimaatscenario (midden), en droogte (onder) voor stroomafwaartse en stroomopwaartse migratie op de Maas.

4.2 Verliesposten

Voor de berekening van het effect van de waarde van de verliesposten zijn 3 verschillende invoerparameters relevant, namelijk de verliesposten bij de verschillende objecten in het stuwcomplex (dropdown box 7, Bijlage A.4), de verliezen in de stuwpanden (dropdown box 8, Bijlage A.5) en de vindbaarheid van de stroomopwaarts passeerbare routes (dropdown box 6, Bijlage B.2). Voor elk van deze parameters zijn 3 opties opgenomen in de gevoeligheidsanalyse, namelijk:

- Verliesposten objecten: Hoog 200% – Gemiddeld 100% – Laag 50%
- Verliesposten stuwpanden: Groot (0,5 %/km) – Gemiddeld (0,3 %/km) – Klein (0,1 %/km)
- Vindbaarheid passeerbare routes: Goed (91%) – Gemiddeld (88%) – Slecht (85%)

In de gevoeligheidsanalyse “Verliesposten” worden deze (3*3*3 =) 27 berekeningen gecombineerd. Voor de overige invoergegevens zijn de volgende standaardwaarden gebruikt:

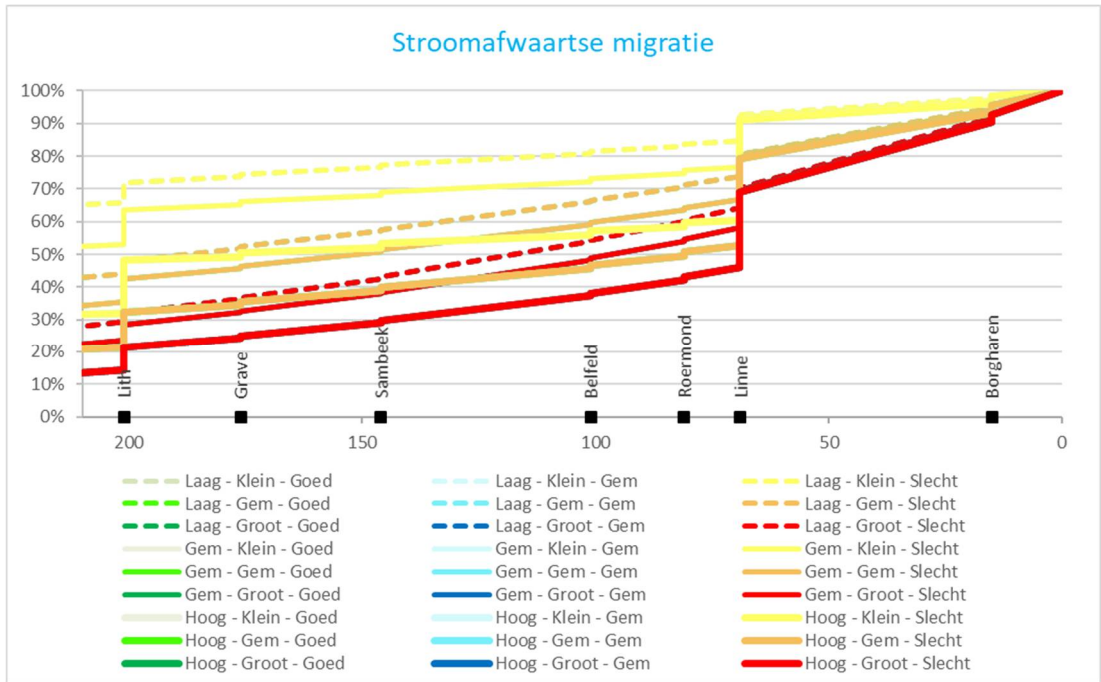
- Afvoerverdeling “Ref2015 gemiddeld”
- Geen Nevengeul-2.0
- WKC bij Linne, Lith en Amerongen
- Migratiekalender “Katadroom”
- Stroomafwaartse migratie berekend volgens Croze&Larinier

De resultaten van de 27 berekeningen voor de verschillende verliesposten zijn weergegeven in Figuur 4.4, Figuur 4.5 en Figuur 4.6.

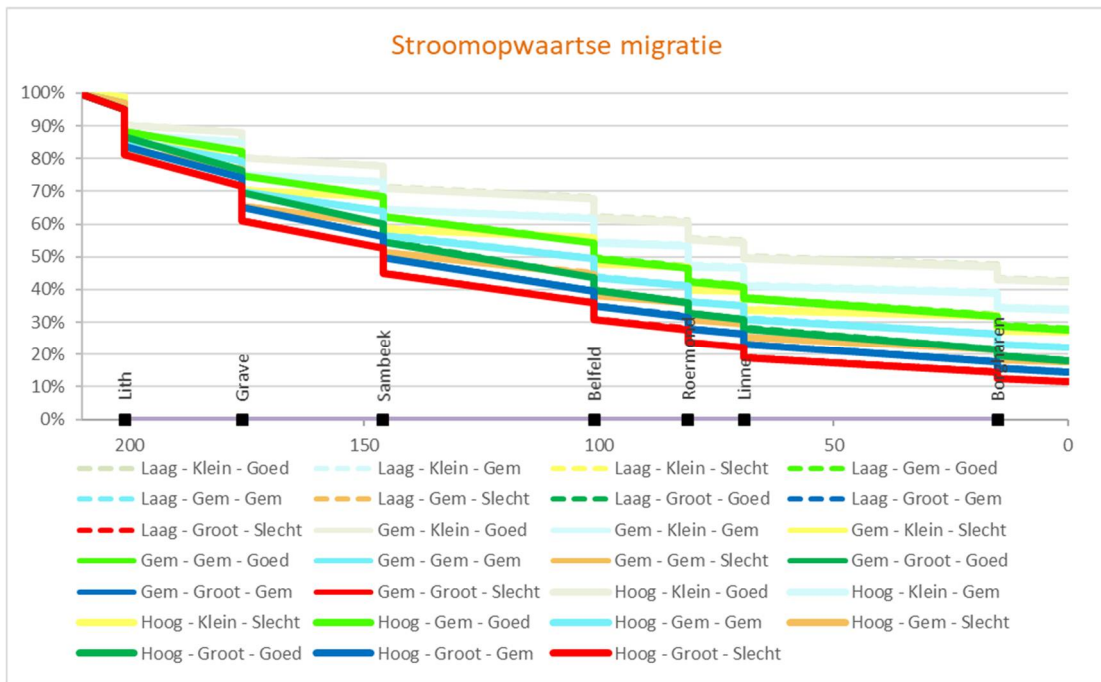
Voor de stroomafwaartse migratie zijn 9 verschillende resultaten zichtbaar in Figuur 4.4; dit zijn de berekeningsresultaten voor de 9 combinaties van de verliesposten bij de objecten en in de stuwpanden. Voor de stroomafwaartse migratie is de gekozen waarde voor de vindbaarheid van de (stroomopwaarts) passeerbare routes irrelevant, en daarom zijn de resultaten voor de berekeningen identiek (en zijn er maar 9 ipv. 27 lijnen zichtbaar). Zie ook het linker gedeelte van Figuur 4.6.

De gekozen waarde voor de verliesposten in de stuwpanden heeft het grootste effect in de berekening; bij een verliespost in de stuwpanden van 0,1 %/km is het totale stroomafwaartse verlies over dit traject in de Maas ca. 35% kleiner dan bij een verliespost van 0,5 %/km. Het berekende effect van de keuze voor de waarde van de verliesposten bij de stuwcomplexen bedraagt ca. 15% op de totale stroomafwaartse migratie in de Maas.

Voor de stroomopwaartse migratie zijn de gekozen waardes voor de verliesposten bij de stuwcomplexen nagenoeg irrelevant; de berekende stroomopwaartse migratie is vooral afhankelijk van de verliesposten in de stuwpanden en de vindbaarheid van de passeerbare routes bij de stuwcomplexen. In Figuur 4.5 is dat moeilijk leesbaar (de resultaten van de berekeningen zijn niet onderscheidend), maar het rechter gedeelte van Figuur 4.6 illustreert dat goed. Het berekende effect van de keuze voor de waarde van de verliesposten in de stuwpanden bedraagt ca. 20% op de totale stroomopwaartse migratie in de Maas. De keuze voor de waarde voor de vindbaarheid van de passeerbare routes heeft een berekend effect van ca. 10%.



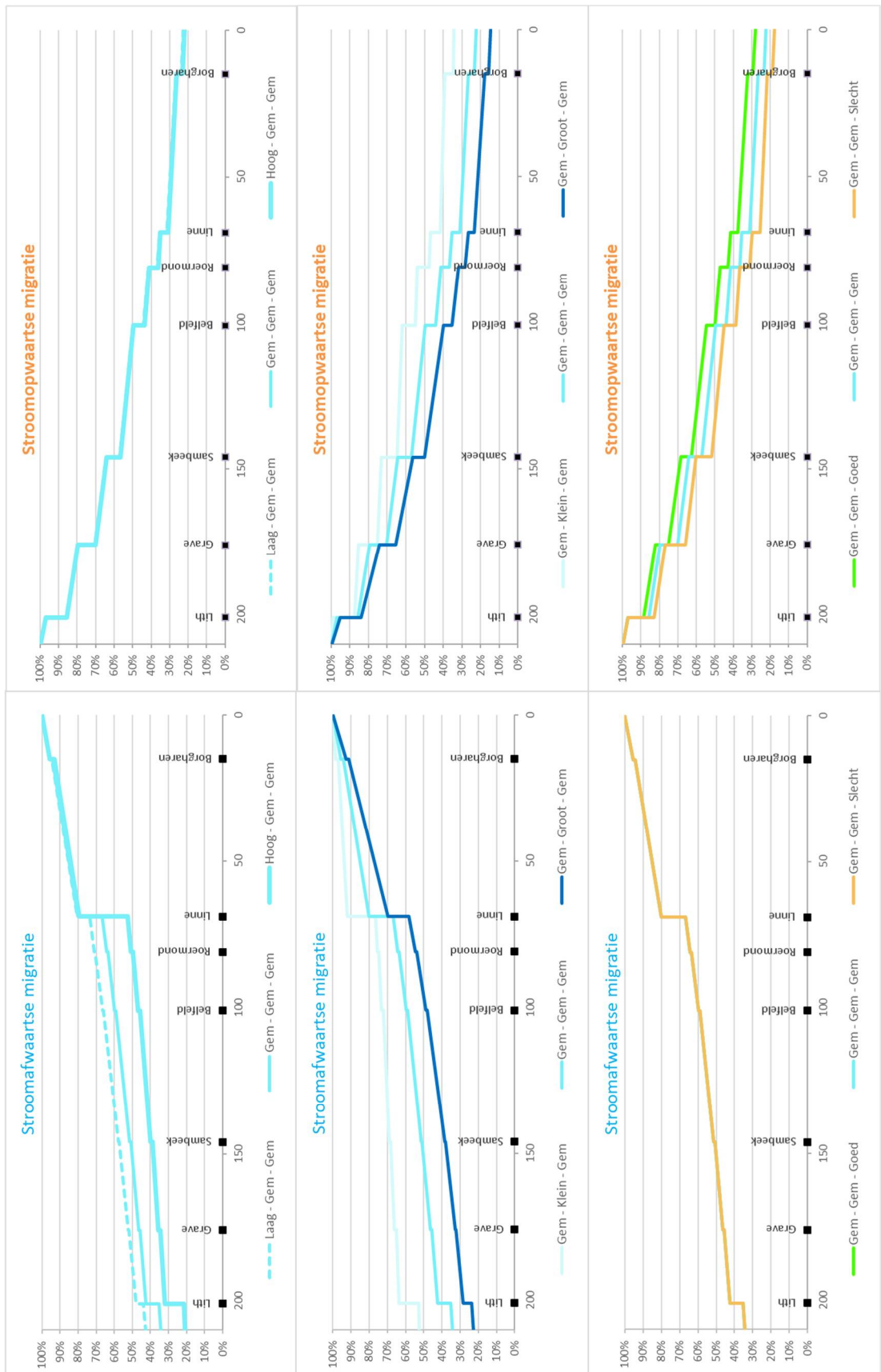
Figuur 4.4 Resultaten berekeningen gevoeligheidsanalyse verliesposten stroomafwaartse migratie voor verliesposten objecten – verliesposten stuwpanden – vindbaarheid passeerbare routes. Zie onderstaande toelichting.



Figuur 4.5 Resultaten berekeningen gevoeligheidsanalyse verliesposten stroomopwaartse migratie voor verliesposten objecten – verliesposten stuwpanden – vindbaarheid passeerbare routes. Zie onderstaande toelichting.

Toelichting:

- Verliesposten objecten: Laag 50% – Gemiddeld 100% – Hoog 200%
- Verliesposten stuwpanden: Klein (0,1 %/km) – Gemiddeld (0,3 %/km) – Groot (0,5 %/km)
- Vindbaarheid passeerbare routes: Goed (91%) – Gemiddeld (88%) – Slecht (85%)



Figuur 4.6 Resultaten berekeningen gevoeligheidsanalyse invoergegevens verliesposten bij objecten (boven), verliesposten stuwpannen (midden), en vindbaarheid opwaarts passeerbare routes (onder) voor stroomafwaartse en stroomopwaartse migratie op de Maas.

4.3 Maatregelen

Met betrekking tot de mogelijke maatregelen om de vispasseerbaarheid te verbeteren zijn in de gevoeligheidsanalyse 3 soorten maatregelen opgenomen, namelijk stuwpasserende Nevengeulen aanleggen, WKC's verwijderen of aanleggen en Stuwen aanpassen. Voor elk soort maatregel zijn 3 alternatieven onderscheiden, namelijk:

- Op dit moment zijn er nog geen stuwpasserende nevengeulen (NG2.0) aanwezig. In de gevoeligheidsanalyse zijn drie variantie opgenomen voor de Nevengeul-2.0 (dropdown box 2):
 - huidige situatie: geen NG2.0 ("geen")
 - mogelijke toekomstige situatie: NG2.0 van 50 m³/s bij Borgharen en Lith ("BorLith")
 - mogelijke toekomstige situatie: overal een NG2.0 van 50 m³/s ("overall")
- Met betrekking tot de WKC's wordt hier onderscheid gemaakt in (dropdown box 3):
 - een situatie waarin geen WKC's aanwezig zijn ("geen"),
 - de huidige situatie met WKC's bij Linne, Lith en Amerongen ("LinnLith") en
 - een situatie waarbij overal een WKC aanwezig is ("overall")

In alle gevallen betreft het een WKC met een capaciteit van 400 m³/s.

- Ten slotte zijn 3 varianten opgenomen ten aanzien van de verliesposten bij de stuwcomplexen. Hiervoor zijn drie sets beschikbaar gemaakt in het analysetool (dropdown box 7):
 - hoog 200%: toename van de verliesposten, bv. door achterstallig onderhoud van de stuwen of de voor vis passeerbare routes
 - gemiddeld 100%: geeft globaal de huidige situatie weer
 - laag 50%: extra maatregelen, bv. vergroting van de woelbak bij Stoney schuif om de turbulentie te beperken

Deze 3 varianten kwamen ook in paragraaf 4.2 aan de orde.

In de gevoeligheidsanalyse "Maatregelen" worden deze 3*3*3 berekeningen gecombineerd; in totaal gaat het hier ook om 27 berekeningen. Voor de overige invoergegevens zijn de volgende standaardwaarden gebruikt:

- Afvoerverdeling "Ref2015 gemiddeld"
- Migratiekalender "Katadroom"
- Stroomafwaartse migratie berekend volgens Croze&Larinier
- Vindbaarheid vispassage bij stroomopwaartse migratie 88%
- Verliespost in stuwpannen 0,3 %/km

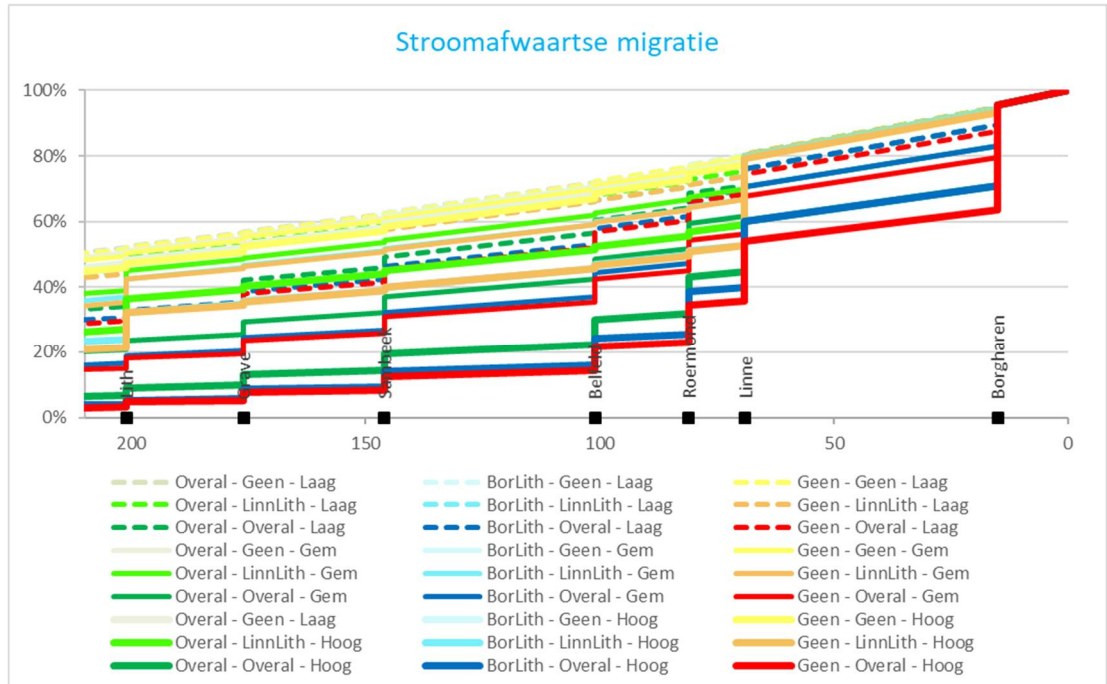
De resultaten van deze 27 berekeningen zijn weergegeven in Figuur 4.7, Figuur 4.8 en Figuur 4.9.

De hier beschouwde mogelijke maatregelen hebben vooral invloed op de stroomafwaartse migratie, en minder op de stroomopwaartse migratie: de berekende verliezen bij stroomafwaartse migratie variëren ongeveer van 10% tot 50% en bij stroomopwaartse migratie ongeveer van 20% tot 30%. Zie Figuur 4.7 en Figuur 4.8.

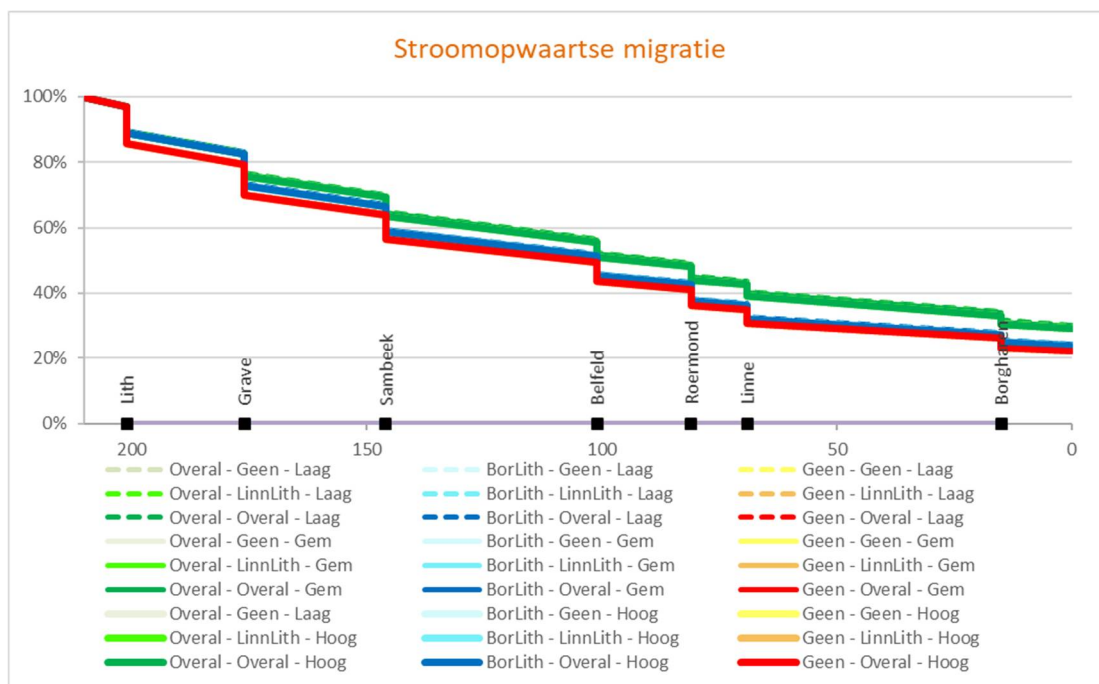
De berekende bijdrage van de verschillende maatregelen komt het beste tot uitdrukking in Figuur 4.9. Voor de stroomafwaartse migratie zou een verlaging van het verlies bij de stuwen (van het huidige "gemiddeld" naar "laag") een positief effect hebben van ca. 5%. Als de verliesposten toenemen naar "hoog" neemt het verlies toe met ca. 10%.

Het berekende effect van de WKC's ligt in dezelfde orde van grootte: wanneer de bestaande WKC's bij Linne en Lith niet meer gebruikt zouden worden, dalen de verliezen hetgeen positief is voor de migratie. Wanneer meer WKC's zouden worden gebouwd, dan nemen de verliezen toe.

Voor de stroomopwaartse migratie hebben deze twee maatregelen geen effect. De aanleg van een Nevengeul-2.0 (van 50 m³/s) bij elke stuw zou wel een positief effect hebben op de stroomopwaartse migratie op de Maas. Het berekende effect van een Nevengeul-2.0 op de stroomafwaartse migratie is beperkt. Mogelijk zou het effect van een Nevengeul-2.0 op de stroomafwaartse migratie groter kunnen worden door deze te combineren met visgeleiding (zodat meer vis voor de Nevengeul-2.0 kiest).



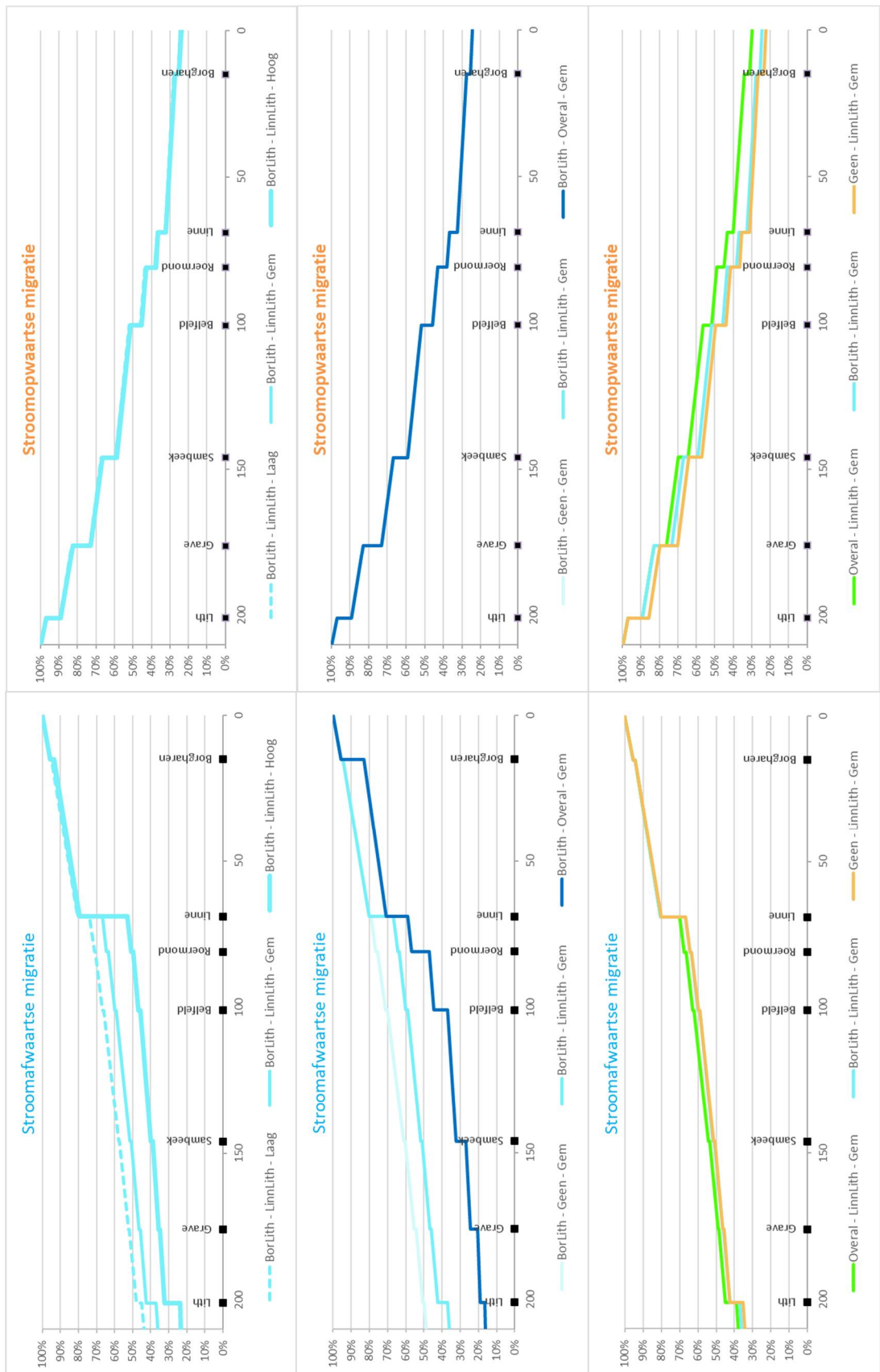
Figuur 4.7 Resultaten berekeningen gevoeligheidsanalyse maatregelen stroomafwaartse migratie voor aanwezigheid NG-2.0 – aanwezigheid WKC – verliesposten objecten. Zie onderstaande toelichting.



Figuur 4.8 Resultaten berekeningen gevoeligheidsanalyse maatregelen stroomopwaartse migratie voor aanwezigheid NG-2.0 – aanwezigheid WKC – verliesposten objecten. Zie onderstaande toelichting.

Toelichting:

- NG2.0: Overall – Borgharen en Linne – Geen
- WKC's: Geen – Linne en Lith - Overall
- Verliesposten objecten: Laag 50% – Gemiddeld 100% – Hoog 200%



Figuur 4.9 Resultaten berekeningen gevoeligheidsanalyse invoergegevens verliesposten bij stuwen verkleinen (boven), de aanwezigheid van een WKC's (midden), en de aanwezigheid van een Nevengemaal-2.0 (onder) voor stroomafwaartse en stroomopwaartse migratie op de Maas.

4.4 Overig

Tenslotte is in de gevoeligheidsanalyse het effect van de keuze voor “fish follows flow” of “Croze-Larinier” beschouwd, in combinatie met de keuze voor het gilde/vissoort en de grootte van de Nevengeul-2.0.

- Voor de capaciteit van de stuwpasserende nevengeul (NG2.0) zijn drie varianten opgenomen (dropdown box 2):
 - bij geen enkel stuwcomplex een nevengeul: 0 m³/s
 - bij elk stuwcomplex een nevengeul met een capaciteit van 50 m³/s
 - bij elk stuwcomplex een nevengeul met een capaciteit van 100 m³/s
- Voor 3 voorbeeldsoorten zijn de migratiekalenders beschikbaar in het Analysetool, zoals beschreven in Bijlage A.3 (dropdown box 4).
- Voor de wijze waarop stroomafwaarts migrerende vis zich verdeelt over de verschillende objecten bij een splitsingspunt zijn 2 opties beschikbaar, namelijk “fish follows flow” en “Croze-Larinier”. Zie ook paragraaf 3.3.2 en Bijlage B.2.1 (dropdown box 5). Vanwege consistentie met de andere berekeningen in de gevoeligheidsanalyse is Croze-Larinier 2-maal in de berekeningen opgenomen.

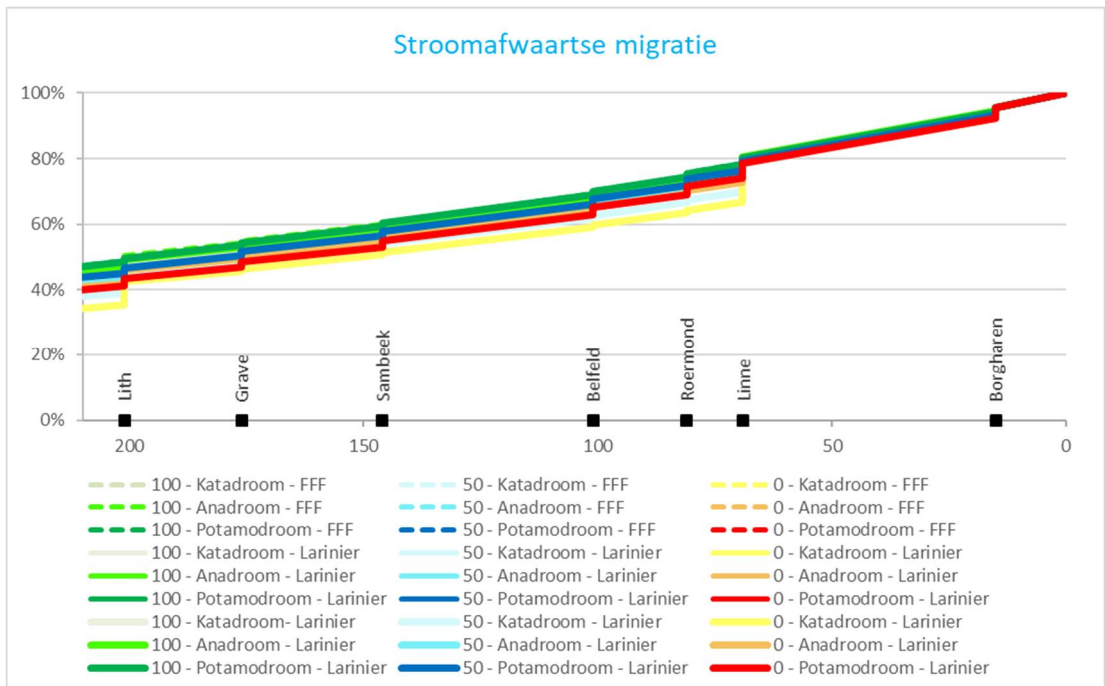
In de gevoeligheidsanalyse “Overig” worden deze 3*3*3 berekeningen gecombineerd; in totaal gaat het hier ook om 27 berekeningen (waarbij dus de laatste 9 dus feitelijk doublures zijn). Voor de overige invoergegevens zijn de volgende standaardwaarden gebruikt:

- Afvoerverdeling “Ref2015 gemiddeld”
- WKC bij Linne, Lith en Amerongen
- Vindbaarheid vispassage bij stroomopwaartse migratie 88%
- Verliesposten bij stuwen “Gemiddeld 100%”
- Verliespost in stuwpanen 0,3 %/km

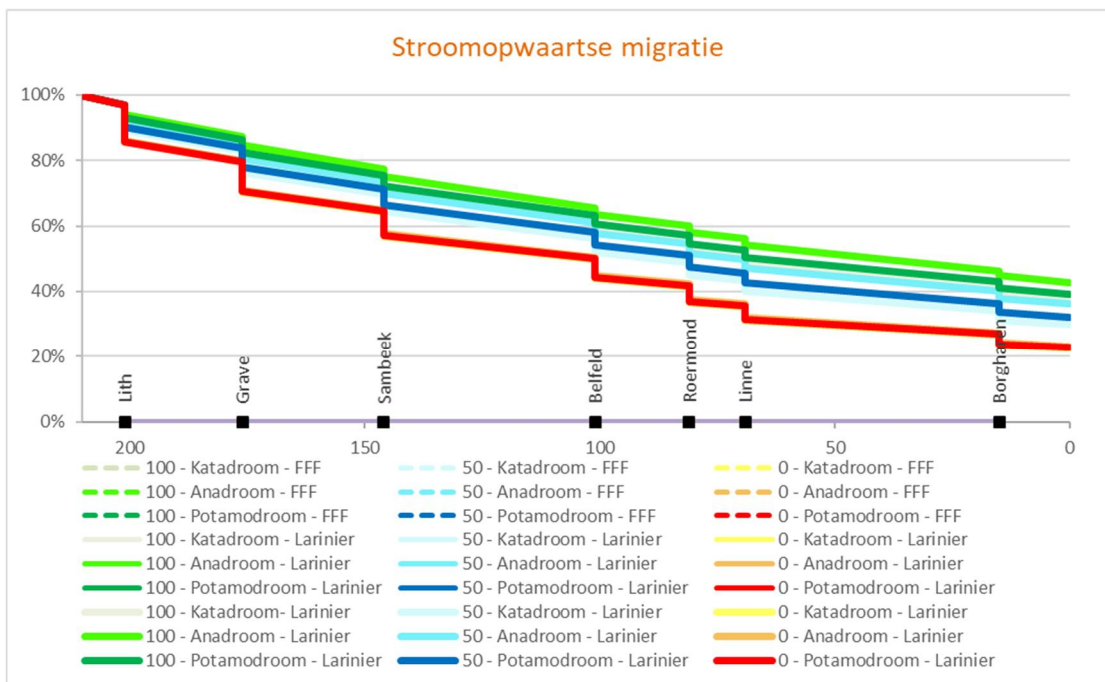
De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in Figuur 4.10, Figuur 4.11 en Figuur 4.12.

De resultaten van deze berekeningen geven aan dat de keus voor “FishFollowsFlow of “Croze Larinier” leidt tot een gering verschil bij de stroomafwaartse migratie; op de berekende stroomopwaartse migratie heeft deze keuze geen enkel effect. Zie Figuur 4.12.

De capaciteit van de Nevengeul-2.0 heeft met name een effect op de berekende stroomopwaartse migratie – mede door de wijze waarop het effect van een Nevengeul-2.0 op de stroomafwaartse migratie berekend wordt –, hetgeen ook in paragraaf 4.3 naar voren kwam. De verschillen in de berekeningen voor de verschillende voorbeeldsoorten zijn zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts relatief beperkt in vergelijking tot de andere variabelen.

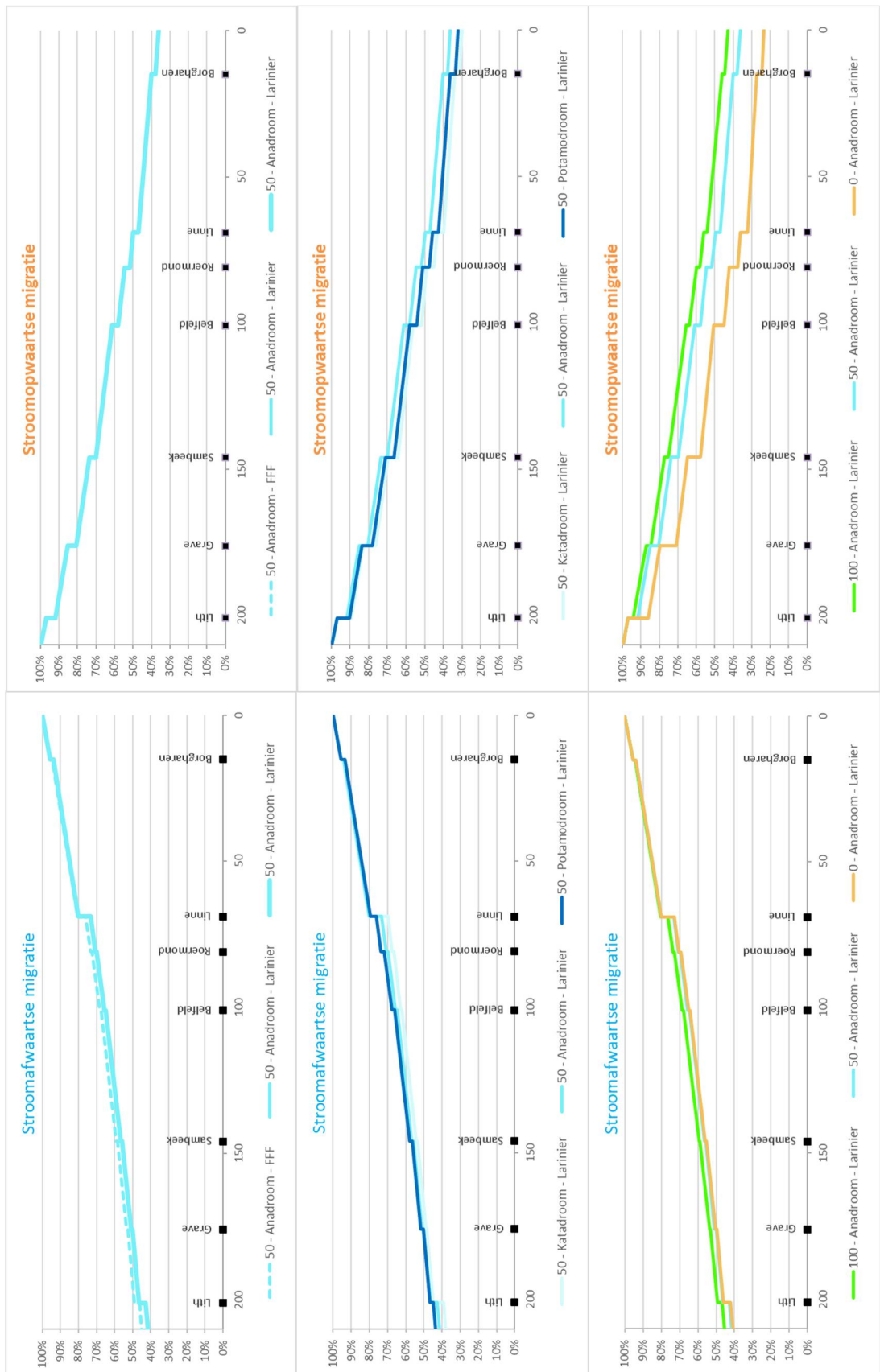


Figuur 4.10 Resultaten berekeningen gevoeligheidsanalyse overige keuzes stroomafwaartse migratie: capaciteit NG-2.0 – visgilde – verdeling bij splitsingspunt. Zie onderstaande toelichting.



Figuur 4.11 Resultaten berekeningen gevoeligheidsanalyse overige keuzes stroomopwaartse migratie: capaciteit NG-2.0 – visgilde – verdeling bij splitsingspunt. Zie onderstaande toelichting.

- Capaciteit NG2.0: 100 m³/s – 50 m³/s – 0 m³/s
- Visgilde/migratiekalender: Katadroom – Anadroom – Potamodroom
- Verdeling splitsingspunt: FishFollowsFlow – Croze-Larinier – Croze-Larinier



Figuur 4.12 Resultaten berekeningen gevoeligheidsanalyse invoergegevens overig: verdeling splitsingspunt (boven), de visgilde (midden), en capaciteit Nevengeul-2.0 (onder) voor stroomafwaartse en stroomopwaartse migratie op de Maas.

5 Conclusies

Vismigratie vormt een belangrijk aspect van het functioneren van het ecosysteem in het hoofdwatersysteem van Rijkswaterstaat. Slechte passeerbaarheid voor vis van barrières zoals bij stuwcomplexen is een risico voor het in stand houden van vispopulaties. Het passeerbaar maken van deze barrières, en daarmee het herstel van de longitudinale connectiviteit in de rivieren, speelt een sleutelrol in het herstel van de populaties van migrerende vissoorten (bv. PIANC, 2013, Coeck et al., 2019).

In de literatuur is allerlei informatie beschikbaar over de bijdrage van de verschillende verliesposten bij de stuwcomplexen – zowel in stroomopwaartse als in stroomafwaartse richting – voor verschillende vissoorten/gildes. Veel van deze informatie is gebaseerd op meetgegevens bij een specifiek object, voor een specifieke soort, op een bepaald moment, onder bepaalde omstandigheden. De bijlages van dit rapport geven een overzicht van deze informatie.

Om deze informatie op een gestructureerde wijze te verwerken, en op een generieke wijze toe te passen voor een watersysteem met diverse stuwcomplexen, zoals bijvoorbeeld de Maas en de Nederrijn, is een flexibel analysetool ontwikkeld. Dit analyse tool biedt de mogelijkheid om de gekozen waarden voor de cruciale parameters te variëren, daarmee de verliezen te berekenen van een soort, voor de afzonderlijke objecten binnen de stuwcomplexen, alsmede het totale verlies bij een stuwcomplex, en het verlies in het volledige watersysteem.

Het analysetool is toegepast voor de Maas en Nederrijn. Daarbij is de beschikbare kennis over de diverse objecten binnen de stuwcomplexen verwerkt, inclusief een schatting van de verdeling van de afvoer over de verschillende objecten. Daarnaast is informatie over de migratiekalenders en de verliezen bij de objecten voor verschillende vissoorten opgenomen. Ook zijn de verliezen in de stuwpannen – tussen de stuwcomplexen – in de berekeningen opgenomen.

Uit berekeningen met het analysetool in een (globale) gevoeligheidsanalyse voor de Maas en Nederrijn blijkt dat de onzekerheden over de grootte van de verliesposten nog vrij groot zijn, en daarmee ook het totale verlies in het volledige watersysteem (nog) niet eenduidig is vast te stellen. Toch kunnen op basis van deze berekeningen de volgende conclusies worden getrokken over de verliezen bij de stuwcomplexen en in de stuwpannen:

Stuwcomplexen

- De berekende directe verliezen bij de stroomafwaartse migratie bij de stuwen in de Maas en Nederrijn (als onderdeel van een stuwcomplex) zijn relatief beperkt. De mogelijkheden om deze verliezen verder te reduceren zijn dan ook beperkt. De meeste winst zou kunnen worden bereikt door de indirecte verliezen (als gevolg van predatie benedenstrooms van de stuwen) te beperken, bijvoorbeeld door de turbulentie in de woelbakken te beperken.⁶
- Voor de stroomafwaartse migratie vormen de (huidige) WKC's (als onderdeel van de stuwcomplexen) een relevante verliespost. Naarmate er in de toekomst meer WKC's gebouwd worden (en gebruikt worden) zullen de verliezen toenemen. Toepassing van 'visvriendelijke' varianten van nieuwe turbines kan een belangrijke beperking bieden van deze verliezen.
- Voor de stroomopwaartse migratie zijn de verliezen bij de stuwcomplexen in belangrijke mate het gevolg van de (on)vindbaarheid van de passeerbare routes. Verbetering van de

⁶ De turbulentie in de woelbak houdt de stroomopwaarts migrerende vis mogelijk juist weg van de stuw, en triggert de vis om een passeerbare route te zoeken langs de randen van het turbulentie veld. Bij het ontwerp van de nieuwe stuwen op de Maas zouden beide aspecten in onderlinge samenhang beschouwd moeten worden.

vindbaarheid van bv. vispassages (en wellicht op sommige plaatsen ook in het functioneren van de vispassages, zie bv. Tummers et al, 2018) kan bijdragen aan het verbeteren van de passeerbaarheid van de stuwcomplexen in stroomopwaartse richting.

- Indirecte verliezen bovenstrooms van het stuwcomplex (als gevolg van het wacht-/zoekgedrag van stroomafwaarts migrerende vissen) zijn in de huidige analyse nog niet opgenomen. Naar verwachting is deze verliespost voor de gestuwde Maas en Nederrijn minder relevant, maar kan in vrij-afstromende rivieren die deels verstuwd zijn deze verliespost wel van belang zijn.

Stuwpannen

- Naast het verlies bij de stuwcomplexen draagt ook het verlies in de stuwpannen bij aan de totale verliezen in het watersysteem. Ten aanzien van de verliezen in de stuwpannen (door o.a. natuurlijke predatie, beperkte stroming, visserij, scheepvaart) is nog niet veel kennis beschikbaar. Bij een verondersteld verlies van 0,2%/km bedraagt het verlies op het in deze studie beschouwde deel van de Maas (van St. Pieter tot Lith is de afstand 211 km) in de stuwpannen 35%. Het Nederlandse deel van de Maas loopt door tot in het Haringvliet, maar dat vormde geen onderdeel van deze studie. Ook het Belgische deel van de Maas vormde geen onderdeel van deze studie.

Tijdens een tweetal bijeenkomsten is het effect van de mogelijke aanleg van een stuwpasserende Nevengeul-2.0 bij de stuwcomplexen nader beschouwd. Het effect van een Nevengeul-2.0 op de vispasseerbaarheid van een stuwcomplex is ook in het analysetool opgenomen en berekend.

Nevengeul-2.0

- De primaire doelstelling van een Nevengeul-2.0 is om een bijdrage te leveren aan het creëren van stromend habitat, en daarmee een positief effect te bieden aan de vispopulatie in het watersysteem.
- Daarnaast kan een Nevengeul-2.0 bij een stuwcomplex bijdragen aan de verlaging van verliezen bij stroomafwaartse migratie, zeker indien een substantieel deel van de afvoer via de Nevengeul-2.0 stroomt. Echter, omdat de directe verliezen bij de stuwen zelf beperkt zijn, is het effect van een Nevengeul-2.0 op de stroomafwaartse directe verliezen ook beperkt. Mogelijk kan een Nevengeul-2.0 daarnaast bijdragen aan de beperking van de indirecte verliezen zowel bovenstrooms van de stuw (beperking predatie tijdens zoeken/wachten) als benedenstrooms (beperking predatie na passeren woelbak).
- Voor de stroomopwaartse migratie kan een Nevengeul-2.0 wel een positieve bijdrage leveren aan de passeerbaarheid (doordat de vindbaarheid van de passeerbare routes verbeterd wordt). Dat geldt vooral bij een relatief lage afvoer (als relatief veel water via de Nevengeul-2.0 het stuwcomplex passeert).
- Door een ruime variatie qua habitats te creëren in de Nevengeul-2.0 kunnen wellicht ook soorten stroomopwaarts passeren waarvoor de huidige vispassages onvoldoende mogelijkheden bieden.

6 Literatuur

- Anteagroup, 2014. Vervangingsopgave Natte Kunstwerken (VONK): Stuwen Maas. Investeringsraming, pre-verkenningfase. 270834-00
- Arends, G.J., 1994. Sluizen en stuwen. De ontwikkeling van de sluis- en stuwbouw in Nederland tot 1940. T.U. Delft 1994. ISBN 90-6275-700-6.
- Arcadis, 2010a. RINK SSC – Integrale rapportage – complex Hagestein. Arcadis kenmerk 075188658:B
- Arcadis, 2010b. RINK SSC – Risico Inventarisatie Natte kunstwerken. Analyse waterbouw stuw- en sluiscomplex Amerongen. Arcadis kenmerk 075183981:B C02021.000130
- Van Aubel, P. 2016. Objectomschrijvingen van Borgharen (mei 2016), Linne (september, 2019), Roermond (augustus, 2015), Belfeld (augustus, 2015), Sambeek (april, 2016), Grave (november 20,15), Lith (juli, 2015).
- Barry, J., B. Coghlan, A. Cullagh, J.R. Kerr, J.J. King, 2018. Comparison of coarse-resolution rapid methods for assessing fish passage at riverine barriers: ICE and SNIFFER protocols. *River Res Applic.* 2018;1–11. <https://doi.org/10.1002/rra.3358>
- Brevé, Niels W.P., A.D. Buijse, M.L. Kroes, H. Wanningsen, F.T. Vriese, 2014a. Supporting decision-making for improving longitudinal connectivity for diadromous and potomodromous fishes in complex catchments. *Science of the total environment* 496 (2014) 206-218.
- Brevé, N., H. Vis, I.L.Y. Spierts, G. de Laak, F. Moquette & A. Breukelaar, 2014b. Exorbitant mortality of hatchery-reared Atlantic salmon smolts *Salmo salar* L., in the Meuse river system in the Netherlands. *J. Coast. Conserv.* (2014) 18:97 – 109.
- Bruijs, Maarten & Polman, Harry & Aerssen, & G.H.F.M, & Haddingh, R.H. & Winter, H.V. & Deerenberg, Charlotte, 2003. Management of silver eel: human impact on downstream migrating eel in de river Meuse: impact assessment of hydroelectric power stations and commercial eel fisheries on the eel population in the river Meuse. Final Report EU-FP5 Contract Q5RS-2000-31141
- Buijse, A.D. 2009. Aanpassing turbinebeheer om vissterfte te reduceren. Memo 17 februari 2009.
- Coeck, J., P.P. Schollema, K. Martens, N.W.P. Brevé, 2019. Herstel van longitudinale connectiviteit in stroomgebieden. *Landschap* 2019/2, pp 61-67.
- Croze, O et M. Larinier, 1999. Etude du comportement de smolts de saumon atlantique au niveau de la prise d'eau de l'usine hydroélectrique de pointis sur la Garonne et estimation de la dévalaison au niveau du barrage de Rodère. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture* (1999) 353/354: 141-156
- Deltares, 2015. Implications of the KNMI'14 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse, comparison with earlier scenario studies, Frederiek Sperna Weiland, Mark Hegnauer, Laurene Bouaziz, Jules Beersma, Deltares rapport 1220042-000

- Deltares, 2016. Snippen, E., M. Mens, J. Hunink, J. Ter Maat, 2016. Basisprognoses Zoetwater – Controle NWM-instrumentarium in het licht van de Knelpuntenanalyse Zoetwater. Deltares rapport 1230058-001
- Denderen, R.P. van, 2019. Side Channel Dynamics. Dissertation University of Twente. doi: 10.3990/1.9789036547437
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall – DWA, 2006. Fisch protection technologies and Downstream Fishways. Dimensioning, Design, Effectiveness Inspection. ISBN-10: 3-939057-35-5.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall – DWA, 2014. Merkblatt DWA-M 509. Fischaufstieganlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung.
- Ebel, Guntram, 2018. Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen. Handbuch Rechen und Bypasssystemen. Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie BGF (Band 4). 3. Auflage.
- Gauld, N.R. and Campbell, R.N.B. and Lucas, M.C., 2013. Reduced flow impacts salmonid smolt emigration in a river with low-head weirs. *Science of the total environment.*, 458-460. pp. 435-443.
- Gerritsen, Hans en Max Schropp, 2010. Handreiking sedimentbeheer nevengeulen. Rijkswaterstaat Waterdienst.
- Goodwin, R. Andrew, Marcela Politano, Justin W. Garvin, John M. Nestler, Duncan Hay, James J. Anderson, Larry J. Weber, Eric Dimperio, David L. Smith, and Mark Timko, 2014. Fish navigation of large dams emerges from their modulation of flow field experience. *PNAS*, April 8, 2014, vol. 111, no. 14, 5277–5282. doi:10.1073/pnas.1311874111
- Griffioen, A.B., O.A. van Keeken en H.V. Winter, 2019. Silver eel mortality during downstream migration in the Meuse: comparing telemetry study 2010-2012 to 2002- 2006. Wageningen University & Research report C099/19. <https://doi.org/10.18174/505630>
- Gubbels, R.E.M.B., M.H.A.M. Belgers & H.-J. Jochims, 2012. Monitoring vismigratie Roer ECI. Resultaten 2011. Intern rapport. Waterschap Roer en Overmaas, Sittard.
- Hop, J., 2011. Vismigratie Rijn- en Maasstroomgebied. – samenvatting op hoofdlijnen. Rapportnummer 20110414/001 ATKB, Geldermalsen.
- Hop, J., 2014. De vispassages op de Maas, historisch overzicht, uitgevoerde monitoring en huidige status. Rapportnummer 20130150/rapp01. ATKB, Geldermalsen.
- Jansen, H.M., Winter, H.V., Bruijs, M.C.M., and Polman, H.J.G. 2007. Just go with the flow? Route selection and mortality during downstream migration of silvereels in relation to river discharge. – *ICES Journal of Marine Science*, 64:1437–1443.
- De Jong, R.J., 2009. Potentie duurzame energie bij kunstwerken: WINN Energie uit water. Deltares rapport 1201093-000-VEB-0010
- De Jong, J.S., 2018. Richtlijnen Rivier – Aspect 12 Translatiegolven. Deltares memo 11202700-002-ZWS-0001

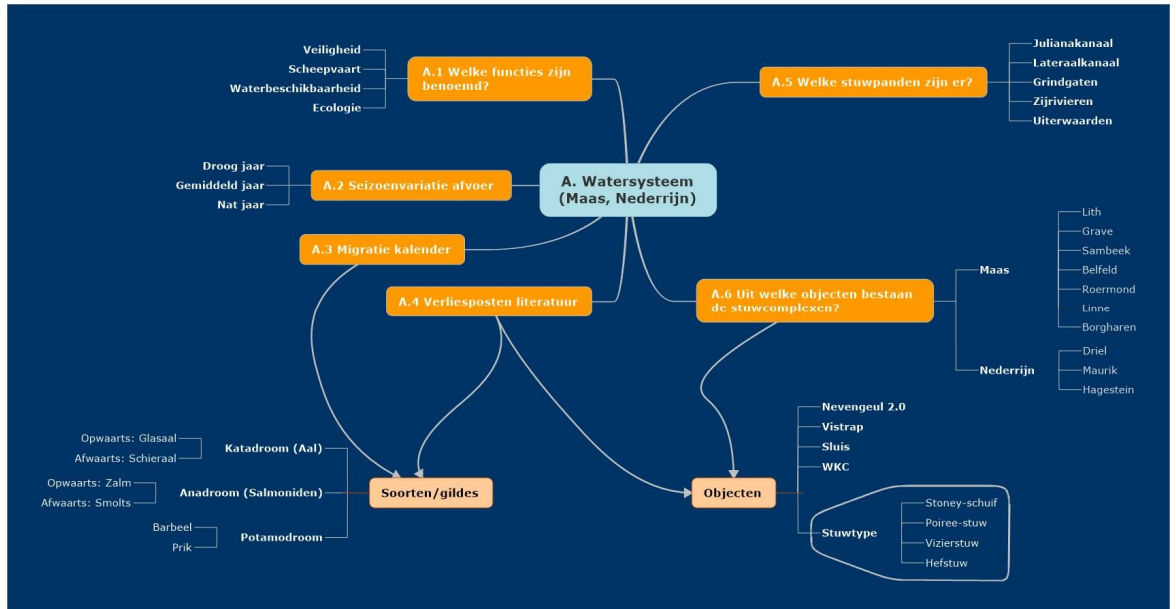
- De Jong, J.S., 2019. Kunstwerken in de zesde generatie. Methodiek voor bepalen afvoercoëfficiënten.
- De Jong, J.S., en M. Yossef, 2019. Ontwikkeling zesde-generatie Maas-model. Conceptrapportage
- Katopodis, C., 2005. Developing a toolkit for fish passage, ecological flow management and fish habitat works. *Journal of Hydraulic Research* Vol. 43, No. 5 (2005), pp. 451–467
- Keeken OA van, van Hal R, Winter HV, Tulp I, Griffioen AB, 2020. Behavioural responses of eel (*Anguilla anguilla*) approaching a large pumping station with trash rack using an acoustic camera (DIDSON). *Fish Manag Ecol.* 27(5): 464-471
- Kemper, J, I.L.Y Spierts en H. Vis, 2010. Sterfte van migrerende zalmsmolts bij de stuw en waterkrachtcentrale Linne. Rapport: VA2010_18, Visadvies.
- Kemper, J., 2014. Resultaten schadeonderzoek schieraal bij stuwcomplex Amerongen Notitie Visadvies.
- Krakers, L. A., Kruyt, N. P. & Rutjes, H. A., 2015. Full-scale validation of a comprehensive criterion to predict fish-friendliness of pumps. ASME/JSME/KSME Joint Fluids Engineering Conference, 2015. American Society of Mechanical Engineers.
- Kranenbarg J. en J. Kemper, 2006. Efficiëntere vismigratie bij vistrappen en kunstwerken. Onderzoek op vismigratiegericht stuwbeheer in de Maas bij Sambeek. WL | Delft Hydraulics. Q4092.
- Kroes, M.J. en S. Monden, 2005. Vismigratie. Een handboek voor herstel in Vlaanderen en Nederland. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.
- Kroes, M.J., P. Philipsen & H. Wanningsen, 2018. Nederland leeft met Vismigratie. Actualisatie landelijke database vismigratie. In opdracht van Rijkswaterstaat, Sportvisserij Nederland, Wageningen Marine Research/Ministerie van LNV, Planbureau voor de leefomgeving
- Larinier, M. and F. Travarde, 2002. Downstream migration: problems and facilities. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 364 suppl. 181-207.
- Martins et al., 2014. Behavioral attributes of turbine entrainment risk for adult resident fish revealed by acoustic telemetry and state-space modeling. *Animal Biotelemetry* 2014 2:13. doi:10.1186/2050-3385-2-13
- NEN, 2018. Visveiligheid van pompen, vijzels en drukturbines die worden gebruikt in gemalen en waterkrachtcentrales. Ontwerp NEN-8775.
- Niesten, I., en A. Spruyt, 2019. Ontwikkeling zesde-generatie Rijntakken-model. Conceptrapportage
- Odeh M., and C. Orvis, 1998. Downstream fish passage design considerations and developments on hydroelectric projects in the north-east USA. In: Jungwirth, M. et al. *Fish migration and fish bypasses*. Oxford (Fishing News Books), 67 - 280.
- Økland, F., Teichert, M.A.K., Thorstad, E.B., Havn, T.B., Heermann, L., Sæther, S.A., Diserud, O.H., Tambets, M., Hedger, R.D. & Borcharding, J. 2016. Downstream migration of Atlantic salmon smolt at three German hydropower stations. *NINA Report 1203*: 1-47.

- Oterdoom, H., 2019. Email 10 jan 2019. "Nevengeul-2.0 en WKC" aan Heleen van der Kooij
- PIANC, 2013. Report 127. Fish Passage.
- Rijkswaterstaat, 2007. Objectgegevens April 2007
- Rijkswaterstaat, 2011. Handboek Neder-Rijn en Lek. Bediening stuw-/sluiscomplexen
- Rijkswaterstaat, 2015. Basisspecificaties Rijkswateren. Versie 5.2 – definitief.
- Rijkswaterstaat, 2015b. BPRW. Beheer- en ontwikkelplan voor de rijkswateren 2016-2021.
- Rijkswaterstaat, 2016. Stuwprogramma Nederrijn. Achtergronden bij een nieuw stuwprogramma.
- Rijkswaterstaat, 2017. Basisspecificatie Rijkswatersysteem. Versie 5.6 Definitief
- Rijkswaterstaat, 2017. Prognoserapport 2016. Vervanging en Renovatie. Prognose voor de periode 2017 tot en met 2050.
- Rijkswaterstaat, 2019. Verdringingsreeks. Uitwerking vragen Beleidstafel Droogte. 14 maart 2019. Bent Kort, WMCN.
- Romero-Gomes, P. & Richmond, M. C. 2017. Movement and collision of Lagrangian particles in hydro-turbine intakes: a case study. *Journal of Hydraulic Research*, 55, 706-720.
- Ruijgh, E.F.W., 2019. Plan van Aanpak Onderzoek optimale vismigratie stroomop- en stroomafwaarts door barrières van zomerdijk tot zomerdijk. Deltares memo 11201844-002.
- Ruijgh, E.F.W. en H. Brinkhof, 2019. Verslag Hackathon Nevengeul-2.0, 15 oktober 2019, Delft. Corporate Innovation Programma RWS-Deltares.
- Ruijgh, E.F.W. en H. Brinkhof, 2020. Verslag Belvédère Atelier Nevengeul-2.0, 13 februari 2020, Maastricht. Corporate Innovation Programma RWS-Deltares.
- Rutjes H.A. (red.) van Acker J., Popping Steenaart H, Kemper J.H., van de Wolfshaar, K. Grontmij, 2013. Visschade bij waterkrachtcentrales in de Nederrijn en Lek. De stand van zaken op ecologisch en juridisch gebied 2013.
- Schoor, M.M., Greijdanus, M., Geerling, G.W., Van Kouwen, L.A.H. & Postma, R. 2011. Een nevengeul vol leven, handreiking voor een goed ecologisch ontwerp. Rijkswaterstaat. 2011.
- Schmutz, S. and C. Mielac, 2013. Measures for ensuring fish migration at transversal structures. Technical paper. ICPDR - International Commission for the Protection of the Danube River.
- Spijker, 2013. Waterverdelings- en verziltingsvraagstukken in het hoofdwatersysteem in West- en Midden-Nederland. Hydrologic rapport P475
- Stoffers, T., F.P.L. Collas, A.D. Buijse, G.W. Geerling, L.H. Jans, N. van Kessel, J.A.J. Verreth, L.A.J. Nagelkerke, 2021. 30 years of large river restoration: How long do restored floodplain channels remain suitable for targeted rheophilic fishes in the lower river Rhine? *Science of The Total Environment*, Volume 755, Part 1, 142931, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142931>.

- Thorenz, C., M. Gebhardt and R. Weichert, 2018. Numerical Study on the Hydraulic Conditions for Species Migrating Downstream Over a Weir. 7th ISHS pp 644-654
- Tummers, J. S., Kerr, J. R., O'Brien, P., Kemp, P., & Lucas, M. C., 2018. Enhancing the upstream passage of river lamprey at a microhydropower installation using horizontally-mounted studded tiles. *Ecological Engineering*, 125, 87-97
- Van der Veen, R., 2014. Stuw Sambeek Handelingskader. Rura-Arnhem rapport P131128R_1
- Van der Veen, R., 2018. Schutdebieten Rijntakken en Maas. Rura-Arnhem P180510R-5
- Verheij, H., J. Lambeek, C. Lubbers, C. Stolker, 2002. Waterstandsverhogingen door golven op de Maasroute. WL | Delft Hydraulics rapport Q3099.
- Vriese, F.T., A.H.M. Boerkamp & J. Hop, 2015a. Eindanalyse schieraalmigratie Maas (2008-2012). ATKB Geldermalsen. In opdracht van Rijkswaterstaat Zuid Nederland. Eindconcept.
- Vriese, F.T., A.H.M. Boerkamp & J. Hop, 2015b. Eindanalyse migratie zalmsmolts Maas (2008-2012). ATKB Geldermalsen. In opdracht van Rijkswaterstaat Zuid Nederland. Eindconcept.
- Vriese, F.T., 2017. Vissterfte bij passage van stuwen. Rapport 20170587. ATKB, Geldermalsen.
- Wit, M. de, 2008. Van regen tot Maas. Grensoverschrijdend waterbeheer in droge en natte tijden. ISBN-9789085712305
- Winter, H.V., R.W. Klop, W. Klop, K. Klop & B. Baks, 2005. Vismigratie via de vistrappen bij Hagestein en Maurik tijdens het voorjaar van 2005. RIVO, 31412120.02
- Winter, H.V., 2006. Vismigratie via de vistrappen bij Hagestein en Maurik tijdens het voorjaar van 2006. Rapport C092/06. IMARES, Wageningen
- Winter, H.V., 2007. Datarapportage van de vismigratie via de vistrap bij Hagestein tijdens het najaar van 2007. Rapport C016/07. IMARES, Wageningen
- Winter, H.V., 2009. Voorkomen en gedrag van trekvis nabij kunstwerken en consequenties voor de vangkans met vistuigen. Rapport C079/09. IMARES, Wageningen.
- Wolters et al 2018, Deltascenario's voor de 21ste eeuw – actualisatie 2017, H.Wolters, E. van der Blom, S. Dammers, S. Reinhard, Deltares-Planbureau voor de Leefomgeving –Wageningen University and research, 11202240-010.
- Zajicek, P. and C. Wolter, 2019. The effect of recreational and commercial navigation on fish assemblages in large rivers. *Science of the Total Environment* 646 (2019) 1304-1314, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.403>
- Zangiabadi, E., Masters, I., Williams, A. J., Croft, T. N., Malki, R., Edmunds, M., Mason-Jones, A. & Horsfall, I. 2017. Computational prediction of pressure change in the vicinity of tidal stream turbines and the consequences for fish survival rate. *Renewable Energy*, 101, 1141-1156.
- Zhang, J., Kitazawa, D., Taya, S. & Mizukami, Y. 2017. Impact assessment of marine current turbines on fish behavior using an experimental approach based on the similarity law. *Journal of Marine Science and Technology (Japan)*, 22, 219-230.

A Vismigratie in het watersysteem

Er zijn 6 kennisvragen geformuleerd op het gebied van de vismigratie in het watersysteem, die in Figuur A.1 zijn weergegeven en onderstaand worden behandeld. De eerste 4 vragen zijn vrij algemeen van aard, en de laatste 2 vragen richten zich op de beschrijving van de stuwpanden en de stuwcomplexen.



Figuur A.1 Kennisvragen op het niveau van het watersysteem.

Het daarbij om de volgende zes vragen:

- A.1 Welke functies zijn er benoemd voor het watersysteem?
- A.2 Wat is de seizoenvariatie van de afvoer?
- A.3 Hoe ziet de migratiekalender er uit?
- A.4 Welke informatie over verliesposten is uit de literatuur beschikbaar?
- A.5 Welke stuwpanden zijn er en welke verliesposten hebben we daar?
- A.6 Uit welke objecten bestaan de stuwcomplexen in de Maas en de Nederrijn?

A.1 Welke functies zijn er benoemd voor het watersysteem?

Erik Ruijgh – Deltares
Hans Brinkhof – RWS

In het Beheersplan Rijkswateren (BPRW) 2016-2021 van RWS (RWS, 2015b) zijn de kerntaken van Rijkswaterstaat weergegeven, in relatie tot de verschillende gebruiksfuncties. Zie Figuur A.2. Rijkswaterstaat maakt onderscheid in 4 kerntaken (waterveiligheid, voldoende water, schoon en gezond water en vlot en veilig verkeer over water). Ten aanzien van de gebruiksfuncties worden in de tekst van het BPRW 4 “wettelijk aangewezen gebruiksfuncties” (natuur, drinkwater, zwemwater en schelpdierwater) en 8 “overige gebruiksfuncties” onderscheiden (archeologie etc., visserij, bouwgrondstoffen, energieproductie, kabels en leidingen, koel en proceswater, landbouw, waterrecreatie). In Figuur A.2 (overgenomen uit hetzelfde BPRW) wordt ook de gebruiksfunctie scheepvaart genoemd.

RWS richt zich op de uitvoering van kerntaken, inclusief de bevordering van de 4 wettelijk aangewezen gebruiksfuncties. Voor de overige gebruiksfuncties zoekt RWS meekoppelkansen door samen te werken met andere overheden en marktpartijen. De verschillende kerntaken en gebruiksfuncties dienen naast elkaar ingevuld te worden. In sommige gevallen kan dat probleemloos, maar er zijn ook situaties waar keuzes gemaakt moeten worden.

Kerntaken Rijkswaterstaat	Gunstige conditie voor gebruiksfunctie (x)												
	Natuur	Drinkwater	Schelpdierwater	Zwemwater	Scheepvaart	Archeologie, gebouwd erfgoed en historisch landschap	Visserij	Bouwgrondstoffen	Energieproductie	Kabels en leidingen	Koel- en proceswater	Landbouw	Waterrecreatie
Waterveiligheid	x					x		x					x
Voldoende water	x	x			x	x			x		x	x	x
Schoon en gezond water	x	x	x	x			x					x	x
Vlot en veilig verkeer over water					x	x							x

Figuur A.2 Samenhang kerntaken en gebruiksfuncties (RWS-BPRW, 2015b).

In de Basisspecificatie Rijkswatersysteem (RWS, 2017) worden de kerntaken van Rijkswaterstaat en de functies van het watersysteem ook genoemd. Daarbij wordt een iets andere indeling gehanteerd – met name bij de overige gebruiksfuncties -, wellicht omdat dit rapport nog een concept versie is (versie 5.6). De indeling uit de Basisspecificatie is weergegeven in Figuur A.3.

Uit het BPRW (RWS, 2015b) en de (concept) Basisspecificatie Rijkswatersysteem (RWS, 2017) kan worden afgeleid welke prioriteiten RWS op hoofdlijnen stelt. De Kerntaken “Voldoende water” en “Schoon en Gezond” en de Aangewezen gebruiksfunctie “Natuur” bieden daarbij goede aanknopingspunten voor de verbetering van de vismigratie en de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen (barrières).

Kerntaken	Funcities
Waterveiligheid	Keren hoogwater Afvoeren water, ijs en sediment Bergen water
Voldoende water	Aanvoeren water bij droogte Afvoeren water bij overlast Beperken verzilting (zout-zoet scheiding) Reguleren en handhaven waterpeil
Schoon en gezond water	Bieden water met basiskwaliteit (chemisch) Leefgebied voor planten en dieren bieden Natuurlijke vismigratieroutes bieden
Vlot en veilig vaarwegverkeer	Varen mogelijk maken Faciliteren / verzorgen vaarwegverkeer Navigatie schip mogelijk maken Faciliteren bediening en besturing
Overig gebruik	Aangewezen gebruiksfuncties <ul style="list-style-type: none"> • Faciliteren natuur naast/aanvullend op KRW doelstellingen • Bieden drinkwater(kwaliteit) aan bevolking • Bieden zwemwater aan bevolking • Bieden water tbv. schelpdierwinning • Bieden water aan beroeps- en sportvisserij Overige gebruiksfuncties <ul style="list-style-type: none"> • Leveren koel- en proceswater aan industrie • Faciliteren energieopwekking • Recreëren • Faciliteren landbouw • Faciliteren delfstofwinning • Bieden archeologische, cultuurhistorische en landschappelijke waarde • Bergen baggerspecie • Faciliteren kabels en leidingen • Faciliteren wegverkeer

Figuur A.3 Kerntaken en gebruiksfuncties in de Basisspecificatie Rijkswatersysteem (RWS, 2017).

In het kader van het programma Vervanging en Renovatie heeft Rijkswaterstaat het Prognoserapport opgesteld (RWS, 2017). Dit rapport bevat een prognose van het benodigde budget voor de vervanging en renovatie voor het Hoofd Water Systeem (HWS), het Hoofd Vaarwegen Netwerk (HVWN) en het Hoofd Wegen Netwerk (HWN). De stuwen op de Maas en de Nederrijn vormen een onderdeel van het HWS; de schutsluizen van het HVWN. In de loop van 2020 komt een update van het prognose rapport beschikbaar.

Vooralsnog richt het Prognoserapport zich op een inschatting van de (rest)levensduur van de verschillende objecten die RWS beheert op basis van de technische staat van deze objecten. Naar verwachting zal dit de komende jaren verder worden uitgebreid door ook de functionele (rest)levensduur in de beschouwing mee te nemen. Daarmee komen de functies die de objecten vervullen in de uitvoering van kerntaken dus ook weer terug.

Voor de zoetwatervoorziening (Kerntaak "Voldoende Water") is een verdringingsreeks opgesteld, waarin de prioritering van de verschillende gebruiksfuncties is weergegeven bij een zoetwatertekort (zie Figuur A.4). De hoogste prioriteit wordt toegekend aan het voorkomen van onherstelbare schade. Eventuele schade aan vispopulaties wordt niet beschouwd als onomkeerbare schade (RWS, 2019) en valt dus niet onder categorie 1 maar onder categorie 4. De

leveringszekerheid van nutsvoorzieningen krijgt de tweede prioriteit, en beregning van hoogwaardige gewassen in de landbouw krijgt samen met proceswater voor de industrie de derde prioriteit. Voor de overige gebruiksfuncties is op landelijk niveau geen prioritering aangebracht in categorie 4 (scheepvaart, landbouw, natuur, etc) hetgeen impliceert dat deze allemaal even belangrijk zijn. In de praktijk wordt door regionale waterbeheerders (bv. voor het Maasstroomgebied) binnen categorie 4 wel een prioritering aangebracht.

Uit email-communicatie van RWS (Oterdoom, 10 januari 2019) volgt bijvoorbeeld dat:

“RWS heeft met de exploitanten van de WKC’s een privaatrechtelijke overeenkomst over het beschikbaar stellen van water. Deze exploitanten hebben ook een watervergunning, maar daarin is niets geregeld over de beschikbaarheid van water.

In die privaatrechtelijke overeenkomst stelt RWS vanuit zijn publiekrechtelijke taak van peilbeheer water beschikbaar, voor zover het peil dat toelaat. Er is geen debiet vastgelegd, noch een percentage van het debiet.”

Met andere woorden: er is water beschikbaar voor de WKC’s tenzij het water nodig is voor één van de andere functies.



Figuur A.4 Verdringingsreeks bij zoetwatertekort (RWS-BPRW, 2015b).

A.2 Wat is de seizoenvariatie van de afvoer?

Nienke Kramer - Deltares

A.2.1 Inleiding

De hydraulische condities bij een stuwcomplex worden grotendeels bepaald door de afvoer die de stuw passeert. Zowel voor de Maas als de Nederrijn geldt dat er sprake is een grote variatie in het afvoerregime; de variatie geldt zowel van maand tot maand als van jaar tot jaar.

Onderstaande paragraaf gaat in op het afleiden van karakteristieke maandgemiddelde afvoerreksen voor de Maas en de Nederrijn. De afvoerreksen dienen representatief te zijn voor laag, gemiddeld en hoogwater in zowel het huidige klimaat als voor het zichtjaar 2050.

A.2.2 Aanpak

Voor het bepalen van de karakteristieke afvoerreksen zijn verschillende keuzes gemaakt. Deze keuzes worden hieronder besproken.

Gebruikte datareeksen:

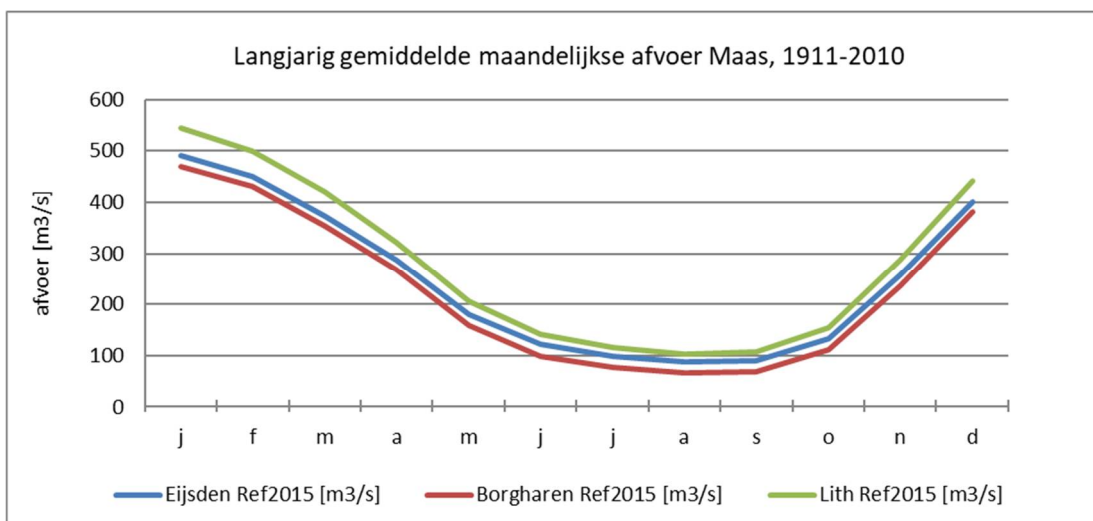
Bij het afleiden van de afvoerreksen wordt gebruik gemaakt van de 100-jarige (1911-2011) gesimuleerde tijdseries, de Basisprognoses 2018 (Deltares, 2016). Deze tijdseries zijn tot stand gekomen door de 100-jarige tijdreeks voor meteorologie en afvoeren met het Nationaal Water Model (NWM) door te rekenen, zodat de situatie in het watersysteem onder een range aan condities geanalyseerd kan worden.

Het voordeel van het gebruik van deze tijdseries (boven de metingen) is dat deze ook voor de klimaatscenario's beschikbaar zijn. Hierbij zijn de meteorologische omstandigheden en de afvoer vertaald naar het desbetreffende klimaatscenario. Hiermee is de modeltrein opnieuw gedraaid.

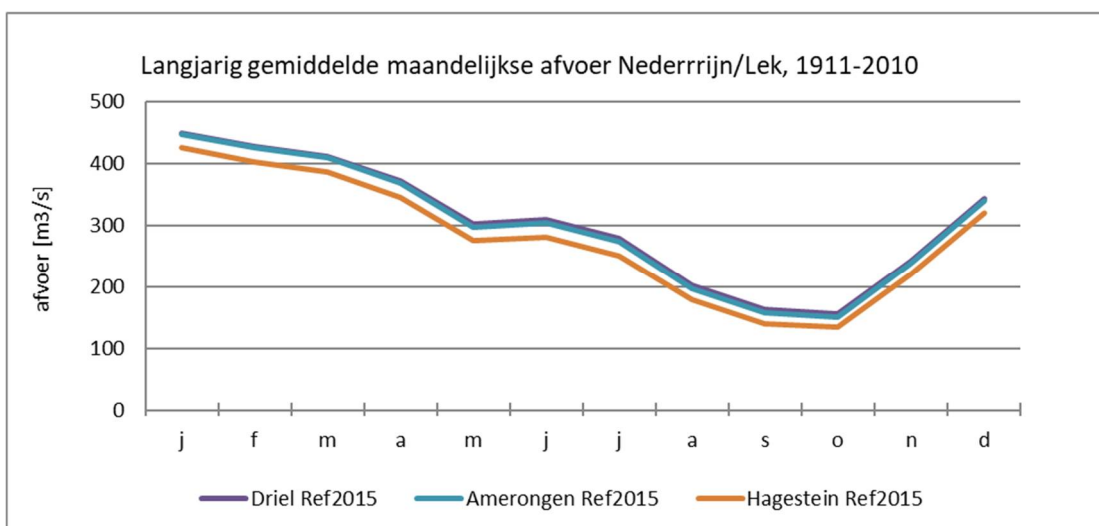
Locatie keuze:

De gestuwde Maas loopt van Borgharen tot Lith (in Nederland). Door aftakkingen (Julianakanaal), lozingen en onttrekkingen zal de afvoer niet bij alle stuwcomplexen op de Maas exact gelijk zijn. De Maas-afvoer te Eijsden, Borgharen en Lith voor het gemiddelde jaar 2010 is weergegeven in Figuur A.5. Uit deze figuur blijkt dat de afvoer van Lith net iets hoger ligt; dit komt onder andere door de toestroming van de Roer. Echter, de verschillen zijn niet zo groot, dat het noodzakelijk is om voor de Maas meerdere stations te kiezen. Er is in deze studie gekozen voor de locatie Eijsden, bij Eijsden komt de Maas Nederland binnen.

Voor de Nederrijn zijn de verschillen tussen afvoer ter locatie van de stuwen (Driel, Amerongen en Hagestein) kleiner dan bij de Maas, zie Figuur A.6. Er is voor gekozen om hier de afvoer bij Driel te gebruiken.



Figuur A.5 Langjarig (1911-2010) gemiddelde maandelijkse afvoer Maas op basis van NWM-referentie berekeningen.



Figuur A.6 Langjarig (1911-2010) gemiddelde maandelijkse afvoer Nederrijn op basis van NWM-referentie berekeningen.

Keuze statistiek-waarden:

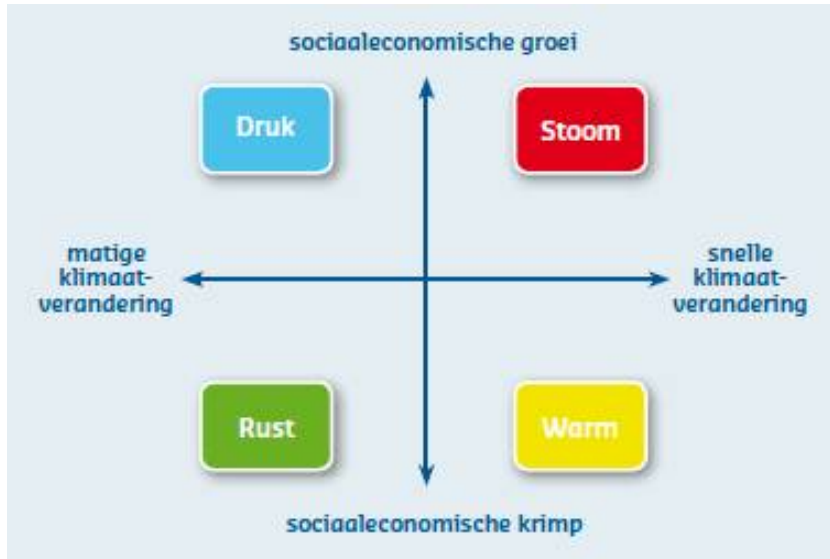
Voor het bepalen van een gemiddeld jaar wordt gebruik gemaakt van het langjarige gemiddelde van de 100-jarige tijdreeks. Voor het bepalen van een jaar met lage en hoge afvoeren wordt gebruik gemaakt van respectievelijk de 20- en 80-percentielwaarde van diezelfde 100-jarige reeks. De 20- of 80-percentiel waarde geeft de afvoer waarbij 20% resp. 80% van de tijd de afvoer wordt onderschreden.

Ook is het interessant om naar nog extremere afvoerreksen te kijken dan het 20- of 80-percentiel. Bij extreme gebeurtenissen is vaak ook dynamiek en de timing belangrijk. Om deze reden worden er hier gewerkt met twee voorbeeldjaren, 1995 en 1976:

- In 1995 waren de afvoeren vooral in de winter erg hoog. WBI (2017) markeert de Rijnafvoer van dit jaar als een 1:50 jaar, alleen in 1926 was de afvoer hoger.
- In 1976 waren de afvoeren juist extreem laag. In termen van het volumetekort in het zomerhalfjaar, komt 1976 uit op een 1:100 jaar voor de Maas en een 1:50 jaar voor de Rijn. Voor de Rijn was alleen in 1921 het volumetekort groter.

Keuze klimaatscenario:

De deltaprognose-sommen zijn gedraaid voor de referentie-situatie en vijf Deltascenario's (Warm, Stoom, Rust, Druk en Druk-Parijs). De Deltascenario's zijn mogelijke toekomstbeelden. De toekomstbeelden geven niet alleen een indicatie van de mogelijke veranderingen in de fysische en sociaaleconomische omgevingsfactoren, maar ze tonen ook de mogelijke verschuivingen in het gebruik van ruimte, land en water vanwege de verwachte schaarste aan grondstoffen. Specifieke kenmerken van de Deltascenario's worden gegeven in Figuur A.7. Voor meer informatie wordt verwezen naar Wolters et al (2018).



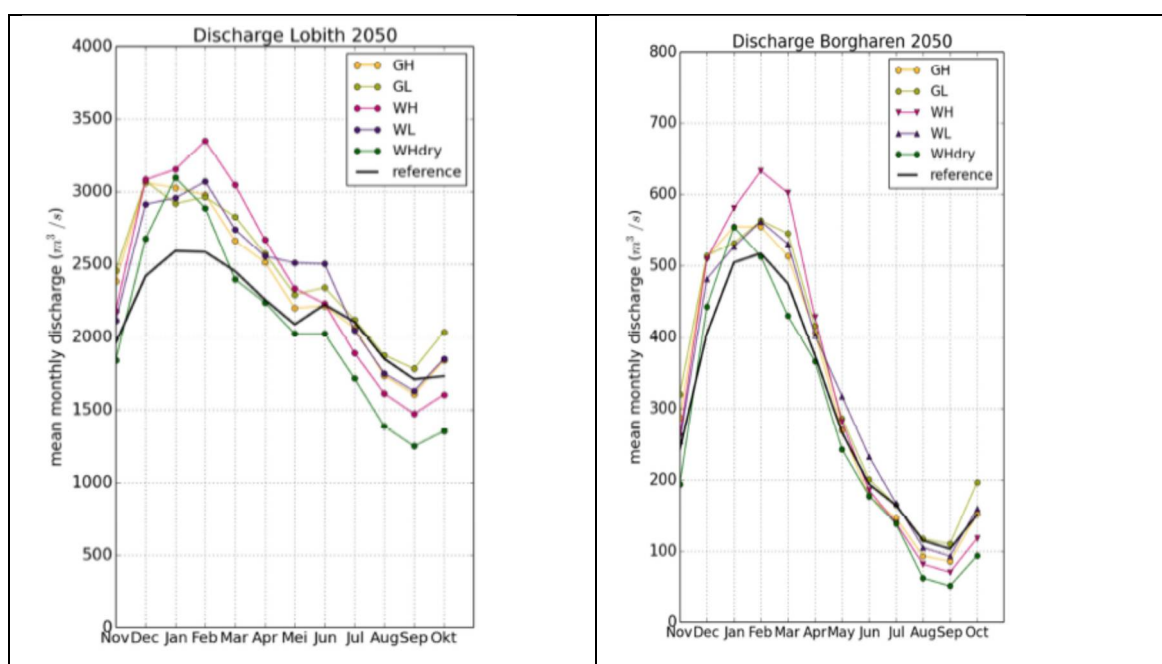
Figuur A.7 Assenkruis; schematische weergave van de Deltascenario's (Wolters et al, 2018).

Voor de afvoer bij de stuwen in de Maas en de Rijn is vooral de klimaatverandering van invloed. Zoals te zien is in Tabel A.1 maken Rust en Druk gebruik van hetzelfde klimaatscenario, GL. Ditzelfde geldt voor Warm en Stoom. Binnen deze studie worden dan ook alleen de tijdreeksen van Rust en Warm gebruikt, dus GL en W_H/W_{Hdry} .

Voor het Warm-scenario is gebruik gemaakt van W_H voor meteo-reeksen en W_{Hdry} voor de afvoer. De gemiddelde afvoerreeksen van onder andere W_H en W_{Hdry} zijn weergegeven in Figuur A.8. Te zien is dat W_{Hdry} meer uitzakt in de zomer dan W_H , maar ook minder extreem is in de winter. Er is binnen de Deltaprognose sommen voor gekozen om te rekenen met W_{Hdry} omdat W_H niet droog genoeg was (Deltares, 2015). Voor het zoetwater studies en (in ons geval) voor het bepalen van de lage afvoerreeks (20-percentiel), lijkt dit een goede keuze. Echter, voor het bepalen van gemiddelde afvoerreeks en het 80-percentielwaarde is W_{Hdry} niet logisch, dit scenario is in de winter niet nat genoeg. Helaas zijn er geen modelberekeningen van W_H beschikbaar. Om toch een afvoerreeks af te kunnen geven, is op basis van Figuur A.8 en de W_{Hdry} reeks een vertaling gemaakt.

Scenario	zichtjaar	KNMI'14 meteo	KNMI'14 afvoer
Referentiesituatie	2017	-	-
Warm	2020	WH	WHdry
Stoom	2050	WH	WHdry
Rust	2050	GL	GL
Druk	2050	GL	GL
Druk-Parijs	2050	GL	GL

Tabel A.1 Kenmerken zes scenario's van de Deltaprognose berekeningen 2018



Figuur A.8 Gemiddelde maandelijkse afvoerregiem voor Lobith (links) en Borgharen (rechts) voor de vijf KNMI'14 scenario's in vergelijking met de referentiesituatie (bron: Deltares, 2015).

A.2.3 Resultaat Eijsden

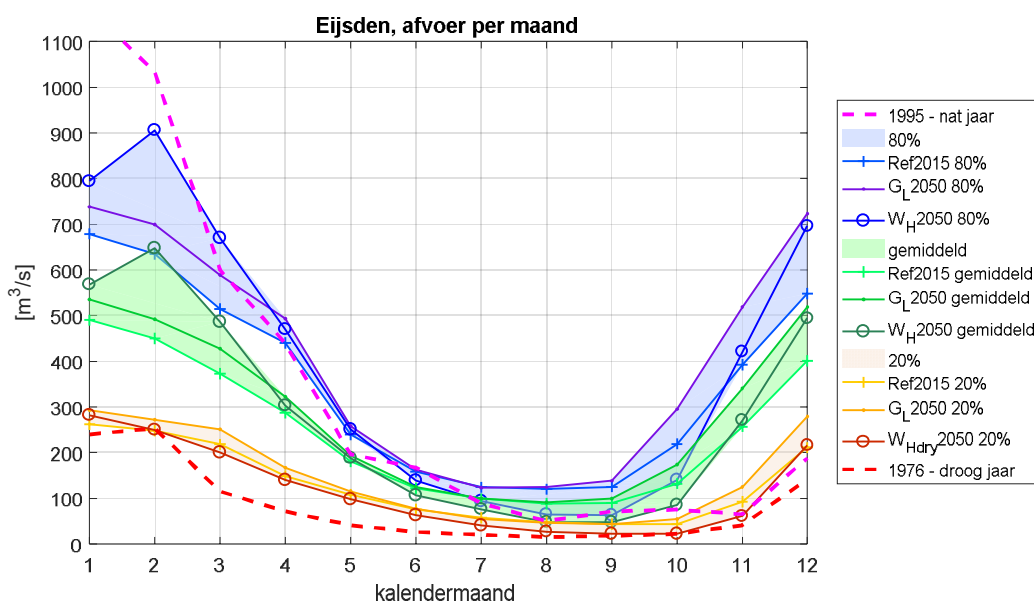
Op basis van bovenstaande keuzes zijn voor de Maas bij Eijsden afvoerreeksen afgeleid voor:

1. Ref: voorbeeldjaar 1976 (extreem laag);
2. Ref: voorbeeldjaar 1995 (extreem hoog);
3. Ref: Laag water: 20-percentiel;
4. Ref: Gemiddelde afvoer;
5. Ref: Hoog water 80-percentiel;
6. GL2050: Laag water 20-percentiel;
7. GL2050: Gemiddelde afvoer;
8. GL2050: Hoog water 80-percentiel;
9. WHdry2050: Laag water 20-percentiel;
10. WH2050: Gemiddelde afvoer;
11. WH2050: Hoog water 80-percentiel.

De resultaten staan weergegeven in Tabel A.2 en Figuur A.9 .

	Ref2015					GL2050			WHdry2050 & WH2050		
	voorbeeld 1976	voorbeeld jaar 1995	20%	gemiddeld	80%	20%	gemiddeld	80%	20%	gemiddeld	80%
	[m ³ /s]										
jan	240	1171	262	490	679	293	535	738	282	568	794
feb	253	1033	248	450	635	272	492	699	250	647	906
mar	115	600	218	373	514	251	428	589	200	486	670
apr	71	439	149	287	440	167	322	493	140	303	470
mei	41	196	108	180	239	115	194	258	98	188	251
jun	26	167	76	122	158	77	125	163	63	106	139
jul	20	89	57	99	124	55	99	123	40	76	94
aug	15	50	48	88	120	46	91	124	27	48	65
sep	18	71	43	90	125	44	99	138	22	47	63
okt	22	75	44	132	219	54	174	295	22	85	140
nov	41	65	92	257	392	125	341	519	61	271	421
dec	142	188	211	401	548	279	519	723	216	494	696

Tabel A.2 Maandgemiddelde afvoeren Eijsden obv NWM-berekeningen 1911-2011.



Figuur A.9 Maandgemiddelde afvoeren Eijsden obv NWM-berekeningen 1911-2011.

A.2.4 Resultaat Driel

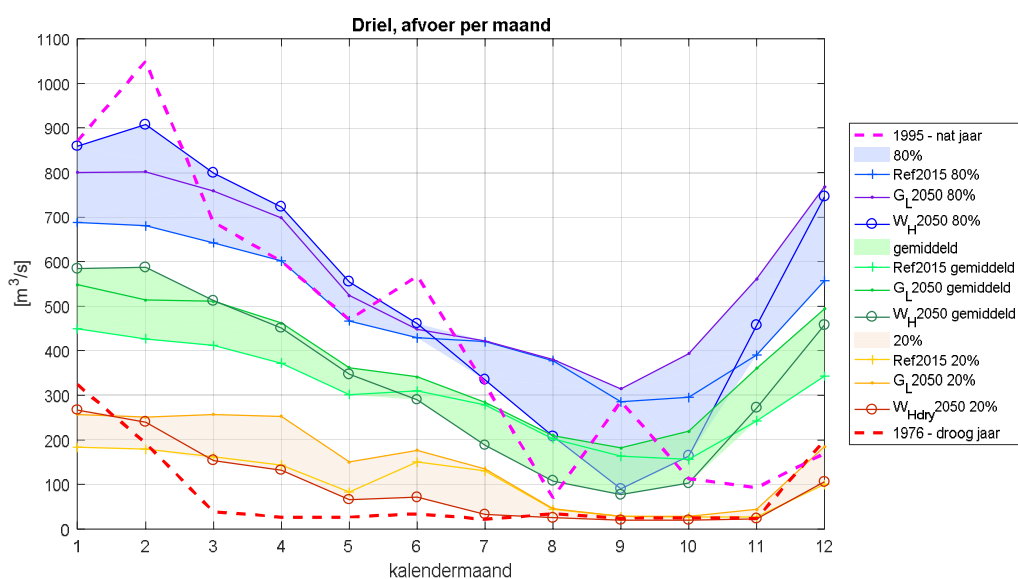
Op basis van bovenstaande keuzes zijn voor de Nederrijn bij Driel afvoerreeksen afgeleid voor:

1. Ref: voorbeeldjaar 1976 (extreem laag);
2. Ref: voorbeeldjaar 1995 (extreem hoog);
3. Ref: Laag water: 20-percentiel;
4. Ref: Gemiddelde afvoer;
5. Ref: Hoog water 80-percentiel;
6. GL2050: Laag water 20-percentiel;
7. GL2050: Gemiddelde afvoer;
8. GL2050: Hoog water 80-percentiel;
9. WHdry2050: Laag water 20-percentiel;
10. WH2050: Gemiddelde afvoer;
11. WH2050: Hoog water 80-percentiel.

De resultaten staan weergegeven in Tabel A.3 en Figuur A.10 .

			Ref2015			GL2050			WHdry2050 & WH2050		
	voorbeeld 1976	voorbeeld jaar 1995	20%	gemiddeld	80%	20%	gemiddeld	80%	20%	gemiddeld	80%
	[m ³ /s]										
jan	324	871	183	449	688	257	548	800	267	584	859
feb	193	1049	179	427	680	251	514	802	240	587	907
mar	39	689	162	412	642	257	511	759	154	512	799
apr	27	601	144	372	601	253	462	698	132	451	723
may	27	470	83	302	467	150	362	524	66	347	555
jun	34	568	150	310	429	177	341	448	71	290	461
jul	22	324	130	279	420	135	284	422	33	188	335
aug	34	70	44	203	378	46	210	380	25	108	208
sep	24	287	28	163	285	29	182	315	20	77	90
oct	25	113	27	156	295	29	219	394	20	103	164
nov	24	93	27	243	390	44	361	561	23	272	457
dec	200	170	100	343	557	185	494	768	106	458	746

Tabel A.3 Maandgemiddelde afvoeren Driel obv. NWM-berekeningen 1911-2011.

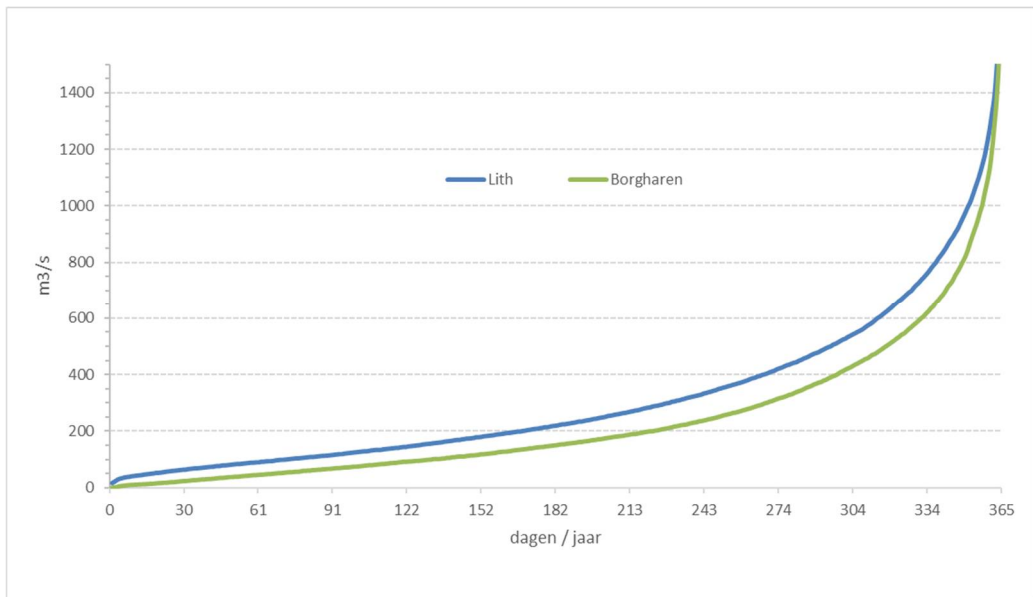


Figuur A.10 Maandgemiddelde afvoeren Driel obv. NWM-berekeningen 1911-2011.

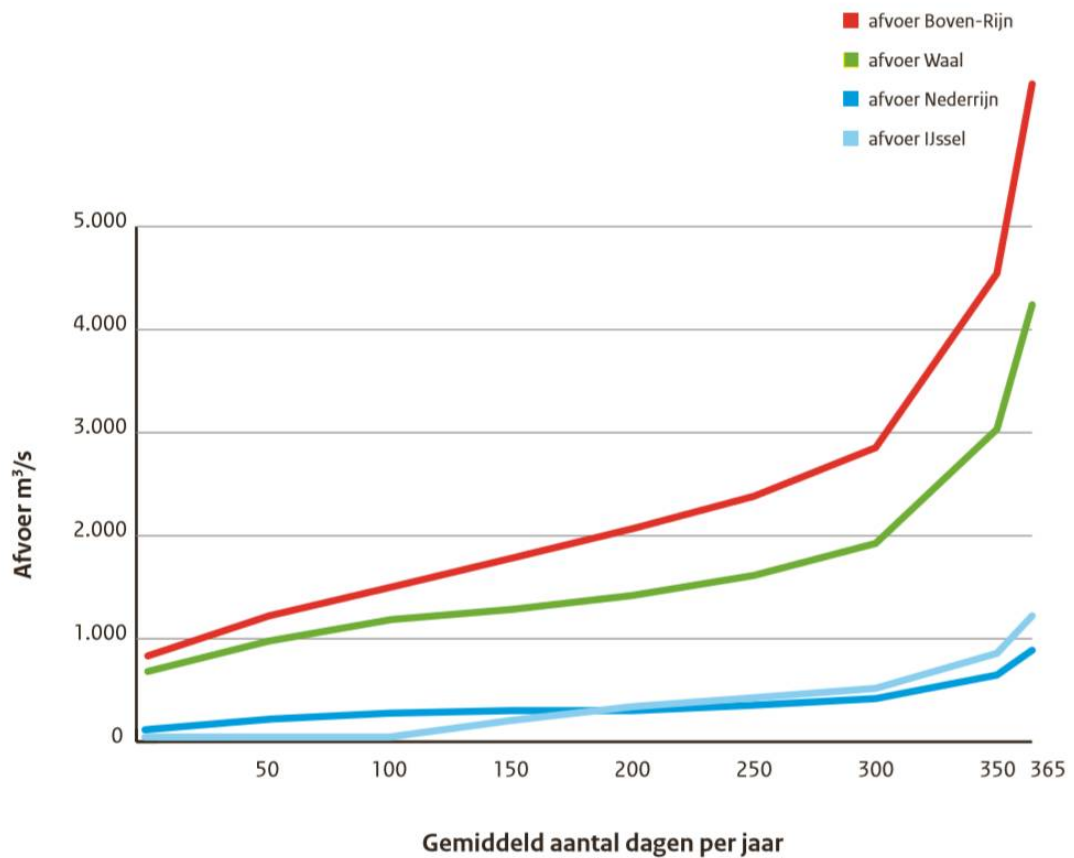
A.2.5 Analyse dagafvoeren

In aanvulling op de informatie over de maandafvoer is ook de beschikbare informatie over de gemeten dagafvoer van de Maas bij Borgharen en Lith beschouwd voor de periode 1911-2016. Figuur A.11 geeft de langjarig gemiddelde (gemeten) onderschrijdingswaarde voor afvoer voor het aantal dagen per jaar voor de Maas. Figuur A.12 geeft de onderschrijdingswaarde voor de Rijntakken.

Uit deze figuren volgt bijvoorbeeld dat bij Borgharen de afvoer gemiddeld ruim 7 maanden (220 dagen) per jaar lager is dan 200 m³/s. Voor Lith is de afvoer gemiddeld ca. 5,5 maanden (168 dagen) lager dan 200 m³/s. Dit komt overeen met Figuur A.5; de afvoer van de Maas neemt toe tussen Borgharen en Lith door de toestroming van zijrivieren. Belangrijke conclusie uit Figuur A.11 is verder dat een aanzienlijk deel van het jaar de afvoer van de Maas zeer gering is.



Figuur A.11 Langjarig (1911-2016) gemiddelde (gemeten) onderschrijdingswaarde voor afvoer voor het aantal dagen per jaar bij Borgharen en Lith.



Figuur A.12 Onderschrijdingswaarde voor afvoer Rijntakken (overgenomen uit Schoor et al., 2011).

A.3 Hoe ziet de migratiekalender er uit?

Erik Ruijgh – Deltares

Tim Vriese – ATKB

André Breukelaar – RWS

Tom Buijse - Deltares

Op 26 maart 2019 hebben bovenstaande personen in Utrecht gesproken over de voor de vismigratie op de Maas en Nederrijn relevante vissoorten/visgildes en de bijbehorende migratiekalender(s).

In diverse publicaties is informatie opgenomen over de migratiekalenders van verschillende soorten, in verschillende watersystemen, zoals Kroes en Monden (2005), DWA (2014) en Ebel (2018). Uit deze publicaties blijkt dat het exacte moment van de start en einde van de migratie van een bepaalde soort van zeer veel factoren afhankelijk is. Licht en instraling (daglengte en dag/nacht ritme), maandstand, temperatuur (of temperatuursom), afvoer en verandering van afvoer en andere factoren zijn van belang, maar deze effecten kunnen vooralsnog niet voldoende gedetailleerd worden gekwantificeerd (zie bv. Ebel, 2018). Van sommige soorten is bekend dat ze de migratie uitstellen tot de afvoer voldoende hoog is (of de temperatuur voldoende hoog/laag is). Zo geven beroepsvissers aan dat zij bij lage afvoer op de Maas salmoniden aantreffen in diepe (koele) zandwinnings, waar ze wachten tot de afvoer van de Maas voldoende hoog/koele is voor ze verder stroomopwaarts zwemmen. Dit wordt ondersteund door telemetrie gegevens (mond. comm. Tim Vriese). Durif en Elie (2008) beschrijven dat de stroomafwaarts migratie van schieraal afhankelijk is van de hoeveelheid licht, en schieraal wacht op een voldoende donkere periode (nieuwe maan, daglengte), in combinatie met een hogere afvoer (extra troebelheid).

Al met al blijkt uit de beschikbare informatie over de migratiekalenders van verschillende soorten dat zeer veel variatie optreedt door allerlei factoren. Daarom is gekozen niet de individuele soorten te analyseren maar een meer globale aanpak te volgen. Brevé et al. (2014a) maken op basis van het migratiegedrag in Nederland onderscheid in 5 verschillende gildes, namelijk:

1. Lange afstand anadrome migratie: salmoniden
2. Korte afstand anadrome migratie tot 50 km landinwaarts: spiering en stekelbaars
3. Lange afstand katadrome migratie: aal
4. Potamodrome migratie grote rivieren: barbeel, kopvoorn
5. Potamodrome migratie in kleine riviertjes: beekprik

Voor de migratie op de Maas en Nederrijn zijn gilde 2 en 5 minder relevant, en ligt de focus op de gildes 1, 3 en 4. Er is voor gekozen om voor elke van deze 3 gildes een voorbeeldsoort op te nemen in de analyse. De aangenomen migratiekalenders (zowel voor stroomopwaartse als stroomafwaartse migratie) voor deze voorbeeldsoorten is weergegeven in Tabel A.4. Deze migratiekalenders zijn gebaseerd op de beschikbare literatuur, in combinatie met het expert judgement van bovengenoemde personen.

In aanvulling op de migratiekalender voor deze 3 voorbeeldsoorten is in het Stuurgroep overleg op 9 juli 2019 besloten om in het analysetool ook een mogelijkheid te bieden om de migratiekalender te baseren op de gekozen afvoerverdeling. Dat wil zeggen dat wordt verondersteld dat de migratie groter is bij hogere afvoeren (en de hoeveelheid vis per m³ dus constant is in de tijd). Vanuit de praktijk (mond. comm. T. Vriese) is namelijk bekend dat bij lage afvoer de (stroomafwaartse) migratie zeer gering is, en op het moment dat er een toename in de afvoer optreedt, ook de vismigratie op gang komt. Op termijn zou deze methode nog kunnen worden verbeterd door naast de afvoer ook de temperatuur en daglengte mee te beschouwen in het herverdelen van de migrerende vis in de tijd.

Verder is opgemerkt dat gedurende het jaar eigenlijk altijd migratie plaats vindt: de ene keer de ene soort / gilde en de andere keer een andere soort / gilde. Daarom is ook een constante migratie in de tijd opgenomen in het analysetool. Tenslotte is besloten om het mogelijk te maken een volledig willekeurige migratiekalender te hanteren in het analysetool. De aanvullende migratiekalenders zijn opgenomen in Tabel A.5.

	Katadroom (Aal)		Anadroom (Salmoniden)		Potamodroom (Barbeel)	
	opwaarts	afwaarts	opwaarts	afwaarts	opwaarts	afwaarts
Jan	0%	5%	0%	0%	5%	4%
Feb	5%	0%	5%	0%	10%	4%
Mrt	25%	0%	10%	10%	15%	8%
Apr	50%	0%	10%	40%	20%	10%
Mei	15%	0%	5%	40%	20%	10%
Jun	5%	0%	0%	10%	10%	12%
Jul	0%	0%	5%	0%	5%	12%
Aug	0%	5%	10%	0%	3%	12%
Sep	0%	10%	20%	0%	3%	12%
Okt	0%	30%	20%	0%	3%	8%
Nov	0%	40%	10%	0%	3%	4%
Dec	0%	10%	5%	0%	3%	4%
Totaal	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabel A.4 Aangenomen migratiekalenders voor katadrome, anadrome en potamodrome vis.

	Debietafhankelijk (hier voor 1976)		Constant		Willekeurig	
	opwaarts	afwaarts	opwaarts	afwaarts	opwaarts	afwaarts
Jan	24%	24%	8,33%	8,33%	0%	20%
Feb	25%	25%	8,33%	8,33%	1%	18%
Mrt	11%	11%	8,33%	8,33%	1%	16%
Apr	7%	7%	8,33%	8,33%	2%	14%
Mei	4%	4%	8,33%	8,33%	2%	12%
Jun	3%	3%	8,33%	8,33%	4%	10%
Jul	2%	2%	8,33%	8,33%	10%	4%
Aug	1%	1%	8,33%	8,33%	12%	2%
Sep	2%	2%	8,33%	8,33%	14%	2%
Okt	2%	2%	8,33%	8,33%	16%	1%
Nov	4%	4%	8,33%	8,33%	18%	1%
Dec	14%	14%	8,33%	8,33%	20%	0%
Totaal	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabel A.5 Aanvullende migratiekalenders voor de opties debietafhankelijk (hier 1976), constant en willekeurig.

A.4 Welke informatie over verliesposten is uit de literatuur beschikbaar?

Erik Ruijgh – Deltares

Tim Vriese – ATKB

André Breukelaar – RWS

Tom Buijse – Deltares

Onderstaande informatie vormt de weergave van een overleg op 26 maart 2019 in Utrecht over de verliesposten voor verschillende soorten bij de onderscheiden objecten van een stuwcomplex. Er wordt onderscheid gemaakt in de verliesposten bij (1) een vistrap, nevengeul en sluis, (2) een WKC en (3) een stuw. Daarnaast wordt onderscheid gemaakt in de verliesposten bij stroomopwaartse en bij stroomafwaartse migratie.

Een punt van discussie betrof het begrip 'verliespost'. Er kan op diverse manieren verlies (sterfte) optreden bij een kunstwerk. Zo kan er sprake zijn van direct verlies (bijvoorbeeld door decapitatie of drukverlies in een turbine, botsing met vaste structuren of water, beklemming of grinding (schuren langs de wanden), barotrauma, shear), en indirect verlies door uitgestelde sterfte (als gevolg van beschadiging of ziekte), versterkte predatie bij het kunstwerk (als gevolg van desoriëntatie door turbulentie, of oponthoud tijdens de migratie) en vertraging in de migratie (niet tijdig bereiken van paaigronden, hetgeen op termijn een verlies in de populatie betekent). Zie ook Vriese (2017). Het directe verlies treedt op bij het kunstwerk; het indirecte verlies (uitgestelde sterfte) is het gevolg van het passeren van het kunstwerk en treedt op in de stuwpannen. In de praktijk is het bijzonder moeilijk om onderscheid te maken tussen deze verschillende vormen van verlies. In waarden voor de verliesposten die onderstaand worden genoemd zijn deze verschillende vormen van verlies daarom samen genomen.

Verliesposten bij vistrap, nevengeul en sluis

Stroomopwaartse en -afwaartse migratie

Een vistrap en nevengeul zijn vooral van belang voor de stroomopwaartse migratie. Daarbij vormt de vindbaarheid van de vistrap en nevengeul een belangrijke factor voor de vispasseerbaarheid in stroomopwaartse richting (zie Kennisvraag B2). De grootte van de verliesposten in een vistrap en nevengeul is afhankelijk diverse factoren en zeer moeilijk in te schatten. De verschillende vissoorten zijn daarbij gebaat bij verschillende condities, zodat het erg lastig is om een waarde toe te kennen aan het verlies in de vistrap en nevengeul.

Als globale schatter voor de verliespost gaan we uit van de lengte: hoe langer de vistrap/nevengeul, des te hoger verliespost. Als waarde voor de verliespost in de vistrap en nevengeul wordt – in verband met de extra predatie bij een vistrap en nevengeul - uitgegaan van een waarde tweemaal zo groot als in de rivier, namelijk 0,2% / km. De meeste vistrappen zijn orde 100 meter lang, en dat betekent dus een verliespost van 0,04%. Voor de nevengeul gaan we uit van een lengte van 1 km, hetgeen een verliespost van 0,4% impliceert. Dit zijn globale schattingen en in de praktijk kunnen de verliesposten anders zijn.

In een sluis kan een verliespost optreden in de omloopriolen (voor zover aanwezig) en door de schroefwerking van de schepen in de sluis. Er is geen exacte informatie beschikbaar over verliesposten in de sluis, en aangenomen wordt dat het gaat om orde 0,5% van de vis die door de sluis komt.

Daarbij is ook geen informatie beschikbaar over een mogelijk verschil in de verliesposten bij stroomopwaartse (en -afwaartse) migratie voor een vistrap, nevengeul en sluis. De verliesposten voor een vistrap, nevengeul en sluis gelden voor zowel stroomopwaartse als -afwaartse migratie, en voor alle onderscheiden soorten. Zie Tabel A.6.

Verliesposten bij WKC

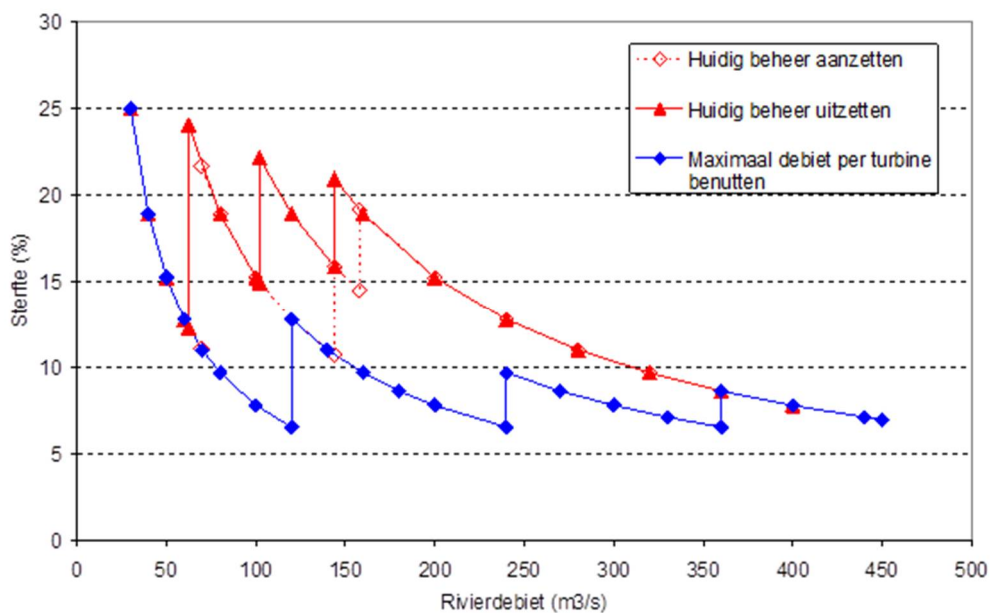
Stroomafwaartse migratie

Bij de stroomafwaartse migratie van schieraal vormt een WKC een belangrijke verliespost (zie bv. Rutjes et al, 2013 voor een overzicht van de schade bij de WKC's op de Nederrijn, en Griffioen et al, 2019 voor een overzicht van de verliezen voor schieraal op de Maas). In een memo van Buijse (2009) wordt de relatie gelegd tussen de afvoer door de turbine en de sterfte – zie Figuur A.13. Hoe groter de afvoer door de turbine, des te kleiner is de (kans op) sterfte. Bij een lage afvoer kan de sterfte van schieraal bij de WKC tot 25% bedragen. Door het maximaal debiet per turbine te benutten kan de sterfte van schieraal gereduceerd worden. Voor zover bekend wordt deze werkwijze in de praktijk nu ook toegepast. Op basis van Figuur A.13 zou daarom uitgegaan kunnen worden van een gemiddelde verliespost van 10% voor schieraal bij een WKC. Uit de analyse van Griffioen et al (2019) komen echter hogere verliesratio voor schieraal naar voren: ten minste 17,8% en waarschijnlijk orde 24% (op basis van gegevens van Bruijs et al, 2003). Op basis van deze informatie gaan we in deze studie uit van een verliespost van 18% voor schieraal bij een WKC.

In een email (9 juli 2020) aan Erik Ruijgh geeft Harriet Bakker de resultaten van de analyse van telemetrie gegevens voor smolts bij de WKC van Linne. Op basis van die gegevens (waarvan op dit moment nog geen verdere documentatie beschikbaar is) berekent zij een verlies bij stroomafwaartse migratie van smolts bij een WKC van 5,1 - 13,7 %. Op grond van deze informatie is in deze studie een verliespost van 9,4% gehanteerd voor smolts bij een WKC.

Voor de stroomafwaartse migratie van potamodrome soorten kan wellicht een lagere verliespost bij een WKC worden verondersteld dan die van schieraal en smolts, omdat deze soorten (in de regel) een stuk korter zijn dan de schieraal. Als verliespost bij stroomafwaartse migratie bij de WKC lijkt daarom een waarde van 6% voor potamodrome vis een redelijke schatting.

De verliesposten bij WKC's zijn ook afhankelijk van het type turbine dat wordt gebruikt; door een 'veiliger' type turbine te plaatsen kan de verliespost verlaagd worden. En bij de intakes (bovenstrooms) kunnen visroosters of visgeleiding bijdragen aan het beperken van het verlies (al is ook bekend dat predatie bij de roosters juist weer tot hogere verliezen leidt).



Figuur A.13 De geschatte sterfte bij het huidige turbinebeheer (rood; stippellijn = aanzetten; doorgetrokken lijn is uitschakelen) en bij een geoptimaliseerd beheer, waarbij de sterfte zoveel mogelijk gereduceerd wordt (blauw). – Figuur overgenomen uit Buijse, 2009.

Stroomopwaartse migratie

Stroomopwaartse migratie door een WKC is niet mogelijk; er is aangenomen dat de vis voor stroomopwaartse migratie bij een WKC een alternatieve route zoekt. De verliespost van een WKC voor stroomopwaartse migratie is daarmee gerelateerd aan de vindbaarheid van die alternatieve route. De vindbaarheid van een alternatieve migratie route komt nader aan de orde bij Kennisvraag B2.

Verliesposten bij stuwen

Stroomafwaartse migratie

Met betrekking tot de verliesposten bij stroomafwaartse migratie bij stuwen kan voorsnog geen onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende type stuwen. Zie ook Bijlage D. Vriese (2017) concludeert dat barotrauma bij de onderlossende stuwen op de Nederrijn in hoge mate onwaarschijnlijk is gezien de bestaande peilverschillen en de veilige grenzen voor barotrauma voor verschillende soorten. Voor bovenlossende (overstortende) stuwen in Nederland concludeert Vriese (2017) dat de peilverschillen/snelheden in het algemeen te klein zijn om direct verlies door botsingen met vaste structuren, water, “grinding” (schuren langs de wanden) en turbulentie aan te nemen. Ook Winter (2009) geeft aan dat “vis van verschillende grootte meestal probleemloos met het stromende water mee naar beneden kan zwemmen”. Wel kan indirect verlies (uitgesteld verlies) optreden door verhoogde predatie benedenstrooms stuwen als gevolg van turbulentie in de woelbak (Vriese, 2017). In Bijlage D wordt nader ingegaan op de dimensionering van de woelbakken en de mogelijkheden om daarmee de turbulentie te beperken.

Bovenstrooms van stuwen kan (indirect) verlies (predatie) optreden van stroomafwaarts migrerende vis doordat bv. de lage stroomsnelheid (of geluid) daar leidt tot extra zoek-/wachtgedrag (zie bv. Gauld et al, 2013, Økland et al, 2016). Onbekend is of dit ook optreedt in volledig gestuwde rivieren zoals de Maas (in Nederland) en Nederrijn.

In een email (9 juli 2020) aan Erik Ruijgh geeft Harriet Bakker (RWS) de resultaten van de analyse van telemetrie gegevens voor smolts op de Maas: voor de stroomafwaartse migratie bij de stuw van Linne bedraagt volgens deze analyse (waarvan op dit moment nog geen verdere documentatie beschikbaar is) het verlies 1,3%.

De beschikbare informatie over de grootte van de verliespost is dus zeer beperkt – het directe verlies bij stroomafwaartse migratie bij stuwen in de Nederlandse omstandigheden wordt zeer klein geacht en het indirecte verlies is mogelijk gerelateerd aan de turbulentie in de woelbak. Exacte informatie over de verliesposten bij stuwen is niet beschikbaar.

Op basis van deze beperkte informatie wordt in deze studie eenzelfde verliespost bij stroomafwaartse migratie gebruikt voor een hefstuw, een Poirée stuw, en Stoney schuif en een vizierstuw. Met betrekking tot de verliesposten van de verschillende soorten vis bij stroomafwaartse migratie langs de stuwen wordt onderscheid gemaakt in smolts, schieraal (katadroom) en de overige soorten. Uitgangspunt vormt de informatie over het verlies van smolts vanuit het telemetrie onderzoek bij Linne: deze is op 1,3% gesteld. Omdat de schieraal relatief groot en sterk is, wordt bij stroomafwaartse migratie voor schieraal een lagere verliespost bij stuwen (1%) gebruikt. Voor de overige soorten wordt een iets hogere verliespost (3%) gehanteerd.

Op het moment dat de volledig stuw gestreken⁷⁾ is (en het water vrij door kan stromen), treedt geen verlies op bij de stuw; in het analysetool wordt daarmee rekening gehouden.

⁷⁾ Hier wordt onder een “gestreken” stuw een openstaande stuw verstaan, en kan het water vrij doorstromen. Dit geldt ook voor een “gestreken vizierstuw”. Bij een “dichte stuw” of “gesloten stuw” kan het water niet vrij doorstromen.

Stroomopwaartse migratie

Ook voor de stroomopwaartse migratie bij de stuwen geldt dat er geen verlies optreedt op het moment dat de stuw volledig gestreken is (dus open staat). Gedurende de grootste periode van het jaar zijn de stuwen op de Maas echter niet gestreken en vormen deze een barrière voor de stroomopwaarts migratie. Net als bij een WKC is de verliespost voor stroomopwaartse migratie bij stuwen gerelateerd aan de vindbaarheid van een alternatieve route. Hoe minder vindbaar de alternatieve route is, des te groter het verlies bij de stroomopwaartse passage. De vindbaarheid van een alternatieve migratie route komt aan de orde bij Kennisvraag B2.

Samenvattend

Onderstaande Tabel A.6 geeft een overzicht van de gekozen waarden voor de verliesposten van de verschillende soorten bij het passeren van de onderscheiden objecten van een stuwcomplex voor de stroomopwaartse en -afwaartse migratie.

	Katadroom (Aal)		Anadroom (Salmoniden)		Potamodroom (Barbeel)	
	opwaarts	afwaarts	opwaarts	afwaarts	opwaarts	afwaarts
Vistrap	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%
Nevengeul	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%
Sluis	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
WKC	-	18,0%	-	9,4%	-	6,0%
Stuw	-	1,0%	-	1,3%	-	3,0%

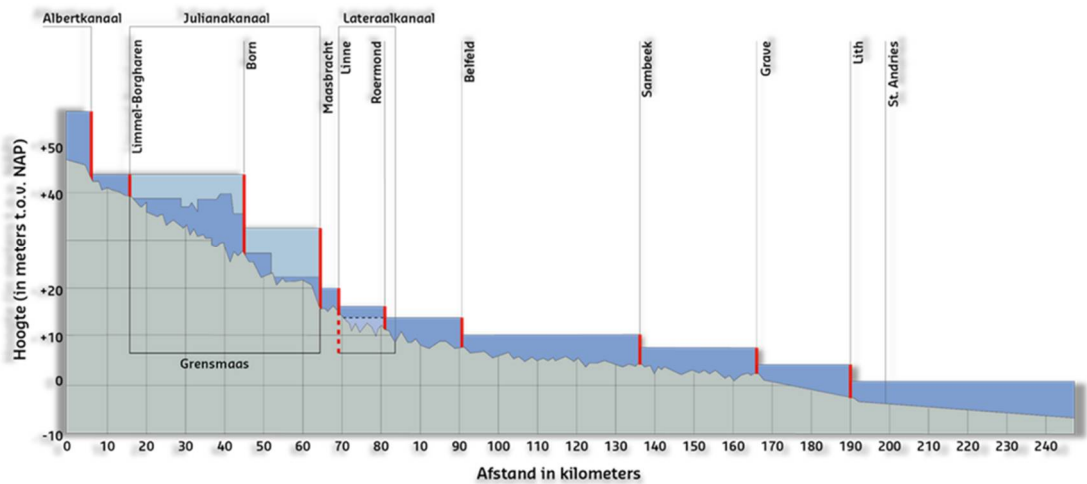
Tabel A.6 Samenvattend overzicht gehanteerde waarden voor verliesposten bij het passeren van verschillende objecten van een stuwcomplex. Deze waarden zijn gebaseerd op expert judgement van André Breukelaar, Tim Vriese en Tom Buijse.

In het analysetool zijn de waarden zoals genoemd in Tabel A.6 opgenomen als een “gemiddelde schatting”. Daarnaast is een set met 2 maal hogere waarden (200%) en een set met 50% lagere waarden opgenomen. Deze drie sets zijn beschikbaar voor de Gevoeligheidsanalyse om te onderzoeken in hoeverre de berekeningsresultaten van het analysetool afhankelijk zijn van deze waarden voor de verliesposten.

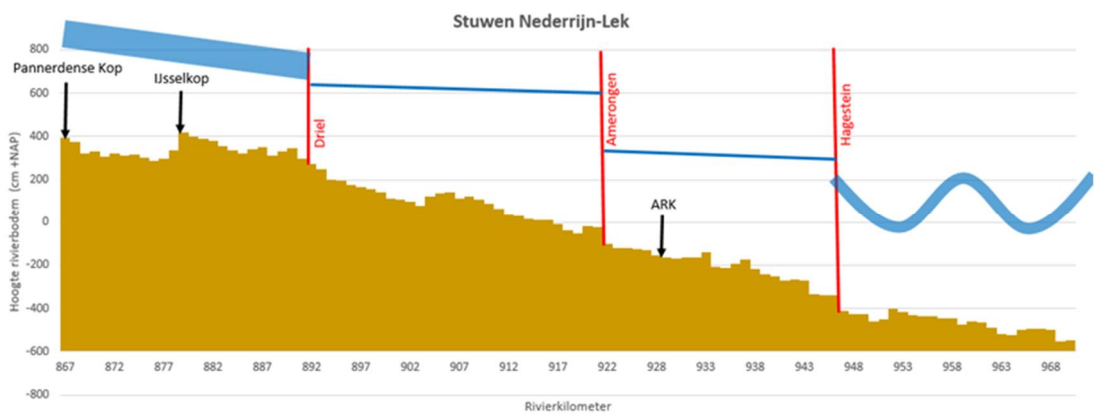
A.5 Welke stuwpanden zijn er in de Maas en Nederrijn, en welke verliesposten hebben we daar?

Erik Ruijgh – Deltares
 Tim Vriese – ATKB
 André Breukelaar – RWS
 Tom Buijse – Deltares

Het lengteprofiel van de Maas is weergegeven in Figuur A.14, en van de Nederrijn-Lek in Figuur A.15. In deze figuren zijn de stuwpanden tussen de verschillende stuwcomplexen weergegeven. De stuwpanden variëren qua lengte, afhankelijk van het lokale verhang.



Figuur A.14 Lengteprofiel van de Maas.



Figuur A.15 Lengteprofiel van de Nederrijn -Lek.

Ook in de stuwpanden is sprake van een verliespost als gevolg van predatie, visserij, scheepvaart, stagnant water etc. Uit telemetrie onderzoek met stroomafwaarts migrerende smolts concluderen Brevé et al. (2014b) dat er sprake is van “exorbitante verliezen”: in 2010 bereikte slechts 2% van in de Roer uitgezette smolts de zee en in 2011 was dit 3%. Hop (2011) geeft aan dat in 2009 en 2010 respectievelijk 5-15% van de smolts in het Maasstroomgebied de Noordzee bereikten. Vriese et al (2015b) hebben telemetrie data van 5 jaar onderzoek bestudeerd en

concluderen dat voor vrij afstromende delen de mortaliteit (voor stroomafwaarts migrerende smolts) tussen 0,1 en 1,6% per kilometer lag. Voor schieraal concludeert Vriese (2015a) op basis van de beschikbare informatie uit telemetrie data dat het stroomafwaartse verlies in de stuwpannen waar geen stuwcomplexen aanwezig zijn 0,2-0,6 %/km bedraagt.

In een email (9 juli 2020) aan Erik Ruijgh geeft Harriet Bakker (RWS-ZN) de resultaten van de analyse van telemetrie gegevens voor smolts op de Maas: het verlies per kilometer bedraagt volgens deze analyse (waarvan op dit moment nog geen verdere documentatie beschikbaar is) 0,14%/km.

Vriese (2017) beschrijft dat "telemetrisch onderzoek naar de stroomopwaartse migratie van salmoniden op de Maas vanuit Lith over een periode van 5 jaar (2009 – 2014) laat zien dat slechts 12,7% van de dieren in staat waren de Maas in België te bereiken met mogelijke paaigronden in de zijbeken (Berwijn, Ourthe, Amblève, Aisne etc.)." Op basis van telemetrie gegevens voor salmoniden wordt geschat dat het verlies bij een barrière bij stroomopwaartse migratie orde 7-12% bedraagt (mond. comm. Tim Vriese en André Breukelaar). Omdat in België ook nog twee stuwcomplexen liggen (Monsin en Lixhe) betekent dit dat maar een klein deel van de dieren in staat is om de paaigronden in België te bereiken.

Op basis van bovenstaande informatie is (voor deze studie over de vispasseerbaarheid van stuwcomplexen) een gemiddeld verlies in de stuwpannen gekozen van 0,2 %/km. De range in de gegevens uit de literatuur maakt het nog niet goed mogelijk om goed onderbouwd onderscheid te maken in de verliezen voor verschillende gildes/soorten en migratierichtingen. De berekende verliespost per stuwpan volgt uit:

$$\text{Verliespost stuwpan (\%)} = \left(1 - \left(1 - \frac{\text{verliespost } \left[\frac{\%}{\text{km}} \right]}{100 \%} \right)^{\text{lengte stuwpan [km]} \right) * 100\%$$

De lengte van de Maas tussen St. Pieter tot Lith bedraagt ca. 211 km. Bij een verlies van 0,2%/km volgt uit bovenstaande formule een totaal verlies over deze afstand van 35%. Dit is dus het verlies exclusief de eventuele verliezen bij de stuwcomplexen.

In de toekomst zou de berekening mogelijk verder gedetailleerd kunnen worden, bijvoorbeeld door een de volgende aspecten mee te beschouwen:

- De huidige waarde voor het verlies in de stuwpannen (0,2%/km) wordt nu toegepast voor alle soorten en geldt zowel voor stroomopwaartse als stroomafwaartse migratie. Dit kan verder gedetailleerd worden door per soort/gilde een waarde op te nemen voor de verliezen in de stuwpannen in stroomopwaartse en stroomafwaartse richting. Uiteraard zijn daar dan wel aanvullende gegevens voor nodig.
- Een recente publicatie van Zajicek en Wolter (2019) beschrijft de mogelijk relatie tussen scheepvaart en visstand. Op basis van de analyse van gegevens uit diverse verschillende Europese rivieren (met verschillende scheepvaartintensiteiten en verschillende vispopulaties) concluderen zij dat de visstand mede afhankelijk is van de intensiteit van de scheepvaart. Voor de Maas en Nederrijn zijn deze effecten vooralsnog in onvoldoende mate te kwantificeren en daarom niet verdisconteerd in de verliespost per km.
- Onderzoek naar de effecten van beekmondingen geeft aan dat deze een belangrijke rol spelen in de vismigratie als rustplaats, foerageerplaats etc. Zie bv. Kroes et al. (2018). Met de effecten van de beekmondingen is in de huidige analyse van de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen (nog) geen rekening gehouden.
- Ook de mogelijke vismigratie naar en vanuit zijstromen (zoals de Roer, Niers etc) is niet opgenomen. Met betrekking tot stroomopwaarts migrerende glasaal is bekend dat deze leefruimte zoekt in regionaal oppervlaktewater. Glasaal zal dus zijstromen inzwemmen. Voor stroomopwaarts migrerende zalm geldt dat deze probeert door te zwemmen naar de hoger

gelegen paaigronden. Deze grootschalige migratie patronen zijn met name relevant in de beschouwing van het volledige watersysteem.

- Het huidige onderzoek van de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen gaat ervan uit dat de vismigratie via het Lateraal kanaal en Julianakanaal verwaarloosbaar klein is, omdat de stroomsnelheid van het water daar zeer beperkt is. Met andere woorden, alle veronderstelde vismigratie verloopt via de Grensmaas en Linne-Roermond. Mogelijk vindt echter ook migratie plaats via het Lateraal kanaal en/of het Juliana kanaal.
- In de toekomst kan door klimaatverandering de temperatuur van het water veranderen. Bij een te hoge watertemperatuur stagneert de trek van salmoniden, en dat vergroot de kans op verlies. De invloed van de watertemperatuur op de vismigratie en verliezen in de stuwpannen is in deze studie niet opgenomen.
- Tenslotte wordt geen rekening gehouden met de mogelijke effecten van verschillen tussen de stuwpannen voor wat betreft stroomsnelheid (verhang), substraat (klei, zand, grind) of oeversbeschoeiing .

A.6 Uit welke objecten bestaan de stuwcomplexen op de Maas en de Nederrijn?

Jurjen de Jong – Deltares

Nienke Kramer – Deltares

Onderstaande passages zijn grotendeels gebaseerd of overgenomen uit de conceptrapportages opzet van de zesde-generatie modellen van Rijkswaterstaat (De Jong & Yossef, 2019; Niesten & Spruyt, 2019).

A.6.1 Maas

Het waterpeil van de Maas wordt het grootste deel van het jaar geregeld door middel van stuwen. Net over de grens van België bevindt zich de laatste Belgische stuw: stuw Lixhe. In Nederland zijn er zeven stuwcomplexen, waarvan de eerste bovenstrooms van de Grensmaas (bij Borgharen) en de overige zes benedenstrooms van de Grensmaas (bij Linne, Roermond, Belfeld, Sambeek, Grave en Lith) (zie Foto A.1 - Foto A.4). De gestuwde delen van de Maas zijn geschikt voor scheepvaart en worden met elkaar verbonden door het Julianakanaal en het Lateraalkanaal.

Door de stuwen wordt de waterstand opgestuwd om scheepvaart mogelijk te maken voor CEMT-klasse Vb (diepgang 3.5 m). Bij lage afvoer maakt de scheepvaart gebruik van de sluis; bij hoge afvoer is de stuw gestreken en is scheepvaart door de stuw mogelijk. Het stuurprogramma op de Maas wordt verder besproken in Bijlage B.1.

Ten behoeve van de vismigratie zijn bij alle stuwen vistrappen aangelegd zodat de vissen ook in bovenstroomse richting kunnen zwemmen.

Om gebruik te maken van het aanwezige verval zijn er waterkrachtcentrales aangelegd bij stuw Linne (maximale capaciteit 11.5 MW) en stuw Lith (maximale capaciteit 14 MW) (De Jong, 2009).

De techniek van de bewegende delen van de stuwen is in te delen in drie categorieën (Jongeling, 2012a):

- Borgharen en Lith: hefschuiven (deels) voorzien van een overstortklep ten behoeve van een overstort.
- Grave: drie rijen boven elkaar geplaatste wielschotten die worden ondersteund met jukken; de schotten zijn afzonderlijk omhoog te bewegen. Het geheel is wegklapbaar onder de verkeersbrug.
- Linne, Roermond, Belfeld en Sambeek: Stoney schuiven in combinatie met Poirée schotten. De Poirée schotten maken een grove regulering mogelijk en zijn op de foto's te herkennen aan het brede lage deel. De Stoney schuiven maken een fijnere regulering mogelijk en zijn op afstand te bedienen.

Figuur A.16 ⁸⁾ geeft een overzicht van de samenstelling van de stuwcomplexen op de Maas, gebaseerd op de documentatie van FEWS-IWP (Instrumentarium voor waterbeheer peilgestuurde systemen).

⁸⁾ NB. De vistrap van stuwcomplex Grave ligt aan de linker oever (zie Foto A.3) en niet tussen de stuw en de sluis zoals in Figuur A.16 wordt gesuggereerd.



bron: RWS / J.v.Houdt



bron: RWS / J.v.Houdt

Foto A.1 Links: Stuw Borgharen; Rechts: Stuw Linne (foto's: J.v.Houdt, beeldbank RWS)



bron: RWS / J.v.Houdt



bron: RWS / J.v.Houdt

Foto A.2 Links: Stuw Roermond; Rechts: Stuw Belfeld (foto's: J.v.Houdt, beeldbank RWS)



bron: RWS / J.v.Houdt



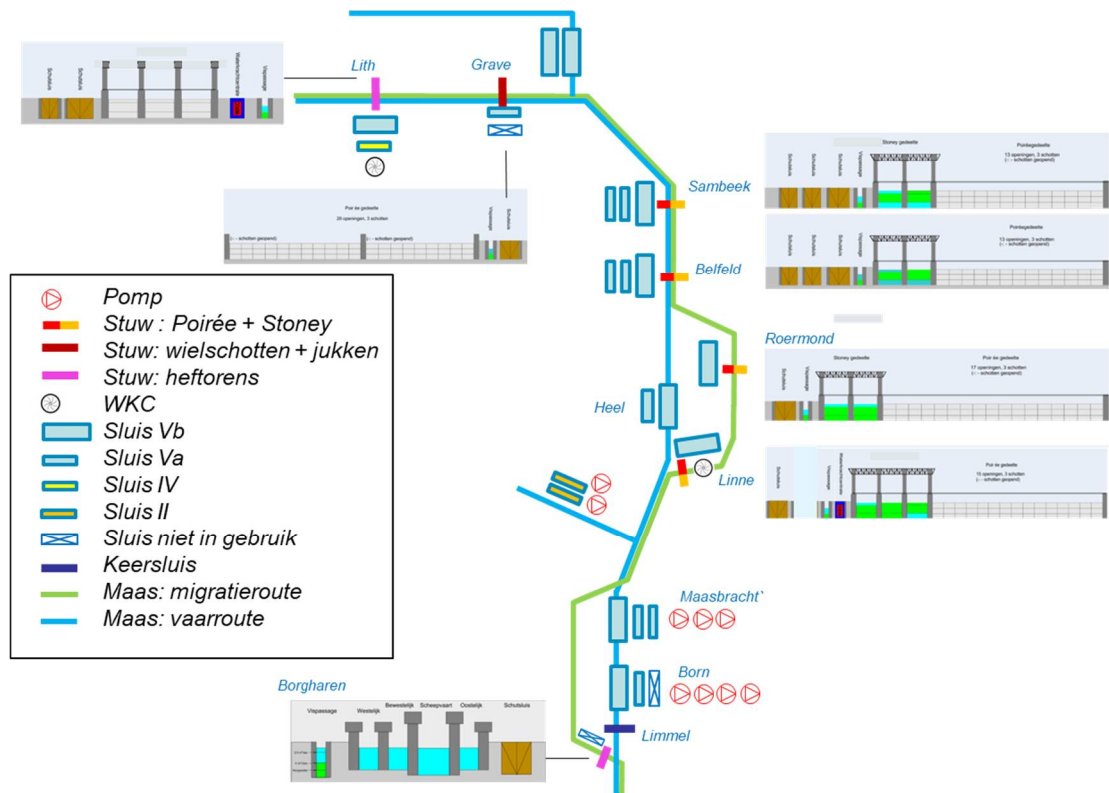
bron: RWS / J.v.Houdt

Foto A.3 Links: Stuw Sambeek; Rechts: Stuw Grave (foto's: J.v.Houdt, beeldbank RWS)



bron: RWS / J.v.Houdt

Foto A.4 Stuw Lith (foto: J.v.Houdt, beeldbank RWS)



Figuur A.16 Overzicht stuwcomplexen op de Maas.

A.6.2 Rijntakken

In de Nederrijn zijn drie stuwcomplexen aanwezig (aangelegd tussen 1960 en 1970). Elke stuw is hier voorzien van twee zogenaamde vizierschuiven: een halfronde klep met een gewicht van ongeveer 200 ton (Foto A.5). Deze schuif wordt met behulp van kabels geheven. De manier van bewegen van de schuif doet denken aan het oogvizier van een oude ridderhelm. Bij hoge rivierwaterafvoer openen de stuwen door de bogen omhoog te brengen.

De stuwen in de Nederrijn worden bediend op basis van een stuwprogramma. De afvoerverdeling over IJssel en Nederrijn is het belangrijkste uitgangspunt van het stuwprogramma van stuw Driel. De stuw zorgt voor de waterverdeling bij de IJsselkop over de IJssel en de Nederrijn en stuurt de waterstanden, en daarmee de vaardiepte, op het traject Driel-IJsselkop. Bij lage afvoeren reikt de invloed van Driel veel verder, tot aan Lobith toe, waardoor ook de waterverdeling tussen de Waal en het Pannerdensch Kanaal erdoor wordt beïnvloed. Verder zorgt de stuw ervoor dat er extra veel water over de IJssel stroomt, zodat die over de hele lengte meer waterdiepte krijgt en beter bevaarbaar is. De stuwen bij Amerongen en Hagestein houden het water op peil ten behoeve van de scheepvaart. Het stuwprogramma op de Nederrijn wordt verder besproken in Bijlage B.1.

Door de stuwen wordt de waterstand opgestuwd om scheepvaart mogelijk te maken voor CEMT-klasse Va (diepgang ca. 3 meter). Bij lage en gemiddelde afvoer maakt de scheepvaart gebruik van de sluis; bij hoge afvoer is de stuw gestreken en is scheepvaart door de stuw mogelijk.

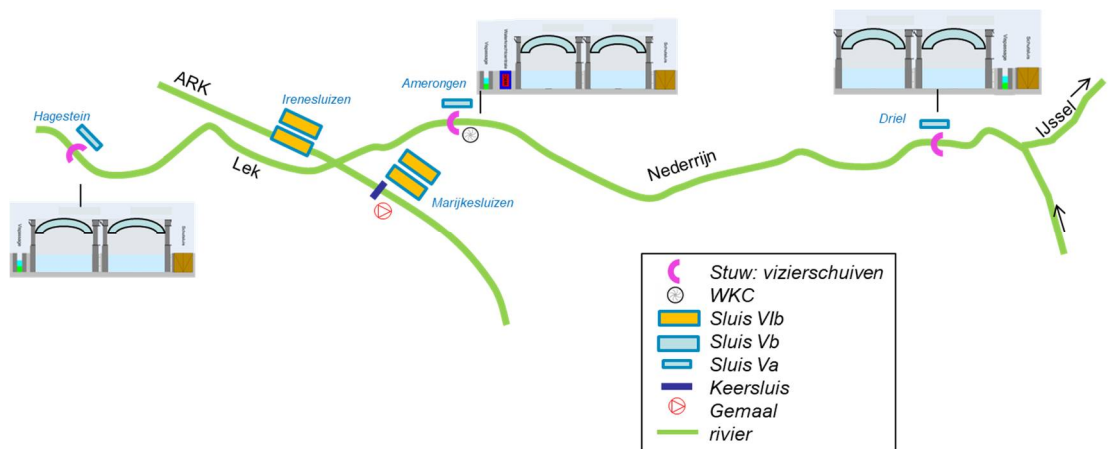
Ten behoeve van de vismigratie zijn bij alle stuwen vistrappen aangelegd zodat de vissen ook in bovenstroomse richting kunnen zwemmen.

Om gebruik te maken van het aanwezige verval bij lage afvoer zijn er waterkrachtcentrales aangelegd bij stuw Hagestein (1,8 MW) en Amerongen (ook wel Maurik genoemd, 10 MW). Op dit moment is alleen de centrale bij Amerongen in gebruik.

Figuur A.17 geeft een overzicht van de samenstelling van de stuwcomplexen op de Nederrijn, gebaseerd op de documentatie van FEWS-IWP (Instrumentarium voor waterbeheer peilgestuurde systemen).



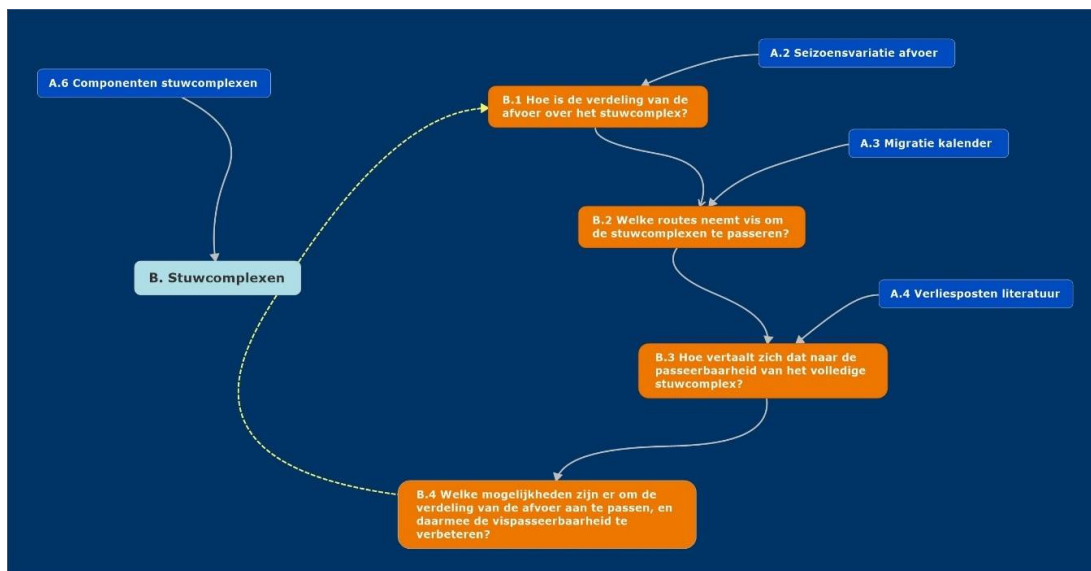
Foto A.5 Overzichtsfoto van het stuwcomplex Amerongen in benedenstroomse richting, met links direct naast de vizierschuiven de WKC Amerongen en meest links de vistrap (bron: wikimapia.).



Figuur A.17 Overzicht stuwcomplexen op de Nederrijn.

B Passeerbaarheid stuwcomplexen

Op het niveau van de stuwcomplexen zijn 4 kennisvragen geformuleerd (zie ook Figuur B.1), die in de volgende secties worden behandeld. De informatie over het watersysteem (zoals beschreven in Bijlage A) vormt input voor de beantwoording van kennisvragen over de stuwcomplexen.



Figuur B.1 Kennisvragen op het niveau van de stuwcomplexen.

Het gaat daarbij om de volgende vier kennisvragen:

- B.1 Hoe is de verdeling van de afvoer over de verschillende objecten van de 10 stuwcomplexen?
- B.2 Welke routes kan de vis nemen om de stuwcomplexen te passeren?
- B.3 Hoe vertaalt zich dat naar de vispasseerbaarheid van het volledige stuwcomplex?
- B.4 Welke mogelijkheden zijn er om de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen te verbeteren, door de verdeling van de afvoer over de objecten aan te passen?

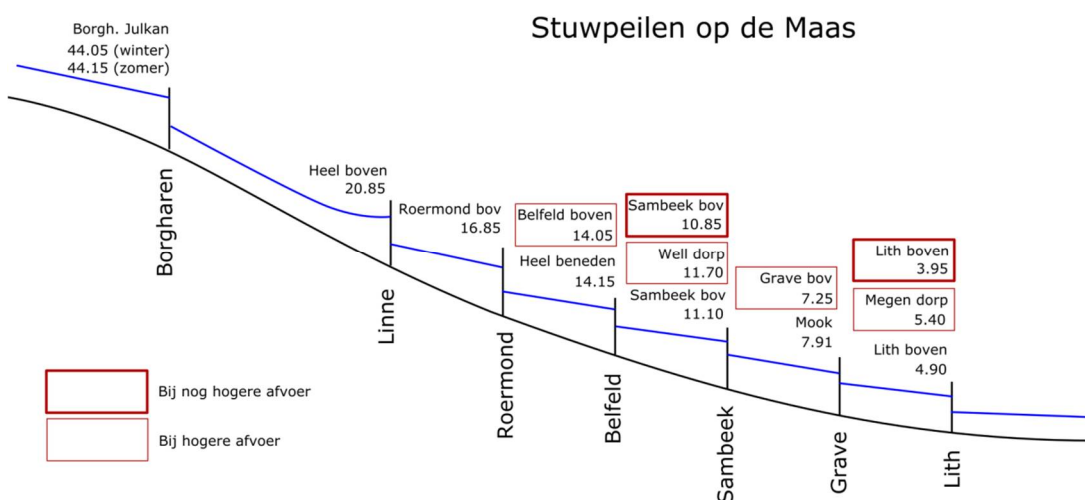
B.1 Hoe is de verdeling van de afvoer over de verschillende objecten van de 10 stuwcomplexen?

Jurjen de Jong – Deltares

B.1.1 Stuurprogramma

Maas

Iedere stuw wordt bediend volgens een stuwprogramma. In dit stuwprogramma wordt gestreefd naar het behalen van de benodigde vaardiepte op het gehele traject. Voor één of meerdere waterstations binnen het stuwband wordt een stuwpeil nagestreefd. De stuwpeilen voor alle stuwbanden zijn gegeven in Figuur B.2 en beschreven in Tabel B.1. De stuwmeester is verantwoordelijk voor het behalen van de stuwpeilen, maar heeft ook de mogelijkheid om hiervan af te wijken, waardoor in de praktijk afwijkingen kunnen ontstaan.



Figuur B.2 Stuwpeilen op de Maas.

Stuw	RKM	Stuwprogramma
Borgharen	15	Stuw Borgharen stuurt in de winter op het handhaven van een stuwpeil van 44.05 m+NAP (+/- 5 cm) bij Borgharen Julianakanaal. In de zomer is dit 44.15 m+NAP.
Linne	69	Stuw Linne stuurt op het handhaven van een stuwpeil van 20.85 m+NAP (+/- 5 cm) bij Heel_boven
Roermond	81	Stuw Roermond stuurt op het handhaven van een stuwpeil van 16.85 m+NAP (+/- 5 cm) bij Roermond_boven
Belfeld	101	Stuw Belfeld stuurt bij lage afvoeren op het handhaven van een stuwpeil van 14.15 m+NAP (+/- 5 cm) bij Heel_beneden, als bij toenemende afvoeren de waterstand bij Belfeld Boven daalt onder de 14.10 m+NAP wordt gestuurd op een stuwpeil van 14.05 m+NAP (+/- 5 cm) bij Belfeld_boven.
Sambeek	146	Stuw Sambeek stuurt bij afvoeren tot 620 m³/s (afvoer Well_dorp) op het handhaven van een stuwpeil van 11.10 m+NAP (+/- 5 cm) bij Sambeek_boven. Zodra de waterstand 11.66 m+NAP bij Well wordt bereikt wordt deze vastgehouden op circa 11.70 m+NAP (+/- 5 cm) en daalt de waterstand bij Sambeek_boven. Zodra de waterstand bij Sambeek_boven 10.85 m+NAP is geworden (afvoer Well_dorp circa 800 m³/s) wordt gestuurd op de waterstand Sambeek_boven 10.85 m+NAP (+/- 5 cm).
Grave	176	Stuw Grave stuurt op het handhaven van een stuwpeil van 7.91 m+NAP (+/- 5 cm) bij Mook. Dit peil wordt gehandhaafd totdat de waterstand bij Grave_boven is gedaald tot 7.25 m+NAP (afvoer Mook circa 950 m³/s). Vanaf dat moment wordt gestuurd op een waterstand van 7.25 m+NAP (+/- 5 cm) bij Grave_boven.
Lith	201	Stuw Lith stuurt op het handhaven van een stuwpeil van 4.90 m+NAP (+/- 5 cm) bij Lith_boven. Dit peil wordt gehandhaafd totdat de waterstand bij Megen is gestegen tot 5.35 m+NAP (afvoer Megen circa 800 m³/s). Vanaf dat moment wordt de waterstand 5.40 m+NAP (+/- 5 cm) bij Megen gehandhaafd en daalt de waterstand bij Lith_boven. Zodra de waterstand bij Lith_boven is gedaald tot 4.00 (afvoer Megen circa 1250 m³/s) wordt gestuurd op een waterstand van 3.95 m+NAP (+/- 5 cm) bij Lith_boven.

Tabel B.1 Stuwprogramma van stuwen op de Maas

Nederrijn

Het stuwprogramma op de Nederrijn-Lek is anders dan de stuwsturing op de Maas, omdat niet enkel de bovenstroomse waterstand wordt beïnvloed, maar ook de afvoerverdeling over de Rijntakken. Met name stuw Driel dient als 'de waterkraan' van Nederland en kan de afvoer direct sturen op de IJsselkop, maar indirect ook op de Pannerdensch Kop. In 2016 is het stuwprogramma op een aantal (kleine) punten aangepast. De samenvatting van het nieuwe programma is gegeven in onderstaande Tabel B.2 (versimpeling van RWS, 2016).

De stuwmeester is verantwoordelijk voor het behalen van de stuwpeilen, maar heeft ook de mogelijkheid om hiervan af te wijken, waardoor in de praktijk afwijkingen kunnen ontstaan tussen het stuwprogramma en de metingen. De stuw bij Driel is gemiddeld 75 dagen per jaar geopend. De stuwen bij Amerongen en Hagestein zijn gemiddeld 25 dagen per jaar geopend.

Stuw Driel

Waterstanden			Afvoeren			
Lobith	IJsselkop	Driel-boven	Bovenrijn	Nederrijn	IJssel	
[m+ NAP]	[m+ NAP]	[m+ NAP]	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	
10,00	8,80	7,50	2600	440	360	begin van stuwen
9,00	8,30	8,20	1865	160	305	
8,60	8,10	8,10	1590	30	285	volledig gestuwd

Stuw Amerongen

Waterstanden		Afvoer	
Lobith	Amerongen boven	Nederrijn	
[m+ NAP]	[m+ NAP]	(m ³ /s)	
11,40	5,50	675	begin van stuwen
11,00	5,55	600	
10,00	5,85	440	
9,00	6,00	160	
8,60	6,00	30	volledig gestuwd

Stuw Hagestein

Waterstanden		Afvoer	
Lobith	Hagestein boven	Nederrijn	
[m+ NAP]	[m+ NAP]	(m ³ /s)	
11,40	2,70	675	begin van stuwen
11,00	2,70	600	
10,00	2,90	440	
8,60	3,00	30	volledig gestuwd

Tabel B.2 Stuwprogramma van stuwen op de Nederrijn.

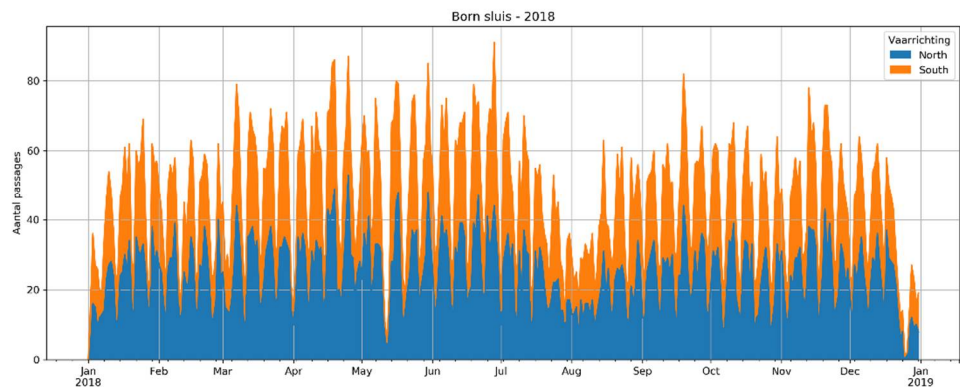
B.1.2 Bepaling schutdebiet

Het schutdebiet van een sluis kan worden bepaald door het aantal schuttingen, het oppervlak van de sluis, het verval over de sluis en het lekdebiet. Bij sommige sluisen wordt het schutdebiet in droge perioden (deels) gecompenseerd door een deel van het debiet terug te pompen.

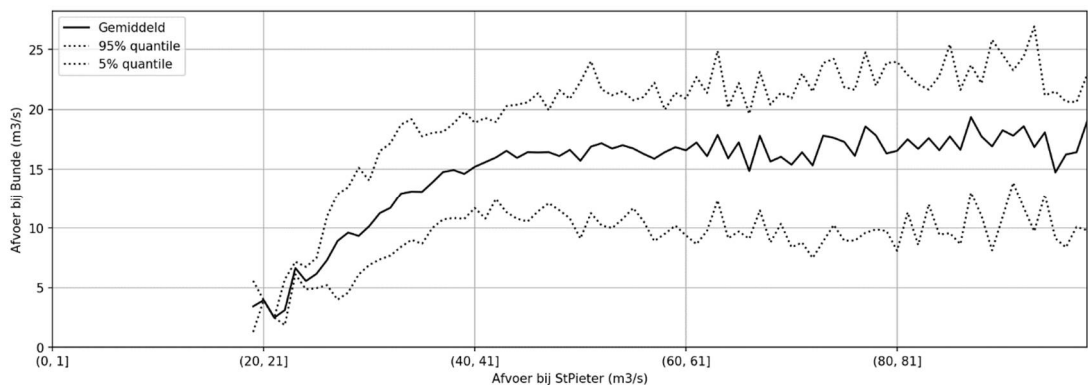
Het aantal schuttingen wordt bepaald door het aantal scheepspassages (in 1 richting). Het aantal scheepspassages varieert over de dag, over de week, maar vertoont ook een variatie over het jaar ten gevolge van de vraag naar goederen en (zomer- en kerst-) vakanties. Een voorbeeld hiervan is gegeven in Figuur B.3 voor sluis Born in het Julianakanaal.

Afhankelijk van de capaciteit van de sluis en het gehanteerde schutstrategie kan het aantal passages omgerekend worden naar het aantal schuttingen. Door dit te vermenigvuldigen met het oppervlak van de sluis en met het waterstandsverval tussen de boven- en benedenstroomse kant van de sluis, verkrijgen we de totale afvoer over de sluis. Doordat bij stuwcomplexen bij toenemende afvoeren de waterstanden benedenstrooms van het stuwcomplex ook zullen toenemen, neemt het verval over de schutsluis af. Het grootste verval is daardoor doorgaans bij de laagste afvoeren, al kan dit bij sommige stuwcomplexen door veranderingen in het streefpeil anders liggen.

In tijden van droogte wordt de schutstrategie aangepast. Er wordt bijvoorbeeld altijd gewacht tot de sluis vol is voor er geschut wordt. Daarnaast kan er bij sommige sluisen teruggepompt worden om zo het schutdebiet te reduceren. Het effect hiervan is weergegeven in Figuur B.4 van de afvoer bij Bunde (bovenstrooms van sluis Born op het Julianakanaal). Waar de schuttingen in een normale periode zorgen voor een constante afvoer van 17 m³/s, reduceert dit in een droge periode tot afvoeren van 5 m³/s doordat er zuiniger geschut en ook teruggepompt wordt.



Figuur B.3 Aantal scheepspassages bij sluis Born in 2018 (uit IVS90-dataset).



Figuur B.4 Metingen van de afvoer bij Julianakanaal Bunde (vlakbij sluis Born) uitgezet als functie van de afvoer op de Maas (St. Pieter) (op basis van metingen uit RWS Waterinfo van 1999 tot 2018)

Voor de bepaling van het gemiddelde schutdebiet wordt in deze studie uitgegaan van de afvoer zonder speciale laagwater-schutstrategie of terugpompen. Het daggemiddelde schutdebiet wordt bepaald, dit is significant lager dan de momentane afvoer door een schutting die wel toe kan nemen tot bijna 150 m³/s (Verheij et al., 2002). Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende kolken van een schutsluis, ondanks dat deze in dimensies van elkaar kunnen verschillen. De resulterende getallen kunnen door deze vereenvoudigingen enkel gezien worden als een orde grootte van de daggemiddelde schutdebieten.

De sluiskolken bij stuwcomplexen kunnen opgesplitst worden in sluisen direct naast de stuw, en sluisen op een parallel kanaal (zie Tabel B.3 en Tabel B.4). Voor de herkomst van de data van sluisen op parallelle kanalen is gebruik gemaakt van de regressieformuleringen van Van der Veen (2018) toegepast voor hydraulisch jaar 2014-2015 voor de zesde-generatie modellen van de Maas (De Jong & Yossef, 2019). De schutdebieten bij de stuwcomplexen zelf zijn bepaald uit berekeningen van translatiegolven (Verheij et al., 2002; De Jong, 2018) in combinatie met IVS90-data van de scheepspassages van de binnenvaart.

	Borgharen	Linne	Roermond	Belfeld	Sambeek	Grave	Lith
Aantal schutkolken naast stuw	(0/1)	(0/0)	(1/1)	(3/3)	(3/3)	(1/2)	(2/2)
Schutkolken parallel kanaal	Born (2/3)	Linne (1) Heel (2)	Heel (2)				

Tabel B.3 Schutsluizen op de Maas bij de stuwcomplexen, opgedeeld in schutkolken direct naast het stuwcomplex en schutkolken in een kanaal parallel aan het stuwcomplex. Aangegeven staat het aantal actieve schutkolken als deel van totale aantal schutkolken als (actief/ totaal). Omdat het Lateraalkanaal zowel stuw Linne als Roermond staat Sluis Heel tweemaal in dit overzicht.

	Driel	Amerongen	Hagestein
Aantal schutkolken	(1/1)	(1/1)	(1/1)

Tabel B.4 Schutsluizen (bij stuwen) op de Nederrijn-Lek.

Voor ieder van de genoemde sluisen is een schatting gemaakt van het schutdebiet. Hierbij zijn in sommige gevallen extra aannames van het schutvolume en het aantal schuttingen gebruikt. Deze aangenomen waarden zijn gegeven in Tabel B.5. Opgemerkt dient te worden dat geen informatie beschikbaar is met betrekking tot de pleziervaart. Het effect hiervan zal bij sommige sluisen (zoals bv. Roermond en Linne) duidelijk merkbaar zijn op het aantal schuttingen, maar was niet aanwezig in de IVS90-dataset. In de berekeningen is daarnaast gerekend met het schutvolume bij een maximaal verval (zonder afvoerafhankelijkheid).

Sluiscomplex	Volume (m³)	Passages per dag in 2017 (IVS90)	Afvoer per dag (m³/s)
Roermond	11440	4.5	0.6
Belfeld	13520	28.2	4.4
Sambeek	13520	35.9	5.6
Grave	6307	15.9	1.2
Driel	6412	14.1	1.0
Amerongen	12870	19.4	2.9
Hagestein	6890	13.6	1.1

Tabel B.5 Het volume van een schutverlies bij gemiddelde afvoer (Verheij et al. (2002) en De Jong (2018)) (maximum van de verschillende kolken) gecombineerd met het aantal passages van binnenvaartschepen in 1 richting (maximum van stroomopwaarts of -afwaarts). Voor de Maas is gerekend met 2017 vanaf februari (i.v.m. de aanvaring bij stuw Grave). In de berekening is aangenomen dat het aantal schuttingen gelijk is aan het aantal passages.

Ten slotte zijn de conclusies van de gepresenteerde onderzoeken gebundeld in Tabel B.6.

Sluiscomplex	Gemiddelde afvoer (m ³ /s)	Bron
Borgharen	0	Geen actieve kolken
Born	17	Zie Figuur B.4
Linne	2	Data uit De Jong & Yossef (2019)
Heel	7	Data uit De Jong & Yossef (2019)
Roermond	1	Verheij et al. (2002) i.c.m. IVS90-metingen
Belfeld	4	Verheij et al. (2002) i.c.m. IVS90-metingen
Sambeek	6	Verheij et al. (2002) i.c.m. IVS90-metingen
Grave	1	Verheij et al. (2002) i.c.m. IVS90-metingen
Lith	1	Aanname dat dit gelijk is aan Sluis Grave
Driel	1	De Jong (2018) i.c.m. IVS90-metingen
Amerongen	3	De Jong (2018) i.c.m. IVS90-metingen
Hagestein	1	De Jong (2018) i.c.m. IVS90-metingen

Tabel B.6 Schatting van de gemiddelde afvoer (m³/s) door de sluisgolven.

B.1.3 Afvoerverdeling bij stuwcomplexen

In dit hoofdstuk worden de beschrijvingen uit eerdere hoofdstukken aangevuld met enkele kengetallen van de afvoer uit literatuur. Eerst wordt nog een aantal aanvullende aannames beschreven. Tenslotte worden de conclusies gegeven van de afvoerverdeling over de verschillende objecten van alle stuwcomplexen.

Aannames stuwcomplexen Maas

Door Rijkswaterstaat zijn Objectbeschrijvingen (Van Aubel, 2015-2019) opgesteld van alle stuwen. Daarin is beschreven wat de afvoeren en capaciteiten van de verschillende onderdelen zijn.

	Borgharen	Linne	Roermond	Belfeld	Sambeek	Grave	Lith
Max. afvoer WKC (m ³ /s)	-	450	-	-	-	-	400
Cap. klep-bedrijf (m ³ /s)	Tot ca. 200	-	-	-	-	-	1000
Cap. Stoney-schuiven (m ³ /s)	-	ca. 220	ca. 200	ca. 300	ca. 300	-	-
Afvoer waarbij stuw gestreken is (m ³ /s)	ca. 1500	1350 a	1000 a	900 a	> 1300	1200 -	1200
Afvoer vistrap (m ³ /s)	4 (of 2.5 ¹)	1400	1100	1000	4	1500	3 a 4

¹ In perioden van lage afvoer

Tabel B.7 Afvoerbereik (m³/s) van verschillende onderdelen van de stuwen uit Van Aubel (2016). Overgenomen uit (De Jong & Yossef, 2019)

Op basis van metingen kan ook een schatting verkregen worden bij welke afvoeren de stuwen gestreken zijn in de huidige situatie (De Jong, 2019). Deze metingen zijn gebaseerd op het historische verval over de stuw, en de betrekkinglijnen 2018-2019. Uit de gegevens blijkt dat door waterstand-verlagende maatregelen op de Maas, sommige stuwen bij een significant hogere afvoer gestreken zijn dan gerapporteerd in de bovenstaande tabel.

	Borgharen	Linne	Roermond	Belfeld	Sambeek	Grave	Lith
Afvoer waarbij stuw gestreken is (m ³ /s)	2000	1400	1200	1000	1300	1500	1600

Tabel B.8 Schatting van afvoer (m³/s) waarop stuwen worden gestreken uit waterstandsmetingen gerapporteerd in De Jong (2019).

De eerdergenoemde gegevens zijn aangevuld met de volgende aannames:

- Het moment waarop de stuw volledig wordt gestreken zoals afgeleid uit de waterstandsmetingen (de Jong, 2019) komt mogelijk het meest overeen met de werkelijkheid,

en de waarden van Van Aubel (2015-2019) geven het vigerend beleid weer. In het analysetool gaan we voorsnog uit van het vigerend beleid; in het analysetool kunnen deze waarden worden aangepast om het effect op de vispasseerbaarheid te analyseren.

- Voor geleidelijke overgangen tussen verschillende afvoerregimes zijn vele aannames nodig geweest. Voor het volledig strijken wordt op basis van metingen uitgegaan dat dit start op ongeveer 100 m³/s voor de hiervoor gegeven afvoer.
- Het verschil tussen de stroming in een volledig gestreken stuw ('vrije stroming') en een bijna gestreken stuw is feitelijk niet heel groot. Om het moment van gestreken stuw echter inzichtelijk te houden is dit onderscheid toch gemaakt.
- De (2 of 3) Stoney-schuiven worden verondersteld (synchroon) in het midden gehouden te worden om zo de maximale mogelijkheden voor de fijnregeling te hebben. De afvoer is gemiddeld dus de helft van de volledige capaciteit.
- De capaciteit van de Nevengeul-2.0 kan in het analysetool worden gekozen. Daarbij is aangenomen maximaal 75% van de afvoer (minus de afvoer via de vistrap en de sluis) via de Nevengeul-2.0 loopt, en de rest via de stuw zelf.
- Bij Borgharen gaat het stuwbeheer over van klepbedrijf (overstort) naar schuifbedrijf (onderlossend) bij een afvoer van 200 m³/s. Voor Lith is dat bij een afvoer van 1000 m³/s.
- De maximale capaciteit van de WKC Linne en de WKC Lith is op 400 m³/s gesteld. Daarbij is aangenomen dat maximaal 75% van de beschikbare afvoer (totale afvoer minus de afvoer via de vistrap, de sluis en de nevengeul) via de WKC loopt. Ook is aangenomen dat de WKC niet wordt gebruikt bij een beschikbare afvoer van minder dan 50 m³/s. Tenslotte is aangenomen dat de afvoer via de WKC afneemt met de toename van de afvoer tot nul op het moment dat de stuw volledig gestreken is (omdat er dan geen verhang meer over de stuw is).

Aannames stuwcomplexen Nederrijn

- De afvoer door de cilinderschuiven en spuirollen is onbekend. Er is aangenomen dat deze nauwelijks in gebruik zijn bij stuw Amerongen (bij lage afvoeren wordt gestuurd met WKC Maurik) en dat ze enkel actief zijn bij lage afvoeren. De afvoer door cilinderschuiven en spuirollen wordt samengevoegd in de tabellen en figuren.

	Driel	Amerongen	Hagestein
Max. afvoer door waterkrachtcentrale (m ³ /s)	-	400	0
Afvoer door vistrap (m ³ /s)	5	5	5
Afvoer door cilinderschuiven (m ³ /s)	90	90	90
Afvoer waarbij stuw gestreken is	440	675	675

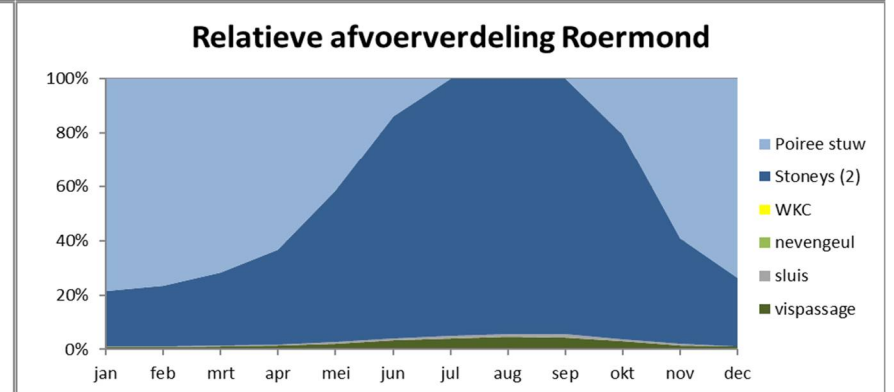
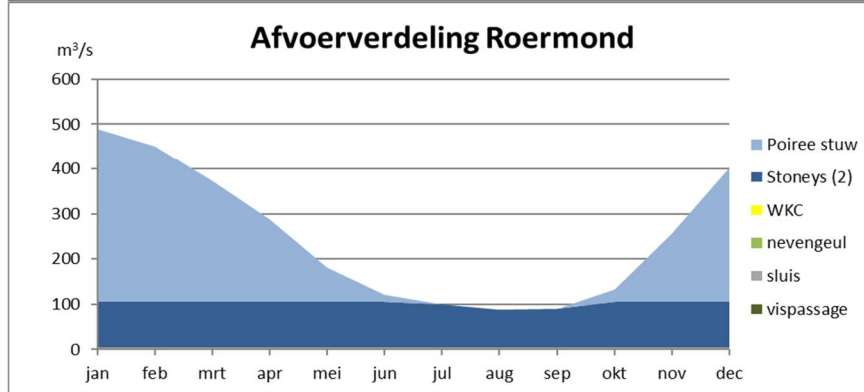
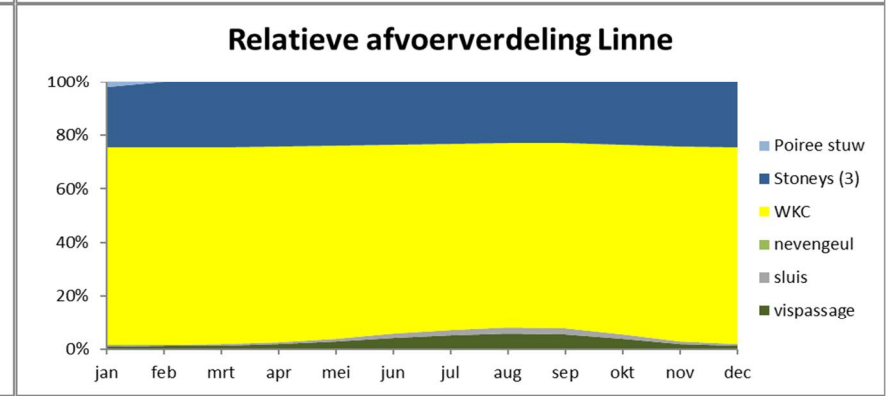
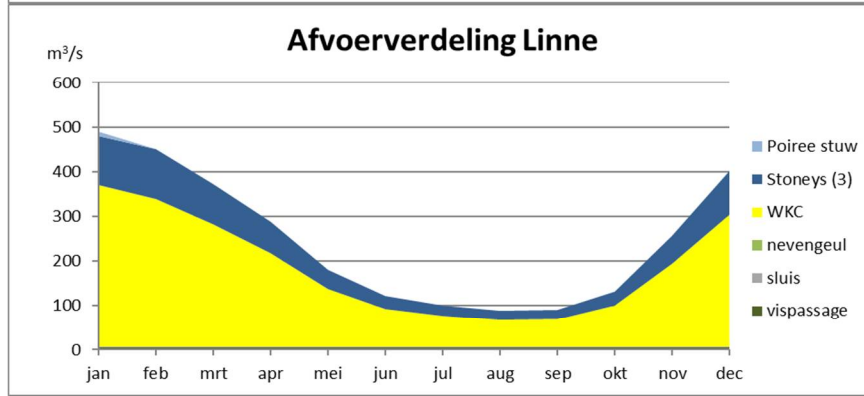
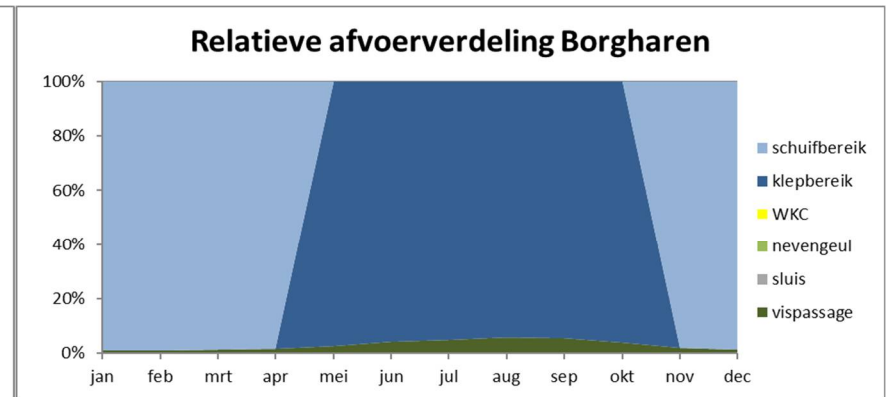
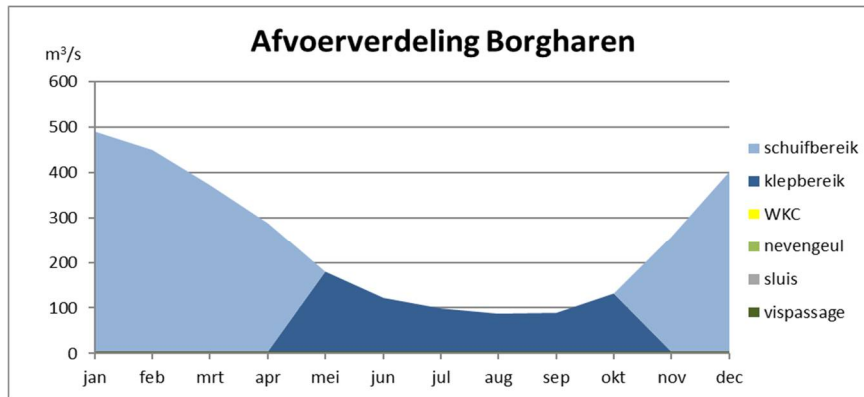
Tabel B.9 Afvoerbereik van verschillende delen van de stuwen. De gestreken afvoer is de afvoer door de Nederrijn (en niet bij Lobith). De afvoer van de waterkrachtcentrale volgt uit Rijkswaterstaat (2013), de afvoer door de vistrap en de gestreken afvoer uit Rijkswaterstaat (2016), en de afvoer door de cilinderschuiven uit Arcadis (2010a).

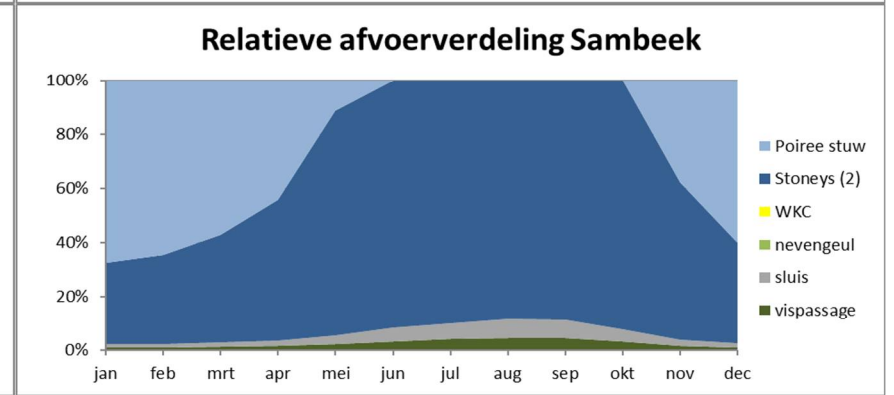
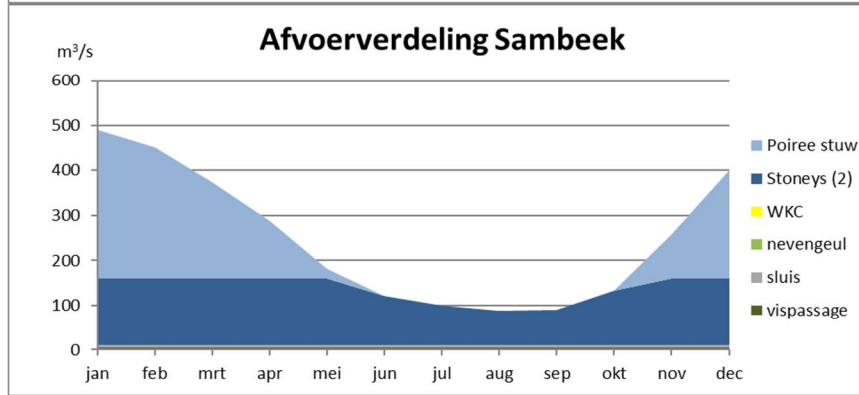
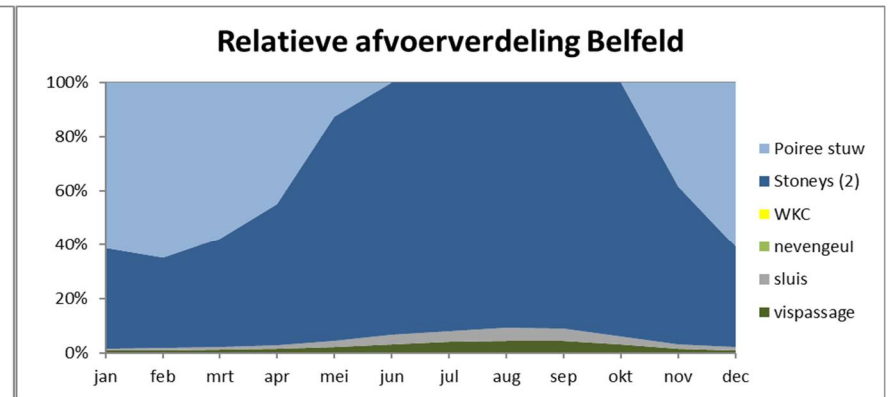
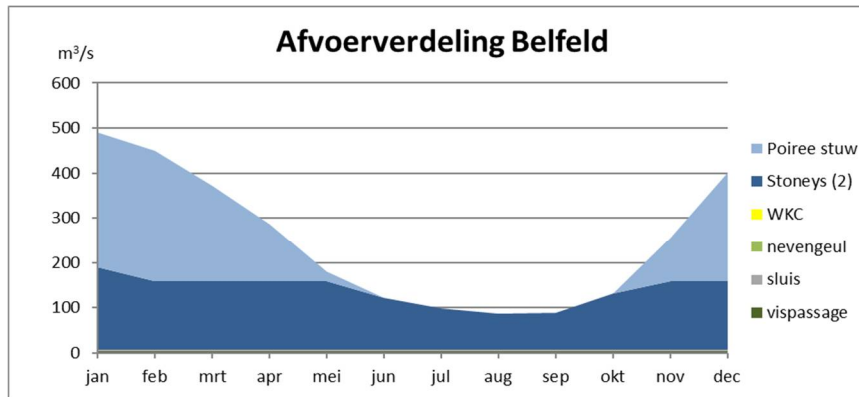
B.1.4

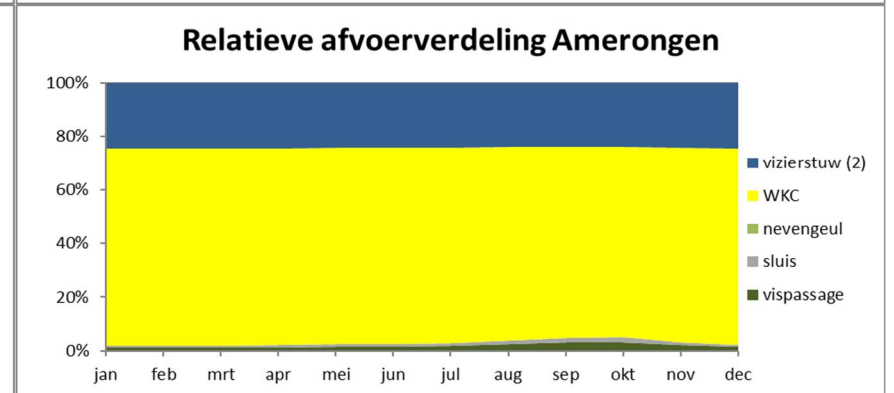
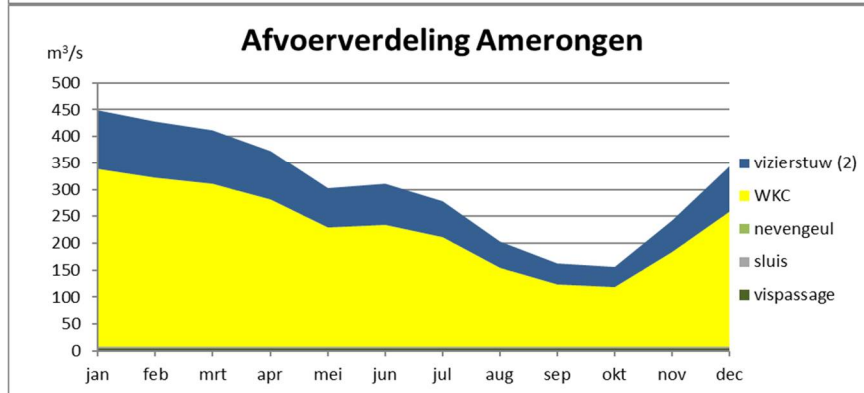
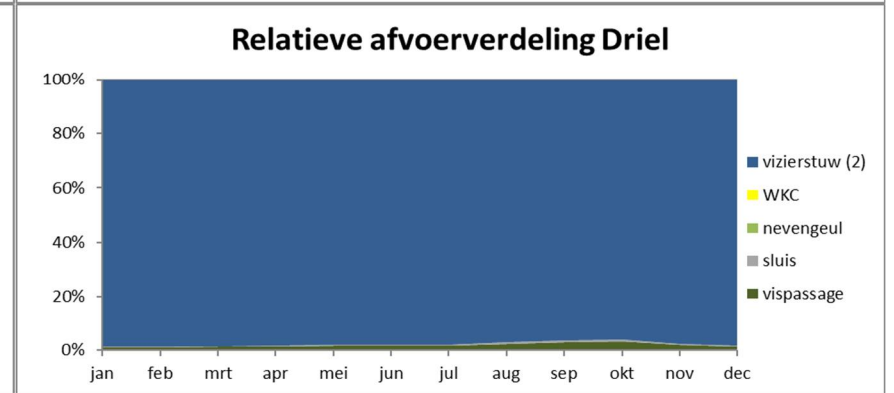
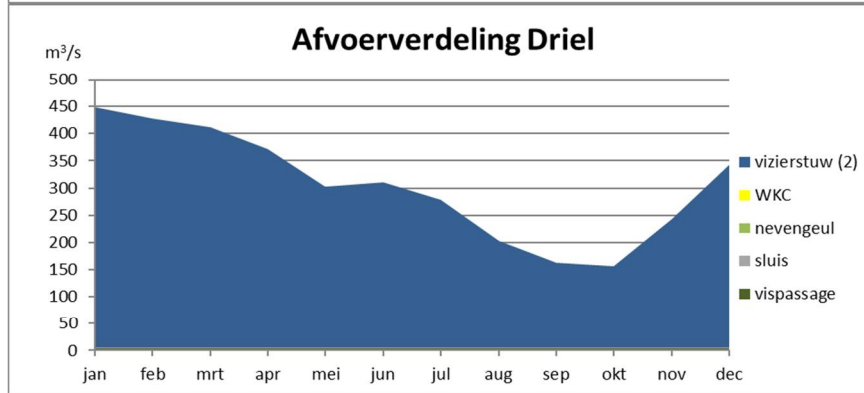
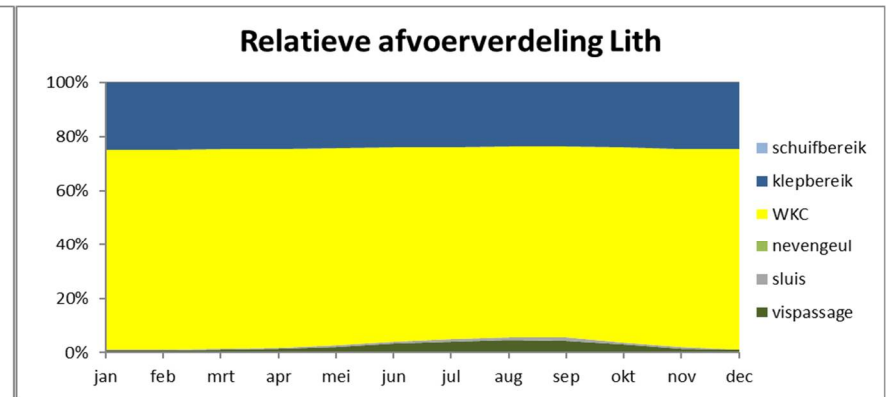
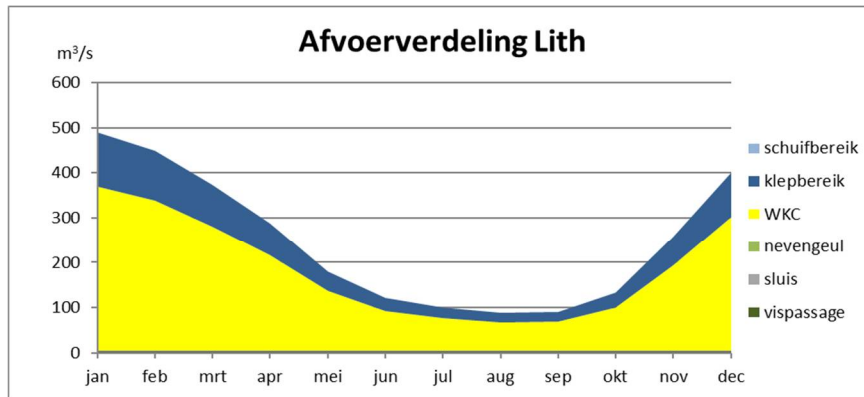
Concluderende figuren

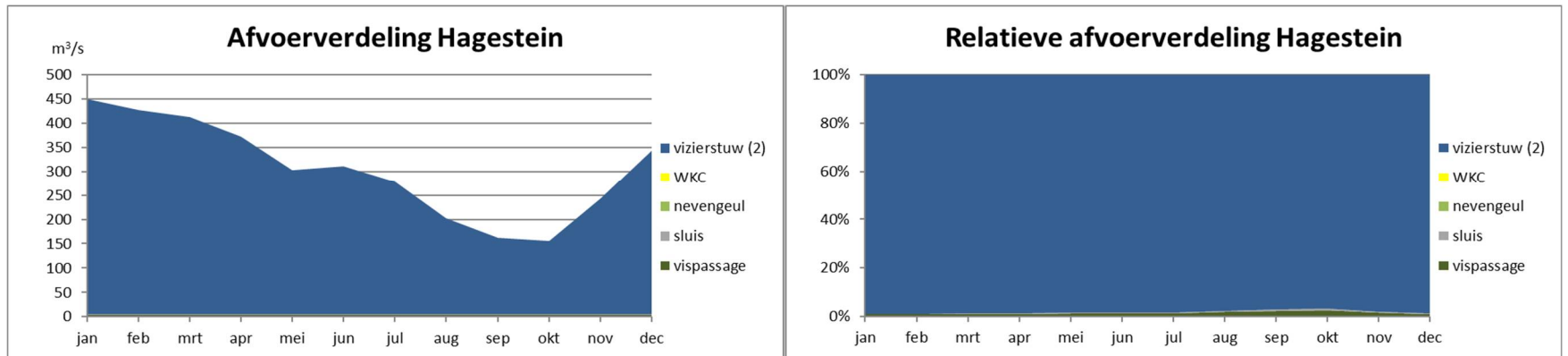
De resultaten zijn opgeleverd als onderdeel van het analyse tool. Daarbij kan voor iedere stuw voor een 11 verschillende situaties de afvoerverdeling over alle objecten op maandbasis worden uitgewerkt. In onderstaande Figuur B.5 worden ter illustratie de resultaten gegeven voor de 7 stuwcomplexen op de Maas en de 3 stuwcomplexen op de Nederrijn, voor een gemiddelde afvoer (Referentie 2015 – gemiddelde 1911-2011). Iedere figuur bestaat uit twee deelfiguren:

- Totale afvoer (m³/s) door de verschillende objecten
- Afvoerverdeling (%) door de verschillende objecten









Figuur B.5 Afvoerverdeling over alle objecten van de stuwcomplexen op de Maas en Nederrijn, voor Refentie2015 gemiddeld jaar (1911-2011).

B.2 Welke routes kan de vis nemen om de stuwcomplexen te passeren?

Erik Ruijgh – Deltares

In de literatuur is veel informatie beschikbaar uit beschrijvend onderzoek ten aanzien van de routes die vis volgt bij stuwcomplexen, bij specifieke barrières, voor bepaalde soorten. Onderstaande paragrafen gaan in op een deel van deze informatie voor stroomafwaartse en stroomopwaartse migratie. Op basis van de beschikbare informatie is, in combinatie met een aantal aannames, een set generiek rekenregels afgeleid om de verdeling van vis te beschrijven bij de stroomafwaartse en stroomopwaartse passage van stuwcomplexen.

B.2.1 Stroomafwaarts

De stroomafwaarts migrerende vis kan via de verschillende routes/objecten het stuwcomplex passeren. De verdeling van de (stroomafwaarts migrerende) vis over deze objecten is sterk afhankelijk van de hydraulische condities bij het splitsingspunt. Er wordt gesproken over Fish Follows Flow (FFF) wanneer aangenomen wordt dat de verdeling van de vis over de verschillende routes/objecten identiek is aan de verdeling van de afvoer (debiet) over de verschillende objecten. Daarnaast zijn de eigenschappen cq. voorkeuren van de vissoort van belang bij de keuze van de route. Zo zullen reofiele soorten een voorkeur hebben voor een route met wat hogere stroomsnelheden. Benthische soorten bevinden zich dicht bij de bodem dan pelagische soorten (die in de regel hoger in de waterkolom verblijven), en ook dat kan van invloed zijn in de keuze van de route.

Uit onderzoek van Jansen et al (2007) (ook geciteerd in Winter, 2009) met gezenderde schieraal volgt dat zowel op kleine schaal (stuwcomplex bij de WKC's van Lith en Linne), als op grotere schaal (migratieroutes Haringvliet, Nieuwe Waterweg) schieraal zich in eerste instantie bij stroomafwaartse migratie verdeelt over de beschikbare routes conform de afvoerverdeling. Wel blijkt dat (heel) dicht bij een barrière de schieraal gaat zoeken naar een alternatieve route, met name als de stroomsnelheid toeneemt. Boven een bepaalde stroomsnelheid kan de aal niet meer 'ontsnappen' en wordt deze meegezogen met de stroming.

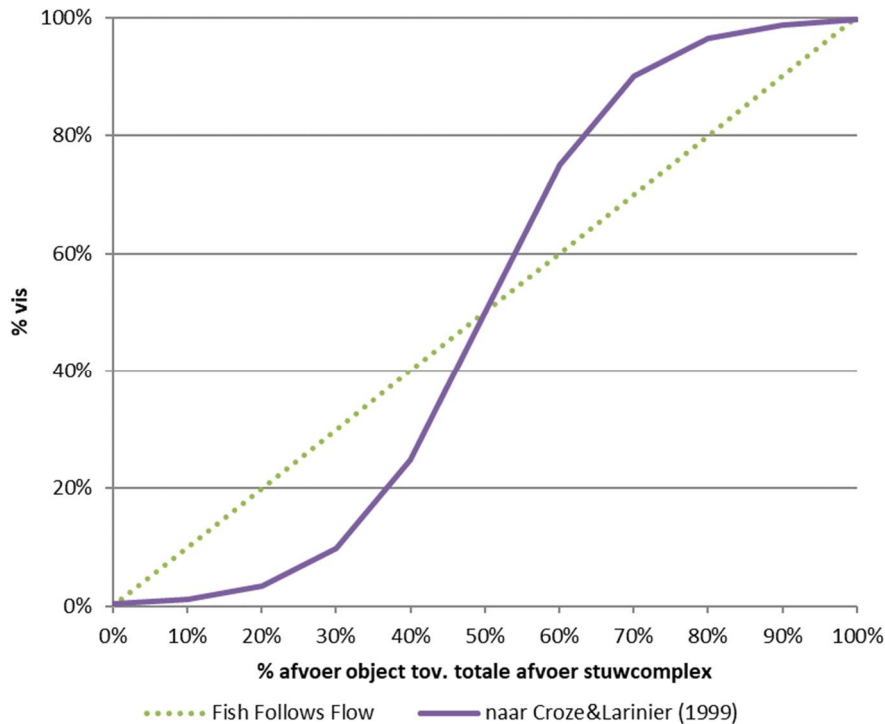
Croze en Larinier (1999) hebben op basis van meetgegevens bij een waterkrachtcentrale in de Garonne bij Rodère (Frankrijk) geconstateerd dat stroomafwaarts migrerende smolts een voorkeur hebben voor de grootste afvoer (debiet), en dus meer dan evenredig de hoofdstroom volgen bij een splitsingspunt. Deze relatie tussen de afvoer en de voorkeur van smolts staat bekend als het "Larinier-effect". Zie Figuur B.6.

Ebel (2018) gaat in op diverse mogelijkheden voor visgeleiding bij stroomafwaartse migratie rond de inlaat van WKC's, zoals gebruikt worden in Duitsland. In België loopt momenteel een onderzoek met verschillende proefprojecten om visgeleiding bij verschillende stuwen met een WKC aan te leggen (project Life4Fish van Luminus/EDF).

Gauld et al (2013) onderzochten de relatie tussen afvoer en stroomafwaartse migratie van smolts bij kleine stuwen in Engeland. Økland et al (2016) deden een vergelijkbaar onderzoek bij drie waterkracht centrales in Duitsland. Uit beide onderzoeken komt naar voren dat bij lage afvoer stroomafwaarts migrerende smolts langer worden opgehouden bij stuwen en er daardoor meer predatie optreedt.

Goodwin et al (2014) hebben CFD modellen ontwikkeld om de hydraulische condities (stroomsnelheid en versnelling, drukvariatie etc.) in detail te beschrijven. Daarbij wordt het gedrag van de stroomafwaarts migrerende smolts verklaart uit de relatieve stroomsnelheid die de vis ervaart (dus het verschil tussen de snelheid van het water en de zwemmende vis). Daarvoor zijn 3 mogelijke vormen van gedrag gemodelleerd: de vis volgt de stroming, de vis wordt aangetrokken door een versnelling, de vis mijdt versnelling en keert terug. De modelresultaten zijn vergeleken

met de resultaten van diverse meetcampagnes over een periode van 14 jaar met betrekking tot het gedrag van smolts bij verschillende dammen in de VS. Uit deze vergelijking blijkt dat alleen uitgaan van Fish Follows Flow de minst goede match oplevert. Indien ook wordt uitgegaan in het model van gedrag zoals aantrekking en mijden, neemt het verschil tussen de meetgegevens en modelresultaten af. Naast de hydraulische condities zijn ook andere factoren (licht, geluid, morfologie etc.) van belang.

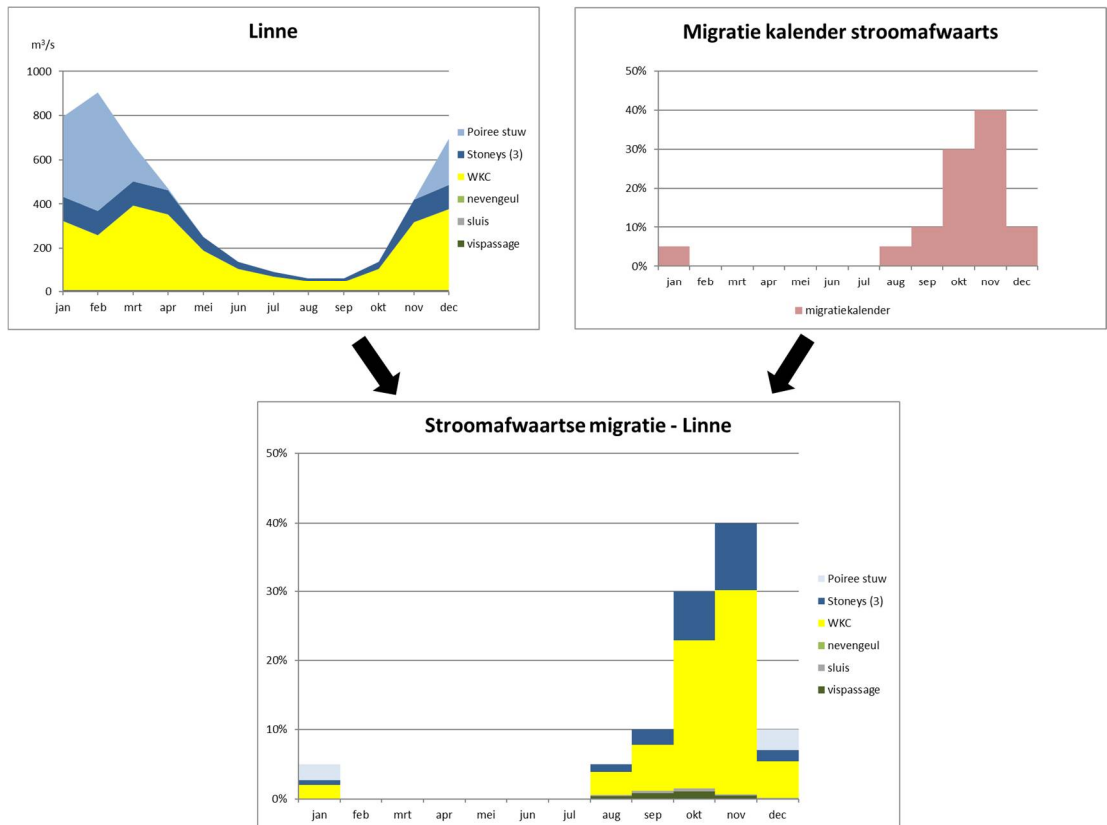


Figuur B.6 Verdeling van afwaarts migrerende vis over de afvoer, volgens Fish Follow Flow en naar Croze & Larinier (1999)

Uit de literatuur blijkt dus dat het principe van “Fish Follows Flow” alleen op hoofdlijnen de verdeling van stroomafwaarts migrerende vissen over de verschillende mogelijke routes beschrijft op basis van de afvoer. Het “Larinier-effect” geeft een extra nuanciering van dit principe. In meer detail zijn de effecten van (variatie in de) stroomsnelheden en turbulentie, en allerlei niet-hydraulische effecten (zoals geluid en licht) ook relevant, en dat alles weer afhankelijk van de vissoort/gilde. Op dit moment kunnen deze meer gedetailleerde effecten nog niet eenduidig worden beschreven. Daarom wordt vooralsnog bij de beschrijving van de stroomafwaartse migratie in het analysetool uitgegaan van het principe van Fish Follows Flow of het Larinier-effect.

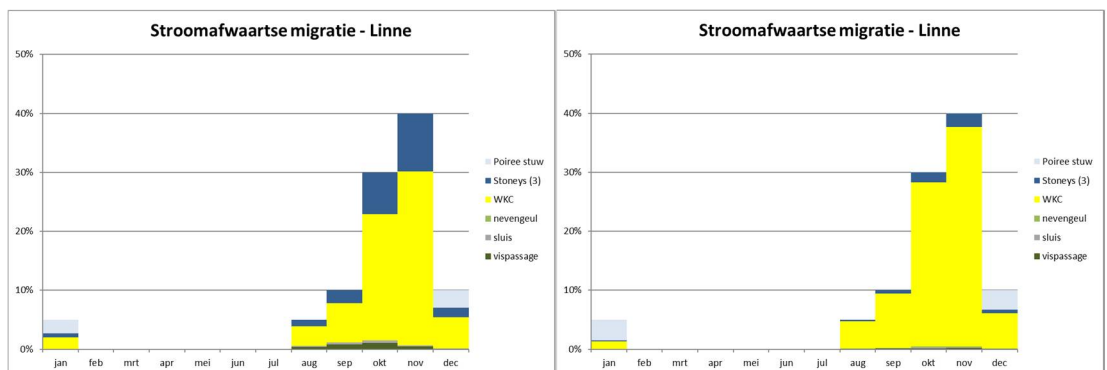
Omdat de afvoer (en daarmee de afvoerverdeling over de verschillende objecten) varieert in de tijd (zie Bijlage B.1), varieert - uitgaande van Fish Follows Flow - ook de verdeling van de stroomafwaarts migrerende vis over de verschillende objecten in de tijd. Bovendien varieert de hoeveelheid stroomafwaarts migrerende vis (per soort) in de tijd (zie Bijlage A.3, de migratiekalender). De combinatie van de afvoerverdeling over de objecten en de migratiekalender geeft de stroomafwaartse migratie via elk object voor elke tijdstap (een maand). Zie Figuur B.7.

Op termijn kunnen eventueel andere verdelingen worden toegevoegd aan het analysetool, inclusief het mogelijke effect van visgeleiding op de verdeling van de stroomafwaarts migrerende vissen over de beschikbare routes. Daarmee zou dan ook het effect van visgeleiding op de verliezen bij de stuwcomplexen kunnen worden geanalyseerd.



Figuur B.7 Procentuele verdeling van berekende stroomafwaartse migratie in de tijd over de verschillende objecten in een stuwcomplex (Linne), op basis van afvoerdeling (WH2050 80%) en migratiekalender (Katadroom – Aal).

Figuur B.8 geeft de berekende stroomafwaartse migratie bij Linne (afvoerdeling WH2050 80% en migratiekalender Katadroom-Aal) op basis van Fish Follow Flow (links) en op basis van het Larinier-effect (rechts). Hier blijkt uit dat op basis van het Larinier-effect de stroomafwaarts migrerende vis de hoofdstroom (dat wil zeggen de route waarlangs het meeste water passeert) meer dan evenredig volgt.



Figuur B.8 Procentuele verdeling van berekende stroomafwaartse migratie in de tijd over de verschillende objecten in een stuwcomplex (Linne), op basis van Fish Follows Flow (links) en het Larinier effect (rechts).

B.2.2 Stroomopwaarts

Voor de stroomopwaartse migratie bestaat qua vispasseerbaarheid een groot verschil tussen de routes/objecten binnen de stuwcomplexen. De vistrap, nevengeul en sluizen kunnen gepasseerd worden in stroomopwaartse richting, net als de volledig gestreken stuwen. Een gesloten stuw en een WKC zijn niet passeerbaar voor stroomopwaarts migrerende vis. De kans op verlies / predatie voor de vis die niet kan passeren neemt toe naarmate de zoektijd / wachttijd langer is. Daarom is de vindbaarheid van de wel-passeerbare routes van belang voor de stroomopwaartse migratie.

Winter (2009) geeft resultaten van metingen in de Overijsselse Vecht waaruit blijkt dat de vindbaarheid van een vistrap bij een gesloten stuw afneemt met de afvoer over de stuw. Wanneer de afvoer zover is gestegen dat de stuw wordt gestreken, kan de stroomopwaarts migrerende vis weer passeren.

In DWA (2014) en Ebel (2018) wordt zeer uitgebreid ingegaan op de vindbaarheid van een vistrap voor de stroomopwaartse migratie. De ligging van de benedenstroomse uitstroomlocatie van de vistrap is van groot belang voor de vindbaarheid. Ook de afvoer door de vistrap (in verhouding tot de afvoer over het stuwcomplex) is van belang. De vindbaarheid van de vistrap kan worden vergroot door extra water (bijvoorbeeld vanuit de WKC) bij te mengen bij de benedenstroomse uitstroomlocatie.

De vindbaarheid van de (stroomopwaarts) passeerbare routes van een stuwcomplex (vistrap, sluis, nevengeul, gestreken stuw), voor de vis die de niet-passeerbare routes (WKC, gesloten stuw) wil passeren, is dus afhankelijk de verdeling van de afvoer over de routes. Hoe groter de afvoer via de passeerbare routes is, des te beter de passeerbare routes gevonden kunnen worden door stroomopwaarts migrerende vis.

De vindbaarheid is ook afhankelijk van de ligging van de passeerbare en de niet-passeerbare routes in het stuwcomplex. De benedenstroomse uitstroom van een vispassage ligt vaak dicht bij de stuw, zodat vis die de stuw niet kan passeren de vispassage makkelijk kan vinden. De vindbaarheid van sluizen die met een (lange) strekdam (zoals bijvoorbeeld bij Sambeek) zijn gescheiden van de stuwen is daarom waarschijnlijk ook geringer. Als er een WKC aanwezig is in het stuwcomplex, wordt de vispassage meestal gepositioneerd aan de oever van die WKC. Daardoor is de vispassage goed vindbaar wanneer de WKC actief is, maar minder vindbaar wanneer de WKC niet actief is en de afvoer volledig over de stuw stroomt.

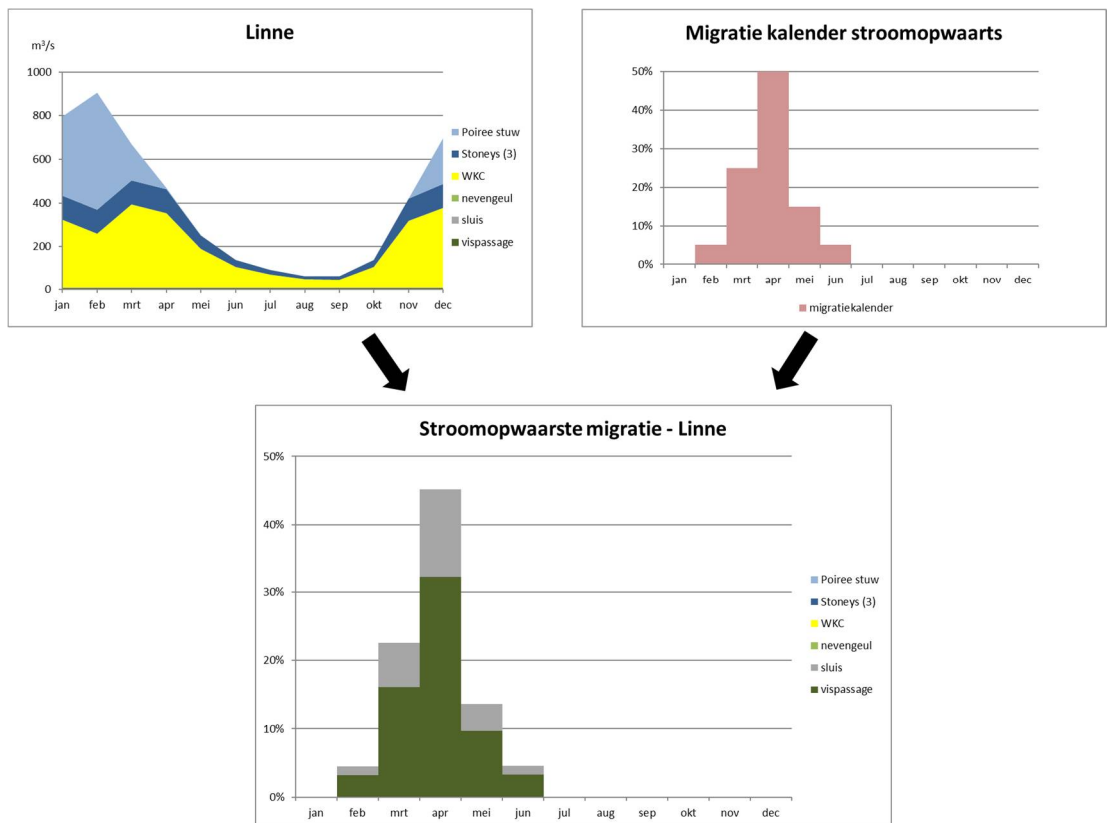
Kranenbarg en Kemper (2006) gaan in op de "migratielinielijnen" voor stroomopwaartse migratie. Deze lijnen geven op basis van de stroomsnelheid benedenstrooms een stuwcomplex aan waar verschillende soorten – op grond van hun zwemcapaciteit – kunnen komen. Daarmee kan dus de vindbaarheid van de ingang van de passeerbare routes worden ingeschat. Door de verdeling van de afvoer over de verschillende objecten in een stuwcomplex aan te passen is het in principe mogelijk om stroomopwaarts migrerende vis ook in de richting van de passeerbare routes te leiden. Zie verder Kranenbarg en Kemper (2006).

Gedetailleerde kwantitatieve informatie over de vindbaarheid van wel-passeerbare routes voor de verschillende stuwcomplexen en vissoorten is op dit moment helaas niet nog beschikbaar. Op basis van telemetrie data voor stroomopwaarts migrerende zalm (mondelinge mededeling van André Breukelaar en Tim Vriese) is globaal een verlies van 7 à 12% per stuwcomplex afgeleid. Op grond van deze globale informatie over het verlies per stuwcomplex, wordt hier aangenomen dat tenminste 88% van de stroomopwaarts migrerende vis die de niet-passeerbare objecten wil passeren, alsnog een passeerbare route kan vinden. Met nadruk moet daarbij worden opgemerkt dat deze waarde van 88% een hele grove aanname is om de vindbaarheid van de stroomopwaarts passeerbare objecten te kwantificeren. Deze waarde is voor alle stuwcomplexen in de Maas en Nederrijn toegepast, aangezien geen nadere informatie beschikbaar is om een meer gedetailleerde aanname te doen.

Daarnaast is aangenomen dat de vindbaarheid van de passeerbare routes toeneemt van 88% tot maximaal 100% met de verhouding tussen de afvoer via de passeerbare routes en de totale afvoer van het stuwcomplex. In een formule weergegeven:

$$\text{vindbaarheid passeerbare routes (\%)} = 88\% + 12\% * \left(\frac{\text{afvoer passeerbare routes}}{\text{totale afvoer stuwcomplex}} \right)$$

De herverdeling van de stroomopwaartse migrerende vis over de verschillende objecten in een stuwcomplex is geïllustreerd in onderstaande Figuur B.9 voor stroomopwaartse migratie van aal bij stuwcomplex Linne. In dit voorbeeld ligt de piek van de stroomopwaartse migratie rond april en op dat moment is het aandeel van de afvoer via de vistrap en de sluis zeer klein. Desalniettemin verloopt de stroomopwaartse migratie hoofdzakelijk via de vistrap en de sluis.



Figuur B.9 Illustratie procentuele verdeling van stroomopwaartse migratie in de tijd over de verschillende objecten in een stuwcomplex (Linne), op basis van afvoerverdeling (WH2050 80%) en migratiekalender (Katadroom – Aal).

B.3 Hoe vertaalt zich dat naar de vispasseerbaarheid van het volledige stuwcomplex?

Erik Ruijgh, Deltares

Bijlage B.2 ging in op de verschillende routes die stroomafwaarts en stroomopwaarts migrerende vis volgt om een stuwcomplex te passeren. Voor elk van deze routes is in Bijlage A.4 een verliespost per vissoort/gilde aangegeven. Door de informatie over de verdeling van de passerende vis over de verschillende routes te combineren met de verliesposten per route (per vissoort/gilde), kan de vispasseerbaarheid worden berekend. Voor elke combinatie van vissoort/gilde en route geldt daarbij:

$$\text{vispasseerbaarheid [\%]} = (100\% - \text{verliespost [\%]}) * \text{passerende vis [\%]}$$

De totale vispasseerbaarheid van het volledige stuwcomplex voor een vissoort/gilde (uitgedrukt in % van de hoeveelheid vis die wil passeren) volgt uit de sommatie van de vispasseerbaarheid van de verschillende routes.

B.3.1 Stroomafwaarts

De passeerbaarheid bij stroomafwaartse passage van een stuwcomplex wordt berekend op basis van de afvoerdeling over de verschillende routes binnen het stuwcomplex (zie Bijlage B.1) in combinatie met de verdeling van de vis over de routes (FishFollowFlow of Larinier, zie Bijlage B.2), en de verliespost (per vissoort/gilde) per route.

De verliespost voor de stroomafwaartse passage van een WKC is beduidend hoger dan die voor een stuw (zie Bijlage A.4). Naarmate een groter deel van de vis het stuwcomplex via de WKC passeert, zal de passeerbaarheid voor de stroomafwaarts migrerende vis dus kleiner zijn. De verliezen bij de WKC kunnen worden beperkt door de turbines visvriendelijker te maken, of met visgeleiding het aandeel vis in de afvoer via de WKC te beperken, of de afvoerdeling bij het stuwcomplex aan te passen zodat minder water via de WKC stroomt. Zie ook Bijlage B.4

B.3.2 Stroomopwaarts

De stroomopwaartse passeerbaarheid van de stuwcomplexen is sterk afhankelijk van de vindbaarheid van de passeerbare routes in het stuwcomplex (zie Bijlage B.2.2). Het verlies tijdens het passeren zelf, volgt – net als bij de afwaartse passage – uit de combinatie van de verdeling van de vis over de passeerbare routes en de verliespost (per vissoort/gilde) per route.

In het algemeen zijn de verliezen bij het passeren (in stroomopwaartse richting) van het stuwcomplex zelf kleiner dan tijdens het vinden van een passeerbare route. Het verbeteren van de vindbaarheid van de passeerbare routes verdient dan dus aanbeveling. Zie ook Bijlage B.4.

B.4 Welke mogelijkheden zijn er om de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen te verbeteren door de verdeling van de afvoer over de objecten aan te passen?

Erik Ruijgh - Deltares

Kranenbarg en Kemper (2006) hebben onderzocht hoe het stuwbeheer kan worden aangepast, gericht op de verdeling van de stroomsnelheid benedenstrooms van het stuwcomplex (migratielimitlijnen), om daarmee de vindbaarheid van vistrappen te verbeteren en de stroomopwaartse migratie te verbeteren. Er is ook een veel rigoureuze manier om de vispasseerbaarheid te verbeteren, namelijk het verwijderen van het volledige stuwcomplex. Hoewel deze maatregel voor de Maas en Nederrijn waarschijnlijk niet aan de orde is (omdat RWS voornemens is de 7 stuwen op de Maas op termijn ook te vervangen door 7 nieuwe stuwen), bestaat er een zeer actief internationaal platform (Dam Removal Europe, zie <https://damremoval.eu/>) gericht op het verwijderen van (in onbruik geraakte) dammen en stuwen. In het regionale watersysteem is al een aantal barrières verwijderd, liggen er concrete plannen voor nog te verwijderen barrières en bestaan zeker nog meer mogelijkheden om barrières te verwijderen – dat laatste verdient nadere analyse.

In overleg met verschillende leden van de Stuurgroep is onderstaand een lijst opgesteld met mogelijke maatregelen bij stuwcomplexen om de vispasseerbaarheid te verbeteren.

B.4.1 Stroomafwaarts

- Afvoerverdeling aanpassen
 - o Meer water langs de stuw (stuwpasserende Nevengeul-2.0)
 - o Stuw deels / eerder strijken
 - o Minder water door de WKC, eventueel tijdelijk (tijdens migratiepieken)
- Visgeleiding
 - o Bv. stroomsnelheid, turbulentie, of diepte van het water bovenstrooms van het stuwcomplex aanpassen om daarmee vis naar 'veilige' route te geleiden
 - o Met bv. obstakels, licht, geluid vis voor een 'onveilige' route waarschuwen
- Verliesposten beperken
 - o Turbulentie verminderen door aanpassing woelbak stuwen
 - o WKC aanpassen, zodat verliesposten verminderen
 - o Vormgeving stuwen aanpassen
 - Bolrond met glijbaan stroomafwaarts
 - Water niet over de stuw maar door verticale opening

B.4.2 Stroomopwaarts

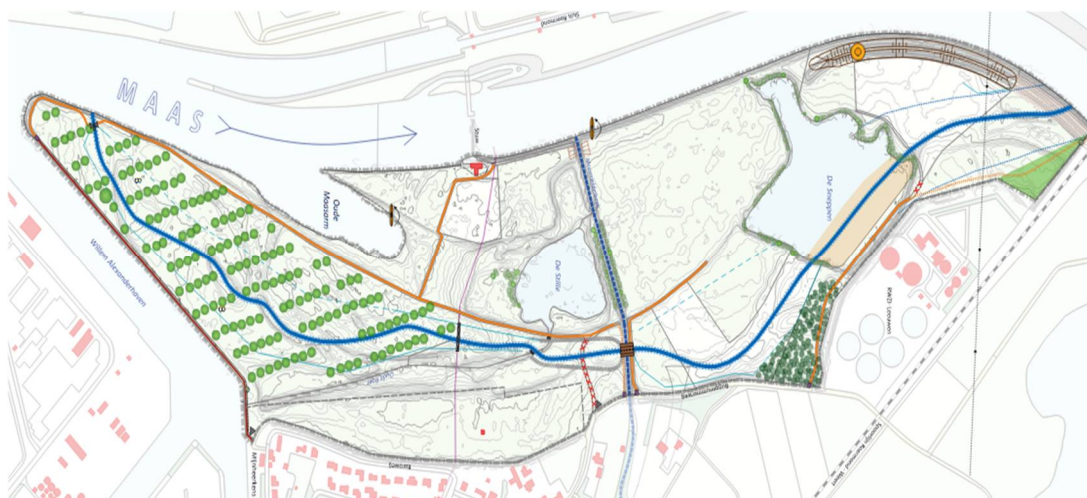
- Afvoerverdeling stuwcomplexen aanpassen
 - o Meer water langs de stuw (stuwpasserende Nevengeul-2.0, met goede benedenstroomse vindbaarheid)
 - o Stuw deels / eerder strijken
- Vindbaarheid vistrap verbeteren
 - o Locatie vistrap aanpassen
 - o Extra water (bijvoorbeeld vanuit de WKC of vanaf de stuw) bijmengen bij de benedenstroomse uitstroomlocatie van de vistrap.
 - o Meer vistrappen per stuwcomplex (aan beide oevers)
 - o Stuwbeheer aanpassen (snelheidsverdeling benedenstrooms)
 - o Stuw niet dwars op de stroomrichting maar schuin (zoals bv. in België is toegepast in combinatie met een Denil-vistrap)

C Inzoomen op de Nevengeul-2.0

In het Nederlandse rivierengebied zijn verschillende nevengeulen aangelegd in de uiterwaarden, gericht op hoogwaterbescherming en natuurontwikkeling. Stoffers et al (2021) geven een overzicht van de ervaringen met nevengeulen in de afgelopen 30 jaar in Nederland voor de ontwikkeling van de populaties reofiele vis. Een Nevengeul-2.0 is een bijzondere vorm van een nevengeul, omdat deze stuwpasserend is. Daardoor bestaat de mogelijkheid om stromend habitat te creëren in gestuwde riviertrajecten en daarnaast de vispasseerbaarheid van het stuwcomplex te verbeteren. In Figuur C.1 is het conceptuele idee van een Nevengeul-2.0 bij een stuwcomplex schematisch gepresenteerd (dit is nadrukkelijk geen 'definitief ontwerp'). Met dit soort nevengeulen bestaat in Nederland alleen op relatief kleine schaal ervaring, zoals de Stadsweide bij Roermond (zie Figuur C.2 **Error! Reference source not found.**) en in de Overijsselse Vecht. In het buitenland zijn meerdere voorbeelden bekend; er bijvoorbeeld een Nevengeul-2.0 aangelegd in de Donau in de buurt van Wenen bij Altenwörth.



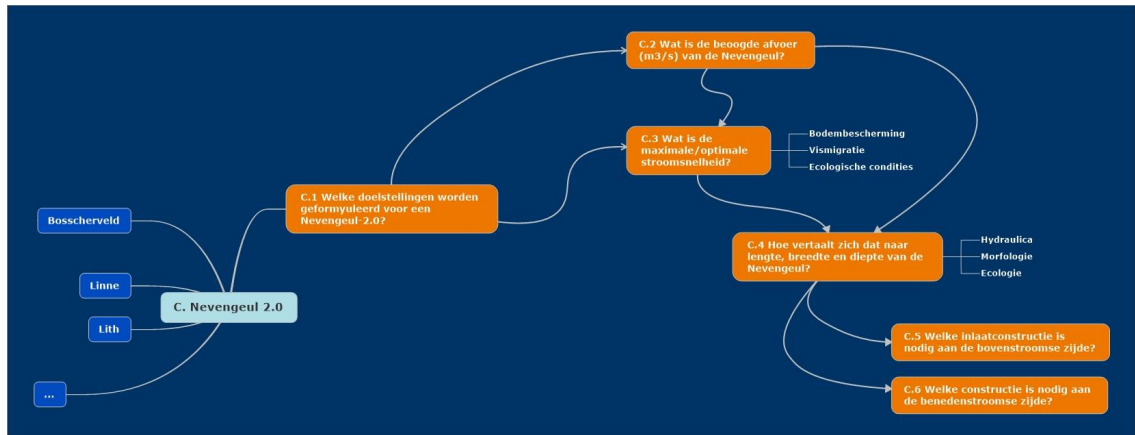
Figuur C.1 Schematische presentatie van het conceptuele idee voor een Nevengeul-2.0 bij een stuwcomplex.



Figuur C.2 Ligging van 'Nevengeul-2.0' Stadsweide (blauwe lijn) bij stuwcomplex Roermond.

Rond de Nevengeul-2.0 zijn 6 kennisvragen geformuleerd (zie ook Figuur C.3), die in de volgende secties worden behandeld. Het gaat daarbij om de volgende zes kennisvragen:

- C.1 Welke doelstellingen heeft een Nevengeul-2.0?
- C.2 Met welke afvoer moeten we rekening houden voor een Nevengeul-2.0?
- C.3 Wat is de maximale/optimale stroomsnelheid in een Nevengeul-2.0?
- C.4 Hoe lang, breed en diep zou een Nevengeul-2.0 dan moeten worden?
- C.5 Welke constructie is nodig bij de bovenstroomse instroming?
- C.6 Welke constructie is nodig bij de benedenstroomse uitstroming?



Figuur C.3 Kennisvragen met betrekking tot de Nevengeul-2.0.

C.1 Welke doelstellingen heeft een Nevengeul-2.0?

Tijdens de Hackathon Nevengeul-2.0 op 15 oktober 2019 in Delft en het Belvédère Atelier op 13 februari 2020 in Maastricht is met een grote groep deskundigen gesproken over een Nevengeul-2.0. Van beide bijeenkomsten is een verslag beschikbaar (Ruijgh en Brinkhof, 2019 resp. 2020). Het bleek duidelijk dat doelstellingen van een Nevengeul-2.0 sturend zijn voor het exacte ontwerp. Uit de discussies tijdens de Hackathon in Delft en het Belvédère Atelier in Maastricht komen de volgende doelstellingen naar voren.

De primaire doelstelling van een Nevengeul-2.0 is de ontwikkeling van stromend habitat. Met name in het gestuwde deel van de Maas en de Nederrijn vormt het beschikbare habitat voor macro-fauna en vissen een knelpunt in de ecologische beoordeling voor de Kader Richtlijn Water. De (aanleg van een) Nevengeul-2.0 beoogt een bijdrage te leveren aan het verbeteren van deze situatie.

In aanvulling op de ontwikkeling van stromend habitat is de verbetering van de connectiviteit tussen de stuwpanden – of de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen – een belangrijk secundair doel van een Nevengeul-2.0. Voor de stroomopwaartse migratie biedt een Nevengeul-2.0 een extra mogelijkheid (naast de bestaande vispassages) om het stuwcomplex te passeren, en biedt ook meer mogelijkheden voor meer verschillende soorten. Voor de stroomafwaartse migratie biedt een Nevengeul-2.0 een (veiligere) alternatieve route (de verliespost in een Nevengeul-2.0 is kleiner dan die bij de stuw).

Bij de ontwikkeling van een Nevengeul-2.0 kunnen mogelijk nog aanvullende doelstellingen worden geformuleerd, afhankelijk van de lokale situatie. Daarbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan recreatie (wandelen/fietsen), maar ook extra waterberging bij hoogwater of het bufferen van hydropeaks (door het beheer van stuwen bovenstrooms). Deze aanvullende doelstellingen worden hier niet nader behandeld.

C.2 Met welke afvoer (m³/s) moeten we rekening houden voor een Nevengeul-2.0?

De primaire doelstelling van de Nevengeul-2.0 is dus de ontwikkeling van stromend habitat (voor macro-fauna en vissen), en de secundaire doelstelling is om de vispasseerbaarheid te verbeteren. De afvoer die nodig is om deze doelstellingen te realiseren kan vooralsnog niet exact worden vastgesteld. Onderstaand wordt wel een globale inschatting gemaakt van de afvoer via een Nevengeul-2.0.

Daarbij is van belang dat de afvoer door een Nevengeul-2.0 niet alleen afhankelijk van de doelstellingen van die Nevengeul zelf, maar ook van de overige functies van de rivier. Cruciaal daarbij is dat het handhaven van het stuwpeil in de stuwpannen en het schutten van schepen in de sluizen mag niet worden gehinderd door de afvoer via de Nevengeul-2.0. Dit betekent dat bij een zeer lage afvoer (orde grootte 25 tot 50 m³/s) de afvoer in de Nevengeul-2.0 ook laag (of zelfs nul) zal zijn. In een dergelijke situatie wordt op dit moment ook de afvoer via de vispassages beperkt. Indien voldoende afvoer aanwezig is om het stuwpeil te handhaven en te schutten, kan (een deel van het) water dat in de huidige situatie over de stuwen gaat in de toekomst via de Nevengeul-2.0 het stuwcomplex passeren.

De situatie bij Borgharen verschilt op dit punt van die bij Lith, want het (gemiddeld) aantal dagen per jaar met een lage afvoer (bv. < 25 m³/s) is bij Borgharen groter (31 dagen) dan bij Lith (2 dagen), omdat benedenstrooms van Borgharen de Maas gevoed wordt met water uit diverse zijrivieren. Zie Figuur A.11 en Figuur A.12. Een Nevengeul-2.0 bij Borgharen zal naar verwachting dus vaker 'droog' liggen dan een Nevengeul-2.0 bij Lith.

Voor stuwcomplexen waar een WKC aanwezig is (Linne, Lith, Amerongen - of in de toekomst mogelijk wordt aangelegd) zal nog een keuze moeten worden gemaakt voor de verdeling van het water via de Nevengeul-2.0 en via de WKC. Deze verdelingsproblematiek valt buiten de scope van dit rapport.

Afgezien van deze beschouwingen over de waterverdeling bij een stuwcomplex, is de gedachte voor wat betreft de afvoer via een Nevengeul-2.0 dat het gaat om een afvoer die groter is dan de afvoer die nu via de vispassages loopt (max. orde 4 m³/s). Daarbij ligt het voor de hand aan te nemen dat naarmate meer water door de Nevengeul-2.0 stroomt, er ook meer gelegenheid is voor de ontwikkeling van stromend habitat. Om over-dimensionering te voorkomen verdient het wel aanbeveling een afvoercapaciteit voor de Nevengeul-2.0 te kiezen die ook het grootste deel van het jaar daadwerkelijk kan worden gebruikt.

Ook hiervoor zijn Figuur A.11 en Figuur A.12 inzichtelijk. Stel dat een Nevengeul-2.0 wordt aangelegd met een maximale afvoercapaciteit van 50 m³/s. Zoals hierboven beschreven zal deze "droog" staan bij een rivierafvoer < 25 m³/s, en dus water afvoeren bij een rivierafvoer van 26 – 75 m³/s. Bij Borgharen is de afvoer (gemiddeld) 100 dagen per jaar kleiner dan 75 m³/s. Bij Lith is de afvoer (gemiddeld) 42 dagen per jaar kleiner dan 75 m³/s. Naarmate de Nevengeul-2.0 groter wordt gedimensioneerd, zal het aantal dagen dat de volledige capaciteit niet volledig wordt gebruikt ook verder toenemen (zie Figuur A.11 en Figuur A.12). Bij een capaciteit van de Nevengeul-2.0 van 100 m³/s gaat het zelfs om 158 dagen bij Borgharen en 100 dagen bij Lith. Vanuit deze optiek verdient het aanbeveling om de capaciteit van een Nevengeul-2.0 af te stemmen op de afvoerkarakteristieken van de rivier.

De secundaire doelstelling van de Nevengeul-2.0 is het verbeteren van de connectiviteit van de stuwpannen, cq. de vispasseerbaarheid van het stuwcomplex verbeteren in de stroomopwaartse en de stroomafwaartse richting.

Voor de stroomopwaartse migratie is met name de vindbaarheid van de passeerbare routes relevant. Naarmate meer water via een voor vis passeerbare route het stuwcomplex passeert, neemt de vindbaarheid toe van die passeerbare routes toe, en daarmee ook de passeerbaarheid

van het volledige stuwcomplex. De passeerbaarheid van een stuwcomplex verbetert dus wanneer meer water een passeerbare route volgt, zoals bijvoorbeeld door een Nevengeul-2.0. De passeerbaarheid is maximaal op het moment dat de afvoercapaciteit van de Nevengeul-2.0 volledig wordt gebruikt en zo min mogelijk water via andere routes het stuwcomplex passeert. Wanneer de rivierafvoer verder toeneemt (en er dus meer water via de stuwen het stuwcomplex passeert) neemt de relatieve bijdrage van de afvoer via de Nevengeul-2.0 af, en daarmee neemt de vindbaarheid van de Nevengeul-2.0 af, en neemt dus ook de passeerbaarheid van de stuwcomplex af.

Ook voor de stroomafwaartse migratie geldt dat een Nevengeul-2.0 bijdraagt aan de passeerbaarheid van het stuwcomplex. De verliesposten in een Nevengeul-2.0 zijn namelijk kleiner dan bij een stuw (zie Bijlage A.4), dus het totale verlies bij het stuwcomplex neemt af naarmate meer water (en meer vis) door een Nevengeul-2.0 het stuwcomplex passeert. In vergelijking met de stroomopwaartse migratie is het effect bij de stroomafwaartse migratie geringer, omdat bij de stroomopwaartse migratie niet alleen de verliesposten kleiner zijn maar ook de vindbaarheid van de passeerbare routes toeneemt.

Vanuit beide doelstellingen (stromend habitat en passeerbaarheid) van een Nevengeul-2.0 zou de afvoercapaciteit dus zo groot mogelijk moeten zijn, maar om over-dimensionering te voorkomen lijkt een capaciteit van orde 50 m³/s een redelijke eerste schatting. In het uiteindelijk ontwerp zal dit verder uitgewerkt moeten worden.

C.3 Wat is de (optimale/maximale) stroomsnelheid in een Nevengeul-2.0?

De stroomsnelheid in een Nevengeul-2.0 is een belangrijke parameter voor de ontwikkeling van het beoogde habitat. Schoor et al. (2011) geeft een samenvattend overzicht voor een 'klassieke' nevengeul waaruit volgt dat "in het ideale geval alle stroomsnelheden tussen de 0 en 100 cm per seconde in de geul aanwezig zijn", en "het wenselijk is dat de geul in ieder geval flinke oppervlakten met stroomsnelheden tussen de 5 en 50 cm per seconde heeft". Deze variatie is gerelateerd aan de voorkeur van stroomsnelheden voor verschillende vissoorten.

Het doel van een 'klassieke' nevengeul zoals beschreven in Schoor et al. (2011) is natuurlijk net iets anders dan het doel van een Nevengeul-2.0, want de klassieke nevengeul biedt rustig water langs een stromende rivier, en een Nevengeul-2.0 biedt stromend water langs een gestuwde (rustige) rivier. Het gaat echter om dezelfde stroomminnende soorten, en daarmee lijken de stroomsnelheden zoals beschreven in Schoor et al. (2011) ook een goede richtlijn te vormen voor een Nevengeul-2.0.

De stroomsnelheid in de Nevengeul-2.0 is ook relevant voor de stabiliteit van een Nevengeul-2.0. Ten aanzien van de morfologische stabiliteit van nevengeulen is ruim voldoende kennis beschikbaar vanuit de aanleg en het beheer van de bestaande nevengeulen. Zie bijvoorbeeld Gerritsen en Schropp (2010) en het recente proefschrift van Van Denderen (2019). Met deze morfologische kennis kan de inrichting van een stabiele Nevengeul-2.0 vorm worden gegeven.

Voor macrofauna is naast de stroomsnelheid ook het substraat (het materiaal op de bodem) van belang. Sommige soorten prefereren grind als ondergrond, andere soorten juist zand of klei. Ook hiervoor geldt dus dat de variatie binnen de Nevengeul-2.0 van belang is, en afgestemd dient te worden met de doelsoorten.

C.4 Hoe lang, breed en diep zou een Nevengeul-2.0 dan moeten worden?

Vanuit het oogpunt van de ontwikkeling van stromend habitat heeft het de voorkeur om de Nevengeul-2.0 zo lang en breed mogelijk te maken. Hoe langer en breder de Nevengeul-2.0, des te meer oppervlak er ontstaat met stromend water, hetgeen positief is voor de ontwikkeling van het areaal stromend habitat. Daarbij heeft het ook sterk de voorkeur om veel variatie te creëren in

de diepte en stroomsnelheden, om zoveel mogelijk verschillende soorten te kunnen later profiteren van de Nevengeul.

Vanuit het oogpunt van de passeerbaarheid van het stuwcomplex heeft het de voorkeur om ervoor te zorgen dat de benedenstroomse uitlaat van de Nevengeul-2.0 in de directe omgeving van de stuw te situeren. Zo kan een lokstroom worden gecreëerd voor vis die het stuwcomplex in stroomopwaartse richting wil passeren. Om voldoende lengte te creëren zou de bovenstroomse inlaat van de Nevengeul-2.0 dan verder bovenstroom geïmponeerd moeten worden.

De stroomsnelheid van het water in de Nevengeul-2.0 is uiteraard afhankelijk van het verval bij de stuw in combinatie met de lengte van de Nevengeul-2.0: hoe langer de nevengeul wordt, desto lager zal de stroomsnelheid zijn.

In de praktijk zal de beschikbare ruimte in de directe omgeving van het stuwcomplex mogelijk mede sturend blijken te zijn voor de dimensionering van de Nevengeul-2.0. Door de ruwheid van de bodem aan te passen, mede (grote) stenen en hout, kan de stroomsnelheid worden geregeld zodat toch een geschikt habitat ontwikkeld worden.

C.5 Welke constructie is bovenstrooms nodig?

Met een constructie aan de bovenstroomse inlaat van een Nevengeul-2.0 kan voorkomen worden dat er (vooral bij lage afvoer) water uit het stuwpannd wegstroomt. Voor de waterbeheerders (en dan met name de mensen die verantwoordelijk zijn voor de waterverdeling bij lage afvoer) is daarom een constructie bij de bovenstroomse inlaat essentieel. Daar staat tegenover dat een barrière in de Nevengeul-2.0 een belemmering vormt qua vispasseerbaarheid, en daarmee dus op gespannen voet staat met de secundaire doelstelling van de Nevengeul-2.0.

Ervaringen in de Overijsselse Vecht, zoals gepresenteerd door Iwan de Vries tijdens de Hackathon Nevengeul-2.0 in Delft op 15 oktober 2019, geven aan dat het mogelijk is om zonder bovenstroomse inlaatconstructie te werken. Door het peil in het stuwpannd te regelen met de stuwen, kan in principe ook de hoeveelheid water die door de Nevengeul-2.0 afstroomt geregeld worden. Bij de bovenstroomse inlaat is daarvoor een vaste drempel gerealiseerd waardoor alleen water de Nevengeul-2.0 instroomt als het waterpeil in het stuwpannd hoger is. Migrerende vis kan over deze drempel heen zwemmen. De afvoercapaciteit en passeerbaarheid kan verder verfijnd worden met een schuine drempel. Er zal nader besproken moeten worden in hoeverre een dergelijke constructie voldoende garantie biedt dat geen water onbedoeld uit het stuwpannd wegstroomt naar de Nevengeul-2.0.

Voor de stroomafwaarts migrerende vis biedt een Nevengeul-2.0 een veilige route om het stuwcomplex te passeren, aangezien de verliesposten in een Nevengeul-2.0 kleiner zijn dan die bij een stuw (zie ook Bijlage A.4). Volgens het Fish-Follows-Flow principe verdeelt de stroomafwaartse migrerende vis zich conform de afvoerverdeling; volgens het Larinier-principe volgt de stroomafwaarts migrerende vis meer dan evenredig de hoofdstroom (zie ook Bijlage B.2). Het is daarmee dus de vraag hoe de inlaat constructie van een Nevengeul-2.0 kan worden ontworpen om een zo groot mogelijk deel van de stroomafwaarts migrerende vis te lokken. Deze vraag kan op dit moment helaas nog niet worden beantwoord; in de literatuur is hierover nog onvoldoende informatie beschikbaar. Mogelijk is een zo breed mogelijke inlaat (met een relatief lage stroomsnelheid) of juist een smalle inlaat (met een relatief hoge stroomsnelheid) te verkiezen. Nader onderzoek is noodzakelijk om hierover meer kennis te verzamelen.

C.6 Welke constructie is benedenstrooms nodig?

Voor de benedenstroomse uitgang van de Nevengeul-2.0 zijn (naast de locatie tov. het stuwcomplex) drie aspecten van belang, namelijk de ontwikkeling van een lokstroom, de sedimentatie in de hoofdstroom en de effecten op de scheepvaart. Deze drie aspecten worden onderstaand belicht.

C.6.1 Lokstroom

Stroomopwaarts migrerende vis kan via een Nevengeul-2.0 het stuwcomplex passeren. Daarvoor is het wel noodzakelijk dat deze vis de benedenstroomse uitgang van de Nevengeul-2.0 kan vinden. De benedenstroomse locatie van de Nevengeul-2.0 is daarom zeer belangrijk, in combinatie met de grootte van de lokstroom.

Voor vispassages is al veel onderzoek gedaan (zie bv. Ebel, 2018) naar de wijze waarop een lokstroom kan worden gegenereerd. Eén van de mogelijkheden is het vergroten van de afvoer van de vispassage door water vanuit een WKC bij te mengen. Voor de Nederlandse stuwen op de Maas en Nederrijn waar geen WKC aanwezig is, zou eventueel water vanuit de Nevengeul-2.0 kunnen worden afgelaten naar de vispassage. Daarmee ontstaat dan een grotere lokstroom bij de vispassage, waarmee de vindbaarheid van die vispassage verbetert voor vis die de stuwen niet kunnen passeren.

Ten aanzien van de vindbaarheid van de Nevengeul-2.0 zelf voor stroomopwaarts migrerende vis kan waarschijnlijk een goede vergelijking gemaakt worden met beekmondingen. Het is bekend dat beekmondingen goed worden gevonden door vis in de rivier (zie bv. Kroes et al., 2018) en de uitstroom van een Nevengeul-2.0 is qua afvoer goed vergelijkbaar met die van een beek. Dit zou betekenen dat de uitstroom van een Nevengeul-2.0 niet noodzakelijkerwijs dicht bij het stuwcomplex hoeft te liggen, maar ook verder benedenstrooms weer kan aantakken bij de rivier.

In dit kader wordt aanbevolen om een overzicht te maken van alle beekmondingen langs een gestuwde rivier, en deze samen met de uitstroom locaties van de Nevengeulen-2.0 te beschouwen als 'stromende stepping zones' voor de stroomopwaarts en stroomafwaarts migrerende vis in het verder stilstaand water van het stuwband.

C.6.2 Sedimentatie

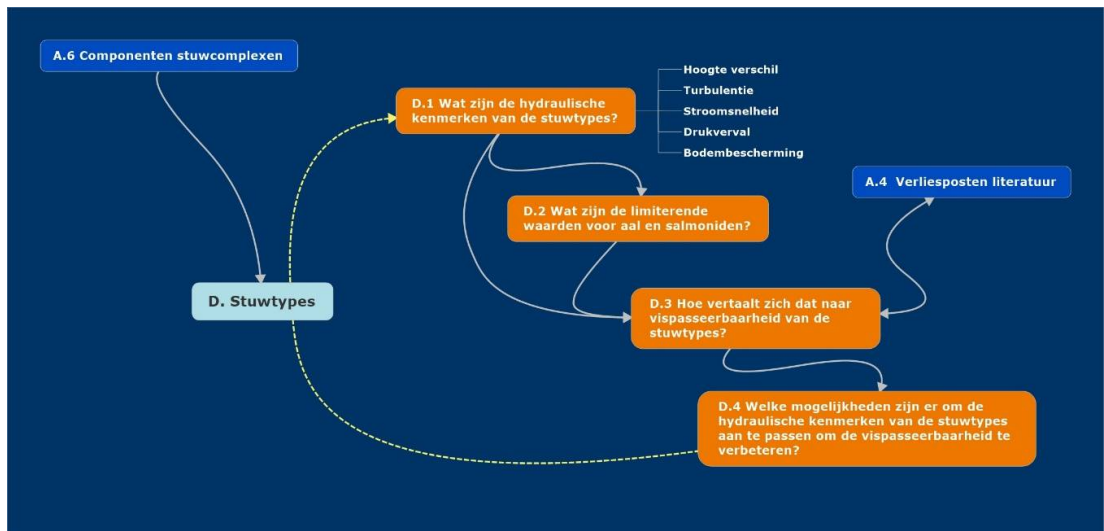
Bij de uitstroom van de Nevengeul-2.0 in de rivier neemt de stroomsnelheid van het water sterk af en daardoor kan op die locatie sedimentatie optreden en zich een delta vormen. Afhankelijk van de locatie zou dat gevolgen kunnen hebben voor de scheepvaart. De sedimentatie in de rivier zelf kan echter vrij eenvoudig worden beheerst door ervoor te zorgen dat in het laatste deel van de Nevengeul-2.0 de stroomsnelheid al beperkt blijft en daar een sedimentvang te realiseren.

C.6.3 Scheepvaart

Voor de scheepvaart op de rivier kan dwarsstroming bij de bovenstroomse inlaat en/of de benedenstroomse uitlaat van een Nevengeul-2.0 een issue vormen. Dit speelt met name wanneer bij hoge rivierafvoer de afvoer via de Nevengeul-2.0 veel groter zou zijn dan die op de rivier. Zo is bekend dat bij Borgharen dwarsstroming richting de Grensmaas hinderlijk is voor de scheepvaart op het Julianakanaal. Omdat de afvoer via de Nevengeul-2.0 maximaal orde 50 m³/s is, ook bij een hoge rivierafvoer, zal dit effect echter niet of nauwelijks relevant zijn. Het is bovendien goed mogelijk om deze eventuele effecten op de dwarsstroming alsnog te mitigeren door de aanleg van een strekdam.

D Inzoomen op de stuwen binnen het stuwcomplex

Op het niveau van de stuwen binnen de stuwcomplexen zijn 4 kennisvragen geformuleerd (zie ook Figuur D.1), die in de volgende secties worden behandeld. De informatie over het watersysteem en de stuwcomplexen vormt input voor de beantwoording van kennisvragen over de stuwen.



Figuur D.1 Kennisvragen op het niveau van de stuwen.

Het gaat daarbij om de volgende vier vragen:

- D.1 Wat zijn de hydraulische eigenschappen van de verschillende stuwtypes die voorkomen bij de 10 stuwcomplexen?
- D.2 Wat zijn de limiterende waarden van verschillende hydraulische parameters voor de (stroomafwaarts) migrerende vis?
- D.3 Hoe vertaalt zich dat naar de vispasseerbaarheid van de stuwtypes?
- D.4 Welke mogelijkheden zijn er om de hydraulische kenmerken van de stuwtypes aan te passen om de vispasseerbaarheid te verbeteren?

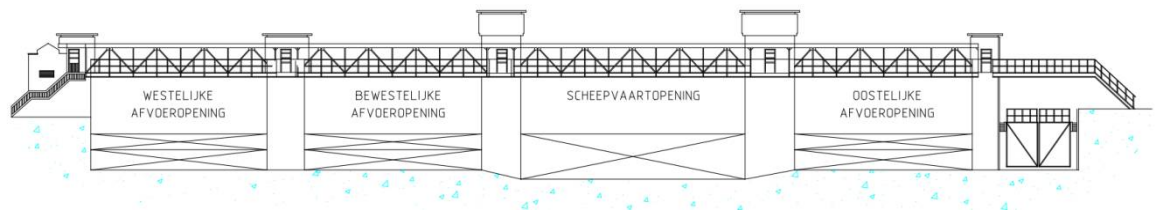
D.1 Wat zijn de hydraulische eigenschappen van de verschillende stuwtypes die voorkomen bij de 10 stuwcomplexen ?

Jurjen de Jong - Deltares

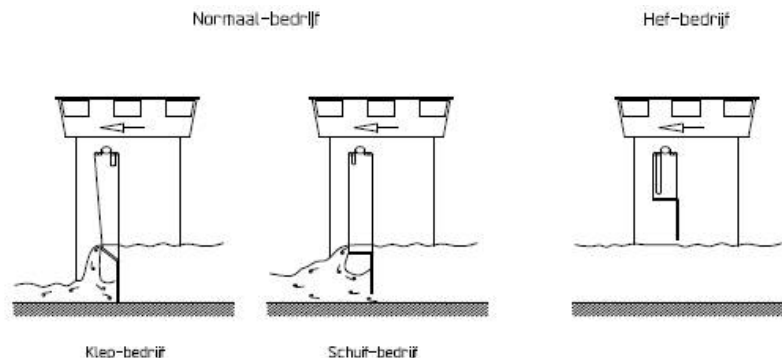
D.1.1 Beschrijving stuw Borgharen en Lith: hefluizen met overstortklep

Het principe achter de werking van stuw Borgharen en stuw Lith vertoont grote overeenkomsten met elkaar. Ze bestaan uit een drietal afvoeropeningen waarbij volgens twee bedrijven gestuurd kan worden. Voor lage afvoeren geldt het klepbedrijf waarbij wordt gewerkt met een overstort, voor hogere afvoeren wordt overgestapt op het schuifbedrijf en stroomt de afvoer onder de schuif door. In de overgang tussen beide bedrijven stroomt water zowel over de kleppen als onder de schuiven (het zeegbereik).

Stuw Borgharen heeft hiernaast ook een scheepvaartopening om stuurloze schepen een ontsnapmogelijkheid te bieden. Deze opening heeft enkel een schuifbedrijf. Naast stuw Lith staat een waterkrachtcentrale.



Figuur D.2 Vooraanzicht van stuw Borgharen. Uit Van Aubel (2016).



Figuur D.3 Werking van de bedrijven van stuw Borgharen. Het zeegbedrijf is de overgang van het klepbedrijf naar het schuifbedrijf. Uit Van Aubel (2016).



Foto D.1 Enkele foto's van stuw Borgharen



Foto D.2 Enkele foto's van stuw Lith

	Borgharen	Lith
Afvoeropeningen		
Aantal	3	3
Breedte (m)	23	38
Drempelhoogte (m+NAP)	39.6 ²	-2.5
Bovenschuif maximaal (m+NAP)	?	5.0
Bovenschuif minimaal (m+NAP)	?	?
Maximale heffing onderkant onderschuif (m+NAP)	?	13.60
Scheepvaartopening		- ¹
Breedte (m)	30	
Drempelhoogte (m+NAP)	38.5	
Doorstroombreedte totaal	99	114

¹ Stuw Lith heeft geen specifieke scheepvaartopening, maar alle afvoeropeningen kunnen gebruikt worden door de scheepvaart

² Drempelhoogte afgeleid uit lodingen

Tabel D.1 Dimensies van stuw Borgharen en Lith. Afmetingen gespecificeerd met een '?' zijn niet bekend en dienen bij voorkeur in een later stadium te worden aangevuld. Uit Van Aubel (2016)

D.1.2 Beschrijving stuw Linne, Roermond, Belfeld en Sambeek: Stoney schuiven met Poirée schotten

Het merendeel van de stuwen op de Maas (de middelste 4) is geconstrueerd als combinatie van Stoney schuiven en Poirée schotten. Als voorbeeld zijn hieronder enkele foto's opgenomen van stuw Roermond. Tussen de stuwen zijn er enkele kleine verschillen in de dimensies en het aantal openingen. Stuw Linne is hiervan de enige stuw die niet doorvaarbaar is. De dimensies zijn voor zover bekend gegeven in onderstaande tabellen.

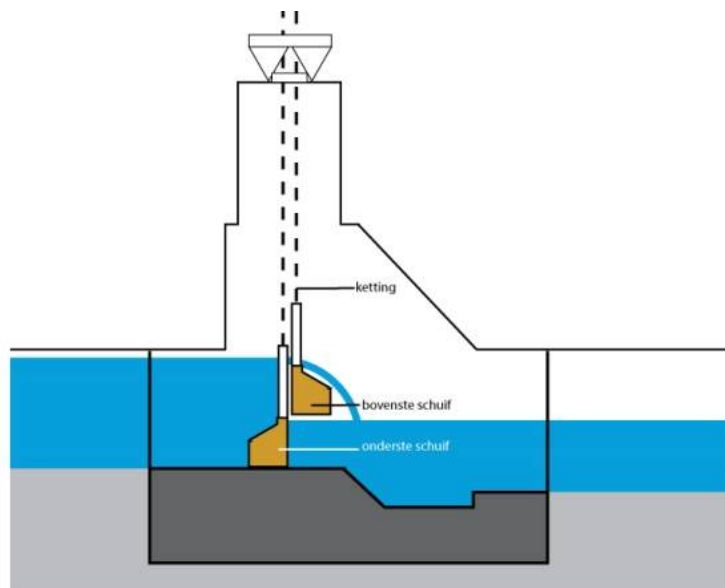
In de bediening van de stuw wordt vooral gewerkt met de elektrisch bedienbare regelschuiven om de kleine variaties op te lossen. De regelschuiven zullen in eerste instantie overstorten (over de bovenschuif).

Als de afvoer groter wordt dan hiermee opgelost kan worden, dan worden Poirée schotten verwijderd. Dit is een handmatig proces. Hierbij worden zoveel schotten verwijderd zodat de Stoney schuiven in een middenpositie gehouden kunnen worden en zo zowel positieve als negatieve golven optimaal op kunnen vangen.

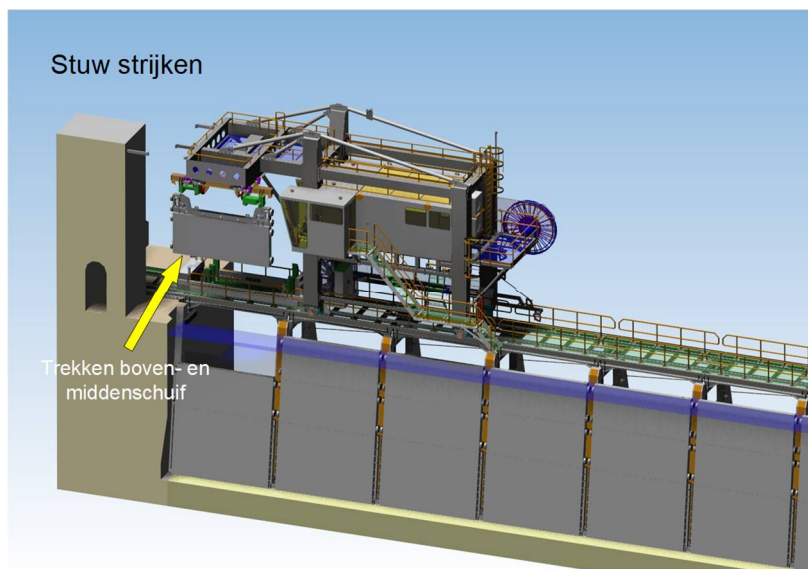
Als de laatste Poirée schotten verwijderd worden, dan is de stuw in zijn geheel gestreken en zullen ook de Stoney schuiven gestreken worden door het hijsen van de gekoppelde onder- en bovenschuif.



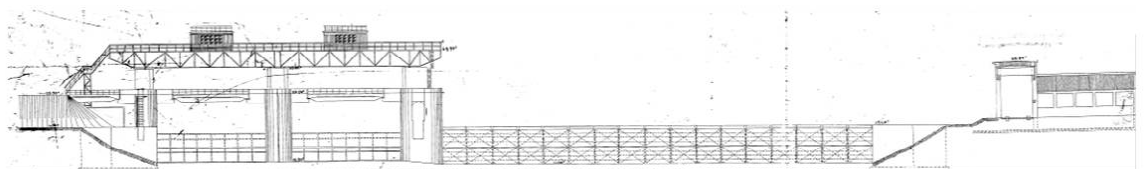
Foto D.3 Diverse foto's stuw Roermond (boven en midden) en Sambeek (onder). Uit Van Aubel (2016)



Figuur D.4 Een zijaanzicht van de aansturing van de Stoney schuiven. Uit Van der Veen (2014).



Figuur D.5 Het strijken van de Poirée schotten. Uit Van Aubel (2016).



Figuur D.6 Vooraanzicht stuw Roermond. Uit Antea Group (2014).

	Linne	Roermond	Belfeld	Sambeek
Stoney schuiven				
Aantal openingen	3	2	2	2
Bovenschuif maximaal (m+NAP)	20.90	16.85	14.10	11.10
Bovenschuif minimaal (m+NAP)	19.10	14.70	11.40	8.40
Onderschuif maximaal (m+NAP)	?	?	?	16.00
Drempelhoogte (m+NAP)	16.95	11.80	8.35	5.45
Hoogte schuif (m)	?	?	?	2.95
Doorstroombreedte per schuif (m)	17	17	17	17
Doorstroombreedte totaal (m)	51	34	34	34
Poirée schotten				
Aantal schotten hoogte	3	3	3	3
Aantal schotten breedte	15	17	13	13
Drempelhoogte (m+NAP)	16.95	11.80	8.35	4.20
Hoogte boven- en middenschot (m)	?	?	?	1.90
Hoogte ondershot (m)	?	?	?	3.10
Kerende hoogte bovenschotten (m+NAP)	?	?	?	11.10
Kerende hoogte middenschotten (m+NAP)	?	?	?	9.20
Kerende hoogte onderschotten (m+NAP)	?	?	?	7.30
Breedte schot (m)	?	?	?	4.50
Doorstroombreedte totaal (m)	60	68	63	63.05
Doorstroombreedte bij staande jukken (m)	?	?	?	57.65

Tabel D.2 Dimensies van stuw Linne, Roermond, Belfeld en Sambeek. Afmetingen gespecificeerd met een ‘?’ zijn niet bekend en dienen bij voorkeur in een later stadium te worden aangevuld. Uit Van Aubel (2016) en Rijkswaterstaat (2007)

D.1.3 Beschrijving stuw Grave: wegklapbare jukken met wielschotten

Stuw Grave werkt met 20 verticale jukken met op ieder hiervan 3 schotten. Door het stellen van deze schotten wordt de bovenstroomse waterstand gereguleerd. Met een hijsinstallatie kan de positie van de schotten worden bijgesteld. Omdat het stuwpeil lager is dan de bovenkant van de bovenste rij schotten worden vrijwel altijd enkele schotten geheven. Bij het heffen van de schotten kunnen verschillende doorstroomsituaties ontstaan, afhankelijk van hoe hoog de schotten geheven worden.

	Grave
Aantal jukken	11 (links) en 9 (rechts)
Aantal schuiven per juk	3
Breedte schuiven (m)	5.5
Hoogte onder- en middenschuif (m)	1.63
Hoogte bovenschuif (m)	2.14
Drempelhoogte (m+NAP)	2.70
Hoogte bovenste schuiven (m+NAP)	8.10
Hoogte van opgeklapte jukken (m+NAP)	?
Doorstroombreedte totaal links (m)	60.75
Doorstroombreedte totaal rechts (m)	49.7

Tabel D.3 Dimensies stuw Grave. Afmetingen gespecificeerd met een '?' zijn niet bekend en dienen bij voorkeur in een later stadium te worden aangevuld. Uit Van Aubel (2016) en Jongeling (2012b)





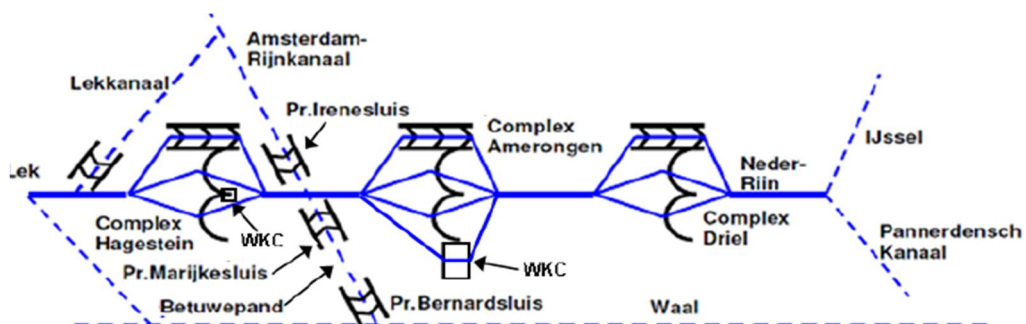
Foto D.4 Linksboven: De 11 jukken met hierop de rijen schuiven onder het meest westelijke deel van de brug, met aan weerszijden de grijze kraanwagens. Rechtsboven: Detailopname van het oostelijke stuwdeel waarbij 1 schuif van de bovenrij (links op de foto) getrokken is. Midden: Overzicht van de gehele stuw in een situatie waarbij de stuw bijna is gestreken. Onder: De stuw wordt gestreken en 2 van de 4 jukken hangen reeds "op stroom". (Van Aubel, 2016).

D.1.4

Beschrijving stuw Driel, Amerongen en Hagestein: Vizierschuiven en cilinderschuiven

Ieder stuwcomplex bestaat uit een stuw, een sluis, een bedieningsgebouw en een vistrap (aangelegd na 1995). Elke stuw is gevormd door twee landhoofden, een middenpijler en twee vizierschuiven. Elke opening is 48m breed. De stuwen bij Hagestein en Amerongen hebben daarnaast ook een waterkrachtcentrale. De waterkrachtcentrale bij Hagestein is sinds de renovatie in 2005 gesloten. Elke stuw heeft 4 omloopriolen (ook wel spoel- of spui-riolen) die in de landhoofden zijn verwerkt en een cilinderschuif in het landhoofd tussen de vizierschuiven.

Een overzichtstekening van stuwcomplex Amerongen is gegeven in Figuur D.8. De stuwcomplexen bij Hagestein en Driel verschillen hier niet wezenlijk van. De interactie van de sluiscomplexen met andere sluisen in de omgeving wordt schematisch weergegeven in Figuur D.7.

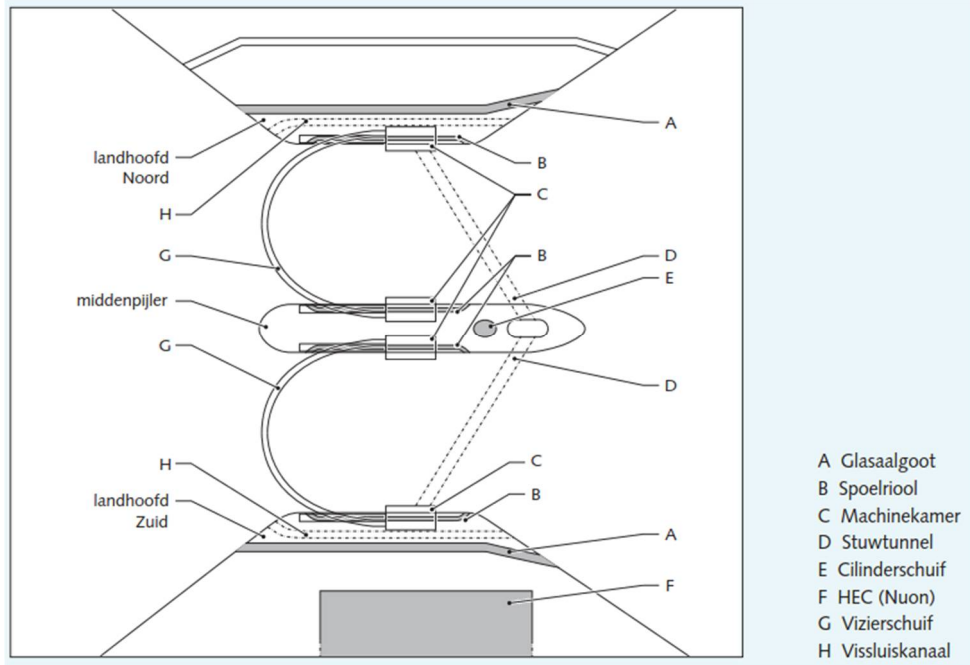


Figuur D.7 Interactie van de sluiscomplexen op de Nederrijn met andere sluisen in de omgeving.

Bij lage afvoeren wordt gebruik gemaakt van cilinderschuiven om de afvoer door het stuwcomplex te sturen. Als fijnregeling wordt daarnaast ook gebruik gemaakt van de spoelriolen, al zijn deze daar eigenlijk niet voor bedoeld. Bij hogere afvoeren worden de vizierstuwen langzaam geopend

in vastgestelde stappen. Bij hogere afvoeren zijn de stuwen volledig gehezen en is er vrije doorstroming, de scheepvaart kan dan ook gebruik maken van de openingen in de stuw.

Bij zeer lage afvoer kan het zijn dat het verval over stuw Driel negatief wordt en wordt de vizierschuif ook gehezen.



Figuur D.8 Beschrijving van onderdelen van stuw Amerongen (Rijkswaterstaat, 2011).



Foto D.5 Stuw Amerongen tijdens laagwater periode (2018). Uitstroming vistrap, waterkrachtcentrale en de gesloten vizierstuwen. (Foto: Persoonlijk archief Jurjen de Jong)



Foto D.6 Stuw Hagestein bij middelhoge afvoer (Foto: Beeldbank RWS)



Foto D.7 In- en uit stroomlocaties van de cilinderbuis in de middenpijler van het stuwcomplex (Spijker, 2013)

	Driel	Amerongen	Hagestein
Aantal vizieren	2	2	2
Breedte vizieren (m)	48	48	48
Turbines waterkrachtcentrale	0	4	1 (inactief)
Aantal cilinderschuiven	1	1	1
Diameter cilinderschuif (m)	1.33	1.17	1.36
Aantal spoelriolen	4	4	4
Vistrap	Ja	Ja	Ja
Afvoer lokstroom (m ³ /s)	10	4	4
Bypass vistrap	Ja (handmatig)	Nee	Ja (automatisch)
Glasaalgoot	Nee	Ja (handmatig)	Ja (handmatig)

Tabel D.4 Dimensies stuwen op de Nederrijn-Lek. Diameter cilinderschuif uit Arcadis (2010b).

Vistrapgegevens uit Rijkswaterstaat (2013).

D.2 Wat zijn de limiterende waarden van verschillende hydraulische parameters van de verschillende typen stuwen voor (stroomafwaarts) passerende vis.

Luca van Duren - Deltares

Erik Ruijgh - Deltares

Belangrijke parameters die de stroomafwaartse vispasseerbaarheid van stuwen bepalen zijn:

- Stroomsnelheid en botsingsnelheid
- Drukverandering
- Schuifspanning en Turbulentie
- Predatie

Stroomsnelheid en botsingsnelheid

Vriese (2017) en Ebel (2018) gaan beiden nader in op de stroomsnelheid en botsingsnelheid, op basis van vele onderliggende internationale literatuur. Vriese (2017) concludeert dat bij botsingsnelheden op het wateroppervlak < 5m/s in het algemeen geen schade/sterfte ontstaat bij salmoniden (en waarschijnlijk ook bij andere schubvissen); voor aal ligt de grens hoger en treedt pas schade en sterfte op bij een botsingsnelheid van > 8 m/s. Ebel (2018) geeft aan dat bij een snelheid < 16 m/s en een hoogteverschil < 13 meter de kans op botsingsschade met het water gering is. Hoewel de waarden niet helemaal overeenkomen, betekent dit voor de situatie in Nederland (met beperkte valhoogtes bij de stuwen) dat de kans op botsingsschade op het water bij stuwen beperkt is.

Botsingsschade kan wél optreden wanneer de waterdiepte benedenstrooms de stuw te gering is, of wanneer de stroomafwaarts migrerende vis op een andere manier in aanraking komt met de constructie. In Ebel (2018) wordt een diepte benedenstrooms een bovenlossende stuw van tenminste 90 cm en 25% van de valhoogte aanbevolen om botsing met de bodem te voorkomen, en een woelbak met een volume van 10 m³ per 1 m³/s afvoer om de turbulentie te beperken. Deze aanbevelingen voeren terug op onderzoek van Odeh & Orvis (1998), geciteerd in oa. DWA (2005). Vriese (2017) geeft aan dat bij de Poiree stuwen in de Maas (die geen woelbak hebben) de waterdiepte benedenstrooms 1,5 m bedraagt en dit naar alle waarschijnlijkheid geen risico vormt op botsingsschade met de ondergrond voor de passerende vis. Ook bij de Stone delen (die wel een woelbak hebben) wordt geen risico voor botsingsschade verwacht.

Van de (onderlossende) vizierstuwen op de Nederrijn is bekend dat bij een geringe opening schade aan stroomafwaarts migrerende vis optreedt door botsing tegen een betonrand (die is gebouwd om energie te vernietigen). Wanneer de stuw voldoende ver wordt geopend, treden deze verliezen niet meer op (Kemper, 2014). Een vergelijkbaar issue speelt in Duitsland bij de stuw Dettelbach; ook daar treedt schade op aan de stroomafwaarts migrerende vis als de stuw minder dan 10 cm wordt geheven (Ebel, 2018).

Drukverandering

Drukverschillen in turbines van waterkrachtcentrales kunnen tot sterfte van vis leiden (barotrauma). Vriese (2017) berekent dat barotrauma (als gevolg van drukveranderingen) niet voorkomt bij onderlossende stuwen in Nederland, aangezien het peilverschil te gering is. Ook bij overstortende stuwen in Nederland treedt barotrauma niet op.

Schuifspanning en Turbulentie

Schuifspanning ontstaat door een verschil in stroomsnelheid tussen het water en de snelheid van de vis. Als de schuifspanning te groot is, ontstaat er schade aan de vis, bijvoorbeeld aan de schubben, ogen en kieuwen. Sommige soorten zijn gevoeliger, andere soorten minder gevoelig

voor schuifspanning. Turbulentie is gerelateerd aan schuifspanning, omdat turbulent water in allerlei verschillende richtingen beweegt hetgeen tot schuifspanningen leidt.

Vriese (2017) geeft aan dat de Stoney delen beschikken over een woelbak met afmetingen van 17 x 6 x 2,5 m (volume is 255 m³ per Stoney deel). Maximaal zou er 25,5 m³/s over elk Stoney deel mogen gaan (in totaal 51 m³/s) ter beperking van de turbulentie volgens de richtlijnen van Odeh & Orvis (1998), geciteerd in DWA (2005). In de praktijk kan het debiet over elk Stoney deel oplopen tot maximaal 100 m³/s (in totaal 200 m³/s voor beide delen), waarmee de richtlijnen worden overschreden en er dus te grote turbulentie kan ontstaan (Vriese. 2017).

Het is echter de vraag in welke mate er schade aan stroomafwaarts migrerende vis bij stuwen in Nederland ontstaat door schuifspanning en turbulentie. Waarschijnlijk is de directe mortaliteit beperkt, en is er wel sprake van uitgestelde sterfte door predatie van vis die de stuw is gepasseerd.

Predatie

De stroomafwaartse migratie van vis blijkt bij stuwen opgehouden te worden; de vis 'wacht' een tijdje bovenstrooms van de stuw voordat deze (en/of de waterkrachtcentrale) gepasseerd wordt. Zie bv. Gauld et al. (2013) en Okland et al. (2016). Tijdens het wachten (=tijd) bovenstrooms kan extra predatie optreden, zowel door vogels als door andere vissen.

De turbulentie in de woelbak bij de passage van een stuw leidt tot desoriëntatie van stroomafwaarts migrerende vis. Ook hierdoor wordt de kans op predatie groter. Wanneer de vis via de WKC de stuw passeert is dit effect sterker; Kemper et al. (2010) constateerden voor smolts die de WKC Linne passeren dat de 'uitgestelde sterfte' benedenstrooms van de stuw aanzienlijk groter is dan bij de smolts die via de stuw passeren. In hoeverre het gaat om extra predatie kon niet worden vastgesteld.

Soort	common name	parameter	schade	limiet	eenheid	referentie
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Chinook salmon	stroomsnelheid	minor	15,2	m/s	Deng et al 2010
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Chinook salmon	stroomsnelheid	major	21,3	m/s	Deng et al 2010
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Chinook salmon	stroomsnelheid	fatal	21,3	m/s	Deng et al 2010
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Chinook salmon	water speed	minor	319	m/s ²	Deng et al 2010
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Chinook salmon	water speed	major	536	m/s ²	Deng et al 2010
<i>Lepomis macrochirus</i>	Bluegill sunfish	pressure	fatal	50	kPa	Zangiabadi et al 2017
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Chinook salmon	pressure	fatal	2-10	kPa	Zangiabadi et al 2017
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	regenboog forel	pressure	fatal	2-10	kPa	Zangiabadi et al 2017
<i>Anguilla anguilla</i>	schieraal	schuifspanning	geen	3410	N/m ²	Tumpenny in Ebel (2018)
		stroomsnelheid	geen	21,0	m/s	Tumpenny in Ebel (2018)
<i>Salmo salar</i>	smots	schuifspanning	beperkt	774	N/m ²	Tumpenny in Ebel (2018)
		stroomsnelheid	beperkt	10,4	m/s	Tumpenny in Ebel (2018)
<i>Morone americana</i>	white perch	shear	fatal	35	N/m ²	Zangiabadi et al 2017

Tabel D.5 Schade-cijfers uit de literatuur .

D.3 Hoe vertaalt zich dat naar vispasseerbaarheid van de stuwtypes?

Ten aanzien van de vispasseerbaarheid van de verschillende stuwtypes bestaat verschil tussen de stroomafwaartse en stroomopwaartse migratie. Onderstaand wordt voor beide migratierichtingen de vispasseerbaarheid beschreven voor de Poirée stuwen, Stoney schuiven, vizierstuwen en hefstuwen. Opgemerkt wordt daarbij dat het hier alleen gaat om de stuwen zelf, en niet om de volledige stuwcomplexen.

D.3.1 Stroomafwaarts

Poirée stuwen

Wanneer de waterdiepte benedenstrooms van een Poirée-de stuw voldoende is, zijn de directe verliezen bij stroomafwaartse migratie over een Poirée stuw beperkt. Alleen als de waterdiepte te gering is, ontstaat directe schade aan de vis die de Poirée-stuw passeert.

De indirecte verliezen (of uitgestelde sterfte) ná de passage over een Poirée-stuw hangen samen met de turbulentie benedenstrooms van de stuw. Door de turbulentie te beperken kan de passeerbaarheid worden verbeterd.

Stoney schuiven

Ook bij de Stoney-schuiven zijn de directe verliezen bij stroomafwaartse migratie beperkt, en is de stroomafwaartse passeerbaarheid vooral afhankelijk van de benedenstroomse turbulentie en indirecte verliezen die daar het gevolg van zijn. De dimensionering van de woelbak bij een Stoney schuif bepaalt de turbulentie.

Hefstuwen met overstortklep

De hefstuwen van Borgharen en Lith beschikken over een overstortklep die bij relatief lage afvoeren wordt gebruikt. Voor de stroomafwaartse migratie is in dit geval van belang dat er voldoende waterdiepte benedenstrooms is om de eventuele directe verliezen te beperken.

Bij hogere afvoeren wordt de stuw geheven, en stroomt het water onder de schuiven door. In dat geval bestaat er de kans op botsing met de constructie.

Vizier stuwen

Ten aanzien van de stroomafwaartse migratie bij de vizierstuwen moet (net als bij de hefstuwen) vooral gelet worden op (mogelijke) directe verliezen wanneer de stuw een klein beetje wordt geopend. De stroomsnelheid onder de vizierstuw kan dan zo groot worden dat stroomafwaarts migrerende vis met de constructie in aanraking komt en daardoor beschadigd raakt of direct overlijdt.

D.3.2 Stroomopwaarts

Poirée stuwen

De stroomopwaartse migratie van vis bij Poirée stuwen is vrijwel onmogelijk wanneer deze niet (volledig) zijn gestreken (hetgeen alleen bij hoog water gebeurt): er is geen informatie beschikbaar in Nederland van vis (salmoniden) die het hoogte verschil bij een Poirée stuw overwint met een sprong. Lekkage tussen de verschillende Poirée-delen biedt wellicht mogelijkheden voor stroomopwaarts migrerende glasaal; het bevorderen van lekkage lijkt echter geen maatregel die aanbeveling verdient. Alleen als de Poirée stuw volledig is gestreken (en het peilverschil over de stuw klein is) kan stroomopwaartse migratie optreden.

Stoney schuiven

De Stoney-schuiven in de stuwcomplexen van de Maas worden gebruikt voor de fijnregeling van de afvoer en waterstand in de stuwpannen. De stroomsnelheid bij de Stoney schuiven is in de regel te groot voor stroomopwaartse migratie. Alleen als het peilverschil over de stuw klein is, kan stroomopwaartse migratie optreden.

Hefstuwen en vizierstuwen

Ook ten aanzien van de hefstuwen geldt dat het hoogte verschil van de gesloten hefstuw te groot is om te passeren. Een gesloten vizierstuw biedt evenmin mogelijkheden voor stroomopwaartse passage. Bij een deels geopende hefstuw of vizierstuw is de stroomsnelheid (onder de stuw) te groot om stroomopwaarts te passeren. Alleen als de hefstuw of vizierstuw volledig is gehezen (en het peilverschil over de stuw klein is) kan stroomopwaartse migratie plaatsvinden

D.4 Welke mogelijkheden zijn er om de hydraulische kenmerken van de stuwtypes aan te passen om de vispasseerbaarheid te verbeteren?

Onderstaande secties geven de mogelijkheden voor het verbeteren van de vispasseerbaarheid van verschillende stuwtypes. In aanvulling op de verbetering van de vispasseerbaarheid van de stuwen, bestaan ook mogelijkheden om de vispasseerbaarheid van het volledige stuwcomplex te verbeteren (bv. door de aanleg van een (extra) vispassage, de aanleg van een Nevengeul-2.0, of door de verliezen in een WKC te beperken).

D.4.1 Stroomafwaarts

Poirée stuwen

Wanneer de waterdiepte benedenstrooms van een Poirée stuw niet voldoende is (en daardoor directe verliezen ontstaan) kan dit worden verholpen door de waterstand te verhogen of de bodem te verdiepen.

Beperken van de turbulentie draagt bij aan het beperken van de indirecte verliezen (of uitgestelde sterfte) ná de passage over een Poirée-stuw. Dit kan worden bereikt door de waterdiepte benedenstrooms van de Poirée-stuw te vergroten. Een andere mogelijkheid om de turbulentie te beperken is de volle lengte/breedte van de stuw te gebruiken, zodat per eenheid van lengte minder water over de stuw stroomt. Voor nieuwe stuwen verdient het vanuit het oogpunt van vispasseerbaarheid aanbeveling om deze zo lang/breed mogelijk te maken, bijvoorbeeld door deze niet dwars op de stroomrichting in de rivier te leggen, maar schuin (diagonaal).

Stoney schuiven

Bij de Stoney-schuiven in de Maas is (destijds) een woelbak aangelegd, waarvan de dimensionering niet aansluit op de richtlijnen zoals (later) beschreven door Odeh & Orvis (1998, geciteerd in oa. DWA 2005). Een grotere woelbak, en/of meer of bredere Stoney schuiven, kan bijdragen aan het verminderen van de turbulentie benedenstrooms de stuw en daarmee aan de beperking van de indirecte verliezen (uitgestelde sterfte). Het verdient aanbeveling hiermee rekening te houden bij de aanleg van nieuwe stuwen.

Hefstuwen met overstortklep

In het klepbereik van de hefstuwen (bij gering afvoer) is het voor de stroomafwaartse migratie van belang dat er voldoende waterdiepte benedenstrooms is om de eventuele directe verliezen te beperken. Ook verdient het aanbeveling om steeds de volledige breedte van de stuw te benutten, om de turbulentie benedenstrooms, en daarmee de indirecte verliezen (uitgestelde sterfte) zoveel mogelijk te beperken.

Bij hogere afvoeren wordt de stuw geheven, en stroomt het water onder de schuiven door. In dat geval verdient het aanbeveling om de opening zo groot mogelijk te maken, om de kans op botsing met de constructie te beperken. Dat zou kunnen betekenen dat in eerste instantie niet alle schuiven een klein beetje worden geheven, maar één schuif wordt gebruikt. Neemt de afvoer verder toe, dan kunnen alle schuiven worden geheven.

Vizier stuwen

Ten aanzien van de stroomafwaartse migratie bij de vizierstuwen moet (net als bij de hefstuwen) vooral gelet worden op (mogelijke) directe verliezen wanneer de stuw een klein beetje wordt geopend. De stroomsnelheid onder de vizierstuw kan dan zo groot worden dat stroomafwaarts migrerende vis met de constructie in aanraking komt en daardoor beschadigd raakt of direct overlijdt. Een mogelijke optie is om 1 vizierstuw te gebruiken in plaats van 2.

Overigens is ook bekend dat bij een kleine opening trillingen kunnen ontstaan in de constructie (als gevolg van de stroming van het water onder de stuw door). De beheerder zal dergelijke trillingen beslist willen voorkomen. Voor lage afvoeren (tot 90 m³/s) wordt daarom gebruik gemaakt van de cilinderschuif in de pijler tussen de twee vizierbogen.

Conclusie

Voor de stroomafwaartse vispasseerbaarheid van stuwen is het primair van belang om voldoende waterdiepte benedenstrooms te creëren, om de directe sterfte te beperken. Daarnaast is het van belang om de turbulentie benedenstrooms zoveel mogelijk te beperken (om daarmee de uitgestelde sterfte te beperken).

Voor bestaande overstortende stuwen wordt aanbevolen de afvoer zoveel mogelijk te verdelen over de volledige lengte/breedte van de stuw. Voor nieuw aan te leggen overstortende stuwen verdient het aanbeveling de woelbakken groot genoeg te maken, en de stuwen zo lang/breed mogelijk te maken. Voor de onderlossende hef- en vizierstuw wordt geadviseerd om bij het stuwbeheer de stroomsnelheid onder de stuw zo veel mogelijk te beperken.

D.4.2

Stroomopwaarts

Stroomopwaartse migratie bij verschillende soorten stuwen is eigenlijk alleen mogelijk als de waterstand zo hoog is dat het peilverschil over de stuw heel klein is. In alle andere situaties vindt geen direct verlies (sterfte) plaats; de stroomopwaarts migrerende vis gaat een alternatieve route zoeken, zoals een vispassage. Naarmate deze alternatieve route beter vindbaar is, hoeft de vis minder lang te zoeken / wachten en is de kans op predatie kleiner. De vindbaarheid van de alternatieve, stroomopwaartse route is daarmee cruciaal voor de vismigratie.

Conclusie

Alleen als het peilverschil over de stuw heel klein is, en de stuwen zijn gestreken, is sprake van stroomopwaartse vispasseerbaarheid van de stuwen. In alle andere gevallen kan de vispasseerbaarheid van de stuwen zelf niet worden verbeterd, en is dus behoefte aan een alternatieve route, zoals via vispassage.

E Gebruikerseisen

André Breukelaar – RWS

Erik Ruijgh – Deltares

Hans Brinkhof – RWS

JanJaap Tiemersma – CubicSquare

Marja Hamilton – RWS

Marloes Baijens – RWS

Tim Vriese – ATKB

Bovenstaande personen hebben op 11 april 2019 overleg gevoerd over de Gebruikerseisen van het te ontwikkelen tool. De conclusies van het overleg zijn verwoord in onderstaande paragrafen.

E.1 Wat is precies het doel van het te ontwikkelen tool?

De centrale doelstelling van het tool is om het effect van een stuwtype, een WKC of een Nevengeul-2.0 op de vispasseerbaarheid van een individueel stuwcomplex/barrière (7 op de Maas en 3 op de Nederrijn) te kunnen analyseren. De vispasseerbaarheid per stuwcomplex (uitgedrukt als verliespost per stuwcomplex) kan vervolgens worden gebruikt als invoer voor de KRW-Verkenner, om de effecten op de vismigratie en ecologie in het volledige watersysteem nader te onderzoeken. Deze afstemming met de KRW-Verkenner is in Figuur E.1 weergegeven.

Het tool richt zich op de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen in de Maas en Nederrijn. Elk stuwcomplex bestaat uit een aantal objecten. Per object wordt daarbij onderscheid gemaakt in componenten, en per component wordt weer onderscheid gemaakt in elementen. Dit onderscheid is gebaseerd op de Basisspecificaties Rijkswateren (RWS, 2015). Zie ook Figuur E.1.

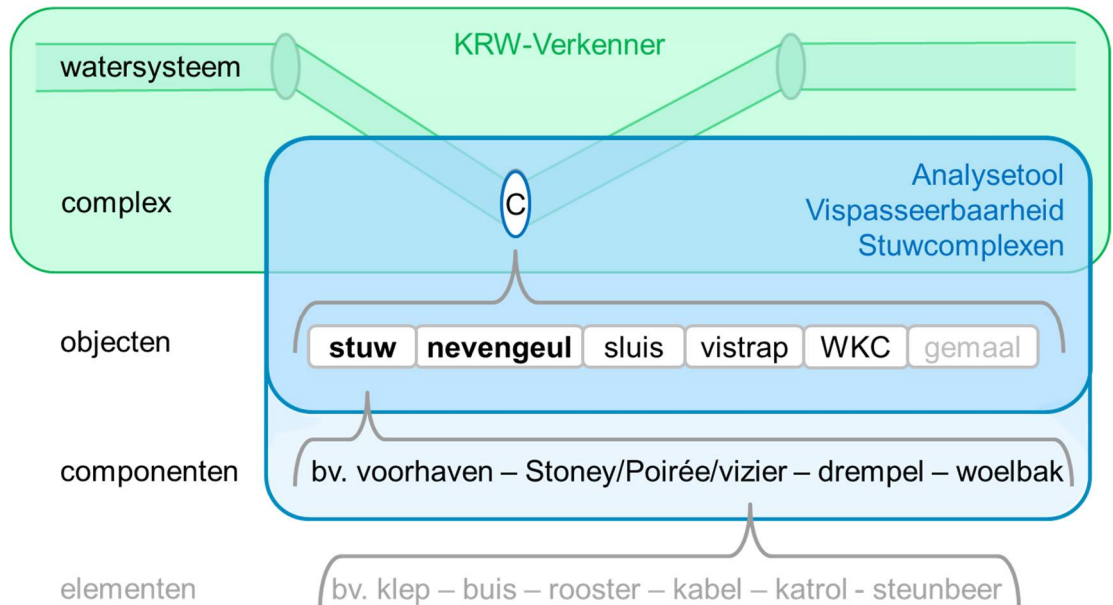
De vispasseerbaarheid van het stuwcomplex (de volledige barrière) is afhankelijk van de vispasseerbaarheid van de objecten. De focus in het huidige project ligt op de hydraulische invloed van de (objecten) stuw en Nevengeul-2.0 op de vispasseerbaarheid van het volledige stuwcomplex. Daarbij worden ook andere objecten (vistrap, sluis, WKC) beschouwd, gebruik makend van de beschikbare informatie. Een gemaal kan ook een onderdeel vormen van een barrière, maar is vooralsnog buiten beschouwing gelaten.

Per object worden verschillende componenten onderscheiden, en per component verschillende elementen. Het huidige project richt zich op de componenten van de objecten stuw en Nevengeul-2.0; voor de overige objecten wordt in het huidige project geen nader onderscheid gemaakt. Omdat nog erg weinig specifieke informatie beschikbaar is over de relatie tussen de elementen en de vispasseerbaarheid worden de elementen in het huidige project niet nader beschouwd.

Het te ontwikkelen tool richt zich in eerste instantie op de analyse van de vispasseerbaarheid van een “globaal ontwerp” van een stuwcomplex, zoals bijvoorbeeld in het kader van MIRT-2. Met andere woorden, om eventuele positieve / negatieve gevolgen van keuzes voor de verschillende objecten binnen het volledige complex te analyseren qua vispasseerbaarheid van het volledige complex. Voor de objecten stuw en Nevengeul-2.0 zal daarbij worden ingezoomd op de componenten. Op termijn kan steeds meer detail worden toegevoegd, door ook de componenten van andere objecten op te nemen (en wellicht op langere termijn zelfs de elementen).

Het doel van het tool is dus de analyse van de vispasseerbaarheid van het globaal ontwerp van een stuwcomplex (in de Maas en de Nederrijn). Het tool is niet bedoeld om (operationeel) de vispasseerbaarheid van stuwcomplexen, of de vismigratie in een watersysteem te beschrijven.

Rond vismigratie en de vispasseerbaarheid van stuwcomplexen is veel informatie beschikbaar uit telemetrie gegevens en (internationaal) wetenschappelijk onderzoek. Deze informatie heeft veelal betrekking op een specifieke situatie of soort. Een belangrijk (neven) doel van het te ontwikkelen tool is om deze informatie op een geordende en transparante wijze beschikbaar en inzichtelijk te maken voor een brede groep van betrokkenen.



Figuur E.1 Schematische weergave van de scope van het Analysetool Vispasseerbaarheid Stuwcomplexen, in relatie tot de KRW-Verkenner en het begrippenkader uit Basisspecificaties Rijkswateren (RWS, 2015/2017).

E.2 Voor wie is het analysetool bedoeld?

Rijkswaterstaat is als beheerder van de stuwcomplexen op de Nederrijn en de Maas de aangewezen (eind-)gebruiker van (de resultaten van) het analysetool. Dit betekent dat het analysetool in principe beschikbaar zal moeten zijn voor RWS-medewerkers.

In opdracht van RWS zal Deltares (als ontwikkelaar) het analysetool toepassen om een de vispasseerbaarheid van de stuwcomplexen nader te onderzoeken. Andere gespecialiseerde partijen (zoals adviesbureaus en eventueel universiteiten) kunnen het analysetool ook gebruiken. Het tool zal dus openbaar beschikbaar worden gemaakt. Daarbij is de gedachte overigens niet om een volledig robuust en gebruikersvriendelijk tool te ontwikkelen, geschikt voor willekeurige toepassingen en gebruikers. De doelgroep bestaat uit gespecialiseerde deskundigen die binnen hun eigen expertise en verantwoordelijkheden desgewenst gebruik kunnen maken van het analysetool.

In de huidige fase van de ontwikkeling van het analysetool ligt de nadruk op de functionaliteit. Daarbij zijn flexibiliteit en transparantie van de inhoud van het tool van groot belang. In een eventuele volgende fase zal (mogelijk) extra aandacht worden besteed aan de robuustheid en gebruikersvriendelijkheid van het tool.

Er is de huidige fase niet voorzien om het analysetool uit te leveren via de Helpdesk Water, en via de Helpdesk Water de mogelijkheid te bieden aan gebruikers om vragen te stellen en

ondersteuning te leveren. De huidige rapportage over de kennisvragen dient als inhoudelijk achtergrond document bij het analysetool; daarnaast is een korte gebruikershandleiding voorzien.

Wanneer het analysetool in zijn eerste vorm zijn nut heeft bewezen, is goed denkbaar dat ook de regionale waterbeheerder in Nederland (Waterschappen) en internationale waterbeheerders gebruik gaan maken van het analysetool. Waarschijnlijk zal de functionaliteit dan verder aangepast cq. uitgebreid moeten worden. Op de langere termijn is denkbaar dat het analysetool een onderdeel wordt van de netwerkmodellen zoals beschikbaar zijn voor het Nederlandse watersysteem (Sobek, Waqua, Delft3D). In de huidige fase zal hiermee echter nog geen rekening worden gehouden.

E.3 Welke eisen stellen de eindgebruikers aan het analysetool?

Invoer

De belangrijkste invoerparameters voor het analysetool op het niveau van het stuwcomplex zijn:

- de afvoerverdeling over een jaar (op maandbasis) en de afvoerverdeling over de verschillende objecten binnen een stuwcomplex
- de migratiekalender van de verschillende vissoorten/gildes
- de verliesposten per object

De eindgebruikers moeten de mogelijkheid hebben om deze parameters per stuwcomplex te specificeren in het analysetool.

Op het niveau van het watersysteem kan het aantal stuwcomplexen en de lengte van de tussengelegen stuwpannen (inclusief de verliesposten in de stuwpannen) worden gespecificeerd. Daarmee kan een eenvoudig overzicht worden opgesteld van de migratie in het volledige watersysteem, dat eventueel gebruikt kan worden als referentie waarde en in vergelijking met beschikbare telemetrie gegevens. Voor een meer diepgaande analyse van het watersysteem is de KRW-Verkenner een meer geschikt tool.

Op het niveau van de objecten binnen een stuwcomplex zal in meer detail aandacht worden besteed aan de Nevengeul-2.0 en de verschillende stuwen. In overleg met de verschillende specialisten op het gebied van vismigratie en nevengeulen cq. stuwen zal worden vastgesteld welke parameters precies opgenomen worden in het analysetool.

Uitvoer

In de uitvoer van het analysetool zal de vispasseerbaarheid van het volledige stuwcomplex centraal staan. Daarbij zal een vorm gekozen worden die recht doet aan de nauwkeurigheid van uitkomst van het analysetool. Te denken valt aan een codering in 3 klassen (rood, oranje, groen) of 5 klassen (--, -, +/-, +, ++).

In de loop van het onderzoek zal worden vastgesteld of het mogelijk is één waarde voor alle vissoorten/gildes te presenteren of er onderscheid gemaakt moet/kan worden naar katadroom, anadroom en potamodroom.

Ook zal nader worden onderzocht of één waarde voor het volledige complex volstaat, of onderscheid gemaakt moet/kan worden naar de verschillende objecten binnen het complex. Tenslotte zal het tijdsaspect nog worden beschouwd: volstaat één waarde op jaarbasis of is geeft de variatie van de vispasseerbaarheid in de tijd extra toegevoegde waarde in de analyse.

Koppeling aan andere systemen

Een aantal van de invoergegevens zou eventueel kunnen worden ontleend aan berekeningen met andere systemen, zoals bijvoorbeeld IWP-Maas waar het gaat om de afvoer en de afvoerverdeling

over de verschillende objecten binnen het stuwcomplex. Ook de beschikbare Sobek- en Waqua modellen voor de Nederlandse rivieren zouden deze gegevens kunnen leveren. En dergelijke koppeling zal vooralsnog off-line worden gerealiseerd.

Het eindresultaat van het analysetool (de vispasseerbaarheid van een stuwcomplex) kan gebruikt worden als invoer voor de KRW-Verkenner. Daarbij is niet voorzien in een automatische koppeling, maar wel in afstemming met de beheerders van de KRW-Verkenner ten aanzien van de parameter en dimensies waarin de vispasseerbaarheid zal worden uitgedrukt.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl