



Aanbevelingen voor het inpassen van een vispassage binnen het plan van Delta21

Een onderzoek naar aanbevelingen voor het inpassen van een vispassage door de Haringvlietdam binnen het plan van Delta21.

Aanbevelingen voor het inpassen van een vispassage binnen het plan van Delta21.

Auteur:	Bart van der Wolff
Studentnummer:	0946137
E-mailadres:	Bartvanderwolff@hotmail.com
School E-mailadres:	0946137@hr.nl
Telefoonnummer	+31653987235
Opleiding:	Watermanagement
Organisatie:	Hogeschool Rotterdam
Stagebegeleider:	Henk Altink
Stagedocent:	Clara Chrzanowski
Afstudeerperiode:	1 februari t/m 17 juni
Datum:	17 juni 2021
Plaats:	Rotterdam

Voorwoord

Voor u ligt het onderzoeksrapport “Aanbevelingen voor het inpassen van een vispassage binnen het plan van Delta21”. Het onderzoek, naar de mogelijkheden van een vispassage, is uitgevoerd binnen het plangebied van Delta21. Dit onderzoeksrapport is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Watermanagement aan de Hogeschool Rotterdam en in opdracht van Delta21. Vanaf 1 februari 2021 tot 17 juni 2021 ben ik bezig geweest met het onderzoeken van het praktijkprobleem, het onderzoeken van de mogelijke oplossingen, het schrijven van dit onderzoeksrapport en het maken van een conceptueel ontwerp als beroepsproduct.

Samen met mijn stagebegeleider Henk Altink heb ik mijn onderzoeksvraag geformuleerd en aangescherpt. Het uitgevoerde onderzoek was complex door de vele verschillende factoren waar rekening mee gehouden moest worden. Na uitvoering van zowel kwalitatief als kwantitatief onderzoek, heb ik mijn onderzoeksvraag kunnen beantwoorden.

Tijdens dit onderzoek heb ik veel gehad aan mijn stagebegeleider en stagedocent Henk Altink en Clara Chrzanowski. Zij hebben mij geholpen met zowel inhoudelijke als functionele vragen. Bij deze wil ik Henk Altink en Clara Chrzanowski bedanken voor de fijne begeleiding en ondersteuning tijdens dit afstudeertraject.

Tevens wil ik mijn collega en medestudent Jeroen Lokker bedanken voor de goede samenwerking en het voeren van discussies over allerlei zaken rondom een vismigratierivier en vispassage. Ook wil ik de studentenadviesgroepen van de Universiteit Wageningen, ACT groep 1 en ACT groep 2 bedanken voor de interessante gesprekken over voornamelijk ecologische onderwerpen van een vismigratierivier. Daarnaast wil ik Hugo Broer (student civiele techniek) bedanken voor het meedenken op het gebied van civiele techniek. In het bijzonder wil ik Marleen Zinger bedanken voor haar hulp, zelfs na een lange werkdag (op drie meter afstand van elkaar). Tot slot heb ik van veel vrienden en familie goede raad mogen ontvangen die hebben geholpen dit afstudeertraject tot een goed einde te brengen.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Bart van der Wolff

Rotterdam, 17 juni 2021

Samenvatting

Door de bouw van de Haringvlietdam is er een harde scheiding gekomen tussen zoet en zout water. De gevolgen van deze harde scheiding zijn het verdwijnen van een brakwaterzone (estuarium) en het achteruitgaan of zelfs compleet verdwijnen van verschillende vispopulaties. Om zo goed mogelijk natuurherstel binnen het plangebied van Delta21 te realiseren, is een permanente open verbinding tussen de Noordzee en het Haringvliet nodig.

Het doel van dit onderzoek is om zo goed mogelijke aanbevelingen te kunnen doen voor het inpassen van een vispassage binnen de lokale hydrologie. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: Welke aanbevelingen kunnen gedaan worden zodat de vispassage vanuit technisch en ecologisch perspectief optimaal ontworpen kan worden en deze voldoet aan de opgestelde eisen zodat het ontwerp integraal onderdeel kan worden binnen het plan van Delta 21?

Om antwoord te geven op de hoofdvraag is kwalitatief en kwantitatief onderzoek uitgevoerd. Er zijn verschillende data-analyses uitgevoerd, literatuuronderzoek gedaan en interviews afgenomen.

Op basis van het uitgevoerde onderzoek wordt aanbevolen dat de vispassage bestaat uit twee secties. De sectie zoetwateraanvoer om voldoende lokstroom te creëren en de sectie vispassage voor de daadwerkelijke migratie van de vissen. De doorstroomoppervlakte van de sectie zoetwateraanvoer moet gereguleerd kunnen worden en de sectie vispassage wordt ingevuld door een vertical slot passage dat bestaat uit 24 bekkens om het totale hoogteverschil te kunnen overbruggen.

Het beantwoorden van de hoofdvraag heeft geresulteerd in een lijst met aanbevelingen over het inpassen van een vispassage binnen de lokale hydrologie. Een vervolgonderzoek zou gericht kunnen worden op het optimaliseren van de vispassage door middel van modellering en het verzamelen van meer data van de lokale hydrologie.

Inhoudsopgave

1. Figuren en tabellen	7
2. Inleiding	11
2.1. De probleemstelling	11
2.2. Doelstelling Delta21	12
2.3. Afbakening	12
2.4. Doelstelling onderzoek	12
2.5. Het kennishiaat	12
2.6. Het conceptueel model	13
3. Vooronderzoek	15
3.1. Het plangebied	15
3.2. Doelsoorten	16
3.3. Ecologische toetsing.....	16
3.4. Hydraulische toetsing	17
4. Eisen vispassage	17
4.1. Eisen en randvoorwaarden Delta21	17
4.2. Ecologische eisen	18
4.3. Hydraulische eisen	18
5. Opbouw onderzoek	19
5.1. Hoofdvraag	20
5.2. Deelvragen.....	20
5.3. Onderzoeksmethoden	21
5.4. Beroepsproduct	23
6. Definiëren plangebied.....	24
6.1. Noordelijk landhoofd (A1, A2).....	25
6.2. Spuisluizen (B).....	26
6.3. Hydraulische randvoorwaarden Haringvlietdam	26
6.4. Zones.....	27
6.5. Wet- en regelgeving.....	28
7. Scenario's.....	29
7.1. Scenario 1	31
7.1.1. Waterstanden	31
7.1.2. Debiet	33
7.2. Scenario 2.....	34
7.2.1. Waterstanden	34
7.2.2. Debiet	36
7.3. Scenario 3.....	36
7.3.1. Waterstanden	36
7.3.2. Debiet	38

8. De vispassage.....	39
8.1. Technische vispassage	40
8.2. Hoofdstroom zoetwateraanvoer	41
8.3. Noordelijkste sluis.....	44
8.4. Nieuwe doorlaat	46
8.5. Locatie.....	49
8.6. Afmetingen	50
8.7. Soorten technische vispassages.....	52
8.7.1. Bekkenpassage	52
8.7.2. Vertical slot passage	53
8.7.3. De witvis passage	54
8.8. Hydraulische berekeningen.....	55
7.8.1 Keuze	55
8.9. Soort vertical slot passage (Katopodis)	56
8.10. Constructie vispassage	58
8.11. Regulatie van de vispassage	59
8.11.1. Zoetwateraanvoer	59
8.11.2. Sedimentatie	60
8.12. Constructie kunstwerk.....	61
8.12.1. Gemiddelde omstandigheden (scenario 1)	61
8.12.2. Hoge omstandigheden (scenario 2).....	61
8.12.3. Extreme omstandigheden (scenario 3).....	62
8.13. Operationele situatie vispassage	63
8.13.1. Migratievenster.....	63
9. Conclusie.....	69
10. Discussie.....	71
11. Aanbevelingen.....	72
12. Bibliografie.....	74
13 Formules.....	78
14 Begrippenlijst.....	79
15 Bijlagen.....	81
15.1 Leggerkaart Haringvlietdam.....	81
15.2 Leggerkaart Haringvlietdam.....	82
15.3 Richtingwijzer zoet-zout overgang.....	83
15.4 Data-analyse debiet bij Lobith	84
15.5 Data-analyse debiet bij Haringvlietsluizen	87
15.6 Data-analyse waterstanden Haringvliet	90
15.7 Data-analyse waterstanden voordelta.....	93
15.8 Hydraulische berekeningen vispassage.....	99
Hoeveelheid bekkens.....	100
Debiet.....	101
Stroomsnelheid	102

Hoeveelheid turbulentie	103
15.9 Analyse constructie.....	104
15.10 Slotgemiddelde Haringvliet	113
15.11 Vertical slot passages Katopodis	114
15.12 Bodem en kritische stroomsnelheid analyse plangebied	116
15.13 Excel sheet afstudeeronderzoek	118
15.14 Vooronderzoek.....	119
15.15 Interview Eric Bruins Slot	120
15.16 Interview Christiaan Bijl.....	122

1. Figuren en tabellen

Figuur 1, Conceptueel model (Wolff, Conceptueel model, 2021)	14
Figuur 2, Plangebied (Wolff, Vooronderzoek Vismigratierivier, 2021).....	15
Figuur 3 Overzicht sectie indeling (Rijkswaterstaat, Legger primaire waterkering, 2009).....	24
Figuur 4 Dwarsprofiel sectie A1 (Rijkswaterstaat A. , 2009).....	25
Figuur 5 Dwarsprofiel sectie A2 (Rijkswaterstaat A. , 2009).....	25
Figuur 6 Dwarsprofiel Haringvlietsluis (RDM-archief, 1963).....	26
Figuur 7 Kernzones (Rijkswaterstaat, Legger Haringvlietdam, 2009).	27
Figuur 8 Haringvliet operationeel programma (Noordhuis, Haringvliet na de kier, 2017).....	29
Figuur 9 Schematisatie scenario 1, verval naar Haringvliet (Wolff, Scenario AutoCad tekening, 2021).....	32
Figuur 10 Schematisatie scenario 1, verval naar voordelta (Wolff, Scenario AutoCad tekening, 2021).....	32
Figuur 11 Schematisatie scenario 2, verval naar Haringvliet (Wolff, Scenario AutoCad tekening, 2021).....	35
Figuur 12 Schematisatie scenario 2, verval naar voordelta (Wolff, Scenario AutoCad tekening, 2021).....	35
Figuur 13 Schematisatie scenario 3, verval naar voordelta (Wolff, Scenario AutoCad tekening, 2021).....	37
Figuur 14 Schematisatie scenario 3, verval naar Haringvliet (Wolff, Scenario AutoCad tekening, 2021).....	37
Figuur 15 Schematisatie overlaat (Wolff, AutoCad tekening overlaat).....	41
Figuur 16, Schematische weergave overlaat bij verval van 1 meter en stroomsnelheid van 0,3 m/s, (Wolff, AutoCad tekening overlaat, 2021)	44
Figuur 17, Schematische weergave overlaat bij verval van 1 meter en stroomsnelheid van 0,3 m/s, (Wolff, AutoCad tekening overlaat, 2021)	46
Figuur 18 Dam vak A2 (Rijkswaterstaat A. , 2009).	49
Figuur 19, Dwarsdoorsnede Haringvlietdam dam vak A2 (Wolff, AutoCad tekening dwarsdoorsnede Haringvlietdam dam vak A2, 2021)	49
Figuur 20 Vooraanzicht nieuwe doorlaat (Wolff, AutoCad tekening nieuwe doorlaat, 2021).....	50
Figuur 21, Dwarsdoorsnede Haringvlietdam met doorlaat, (Wolff, AutoCad tekening nieuwe doorlaat, 2021).....	50
Figuur 22 Vooraanzicht vertical slot passage (Wolff, AutoCad tekening vispassages, 2021).....	53
Figuur 23 Vooraanzicht witvis passage (Wolff, AutoCad tekening vispassages, 2021)	54
Figuur 24, Bovenaanzicht vertical slot passage type 6 (Wolff, AutoCad tekening vertical slot passage, 2021)	56
Figuur 25, Bovenaanzicht vertical slot passage type 16 (Wolff, AutoCad tekening vertical slot passage, 2021)	56
Figuur 26, Bovenaanzicht vertical slot passage type 18 (Wolff, AutoCad tekening vertical slot passage, 2021)	56
Figuur 27, Bovenaanzicht vertical slot passage type 6 (Wolff, AutoCad tekening vertical slot passage, 2021)	57
Figuur 28, Dwarsdoorsnede Haringvlietdam met secties A, B en C, (Wolff, AutoCad tekening secties constructie, 2021).....	58

Figuur 29, Maximale krachten op kunstwerk (scenario 3), (Wolff, AutoCad tekening krachten op kunstwerk, 2021)	62
Figuur 30, Grafiek migratievenster scenario 1, (Wolff, Data-analyse migratievenster, 2021)	65
Figuur 31, Grafiek migratievenster scenario 2, (Wolff, Data-analyse migratievenster, 2021)	66
Figuur 32, Grafiek migratievenster scenario 3, (Wolff, Data-analyse migratievenster, 2021)	67
Figuur 33, Leggerkaart Haringvlietdam (Rijkswaterstaat, Legger Haringvlietdam, 2009)	81
Figuur 34, Leggerkaart Haringvlietdam sectie A2 (Rijkswaterstaat, Legger Haringvlietdam, 2009)	82
Figuur 35, Richtingwijzer zoet zout overgang (Monden, Visadvies, 2004)	83
Figuur 36, Debiet Lobith 2010-2015	84
Figuur 37, Boxplot debiet Lobith 2010-2015	84
Figuur 38, Debiet Lobith 2015-2020	85
Figuur 39, Boxplot debiet Lobith 2015-2020	85
Figuur 40, Grafiek debiet Haringvliet 2010-2015	87
Figuur 41, Boxplot debiet Haringvliet 2010-2015	87
Figuur 42, Grafiek debiet Haringvliet 2015-2020	88
Figuur 43, Boxplot debiet Haringvliet 2015-2020	88
Figuur 44, Grafiek waterstanden Haringvliet 2018-2019	90
Figuur 45, Boxplot waterstanden Haringvliet 2018-2019	90
Figuur 46, Grafiek waterstanden Haringvliet 2019-2020	91
Figuur 47, Boxplot waterstanden Haringvliet 2019-2020	91
Figuur 48, Grafiek waterstanden voordelta 2018-2019	93
Figuur 49, Boxplot waterstanden voordelta 2018-2019	93
Figuur 50, Grafiek waterstanden voordelta 2019-2020	94
Figuur 51, Boxplot waterstanden voordelta 2019-2020	94
Figuur 52, Grafiek aantal bekkens in vergelijking met het totale verval, (Wolff, Data-analyse vispassage, 2021)	100
Figuur 53, Permanente belasting sectie A	104
Figuur 54, Dwarskrachten sectie A	105
Figuur 55, Momenten sectie A	105
Figuur 56, Oplegreacties sectie A	106
Figuur 57, Doorbuiging sectie A	106
Figuur 58, Permanente belasting sectie B	107
Figuur 59, Dwarskrachten sectie B	107
Figuur 60, Momenten sectie B	108
Figuur 61, Oplegreacties sectie B	108
Figuur 62, Doorbuiging sectie B	109
Figuur 63, Permanente belasting sectie C	110
Figuur 64, Dwarskrachten sectie C	110
Figuur 65, Momenten sectie C	111
Figuur 66, Oplegreacties sectie C	111
Figuur 67, Doorbuiging sectie C	112
Figuur 68, Slotgemiddelden Haringvliet (informatievoorziening, 2011)	113
Figuur 69, Vertical slot passages Katopodis (C.Katopodis, 2011)	115
Figuur 70, Bodemonderzoek plangebied (Dinoloket, 2021)	116

Tabel 1, Vissoorten met maximale zwemcapaciteit in m/s	16
Tabel 2, Onderzoeksmethoden.....	21
Tabel 3 Hydraulische randvoorwaarden Haringvlietdam (Waterstaat, 2007).....	26
Tabel 4 Gemiddelde waterstanden	31
Tabel 5 Gemeten spuidebiet Haringvlietsluizen	33
Tabel 6 Berekend spuidebiet Haringvlietsluizen, debiet bij Lobith van 1500 m ³ /s, (Wolff, Data-analyse spuidebiet , 2021).....	33
Tabel 7 Berekend spuidebiet Haringvlietsluizen, debiet bij Lobith van 2000 m ³ /s, (Wolff, Data-analyse spuidebiet , 2021).....	33
Tabel 8 Berekend spuidebiet Haringvlietsluizen, debiet bij Lobith van 2500 m ³ /s, (Wolff, Data-analyse spuidebiet , 2021).....	33
Tabel 9 Hoge omstandigheden	34
Tabel 10 Gemeten spuidebiet Haringvlietsluizen	36
Tabel 11 Berekend spuidebiet Haringvlietsluizen, debiet bij Lobith van 3000 m ³ /s, (Wolff, Data-analyse spuidebiet , 2021).....	36
Tabel 12 Berekend spuidebiet Haringvlietsluizen, debiet bij Lobith van 3600 m ³ /s, (Wolff, Data-analyse spuidebiet , 2021).....	36
Tabel 13 Extreem hoge omstandigheden.....	36
Tabel 14 Gemeten spuidebiet Haringvlietsluizen	38
Tabel 15 Berekend spuidebiet Haringvlietsluizen, debiet van >4400 m ³ /s, (Wolff, Data-analyse spuidebiet , 2021)	38
Tabel 16, Scenario 1, zoetweraanvoer Lobith 1500 m ³ /s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021).....	43
Tabel 17, Scenario 1, zoetweraanvoer Lobith 2000 m ³ /s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021).....	43
Tabel 18, Scenario 1, zoetweraanvoer Lobith 2500 m ³ /s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021).....	43
Tabel 19 Scenario 2, zoetweraanvoer Lobith 3000 m ³ /s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021).....	43
Tabel 20 Scenario 2, zoetweraanvoer Lobith 3600 m ³ /s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021).....	43
Tabel 21 Scenario 3, zoetweraanvoer Lobith 4400 m ³ /s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021).....	43
Tabel 22 Overlaat berekening opening Noordelijkste sluis 0,1 m/s, (Wolff, Data- analyse zoetweraanvoer, 2021).....	45
Tabel 23 Overlaat berekening opening Noordelijkste sluis 0,3 m/s, (Wolff, Data- analyse zoetweraanvoer, 2021).....	45
Tabel 24 Berekeningen nieuwe overlaat bij verval 0,5 meter en stroomsnelheid voor de overlaat van 0,1 m/s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021).....	47
Tabel 25 Berekeningen nieuwe overlaat bij verval 0,5 meter en stroomsnelheid voor overlaat van 0,3 m/s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021).....	47
Tabel 26 Berekeningen nieuwe overlaat bij verval van 1,5 meter en een stroomsnelheid voor overlaat van 0,1 m/s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021)	48
Tabel 27 Berekening nieuwe overlaat bij verval van 1,5 meter en een stroomsnelheid voor de overlaat van 0,3 m/s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021)	48
Tabel 28, Belastingen op de constructie.....	58
Tabel 29, Range doorstroomoppervlaktes scenario 1	59
Tabel 30, Range doorstroomoppervlaktes scenario 2	59
Tabel 31, Range doorstroomoppervlaktes scenario 3	59

Tabel 32, Vissoorten met maximale zwemcapaciteit in m/s	63
Tabel 33, Verval met bijbehorende stroomsnelheden en vissoorten.....	64
Tabel 34, Beschikbare migratietijd per vissoort gedurende een getijdecyclus van 12 uur en 25 min.....	68

2. Inleiding

Vanuit de opleiding Watermanagement, aan de Hogeschool Rotterdam, wordt in het vierde jaar door iedere student een afstudeeronderzoek uitgevoerd. Binnen deze afstudeerperiode wordt de student getest op de beheersing van de drie kerncompetenties van de opleiding Watermanagement. Deze kerncompetenties zijn delta techniek, delta design en delta governance. Het afstuderen bedraagt een periode van 20 weken en hier dient een onderzoeksrapport en beroepsproduct uit voort te komen.

Het doel van het gekozen afstudeeronderzoek is het doen van aanbevelingen voor het inpassen van een vispassage door de Haringvlietdam binnen het plan van Delta21. Deze aanbevelingen resulteren in een conceptueel ontwerp. Delta21 is een integraal plan voor de Zuidwestelijke delta gericht op waterveiligheid, energietransitie en natuurherstel.

Op basis van waterveiligheid biedt dit plan een oplossing voor langdurige periodes van storm waarbij de Maeslantkering gesloten dient te zijn. De waterstand achter de Maeslantkering in de Nieuwe Waterweg kan door middel van grote pompcapaciteit in het Delta21 plan beheerst worden. Ook wordt een nieuwe waterkering gerealiseerd in de voordelta die de primaire waterkerende functie van de Haringvlietsluizen over zal nemen.

In het kader van energietransitie biedt het Delta21 plan een oplossing voor het leveren en opslaan van energie. Er wordt een energieopslagmeer gerealiseerd dat door middel van water energie kan opwekken en opslaan. Dit energieopslagmeer wordt ingericht met aqua batterijen, zonnepanelen en windmolens om groene energie op te wekken.

In het kader van natuurherstel biedt dit plan een oplossing voor het laten terugkeren van een brakwatergebied (estuarium) en het creëren van een permanente migratiemogelijkheid voor vissoorten. Er wordt een getidemeer ontworpen waar het getij "vrij spel" heeft. De barrière die een gedeelte van het natuurherstel binnen dit plan in de weg staat is de Haringvlietdam. Hierom wil Delta21 de opties onderzoeken voor het aanleggen van een vismigratierivier in het plangebied die de Haringvlietdam passeert.

2.1. De probleemstelling

De bouw van de Deltawerken heeft ervoor gezorgd dat ons land beschermd wordt tegen hoge waterstanden op zee en heeft ons wereldwijd veel aanzien opgeleverd. Op veel plekken hebben deze Deltawerken tegelijkertijd ook gezorgd voor harde scheidingen tussen zoet en zout water. Deze scheidingen resulteerden in het verdwijnen van estuariene gebieden en het blokkeren van migratieroutes van verschillende vissoorten.

De Noordzee en het Haringvliet worden gescheiden door de Haringvlietdam. Door de Haringvlietdam kunnen vissen niet meer vrij migreren tussen deze twee ecologische systemen. De ecologische gevolgen van deze barrière zijn groot, zoals het achteruitgaan of zelfs geheel verdwijnen van verschillende vispopulaties (Hop, 2011). Rijkswaterstaat heeft het kierbesluit in het leven geroepen om vissoorten toch de mogelijkheid te geven tot migratie. Het zoete water in het Haringvliet heeft een

belangrijke functie voor de landbouw, industrie en drinkwatervoorziening (Delta, 2021). Het zoute zeewater mag niet verder komen dan de lijn Middelharnis en Het Spui. Dit houdt in dat de Haringvlietsluizen niet altijd op een kier kunnen staan vanwege de zoetwaterfunctie. De efficiëntie van het kierbesluit is nog onduidelijk en is sterk afhankelijk van menselijk handelen. Vissen kunnen momenteel niet vrij migreren tussen de Noordzee en het Haringvliet, omdat het plangebied momenteel niet beschikt over een permanente migratieroute.

2.2. Doelstelling Delta21

Het doel van de vismigratierivier is om de ecologische systemen tussen de Noordzee en het Haringvliet permanent met elkaar te verbinden en te herstellen. Een vismigratierivier maakt het voor migrerende vissoorten mogelijk om het gehele jaar te migreren van zoet naar zout water en vice versa.

2.3. Afbakening

De vismigratierivier vormt een groot onderdeel binnen het speerpunt natuurherstel van Delta21 en is onder te verdelen in verschillende secties. In dit onderzoek wordt onderzocht welke aanbevelingen gedaan kunnen worden om de barrière van de Haringvlietdam te passeren door middel van een vispassage. Hierbij zijn de vissoorten die gebruik gaan maken van de vispassage leidend in het ontwerp. Deze vispassage moet daarnaast voldoen aan de zoetwatervraag van de gehele vismigratierivier. Alle eisen van de vispassage zijn beschreven in het hoofdstuk 4. Eisen vispassage.

2.4. Doelstelling onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om middels een vispassage door de Haringvlietdam vismigratie tussen de twee ecologische systemen weer mogelijk te maken. Dit onderzoek geeft handvaten voor het realiseren van een vispassage binnen het plangebied en de lokale hydrologie.

2.5. Het kennishiaat

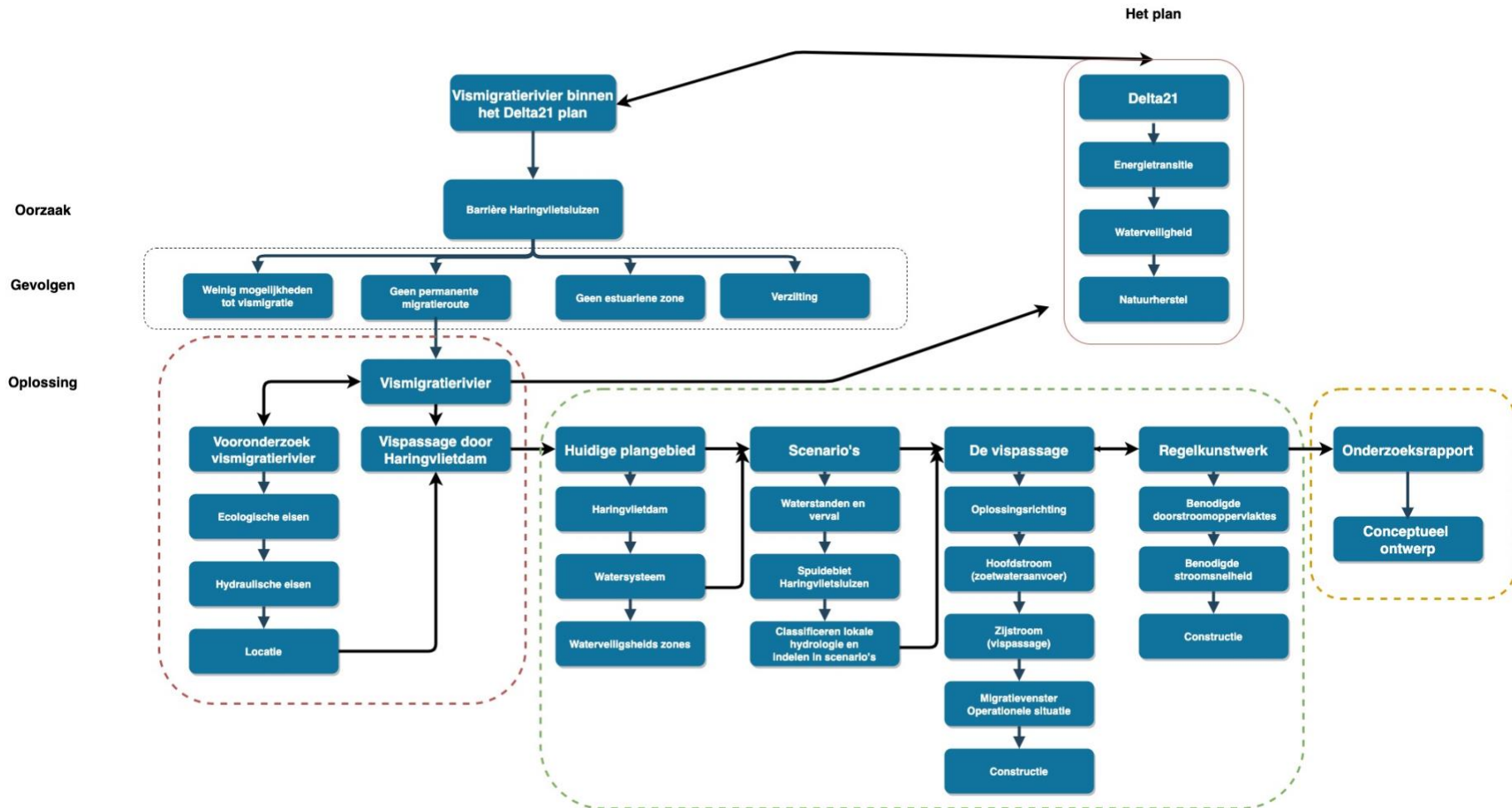
Het kennishiaat van dit onderzoek zit voornamelijk in het specifiek inpassen van een vispassage in het plangebied. Een vispassage is namelijk altijd locatie specifiek en is afhankelijk van vele factoren. Zoals de lokale hydrologie, gedrag van de aanwezige vissen, type passage, enzovoort.

Op dit moment is het onbekend hoe een vispassage ingepast kan worden binnen het Delta21 plan. Dit onderzoek is gericht op de ontbrekende kennis over het inpassen van een vispassage door de Haringvlietdam. Het onderzoeken van de mogelijkheden van een vispassage door de Haringvlietdam is een nieuwe toevoeging aan het watersysteem van de Zuidwestelijke delta. Het is daarom belangrijk om te onderzoeken hoe deze toevoeging aan het watersysteem zo efficiënt mogelijk kan worden ingepast.

2.6. Het conceptueel model

In Figuur 1 is het conceptueel model van dit onderzoek weergegeven. Dit conceptueel model laat de oorzaak-gevolg relatie zien met de te onderzoeken onderdelen om tot een conceptueel ontwerp van een vispassage te komen. Zoals te zien in het conceptueel model, draagt het vooronderzoek¹ voor een belangrijk gedeelte bij om tot een goed onderbouwd onderzoek te kunnen komen. In hoofdstuk 3. Vooronderzoek zijn de belangrijkste onderdelen van het vooronderzoek kort beschreven. Het gehele vooronderzoek is bijgevoegd in bijlage 15.14 Vooronderzoek.

¹ Vooronderzoek uitgevoerd door B. van der Wolff en J. Lokker (van de Wolff & Lokker, 2021)



Figuur 1, Conceptueel model (Wolff, Conceptueel model, 2021)

3. Vooronderzoek

In het vooronderzoek is de basis gelegd voor het verder onderzoeken van de mogelijkheden van een vismigratierivier in het Delta21 plan. Het vooronderzoek is opgebouwd uit de volgende componenten:

- Het plangebied
- De doelsoorten
- Ecologische toetsing
- Hydraulische toetsing
- Eisen en randvoorwaarden

In dit hoofdstuk zal elk individueel component kort worden omschreven, het gehele vooronderzoek staat in 15.14 Vooronderzoek. In het vooronderzoek stond de volgende vraag centraal: welke technische en ecologische eisen zijn van belang voor optimaal werkende vispassage?

3.1. Het plangebied

Het plangebied bevindt zich in de Zuidwestelijke Delta aan de Noordzijde van het Haringvliet. De Noordzijde is gekozen omdat Delta21 de mogelijkheden van deze kant van het plangebied verder wil onderzoeken en deze kant geen hinder geeft aan het vaarverkeer in het zuiden van het Haringvliet bij de Goereesesluis. Het plangebied bestaat voornamelijk uit natuurgebieden (natura2000). In het plangebied ligt een groot obstakel: de Haringvlietdam. De aanleg van deze dam tussen 1956 en 1970 zorgde voor een harde grens tussen het zoute zeewater en het zoete rivierwater. De Haringvlietdam zorgde ervoor dat vismigratie niet meer mogelijk was en het estuarium in het Haringvliet verdween. De Haringvlietdam heeft een waterkerende functie als stormvloedkering en ook een infrastructurele functie voor wegverkeer (N57).



Figuur 2, Plangebied (Wolff, Vooronderzoek Vismigratierivier, 2021)

3.2. Doelsoorten

Uit het vooronderzoek (van de Wolff & Lokker, 2021) zijn 16 vissoorten gekomen die gebruik zullen maken van de vismigratierivier in het plangebied. Deze 16 soorten zijn onderzocht om per soort duidelijk te krijgen onder welke omstandigheden en in welke periode de vis migreert. Qua omstandigheden is de maximale stroomsnelheid voor de vispassage het belangrijkste. Deze 16 soorten met hun maximale zwemcapaciteit in m/s zijn:

Tabel 1, Vissoorten met maximale zwemcapaciteit in m/s

Vissoort	Maximale zwemcapaciteit (m/s)
Aal/Paling	0,5
Bot	0,30
Driedoornige stekelbaars	0,30
Dunlipharder	0,50
Elft	2,0
Fint	2,0
Atlantische Haring	0,5
Houting	0,55
Rivierprik	<2,0
Spiering	2,0
Sprot	0,3
Europese steur	<2,0
Atlantische zalm	<2,0
Zeebaars	<2,0
Zeeforel	<2,0
Zeeprik	0,75

3.3. Ecologische toetsing

De ecologische toetsing (van de Wolff & Lokker, 2021) is uitgevoerd om de eisen en randvoorwaarden op ecologisch vlak helder te krijgen. Deze toetsing geeft weer aan welke ecologische waarden/omstandigheden de vismigratierivier in ieder geval moet voldoen. De onderdelen die van groot belang zijn voor een vismigratierivier zijn:

- Lokstroom (zoetwateraanvoer)
- Barrières (vindbaarheid)
- Stroomsnelheid (passeerbaarheid)
- Turbulentie (passeerbaarheid)
- Saliniteit
- Substraat
- Doorzicht
- Predatie
- Temperatuur
- Zuurstofgehalte

Deze onderdelen zijn voor de gehele vismigratierivier van groot belang. Voor de vispassage door de Haringvlietdam zijn een aantal van deze onderdelen minder van belang, omdat het om een klein gedeelte van het gehele systeem gaat. Voor de vispassage zijn de zoetwateraanvoer en passeerbaarheid het belangrijkste, hierom zullen deze twee onderdelen voornamelijk bestudeerd worden.

3.4. Hydraulische toetsing

De hydraulische toetsing (van de Wolff & Lokker, 2021) is uitgevoerd om de eisen en randvoorwaarden op hydraulisch vlak helder te krijgen. De onderdelen die van groot belang zijn voor de vismigratierivier zijn:

- Debiet
- Getij
- Lokstroom (zoetwateraanvoer)
- Stroomsnelheid
- Sedimentatie en erosie
- Saliniteit

Uit dit vooronderzoek met de genoemde onderdelen zijn verschillende eisen en randvoorwaarden gekomen waaraan de gehele vismigratierivier en hiermee ook de vispassage die in het hoofdonderzoek onderzocht gaat worden, moet voldoen.

4. Eisen vispassage

In dit hoofdstuk staat beschreven aan welke eisen de vispassage moet voldoen voor een optimale werking. Alle eisen in dit hoofdstuk zijn gebaseerd op de eisen vanuit de opdrachtgever (Delta21) en de Ecologische en Hydraulische toetsingen (vooronderzoek).

4.1. Eisen en randvoorwaarden Delta21

- **1.** De vispassage dient **het gehele jaar** zoveel mogelijk, met uitzondering van extreme situaties², te passeren zijn voor de beoogde doelsoorten;
- **2.** De vispassage moet bijdragen aan natuurherstel binnen het plangebied;
- **3.** Het water in de vispassage moet te reguleren zijn;
- **4.** De vispassage dient in het noordelijke landhoofd van de Haringvlietdam aangelegd te worden;
- **5.** De vispassage moet afsluitbaar kunnen zijn, vooral tijdens extreme situaties²;
- **6.** Zoutwaterindringing in het Haringvliet – via de vispassage – mag niet voorbij het Spui komen;
- **7.** De maximale waterstand in de voordelta is **NAP +2,50 meter**;
- **8.** De minimale zoetwaterafvoer van de vispassage tijdens eb dient **20 m³/s** te zijn;

² Extreme situaties: extreem lage of hoge waterstand dat resulteert in een verval groter dan 2,5 meter.

4.2. Ecologische eisen

- **9.** De vispassage dient nagenoeg het gehele jaar (dag en nacht) migratiemogelijkheid aan alle doelsoorten te bieden;
- **10.** De invloed van licht en geluid zal rond de vispassage **beperkt** moeten blijven;
- **11.** Er dienen **voldoende** schuil- en zwemmogelijkheden te zijn in zowel diep als ondiep water in de vispassage om predatie te voorkomen;
- **12.** Om een brakwaterzone te ontwerpen in het riviergedeelte die geleidelijk van zout- naar zoetwaterzones overgaat, zal het stratificatieproces (gelaagdheid in het water) enigszins beperkt moeten blijven. Door genoeg doorspoeling van zoetwater te creëren, mengt het zoute water met het zoete water waardoor een gewenste situatie ontstaat (zoetwateraanvoer).

4.3. Hydraulische eisen

- **13.** Lokstroom (zoetwateraanvoer): *Over het algemeen kan gesteld worden: hoe hoger het percentage van het totale debiet dat kan worden gebruikt voor de lokstroom, des te effectiever de faciliteit is'* (Arcadis, 2018). Voor vispassages wordt vaak als stelregel aangehouden dat de lokstroom uit de vispassage minimaal **3-5%** moet zijn van de afvoer uit het naastliggende kunstwerk;
- **14.** Om de vispassage effectief te laten werken, mag de energiedemping in de vispassage per bekken niet te hoog zijn. Een E-waarde [W/m^3] van max **100 W/m^3** wordt in dit ontwerp gehanteerd;
- **15.** Om de vispassage optimaal te laten werken, zal de maximale stroomsnelheid **0,30 m/s** bedragen tijdens eb. Alle doelsoorten moeten immers tegen de stroming in kunnen zwemmen tijdens eb. Als het vloed is, mag de stroomsnelheid groter zijn dan **0,30 m/s**. Vissen kunnen tijdens vloed gebruik maken van selectief **getijdetransport** om de vispassage te passeren;
- **16.** Er mag **geen** sedimentatie rondom het kunstwerk plaatsvinden;
- **17.** De overgang van het bodemprofiel van de rivier naar het doorlaatmiddel dient volledig op elkaar aan te sluiten.

5. Opbouw onderzoek

De opbouw van dit onderzoek is voortgekomen uit overleg met Delta21 en het raadplegen van verschillende bronnen met betrekking tot het onderzoeken en ontwerpen van vispassages. Hieronder staan een aantal bronnen weergegeven met belangrijke punten voor het ontwerpen van vispassages.

Volgens Kroes en Monden in een handboek voor herstel van vismigratie is het van belang om bepaalde stappen te doorlopen om tot een type oplossing te komen (Monden, Visadvies, 2004). Deze stappen zijn:

Stap 1: Definiëren van het gebied.

In stap 1 wordt het plangebied beschreven en worden de knelpunten uitgelegd.

Stap 2: Beschrijven van de kenmerken en de randvoorwaarden.

Voor elk gebied moet een locatiebeschrijving worden gemaakt. Hierin moeten de langetermijnvisie, omgevingskenmerken, juridische, hydrologische, biologische en financiële aspecten worden uitgezocht. Aan de hand van deze punten kan een keuze gemaakt worden voor een bepaalde oplossing. Het is van belang dat het duidelijk is voor welke vissoorten de oplossing gerealiseerd gaat worden, welke functie de constructie heeft, welke debieten op kunnen treden en wat een geschikt ontwerpdebiet is.

Stap 3: Doorlopen richtingwijzer.

Aan de hand van de richtingwijzer kan een bepaald type oplossing gekozen worden (bijlage 15.3 Richtingwijzer zoet-zout overgang).

Stap 4: Kiezen van oplossingstype of variant.

In deze stap wordt per type of variant een algemene beschrijving gegeven. De ecologische en hydraulische beschrijving wordt per type uitgelegd en de voor- en nadelen worden aangegeven.

Stap 5: Algemene ontwerpcriteria

Na deze 4 stappen wordt aan de hand van de gekozen oplossingstype of variant dieper op het ontwerp ingegaan. Hier wordt verder ingegaan op de algemene ontwerpcriteria, de aanvullende ontwerp criteria en de toetsing van het ontwerp (Monden, Visadvies, 2004).

Volgens Environment Agency zijn vispassages allemaal locatie specifiek met vele unieke factoren. Elke vispassage zal een unieke situatie vertegenwoordigen en daarom kijkt Environment Agency bij een goedkeuringsfase naar een aantal factoren (Greg S Armstrong, 2010).

- Type vispassage
- Locatie van de vispassage
- Design van de vispassage
- Lokale hydrologie
- Hydrologie van de vispassage
- Lokken van de vissen
- Gedrag van de vissen
- Aanvullende kenmerken

Uit overleg met Delta21 en de geraadpleegde bronnen zijn de volgende hoofd en deelvragen tot stand gekomen. De uitkomsten van dit onderzoek resulteren uiteindelijk in aanbevelingen voor Delta21 over de mogelijkheden van een vispassage en een conceptueel ontwerp dat als beroepsproduct aangeleverd zal worden.

5.1. Hoofdvraag

Welke aanbevelingen kunnen gedaan worden zodat de vispassage vanuit technisch en ecologisch perspectief optimaal ontworpen kan worden en deze voldoet aan de opgestelde eisen zodat het ontwerp integraal onderdeel kan worden binnen het Delta 21 plan?

5.2. Deelvragen

1. *Hoe zit de barrière de Haringvlietdam in elkaar? (Stap 1)*
2. *Hoe kan de lokale hydrologie gekenmerkt en geclassificeerd worden? (Stap 2)*
3. *Wat is de meest geschikte vispassage binnen de lokale hydrologie? (Stap 3 & 4)*
4. *Wat zijn de grond en hydrostatische belastingen tegen de constructie? (Stap 5)*
5. *Hoe ziet de operationele situatie van de vispassage eruit? (Stap 5)*

5.3. Onderzoeksmethoden

In dit onderzoek zijn verschillende methodes gebruikt om de gewenste gegevens te verzamelen. Met deze gegevens kunnen de hoofd en deelvragen beantwoord worden. Aan de hand van de uitgewerkte deelvragen kan antwoord gegeven worden op de hoofdvraag van dit onderzoek. De verschillende methodes die gebruikt zijn staan in Tabel 2. Per deelvraag is aangegeven welke methode is gebruikt en in welke gegevens de onderzochte vraag resulteert.

Tabel 2, Onderzoeksmethoden

Deelvraag	Onderzoeksmethode	Resulteert in:
1. Hoe zit de barrière de Haringvlietdam in elkaar?	Literatuuronderzoek	Een uitwerking van het huidige plangebied met de belangrijkste onderdelen.
2. Hoe kan de lokale hydrologie gekenmerkt en geclassificeerd worden?	Literatuuronderzoek Data-onderzoek	3 scenario's op het gebied van verval en debiet onderverdeeld in gemiddeld, hoog en extreem.
3. Wat is de meest geschikte vispassage binnen de lokale hydrologie?	Literatuuronderzoek Ontwerpend onderzoek Interviews	Een oplossingsrichting met de daarbij behorende type vispassage met de verschillende onderdelen en afmetingen.
4. Wat zijn de grond en hydrostatische belastingen tegen de constructie?	Literatuuronderzoek Ontwerpend onderzoek Modelstudie	Een uitwerking van de belastingen tegen de constructie.
5. Hoe ziet de operationele situatie van de vispassage eruit?	Literatuuronderzoek Ontwerpend onderzoek	Aanbevelingen op welke manier het water in de vispassage gereguleerd kan worden met de daarbij behorende afmetingen, getoetst aan de verschillende scenario's.

Deelvraag 1

Middels deelvraag 1 is verdiepend onderzoek gedaan naar het plangebied. Het vooronderzoek had hier doormiddel van literatuuronderzoek al een goede basis voor gelegd. In het vooronderzoek is voornamelijk informatie gebruikt afkomstig van: Natura2000 (Archief, 2021), Haringvliet.nu (Haringvliet.nu, Vismigratie, 2016), Arcadis (Arcadis. Gijs van Banning, 2018). In deelvraag 1 is deze basis verdiept doormiddel van literatuuronderzoek. Hier is voornamelijk informatie gebruikt afkomstig van Rijkswaterstaat omdat de Haringvlietdam in beheer is van Rijkswaterstaat.

Deelvraag 2

Om deelvraag 2 te beantwoorden is literatuuronderzoek en data-analyse gedaan naar de lokale hydrologie. Literatuuronderzoek heeft de werking van de lokale hydrologie in kaart gebracht. Door middel van de data-analyse is de lokale hydrologie gedefinieerd. De data sets zijn afkomstig van waterinfo van Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, Waterkwantiteit, 2021) en wordt geleverd in Excelsheets met daarin metingen van de aangevraagde periode met een frequentie van 10 minuten per meting.

Deelvraag 3

In deelvraag 3 is in eerste instantie literatuuronderzoek uitgevoerd naar vispassages om in kaart te brengen wat alle verschillende mogelijkheden zijn binnen het gebied van vispassages. Dit literatuuronderzoek werd steeds verder aangescherpt om te komen tot de beste oplossingsrichting binnen dit plangebied. Toen de oplossingsrichting bepaald en onderbouwd was werd overgegaan op ontwerpend onderzoek. Per onderdeel van de vispassage is doormiddel van ontwerpend onderzoek gekeken wat het beste is in het huidige plangebied. De beweegredenen van een goed referentie project (vismigratierivier Kornwerderzand) zijn achterhaald doormiddel van literatuuronderzoek en ongestructureerde interviews met Eric Bruins Slot (technisch manager vismigratierivier De Nieuwe Afsluitdijk) en Christiaan Bijl (Integraal ontwerpmanager BAM Infraconsult BV). Te zien in bijlage 15.15 Interview Eric Bruins Slot en bijlage 15.16 Interview Christiaan Bijl.

Deelvraag 4

In deelvraag 4 is literatuuronderzoek en ontwerpend onderzoek samen met een modelstudie uitgevoerd. Middels literatuuronderzoek en het ontwerpend onderzoek zijn de parameters bekend geworden waarmee de belasting is berekend. Deze belasting is doormiddel van een modelstudie verder onderzocht in het programma Matrix frame. Door het onderzoeken van deze deelvraag kunnen geoptimaliseerde technische aanbevelingen gedaan worden.

Deelvraag 5

Deelvraag 5 gaat grotendeels verder op de uitkomsten van het literatuuronderzoek uit deelvraag 2 aangaande de lokale hydrologie. Aan de hand van de uitkomsten van dit literatuuronderzoek wordt het onderzoek omgezet naar ontwerpend onderzoek. Middels berekeningen wordt nagegaan wat de beste manier (met de bijbehorende afmetingen) is om te voldoen aan de onderzochte waarden uit deelvraag 2. De vispassage wordt in deze deelvraag getoetst aan de scenario's.

5.4. Beroepsproduct

Het beroepsproduct zal bestaan uit een conceptueel ontwerp van de vispassage met tekstuele onderbouwing over de genomen keuzes. Een conceptueel ontwerp is een ontwerp dat voortkomt uit verricht onderzoek, waarin eisen zijn opgesteld aan het functioneel ontwerp en waar de eerste grondslagberekeningen zijn verricht.

Het conceptueel ontwerp zal gedimensioneerd worden op de uitkomsten van dit onderzoeksrapport. Deze uitkomsten zullen bestaan uit eisen aan het functioneel ontwerp en de eerste grondslagberekeningen van de vispassage. Dit resulteert in een basis voor een conceptueel ontwerp en is specifiek inpasbaar binnen het huidige plangebied en het Delta21 plan.

De eisen aan het beroepsproduct conceptueel ontwerp zijn:

- Het conceptueel ontwerp moet gemaakt worden binnen het plangebied;
- Het conceptueel ontwerp moet op schaal zijn;
- Het conceptueel ontwerp moet een legenda hebben;
- Het conceptueel ontwerp dient verschillende aanzichten te hebben;
- Het conceptueel ontwerp dient de onderzochte afmetingen te bevatten;
- Het conceptueel ontwerp dient een aantrekkelijke visuele weergave te hebben;
- Het conceptueel ontwerp dient een tool te hebben voor de operationele situatie.

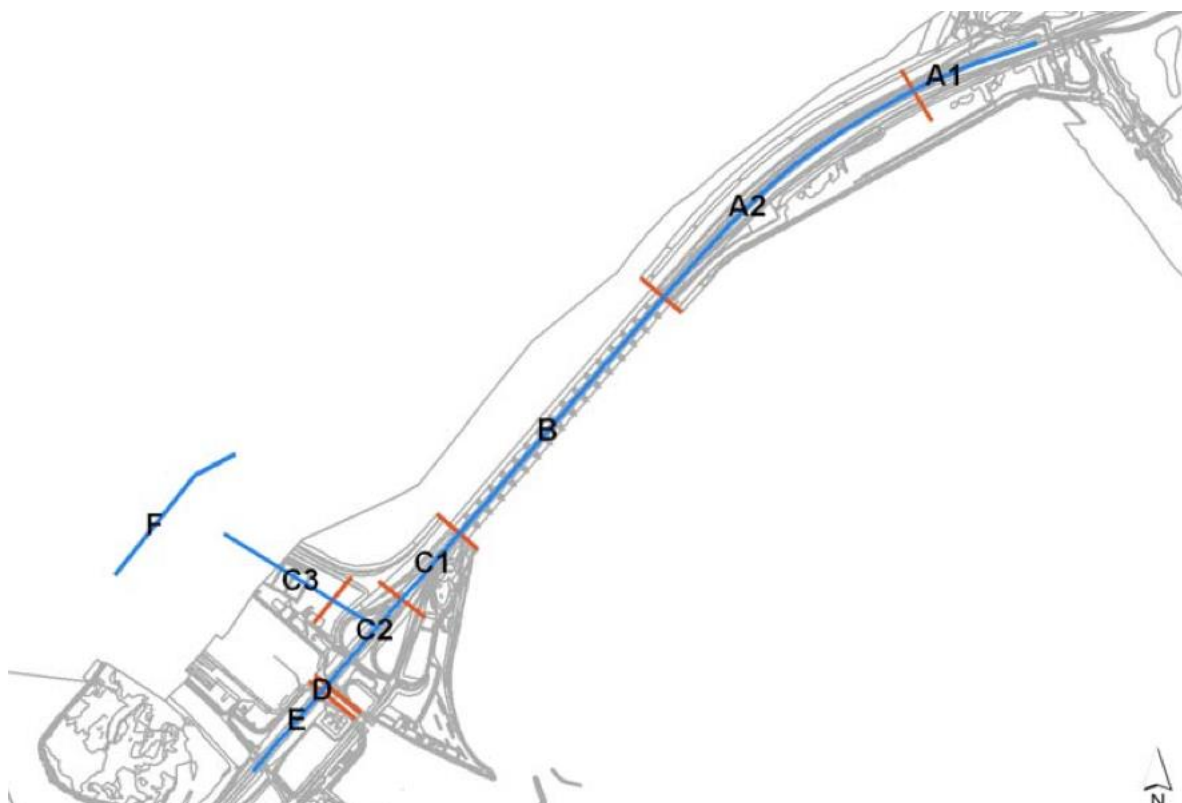
6. Definiëren plangebied

In het vooronderzoek (15.14 Vooronderzoek) is een groot gedeelte van het plangebied al gedefinieerd. In dit hoofdstuk wordt specifiek gekeken naar de Haringvlietdam. Bij het aanleggen van de vismigratierivier dient de barrière van de Haringvlietdam gepasseerd te worden doormiddel van een vispassage. Dit hoofdstuk beschrijft de opbouw en de verschillende onderdelen van de Haringvlietdam, de verschillende zones van een waterkeringsgebied en de technische specificaties van sectie A (het noordelijke landhoofd) en sectie B (de spuisluizen). In dit hoofdstuk worden alleen de secties A en B beschreven, omdat Delta21 heeft gevraagd om de vismigratierivier in het noorden van het plangebied te onderzoeken (eis 4).

De Haringvlietdam is een verbindende waterkering in de provincie Zuid-Holland en verbindt dijkkring 25 met dijkkring 20. De waterkering is in totaal 3,5 kilometer lang en bestaat uit 2,2 kilometer dijk, 1,1 kilometer Haringvlietsluizen en 0,2 kilometer van de Goereesesluis. Deze waterkering heeft volgens de wet een gemiddelde overschrijdingskans van 1/4000 (Rijkswaterstaat, Legger Haringvlietdam, 2009).

De waterkering is onder te verdelen in zes verschillende secties (Figuur 3). Namelijk:

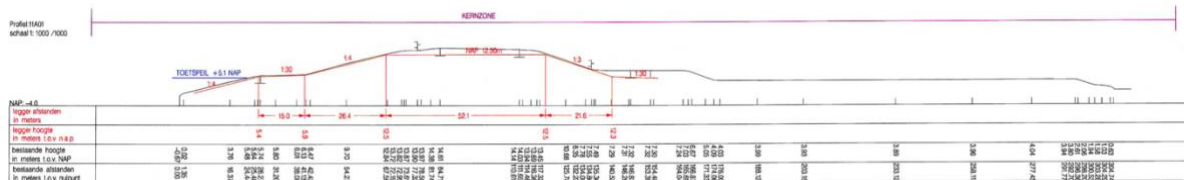
- A. Noordelijk landhoofd;**
- B. Spuisluizen;**
- C. Zuidelijk landhoofd;
- D. Goereesesluis;
- E. Aansluiting op de dijkkring;
- F. Voorhavendam.



Figuur 3 Overzicht sectie indeling (Rijkswaterstaat, Legger primaire waterkering, 2009)

6.1. Noordelijk landhoofd (A1, A2)

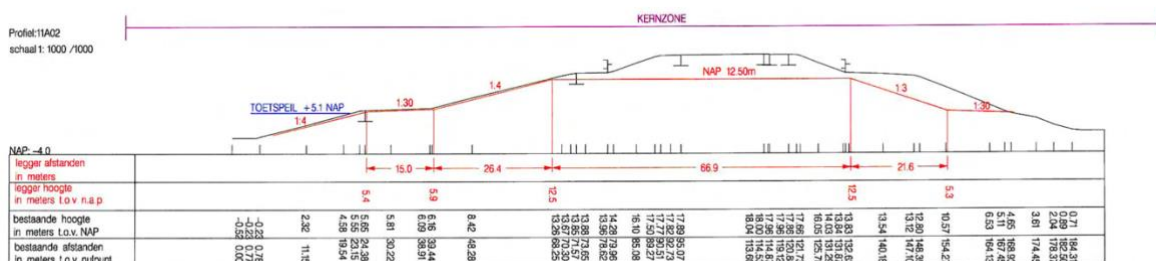
In Figuur 4 is een dwarsprofiel van sectie A1 van het noordelijk landhoofd te zien. Dit is het breedste gedeelte van het noordelijk landhoofd. Aan de kant van het Haringvliet (de rechter kant) is een erg brede berm te zien. In dit dwarsprofiel is te zien dat het leggerprofiel (rode lijn) lager ligt dan het gemeten profiel (zwarte lijn). Dit heeft te maken met de verkeersfunctie van de N57 die over de Haringvlietdam loopt (Rijkswaterstaat, Legger Haringvlietdam, 2009).



Figuur 4 Dwarsprofiel sectie A1 (Rijkswaterstaat A. , 2009).

In Figuur 5 is een dwarsprofiel van sectie A2 van het noordelijk landhoofd te zien. Net als in Figuur 4 is ook hier het leggerprofiel lager dan het gemeten profiel (Rijkswaterstaat, Legger Haringvlietdam, 2009). De exacte plek van het gemeten dwarsprofiel is te zien in bijlage 15.1 Leggerkaart Haringvlietdam.

In dit onderzoek is het leggerprofiel leidend, omdat de Haringvlietdam op dit profiel is gedimensioneerd. Secties A1 en A2 hebben een toets peil van NAP + 5,1 meter. De kruinhoogte ligt op NAP 12,50 meter. In sectie A2 ligt aan de kant van de voordelta (linker kant) een stormvloedberm van 15 meter breed. Het talud boven en onder deze stormvloedberm is 1:4 (Rijkswaterstaat A. , 2009). Secties A1 en A2 van de Haringvlietdam bestaan uit opgespoten zand (Rijkswaterstaat, Legger Haringvlietdam, 2009).

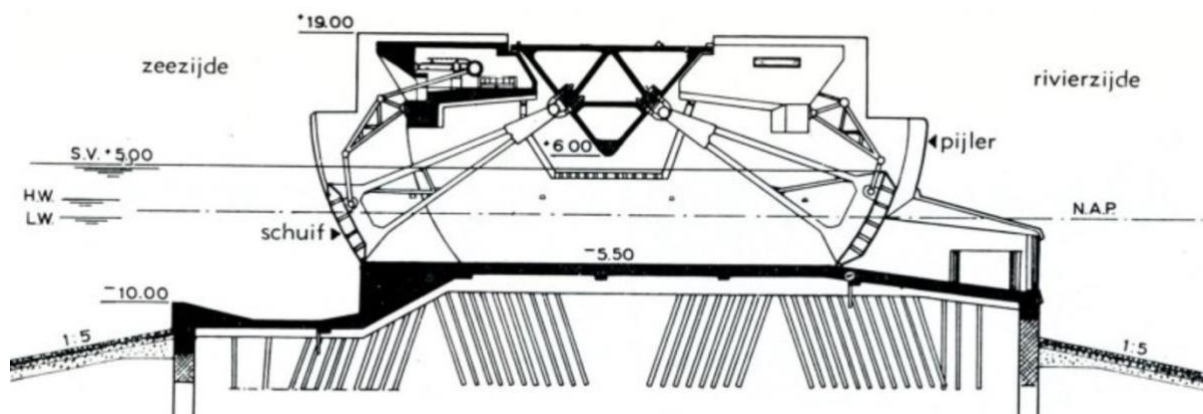


Figuur 5 Dwarsprofiel sectie A2 (Rijkswaterstaat A. , 2009).

Indien er wordt gekozen voor een nieuwe doorlaat voor de vispassage door het noordelijk landhoofd, dan is sectie A2 het meest gunstig. Dit komt doordat de breedte van de dijk hier het smalst is. Een doorgang in deze sectie kost hierdoor minder moeite, minder ruimte en minder geld. De enige reden die pleit voor een doorgang in sectie A1, is de ligging van het riviergedeelte (waar de vispassage/doorgang op aan moet sluiten) of de benodigde lengte van de vispassage om het verval te kunnen overbruggen. Dit wordt in hoofdstuk 8. De vispassage verder toegelicht.

6.2. Spuisluizen (B)

Sectie B heeft 17 openingen met aan beide zijden een schuif en een totale lengte van 1,1 kilometer (Rijkswaterstaat, Bescherming tegen het water, 2021). Elke spuiopening heeft een breedte van 56,6 meter. Figuur 6 geeft een dwarsprofiel van één sluis weer. De breedte van één sluis is 56,6 meter. De bovenkant van de sluis ligt 5 meter boven NAP en de onderkant van de sluis ligt op 5,5 meter beneden NAP. Als de schuif helemaal openstaat heeft de sluis een maximaal nat doorstroomoppervlakte van 594,3 m². De verschillende doorstroomoppervlaktes worden in hoofdstuk 8.2. Hoofdstroom zoetwateraanvoer nader beschreven en uitgelegd.



Figuur 6 Dwarsprofiel Haringvlietsluis (RDM-archief, 1963)

6.3. Hydraulische randvoorwaarden Haringvlietdam

De Haringvlietdam is gedimensioneerd op verschillende hydraulische randvoorwaarden. Deze hydraulische randvoorwaarden zijn te zien in Tabel 3. Sectie A1 en A2 van de Haringvlietdam vallen onder het dam vak Voorne.

Tabel 3 Hydraulische randvoorwaarden Haringvlietdam (Waterstaat, 2007)

Locatie	Toets peil (M+NAP)	H _s (m)	T _m (s)	β (°)
Dam vak Voorne (Sectie A1, A2)	5,1	2,25	6,2	10
Spuisluizen (Sectie B)	5,1	2,20	4,8	10
Dam vak sluis	5,1	1,80	4,4	20

Toets peil: Dit is gelijk aan de waterstand die bij de normfrequentie hoort.

Golfhoogte H_s: Significante golfhoogte

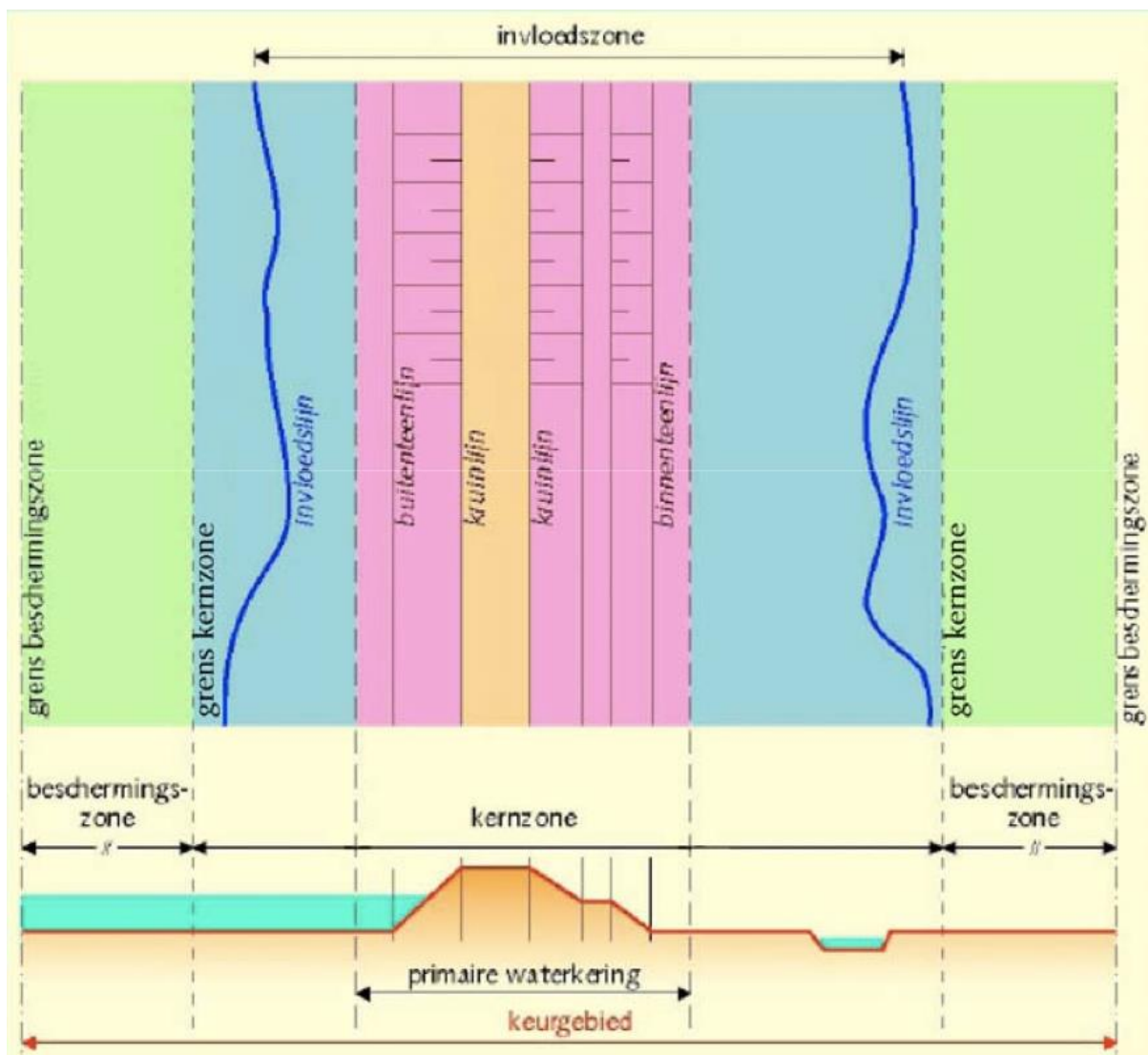
Golfperiode T_m: Spectrale golfperiode

Hoek van inval β: Hoek van inval van de golven ten opzichte van de richting loodrecht op de waterkering.

6.4. Zones

Doordat de vispassage mogelijk door een (huidige) primaire waterkering komt te liggen, is het van belang om rekening te houden met de verschillende zones van een waterkeringsgebied. Een waterkeringsgebied wordt onderverdeeld in drie zones (Figuur 7). De kernzone, de (buiten)beschermingszone en de invloedzone. De kernzone vormt door de omvang of de bijzondere constructie die in deze zone ligt de daadwerkelijke hoogwaterkering. De kernzone waarborgt de voorgeschreven veiligheid van het achterliggende land. Dit is vastgelegd in de Wet op de waterkering (Rijkswaterstaat, Legger Haringvlietdam, 2009). Aan beide zijden van de kernzone ligt de (buiten)beschermingszone. Deze zone zorgt voor de waarborging van het waterkerend vermogen en stabiliteit. De invloedzone is de zone rond de waterkering waar ontgravingen direct invloed zullen hebben op de stabiliteit van de waterkering.

De vispassage komt in de kernzone te liggen (15.1 Leggerkaart Haringvlietdam). De kernzone waarborgt de waterveiligheid van het achterliggende land en moet daarom meegenomen worden in het ontwerp van de vispassage.



Figuur 7 Kernzones (Rijkswaterstaat, Legger Haringvlietdam, 2009).

6.5. Wet- en regelgeving

De primaire waterkering waar de vispassage doorheen komt te liggen is eigendom van Rijkswaterstaat. Daarom is het van belang duidelijk te hebben welke acties ondernomen moeten worden volgens de wet- en regelgeving. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het onderdeel governance voor het aanleggen van de vispassage door de primaire waterkering.

In artikel 5.4 van de Waterwet staat de algemene grondslag voor projecten in het kader van het waterbeheer. Voor het aanleggen of wijzigen van een waterstaatswerk door de waterbeheerder bevat de Waterwet het instrument projectplan. Zo'n projectplan beschrijft de wijze waarop het werk wordt uitgevoerd. Hierbij gaat het vaak om plannen voor het wijzigen van waterkeringen (Hoorn, Kempen, & Geerdink, 2014).

Een projectplan is noodzakelijk als het gaat om een waterstaatswerk. Een waterstaatswerk is volgens de begripsomschrijving van de Waterwet een 'nat' waterstaatswerk, een oppervlaktewaterlichaam, een bergingsgebied, een waterkering of een ondersteunend kunstwerk (Hoorn, Kempen, & Geerdink, 2014). In dit geval gaat het om een waterkering.

In de legger is omschreven waaraan het waterstaatswerk moet voldoen qua afmeting, ligging en constructie. Als deze veranderen na het wijzigen van de waterkering is een planvaststelling verplicht (Hoorn, Kempen, & Geerdink, 2014).

De wijziging aan de waterkering kan alleen plaatsvinden als de beheerder van het waterstaatswerk hier opdracht toe geeft. De beheerder is volgens artikel 1.1 van de Waterwet het bevoegde bestuursorgaan van het overheidslichaam dat is belast met het beheer (Hoorn, Kempen, & Geerdink, 2014). In dit geval is Rijkswaterstaat de beheerder van de Haringvlietdam en is Rijkswaterstaat verplicht een projectplan vast te stellen.

Een projectplan is vormvrij maar moet op grond van artikel 5.4, tweede lid, van de Waterwet wel aan een aantal eisen voldoen (Hoorn, Kempen, & Geerdink, 2014). Het projectplan moet tenminste bevatten:

- Het betrokken werk zelf;
- De wijze van uitvoering;
- Uitwerking van de te treffen voorzieningen om nadelige gevolgen van de uitvoering ongedaan te maken of te beperken;
- Inventarisatie van maatschappelijke functies en ambities en mogelijke innovaties waarmee de wijziging van een waterstaatswerk gecombineerd kan worden.

Uit artikel 5.4 van de Waterwet blijkt dat voor de aanleg van de vispassage voor de vismigratierivier het juridisch instrument projectplan dient te worden uitgevoerd. Dit projectplan moet worden opgesteld door Rijkswaterstaat.

7. Scenario's

Voor de dimensionering van de vispassage en het regelkunstwerk is het van belang te onderzoeken hoe het watersysteem (de lokale hydrologie) in het plangebied in elkaar zit. Het watersysteem wordt in dit hoofdstuk ingedeeld in scenario's. Gemiddelde scenario 1, hoge scenario 2 en extreme scenario 3. In deze scenario's is de rivierafvoer bij Lobith, het spuidebiet van de Haringvlietsluizen en het verval tussen het Haringvliet en de voordelta aangegeven.

De rivierafvoer is gebaseerd op het meetpunt van de Rijn bij Lobith. Dit meetpunt is gekozen om een goede indicatie te krijgen van de afvoer van het Haringvliet (Kuiken, 2021). Aan de hand van deze gegevens is de rivierafvoer bekend. Door dit te vergelijken met de hoeveelheid m² opening van de Haringvlietsluizen kan het spuidebiet berekend worden. Het spuidebiet wordt berekend met de volgende formule (Meinard Tiessen, 2019):

$Q = A * \mu * \sqrt{(2 * g * \Delta h)}$, waarin:

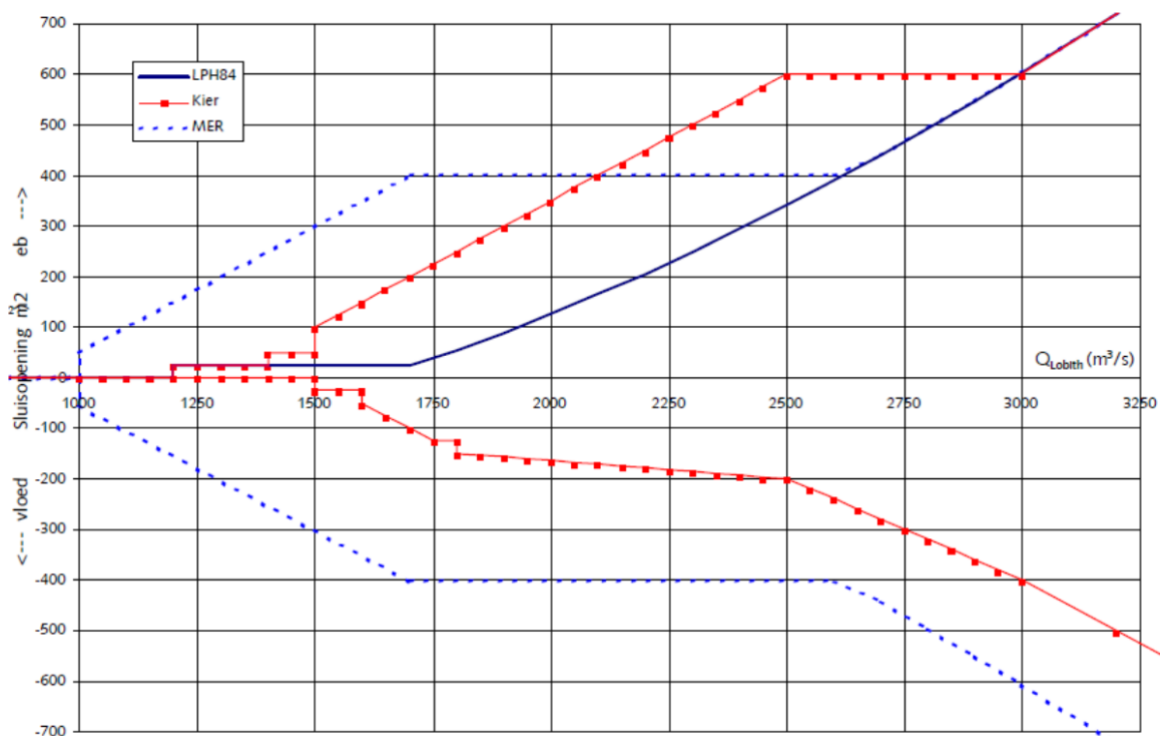
Q Debiet door de Haringvlietsluizen (m³/s),

A Doorstroomoppervlak (m²),

g Zwaartekrachtversnelling (9.81 (m²/s)),

Δh Waterstandverschil over de sluisen (m), bepaald op basis van gemeten waterstanden

μ Afvoercoëfficiënt 0,8 [-].



Figuur 8 Haringvliet operationeel programma (Noordhuis, Haringvliet na de kier, 2017)

In Figuur 8 is de grootte van de doorstroomopening in vergelijking met de rivierafvoer bij Lobith te zien. Met behulp van het operationeel programma en de sluisconfiguratie van het Haringvliet na de kier (Noordhuis, Het Haringvliet na de kier, 2017) is in dit hoofdstuk berekend wat de daadwerkelijke afvoer van de Haringvlietsluizen kan zijn bij een bepaalde doorstroomopening. Dit is per scenario onderbouwd in het deelhoofdstuk 'debiet'.

In de scenario's is te zien dat vanaf een bepaalde afvoer bij Lobith en de bijbehorende doorstroomoppervlakte van de Haringvlietsluizen de berekende spuidebieten uitkomen op een debiet groter dan het debiet bij Lobith. Dit wordt in de scenario's aangegeven als > (groter dan). Dit wil zeggen dat bij een bepaalde combinatie van verval, debiet bij Lobith en doorstroomoppervlakte het spuidebiet gelijk is aan het inkomende debiet op het Haringvliet. In de Excel sheet wordt deze grens aangegeven door middel van een scheiding tussen groene en rode kleur (15.13 Excel sheet afstudeeronderzoek).

Het getij heeft invloed op de waterstanden in de voordelta (meetpunt Stellendam buiten). In het gemiddelde scenario (scenario 1) wordt onderscheid gemaakt tussen doodtij, gemiddeld tij en springtij. Het onderscheiden van de typen getij zorgt voor een aanvulling in het gemiddelde scenario.

Doodtij houdt in dat eb niet zo laag is als gemiddeld en vloed niet zo hoog is als gemiddeld. Springtij houdt in dat eb lager is dan gemiddeld en vloed hoger is dan gemiddeld. Dit heeft te maken met de stand van de zon en de maan ten opzichte van de aarde. Als de zon en de maan in elkaars verlengde staan dan neemt de aantrekkingskracht die ze op de aarde uitoefenen toe. Hierdoor treden er lagere en hogere waarden dan gemiddeld op (springtij). Als de zon en de maan haaks op elkaar staan dan neemt de aantrekkingskracht die ze op de aarde uitoefenen af. Hierdoor treden er minder lage en minder hoge waarden dan gemiddeld op (doodtij) (Rijkswaterstaat H. d., 2021)

De waterstanden zijn gebaseerd op de meetpunten (voor het Haringvliet) Hellevoetsluis en (voor de voordelta) Stellendam buiten. Aan de hand van deze gegevens kan het verval over de Haringvlietsluizen inzichtelijk worden gemaakt. Het verval is van belang voor het dimensioneren van de vispassage. De scenario's worden uiteindelijk ingedeeld op de hoeveelheid verval over de Haringvlietsluizen. Dit wordt gedaan omdat er erg veel combinaties mogelijk zijn van verval. Per scenario wordt aangegeven wanneer de situatie binnen het desbetreffende scenario valt. De maximale waterstand in de voordelta is NAP +2,50 meter. Dit is een randvoorwaarde vanuit Delta21 omdat NAP +2,5 meter het sluitpeil wordt van de nieuwe waterkering binnen het Delta21 plan (Lavooij, 2021).

Per scenario wordt in de bijlage beschreven op basis van welke data deze tot stand zijn gekomen en gecontroleerd.

De data-analyse is gebaseerd op meetgegevens van Rijkswaterstaat. Deze meetgegevens zijn opgevraagd bij waterinfo van Rijkswaterstaat en worden geleverd in Excel sheets. In deze sheets staan metingen van elke 10 minuten. Voor deze data-analyse is gebruikgemaakt van de metingen van het jaar 2018 en 2019 voor de waterstanden in de voordelta en het Haringvliet. Deze data zijn weergegeven in 15.6

Data-analyse waterstanden Haringvliet en 15.7 Data-analyse waterstanden voordelta. Voor het debiet bij Lobith en het spuidebiet van de Haringvlietsluizen zijn metingen van 2010 tot 2020 gebruikt. Deze data zijn weergegeven in 15.4 Data-analyse debiet bij Lobith en 15.5 Data-analyse debiet bij Haringvlietsluizen. In deze data-analyses deelt een boxplot de metingen op in kwartielen. Deze zijn onder te verdelen in de onderste 25% van de metingen, de middelste 50% van de metingen en de hoogste 25% van de metingen. Aan de hand van een boxplot is onderscheid te maken in de frequentie van de verschillende waterstanden en debieten.

7.1. Scenario 1

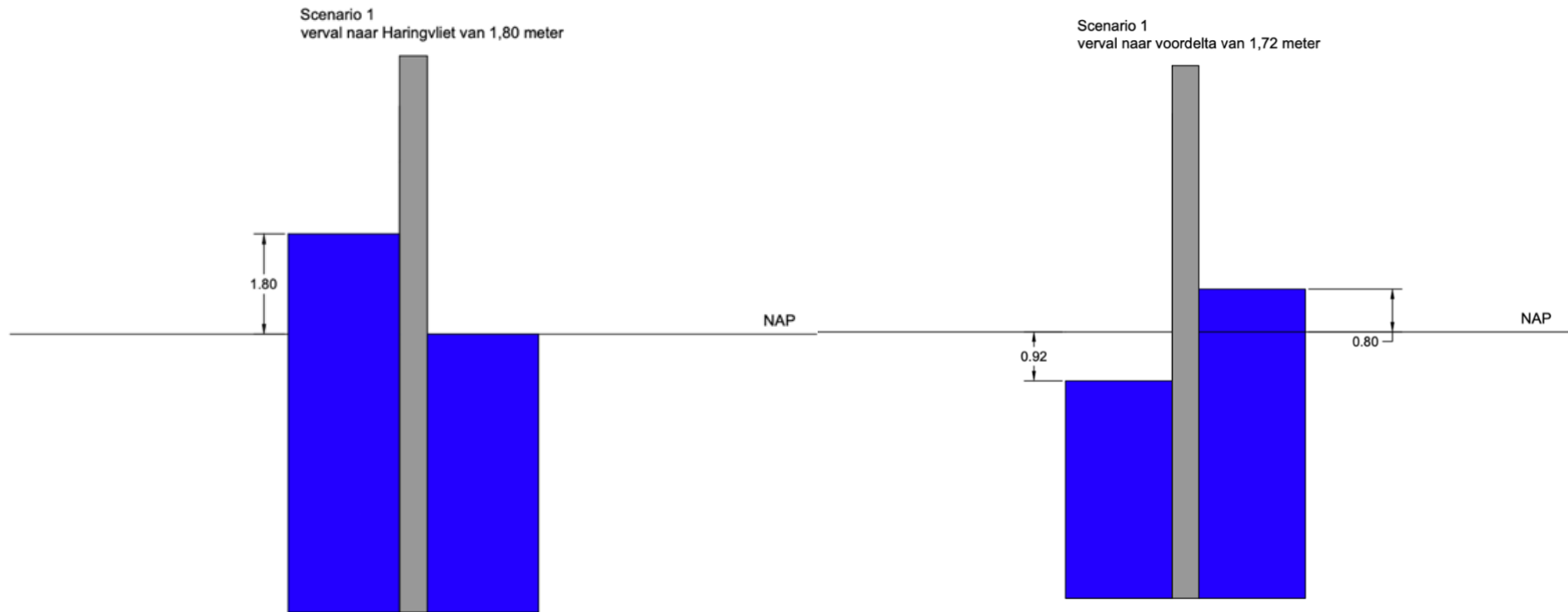
7.1.1. Waterstanden

Tabel 4 Gemiddelde waterstanden

Getij	Waterstand voordelta opzichte van NAP (cm)	Waterstand ten van Haringvliet ten opzichte van NAP (cm)	Max verval (cm)
Gemiddeld doortij			
➤ Laagwater	-77	0	180
➤ Hoogwater	+93	+80	
Gemiddeld tij			
➤ Laagwater	-86	0	180
➤ Hoogwater	+124	+80	
Gemiddeld springtij			
➤ Laagwater	-92 cm	0	180
➤ Hoogwater	+145 cm	+80	

In scenario 1 zijn de gemiddelde omstandigheden genomen. De grenswaterstanden in de voordelta zijn afkomstig uit Kenmerkende waarden getijdengebied van Rijkswaterstaat (informatievoorziening, 2011) (bijlage 15.10 Slotgemiddelde Haringvliet). Hier is gebruikgemaakt van de slotgemiddelden per getijtype. De grenswaterstanden in het Haringvliet zijn afkomstig van Rijkswaterstaat waterinfo (Rijkswaterstaat, Waterkwantiteit, 2021).

Voor scenario 1 geldt een maximaal verval van 1,80 meter zowel in de richting van de voordelta als in de richting van het Haringvliet. Hier geldt dat alle mogelijke combinaties van waterstanden binnen scenario 1 vallen als het verval binnen de 1,80 meter blijft. Als het verval groter wordt dan 1,80, valt die situatie binnen scenario 2 of zelfs scenario 3. Voor de onderbouwing van de waterstanden zie 15.6 Data-analyse waterstanden Haringvliet en 15.7 Data-analyse waterstanden voordelta.



Figuur 9 Schematisatie scenario 1, verval naar Haringvliet (Wolff, Scenario AutoCad tekening, 2021)

Figuur 10 Schematisatie scenario 1, verval naar voordelta (Wolff, Scenario AutoCad tekening, 2021)

7.1.2. Debiet

Tabel 5 Gemeten spuidebiet Haringvlietsluizen

Gemiddeld spuidebiet	536 m³/s
-----------------------------	----------------------------

Uit de data-analyse van het spuidebiet van de Haringvlietsluizen valt op te maken dat het gemiddelde spuidebiet in 2010-2015 580 m³/s bedroeg. In 2015-2020 bedroeg het gemiddelde spuidebiet 492 m³/s. Het gemiddelde over deze 10 jaar is 536 m³/s. Het spuidebiet heeft een directe relatie met de rivierafvoer bij Lobith, de grootte van de opening(en) van de sluizen en het verval. Het gemeten spuidebiet bij de Haringvlietsluizen wordt binnen de scenario's gebruikt om te vergelijken met de berekende waarde. Hier is voor gekozen omdat bij het gemeten spuidebiet alleen de afvoer bekend is. De overige informatie over de afvoer bij Lobith, de grootte van de doorstroomopening en het verval zijn bij het gemeten spuidebiet niet bekend en bij het berekende spuidebiet wel.

Tabel 6 Berekend spuidebiet Haringvlietsluizen, debiet bij Lobith van 1500 m³/s, (Wolff, Data-analyse spuidebiet, 2021)

Verval	0,5 meter	1 meter	1,5 meter
Debiet Lobith (m³/s)	1500	1500	1500
Doorstroomoppervlakte (m²)	100	100	100
Spuidebiet (m³/s)	250	354	434

Tabel 7 Berekend spuidebiet Haringvlietsluizen, debiet bij Lobith van 2000 m³/s, (Wolff, Data-analyse spuidebiet, 2021)

Verval	0,5 meter	1 meter	1,5 meter
Debiet Lobith (m³/s)	2000	2000	2000
Doorstroomoppervlakte (m²)	350	350	350
Spuidebiet (m³/s)	877	1240	1520

Tabel 8 Berekend spuidebiet Haringvlietsluizen, debiet bij Lobith van 2500 m³/s, (Wolff, Data-analyse spuidebiet, 2021)

Verval	0,5 meter	1 meter	1,5 meter
Debiet Lobith (m³/s)	2500	2500	2500
Doorstroomoppervlakte (m²)	600	600	600
Spuidebiet (m³/s)	1503	2126	>2500

In alle scenario's wordt het doorstroomoppervlakte en het debiet berekend aan de hand van het desbetreffende verval. Deze berekeningen zijn tot stand gekomen aan de hand van Figuur 8 en het operationeel programma van het Haringvliet na de kier. In Figuur 8 is te zien bij welke afvoer bij Lobith welke doorstroomopening door de sluizen horen. In het operationeel programma na de kier is de exacte doorstroomopening per afvoer te lezen. De formule voor het berekenen van het spuidebiet is afkomstig uit Data-analyse kierproef van Deltares (Meinard Tiessen, 2019). De berekeningen zijn te vinden in bijlage 15.13 Excel sheet afstudeeronderzoek.

In scenario 1 vallen alle situaties met een verval binnen de 1,80 meter. In dit scenario is gekozen voor 1500 m³/s, 2000 m³/s en 2500 m³/s als afvoer bij Lobith, omdat deze uit de data-analyse van de afvoer bij Lobith als gemiddeld gezien worden.

7.2. Scenario 2

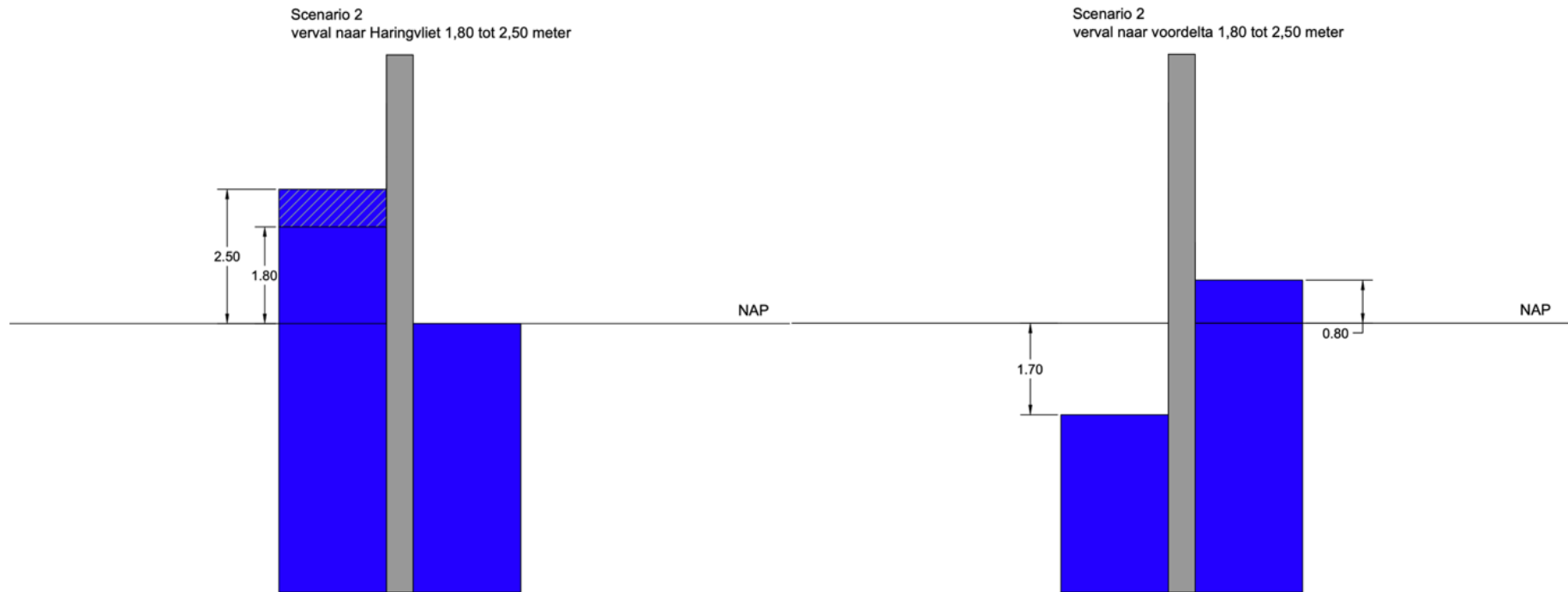
7.2.1. Waterstanden

Tabel 9 Hoge omstandigheden

Getij	Waterstand voordelta opzichte NAP (cm)	ten van	Waterstand Haringvliet opzichte NAP (cm)	Ten van	Max verval (cm)
Laagwater	-92 t/m -170		<0		180 t/m 250
Hoogwater	+146 t/m +200		+80 t/m +150		180 t/m 250

In scenario 2 zijn de hoge omstandigheden genomen die een paar keer per jaar voorkomen. De grenswaterstanden in de voordelta en het Haringvliet zijn afkomstig van Rijkswaterstaat waterinfo (Rijkswaterstaat, Waterkwantiteit, 2021).

Voor scenario 2 geldt een verval van 1,80 meter tot 2,50 meter zowel in de richting van de voordelta als in de richting van het Haringvliet. Hier geldt dat alle mogelijke combinaties van waterstanden met een verval tussen de 1,80 meter en 2,50 meter in scenario 2 vallen. Als het verval groter is dan 2,50 meter, valt die situatie binnen scenario 3. Voor de onderbouwing van de waterstanden zie 15.6 Data-analyse waterstanden Haringvliet en 15.7 Data-analyse waterstanden voordelta.



Figuur 11 Schematisatie scenario 2, verval naar Haringvliet (Wolff, Scenario AutoCad tekening, 2021)

Figuur 12 Schematisatie scenario 2, verval naar voordelta (Wolff, Scenario AutoCad tekening, 2021)

7.2.2. Debiet

Tabel 10 Gemeten spuidebiet Haringvlietsluizen

Hoog spuidebiet	2500 m³/s
------------------------	-----------------------------

Uit de data-analyse valt op te maken dat een spuidebiet van 2500 m³/s niet vaak voorkomt. In Figuur 40 is echter te zien dat regelmatig het spuidebiet deze grens passeert voor een geringe periode. In scenario 2 is 2500 m³/s gekozen als maatstaf. Dit is een waarde die zeker voorkomt, maar wel als hoog wordt beschouwd.

Tabel 11 Berekend spuidebiet Haringvlietsluizen, debiet bij Lobith van 3000 m³/s, (Wolff, Data-analyse spuidebiet , 2021)

Verval	2,0 meter	2,5 meter
Hoog debiet Lobith (m ³ /s)	3000	3000
Doorstroomoppervlakte (m ²)	600	600
Spuidebiet (m ³ /s)	>3000	>3000

Tabel 12 Berekend spuidebiet Haringvlietsluizen, debiet bij Lobith van 3600 m³/s, (Wolff, Data-analyse spuidebiet , 2021)

Verval	2,0 meter	2,5 meter
Hoog debiet Lobith (m ³ /s)	3600	3600
Doorstroomoppervlakte m ²	977	977
Spuidebiet (m ³ /s)	>3600	>3600

In scenario 2 vallen alle situaties met een verval tussen 1,80 meter en 2,50 meter. Als afvoer bij Lobith is in scenario 2 gekozen voor 3000 m³/s, en 3600 m³/s omdat deze uit de data-analyse van de afvoer bij Lobith als hoog kunnen worden gezien.

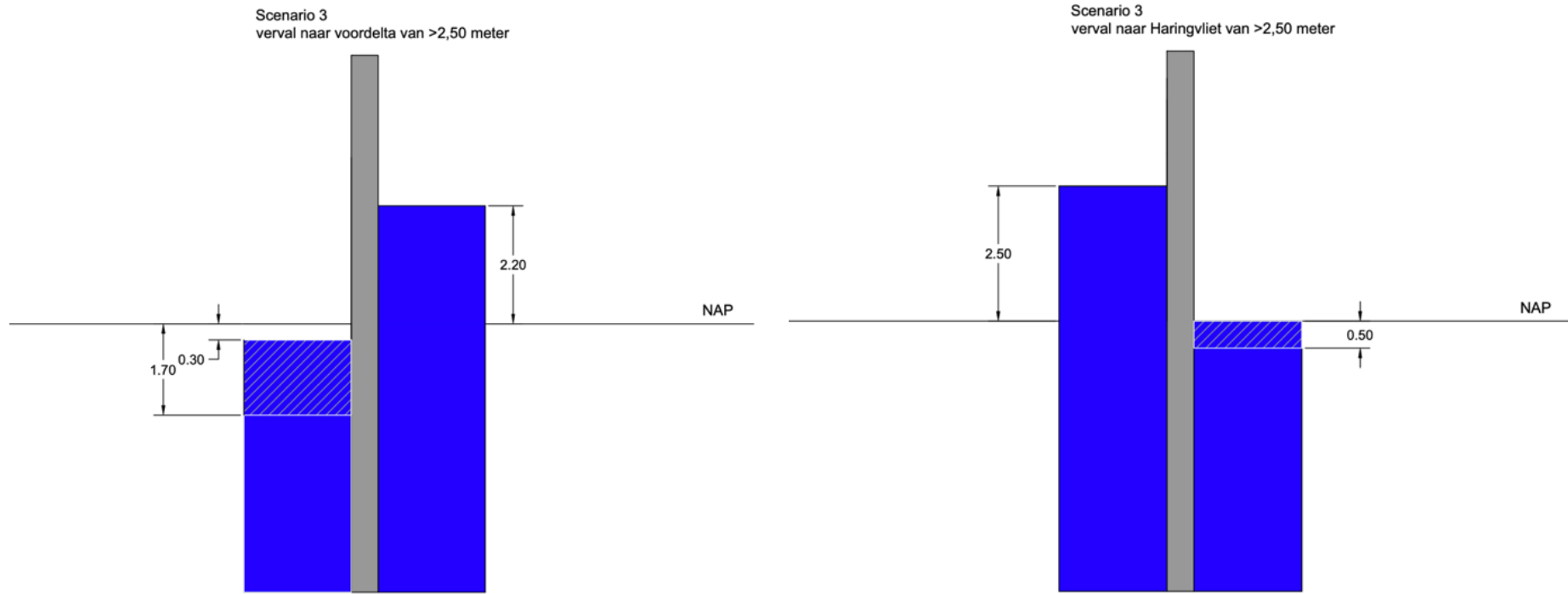
7.3. Scenario 3

7.3.1. Waterstanden

Tabel 13 Extreem hoge omstandigheden

Getij	Waterstand voordelta ten opzichte van NAP (cm)	Waterstand Haringvliet ten opzichte van NAP (cm)	Max verval (cm)
Laagwater	<-170	< 0	>250
Hoogwater	+200 t/m +250	+150 t/m +220	>250

In scenario 3 zijn de extreem hoge omstandigheden genomen die zelden voorkomen. Voor scenario 3 geldt een verval van meer dan 2,50 meter zowel in de richting van de voordelta als in de richting van het Haringvliet. Hier geldt dat alle mogelijke combinaties van waterstanden met een verval groter dan 2,50 meter in scenario 3 vallen.



Figuur 13 Schematisatie scenario 3, verval naar voordelta (Wolff, Scenario AutoCad tekening, 2021)

Figuur 14 Schematisatie scenario 3, verval naar Haringvliet (Wolff, Scenario AutoCad tekening, 2021)

7.3.2. Debiet

Tabel 14 Gemeten spuidebiet Haringvlietsluizen

Extreem spuidebiet >8000 m³/s

Uit de data-analyse valt op te maken dat een spuidebiet van >8000 m³/s een aantal keer is voorgekomen in de afgelopen 10 jaar. In Figuur 40 en Figuur 42 te zien dat deze een aantal keer de grens van 8000 m³/s heeft gepasseerd.

Tabel 15 Berekend spuidebiet Haringvlietsluizen, debiet van >4400 m³/s, (Wolff, Data-analyse spuidebiet, 2021)

Verval	3 meter	3,5 meter
Extreem debiet Lobith (m³/s)	4400	4400
Doorstroomoppervlakte (m²)	1361	1361
Spuidebiet (m³/s)	>4400	>4400

In scenario 3 vallen alle situaties met een verval groter dan 2,50 meter. Als afvoer bij Lobith is in scenario 3 gekozen voor 4400 m³/s om een extreme situatie aan te geven.

8. De vispassage

In dit hoofdstuk wordt onderzocht wat de beste optie voor de vispassage is binnen de lokale hydrologie. De keuze van de locatie van de vispassage zal worden gemaakt aan de hand van de benodigde dimensionering. In dit hoofdstuk wordt beschreven uit welke onderdelen de vispassage moet bestaan om voldoende zoetwateraanvoer te creëren voor het riviergedeelte (zie 2.3. **Afbakening**) en een goede migratieroute te bieden aan de vissoorten. Dit wordt gedaan aan de hand van het watersysteem van het plangebied (scenario's) en de opgestelde eisen. Om te bepalen welke oplossingsrichting passend is in dit plangebied wordt onderzoek gedaan naar verschillende mogelijkheden.

Er bestaan volgens Kroes en Monden (Monden, Visadvies, 2004) vier typen oplossingsrichtingen voor het mogelijk maken van vismigratie, namelijk:

- Natuurlijk;
- Semi natuurlijk;
- Technisch;
- Aangepast beheer.

Binnen de natuurlijke oplossing gaat het om het volledig herstellen van de natuurlijke situatie. Dat houdt in dat het gebied opnieuw wordt ingericht en een natuurlijk verhang wordt gerealiseerd. De Haringvlietsluizen kunnen niet verwijderd worden binnen het plangebied en het volledig openzetten van de sluisen is ook geen optie vanwege de zoetwaterfunctie die het Haringvliet heeft. Dit type oplossing valt om deze reden af.

Binnen de semi natuurlijke oplossing gaat het om het aanleggen van een nevengeul of stenen visdoorgang waar niet alleen de functie vispassage van belang is, maar ook paai- en opgroeigebied. In dit onderzoek wordt alleen gekeken naar de passage van de Haringvlietsluizen en hierbij is een nevengeul of stenen visdoorgang geen optie door de sterke waterpeilschommelingen.

Binnen de technische oplossing gaat het om een technische constructie die de vismigratie mogelijk maakt. Door middel van een technische oplossing komt er een verbinding tot stand tussen het bovenstroomse en benedenstroomse stroomgebied van de waterloop. Door de verschillende waterpeilen in het plangebied en de functie van de Haringvlietsluizen is een technische oplossing een goede optie. De huidige situatie blijft hetzelfde, er wordt alleen een technische constructie aan het watersysteem toegevoegd.

Binnen het type aangepast beheer gaat het erom of vismigratie mogelijk gemaakt kan worden door het beheer aan te passen. In dit plangebied is dat gebeurd door middel van het kierbesluit. Het beheer van de Haringvlietsluizen is aangepast om vismigratie mogelijk te maken. Aangepast beheer is sterk afhankelijk van menselijk handelen en de migratieroute is hierdoor niet 24/7 beschikbaar. Dit type oplossing voldoet niet aan eis 1 van Delta21 en eis 9 van de functie-eisen.

Door de complexe situatie in het plangebied met betrekking tot de verschillende randvoorwaarden en belangen van het Haringvliet, biedt een technische doorgang de oplossing. In bijlage 15.3 Richtingwijzer zoet-zout overgang is te zien wat voor mogelijke oplossingen bestaan binnen een zoet-zout overgang. Uit deze richtingswijzer komt een technische oplossing naar voren. Een natuurlijke of semi natuurlijke oplossing is niet mogelijk door de eisen gekoppeld aan waterveiligheid, saliniteit en zoetwatervoorziening binnen het plangebied. In dit hoofdstuk wordt een technische vispassage onderzocht, uitgewerkt en onderbouwd.

8.1. Technische vispassage

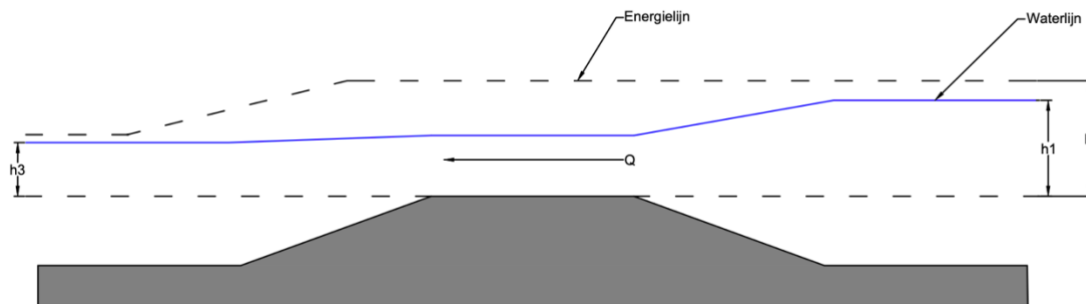
Technische vispassages zijn volgens Katopodis hydraulische constructies die zorgen dat vissen obstakels en barrières kunnen passeren voor migratiedoeleinden (C.Katopodis, 2011). Volgens Environment Agency (Greg S Armstrong, 2010) wordt een vispassage gedefinieerd als elke vorm van een constructie die zorgt voor een vrije doorgang voor vissen over, door of rond een door de mens gemaakte barrière.

Technische vispassages dienen verschillende functies te hebben om de migratie van vissen mogelijk te maken. Bij voorkeur kunnen vissoorten in een technische vispassage zowel bij eb als vloed passeren. Als de vissoorten bij vloed de passage passeren, heeft het de voorkeur dat een gedeelte van het zoute water ook door de vispassage stroomt, dit creëert een kleine brakwaterzone. Bij eb dient er een voldoende grote lokstroom gecreëerd te worden waardoor de vissen de passage kunnen vinden. De functionaliteit van de technische vispassage is sterk afhankelijk van de benodigde dimensies (Monden, Visadvies, 2004).

Uit het vooronderzoek is gebleken dat de zoetwateraanvoer door de vispassage 3-5% moet zijn ten opzichte van het naastliggende kunstwerk. Voor veel bestaande vispassages gaat de gehele zoetwateraanvoer door de vispassage zelf. Dit is vaak het geval bij relatief kleine debieten van het naastliggende kunstwerk of de naastliggende waterloop. In dit plangebied is het naastliggende kunstwerk de Haringvlietssluisen en hier kan het spuidebiet erg groot worden. De zoetwateraanvoer dient alleen gerealiseerd te worden tijdens eb. Tijdens vloed kunnen de vissen door middel van het getij zich mee laten stromen in de vispassage. Kijkend naar referentieprojecten als de vismigratierivier bij Kornwerderzand moet de passage onderverdeeld worden in verschillende secties om te kunnen voldoen aan een goede migratiemogelijkheid en voldoende zoetwatervoorziening. Dit houdt dus in dat de technische vispassage twee verschillende secties krijgt. Namelijk de sectie voor voldoende zoetwateraanvoer en de sectie voor vispassage.

8.2. Hoofdstroom zoetwateraanvoer

De zoetwateraanvoer dat door de vispassage dient te stromen is het eerste onderdeel van de vispassage dat hieronder uitgewerkt gaat worden. Doordat de vismigratierivier voldoende zoetwater in het systeem moet krijgen, wordt de hoofdstroom van de vispassage aangeduid als zoetwateraanvoer. Omdat een opening in de Haringvlietdam een plaatselijke beperking is van de waterdiepte, is deze constructie hydraulisch gezien een overlaat (Vries, 1959). In Figuur 15 is een zijaanzicht van een overlaat weergegeven met de daarbij behorende parameters.



Figuur 15 Schematisatie overlaat (Wolff, AutoCad tekening overlaat)

De eis (eis 8) van Delta21 voor een minimaal debiet van $20 \text{ m}^3/\text{s}$ is van belang bij het bepalen van de afmetingen. Bij een hoger spuidebiet van de Haringvlietssluisen dient het debiet van de zoetwateraanvoer door de vispassage mee te stijgen. Zoals in de eisen en randvoorwaarden beschreven dient dit minimaal 3% tot 5% te zijn ten opzichte van het spuidebiet van de Haringvlietssluisen. Deze zoetwateraanvoer per scenario wordt in dit hoofdstuk beschreven en berekend.

Er zijn twee typen overlaten namelijk een korte en een lange overlaat (Rutten, 2018). Waar exact de overgang zit tussen een korte en lange overlaat is niet bekend. Maar vaak wordt een schot of erg kleine beperking van de waterdiepte gezien als een korte overlaat en wordt een drempel of een erg lange beperking van de waterdiepte gezien als lange overlaat (Massing, 2017). Toch is onderscheid te maken tussen korte en lange overlaten. Bij korte overlaten zijn de stromingslijnen boven de overlaat gekromd. Bij een lange overlaat zijn de stromingslijnen recht (Massing, 2017).

Omdat het in dit geval gaat om een lange beperking van de waterdiepte is het een lange overlaat. Binnen een lange overlaat zijn er twee verschillende mogelijkheden, namelijk een onvolkomen overlaat en een volkomen overlaat (Massing, 2017). Een onvolkomen overlaat houdt in dat de waterstand benedenstrooms (h_3) invloed heeft op het debiet dat over de overlaat stroomt. Een volkomen overlaat houdt in dat het de waterstand benedenstrooms (h_3) geen invloed heeft op het debiet dat over de overlaat stroomt. Over een volkomen overlaat kan het water vrij afstromen (Vries, 1959). De formules van een onvolkomen en volkomen overlaat zijn:

Onvolkomen overlaat (Massing, 2017)

$$Q = C * B * h_3 * \sqrt{2g * (H - h_3)}$$

- Q = Debiet (m³/s)
- C = Afvoercoëfficiënt (m^{1/2}/s)
- H₃ = Waterstand na de overlaat (m)
- G = Zwaartekracht versnelling (m/s²)
- H = Energiehoogte (m)

Volkomen overlaat (Massing, 2017)

$$Q = C * B * H^{3/2}$$

- Q = Debiet (m³/s)
- C = Afvoercoëfficiënt (m^{1/2}/s)
- B = Breedte overlaat (m)
- H = Energiehoogte (m)

Energiehoogte (Rutten, 2018)

$$H_1 + (v_1^2 / 2g)$$

- H₁ = Waterstand voor de overlaat (m)
- V₁ = Stroomsnelheid voor de overlaat (m/s)
- G = zwaartekrachtversnelling (m/s²)

Om erachter te komen of de overlaat onvolkomen of volkomen is wordt de volgende vergelijking gebruikt (RIONED, 2019):

- $\Delta h < 1/3 H$ = Onvolkomen overlaat
- $\Delta h \geq 1/3 H$ = Volkomen overlaat

De zoetweraanvoer moet minimaal 20 m³/s (eis 8 Delta21) bedragen tijdens periodes dat de Haringvlietsluizen dicht staan. Als de Haringvlietsluizen dicht staan, is de stroming door de vispassage de enige stroming van het Haringvliet naar de voordelta. De vissen zullen deze stroom dan met gemak vinden. Tijdens perioden dat de Haringvlietsluizen wel openstaan, dient de zoetweraanvoer door de vispassage 3% tot 5% te zijn van het debiet dat door de Haringvlietsluizen stroomt. Het spuidebiet van de Haringvlietsluizen verschilt per afvoer bij Lobith en per verval. (Bijlage 15.13 Excel sheet afstudeeronderzoek).

In Tabel 16 tot en met Tabel 21 is de hoeveelheid m³/s te zien welke als zoetweraanvoer door de vispassage dient te stromen. Bij een afvoer bij Lobith van 1500 m³/s is 20 m³/s als zoetweraanvoer meer dan de gestelde eis van 3% tot 5%. Bij een afvoer groter dan 1500 m³/s bij Lobith dient de zoetweraanvoer mee te groeien met de berekende waarden zoals weergegeven in de tabellen.

Scenario 1

Tabel 16, Scenario 1, zoetweraanvoer Lobith 1500 m³/s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021)

Verval	0,5 m	1,0 m	1,5 m
Spuidebiet (m ³ /s)	250	354	434
3%-5% (m ³ /s)	7,50-12,50	10,62-17,7	13,1-21,7

Tabel 17, Scenario 1, zoetweraanvoer Lobith 2000 m³/s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021)

Verval	0,5 m	1,0 m	1,5 m
Spuidebiet (m ³ /s)	877	1240	1520
3%-5% (m ³ /s)	26,3-43,85	37,2-62	45,6-76

Tabel 18, Scenario 1, zoetweraanvoer Lobith 2500 m³/s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021)

Verval	0,5 m	1,0 m	1,5 m
Spuidebiet (m ³ /s)	1503	2126	>2500
3%-5% (m ³ /s)	45-75,15	63,78-106,30	75-125

Scenario 2

Tabel 19 Scenario 2, zoetweraanvoer Lobith 3000 m³/s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021)

Verval	2,0 m	2,5 m
Spuidebiet (m ³ /s)	>3000	>3000
3%-5% (m ³ /s)	90-150	90-150

Tabel 20 Scenario 2, zoetweraanvoer Lobith 3600 m³/s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021)

Verval	2,0 m	2,5 m
Spuidebiet (m ³ /s)	>3600	>3600
3%-5% (m ³ /s)	108-180	108-180

Scenario 3

Tabel 21 Scenario 3, zoetweraanvoer Lobith 4400 m³/s, (Wolff, Data-analyse zoetweraanvoer, 2021)

Verval	3,0 m	3,5 m
Spuidebiet (m ³ /s)	>4400	>4400
3%-5% (m ³ /s)	132-220	132-220

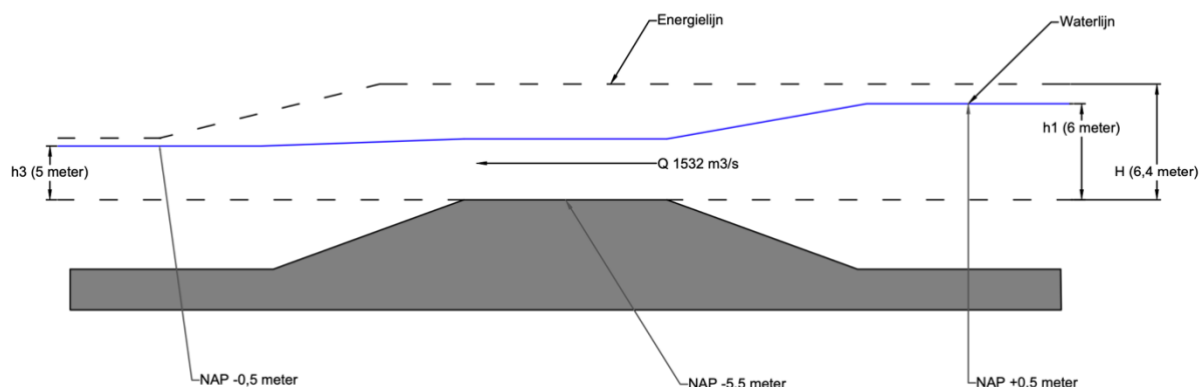
8.3. Noordelijkste sluis

De meest noordelijke sluis van de Haringvlietsluizen is 56,6 meter breed en de onderkant van de opening ligt op NAP -5,5 meter. In de berekeningen is voor ontwerpdoeleinden uitgegaan van een waterstand op het Haringvliet van NAP +0,5 meter. Deze waterstand is de gemiddelde waterstand op het Haringvliet (bijlage 15.6 Data-analyse waterstanden Haringvliet). De waterstanden in de voordelta zijn opgedeeld in de opgestelde scenario's met stappen van 0,1 meter. Op deze manier is nagegaan wat het debiet met de bijbehorende stroomsnelheden zijn bij een geheel open sluisopening. Dit is berekend per verval van 0,1 meter tot 3 meter.

Bij een waterstand van NAP +0,5 meter op het Haringvliet houdt het in dat de waterstand h_1 boven de kruin van de overlaat 6 meter bedraagt ($5,5+0,5$). De waterstanden in de voordelta h_3 worden per stap van 0,1 meter verlaagd. Dit resulteert in het bovengenoemde verval van 0,1 tot 3 meter.

Voor de stroomsnelheid voor de overlaat zijn 0,1 m/s en 0,3 m/s genomen. Deze worden aangehouden als twee uitersten. Voor ontwerpdoeleinden wordt 0,1 m/s genomen als de Haringvlietsluizen dicht staan en 0,3 m/s als de Haringvlietsluizen openstaan. 0,3 m/s is dan als stroomsnelheid voor de overlaat relatief hoog.

In Figuur 16 is een schematische weergave gegeven van een situatie met een verval van 1 meter en een stroomsnelheid voor de overlaat van 0,3 m/s.



Figuur 16, Schematische weergave overlaat bij verval van 1 meter en stroomsnelheid van 0,3 m/s, (Wolff, AutoCad tekening overlaat, 2021)

Om een beeld te geven bij de grootte van de debieten en stroomsnelheden zijn een aantal combinaties weergegeven in Tabel 22 en Tabel 23. Alle berekeningen zijn bijgevoegd in bijlage 15.13 Excel sheet afstudeeronderzoek.

Tabel 22 Overlaat berekening opening Noordelijkste sluis 0,1 m/s, (Wolff, Data-analyse zoetwateraanvoer, 2021)

Verval	0,1 m	0,5 m	1,0 m
Doorstroom oppervlakte (m²)	360	360	360
Debiet (m³/s)	187	642	1115
Stroomsnelheid (m/s)	0,52	1,78	3,10

Tabel 23 Overlaat berekening opening Noordelijkste sluis 0,3 m/s, (Wolff, Data-analyse zoetwateraanvoer, 2021)

Verval	0,1 m	0,5 m	1,0 m
Doorstroom oppervlakte (m²)	360	360	360
Debiet (m³/s)	679	1100	1532
Stroomsnelheid (m/s)	1,89	3,06	4,26

Zoals te zien in Tabel 22 en Tabel 23 zijn deze debieten en stroomsnelheden hoog. Het aanpassen en reguleren van het water door de opening van de Noordelijkste sluis wordt dusdanig complex en grootschalig dat er wordt gekozen voor een nieuwe doorlaat. Het komt erop neer dat het doorstroomoppervlakte van de meest Noordelijke sluis te groot is. Deze grote doorstroomoppervlakte resulteert in te hoge afvoeren en stroomsnelheden voor een vispassage binnen de lokale hydrologie.

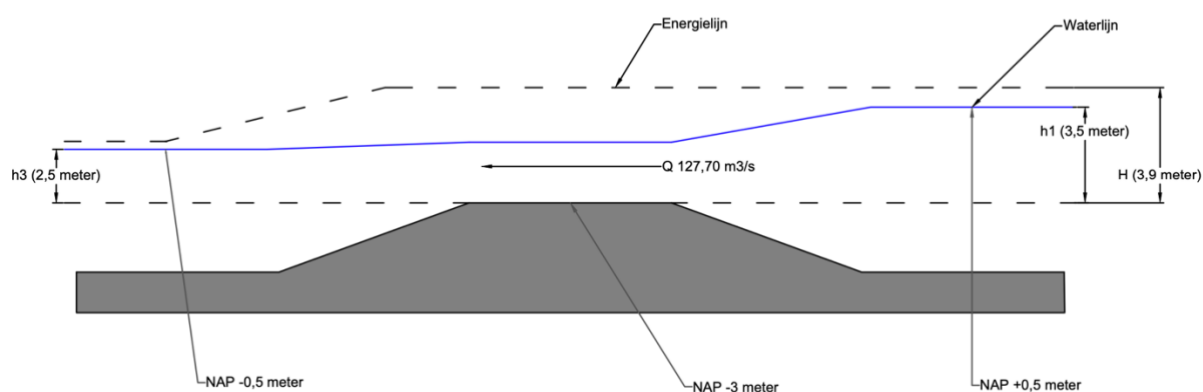
8.4. Nieuwe doorlaat

Het dimensioneren van een nieuwe doorlaat is in dit geval gunstig omdat alle afmetingen vooraf berekend en onderzocht kunnen worden voor de ideale situatie. In tegenstelling tot het gebruiken van de meest Noordelijke sluis waar erg veel aanpassingen nodig zijn om tot een goed werkend systeem te komen. De nieuwe doorlaat wordt getoetst aan dezelfde berekeningen als die van de meest Noordelijke sluis.

De hoeveelheid zoet water dat door de doorlaat moet stromen is per situatie bekend. Deze zijn weergegeven in Tabel 16 tot en met Tabel 21. Het minimale debiet zoetwater is $20 \text{ m}^3/\text{s}$ en de maximale zoetwateraanvoer is meer dan $220 \text{ m}^3/\text{s}$. Het ontwerp dient in ieder geval te kunnen voldoen aan de zoetwatervraag van scenario 1 en 2. Scenario 3 wordt ook meegenomen in de toetsing, echter doordat dit scenario wordt aangeduid als een extreem scenario bestaat de kans dat tijdens dit scenario de vispassage volledig gesloten dient te worden vanuit veiligheidsoverwegingen.

Voor de nieuwe doorlaat zijn in de berekeningen verschillende waarden gebruikt. Ten eerste de hoogte van de kruin van de overlaat. Berekeningen zijn gedaan voor een hoogte van NAP -1 meter, NAP -1,5 meter, NAP -2 meter, NAP -2,5 meter en NAP -3 meter. Ten tweede de stroomsnelheid voor de overlaat. Berekeningen zijn gedaan voor een stroomsnelheid voor de overlaat van $0,1 \text{ m/s}$ en $0,3 \text{ m/s}$. Ten derde de breedte van de overlaat. Voor de breedte van de overlaat is in de berekeningen 10 meter genomen. De breedte van de overlaat heeft in de berekeningen alleen invloed op het debiet. Ten vierde het verval. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een verval van 0,1 meter tot en met 3 meter. Ook zijn de situaties in de Excel sheet ingedeeld per scenario. De afvoercoëfficiënt van 0,8 die gebruikt wordt voor de berekeningen is afkomstig uit het rapport van Deltares Data-analyse kierproef Haringvliet zoetspoelen (Meinard Tiessen, 2019).

In Figuur 17 is een schematische weergave gegeven van een situatie met een verval van 1 meter en een stroomsnelheid voor de overlaat van $0,3 \text{ m/s}$. De bovenkant van de overlaat ligt in deze afbeelding op NAP -3 meter.



Figuur 17, Schematische weergave overlaat bij verval van 1 meter en stroomsnelheid van $0,3 \text{ m/s}$, (Wolff, AutoCad tekening overlaat, 2021)

In Tabel 24 zijn de berekende debieten en stroomsnelheden te zien bij een verval van 0,5 meter en een stroomsnelheid van 0,1 m/s voor de overlaat.

Tabel 24 Berekeningen nieuwe overlaat bij verval 0,5 meter en stroomsnelheid voor de overlaat van 0,1 m/s, (Wolff, Data-analyse zoetwateraanvoer, 2021)

Hoogte overlaat	NAP -1	NAP -1,5	NAP -2	NAP -2,5	NAP -3
Debiet (m³/s)	19,46	29,18	37	48,64	58,37
Stroomsnelheid (m/s)	1,3	1,46	1,48	1,62	1,67

In Tabel 25 zijn de berekende debieten en stroomsnelheden te zien bij een verval van 0,5 meter en een stroomsnelheid van 0,3 m/s voor de overlaat.

Tabel 25 Berekeningen nieuwe overlaat bij verval 0,5 meter en stroomsnelheid voor overlaat van 0,3 m/s, (Wolff, Data-analyse zoetwateraanvoer, 2021)

Hoogte overlaat	NAP -1	NAP -1,5	NAP -2	NAP -2,5	NAP -3
Debiet (m³/s)	33	50	63	83,4	100
Stroomsnelheid (m/s)	2,2	2,5	2,54	2,78	2,86

Zoals in de tabellen hierboven te zien is de stroomsnelheid voor de overlaat een parameter die grote invloed heeft op het debiet en stroomsnelheid over de overlaat. In de berekeningen is 0,3 m/s op het Haringvliet als maximum aangehouden. Dit is dezelfde grootte als de stroomsnelheid uit de eisen (eis15). Als de stroomsnelheid groter is dan 0,3 m/s kunnen niet alle vissen die gebruik maken van de vismigratierivier vrij het Haringvliet opzwemmen.

De maximale afvoer over de overlaat is afhankelijk van het verval en de verhouding tussen Δh en $1/3$ van de energiehoogte. Aan de hand van de gegeven vergelijking kan worden bepaald of de overlaat onvolkomen of volkomen is.

$\Delta h < 1/3 H$ = Onvolkomen overlaat

$\Delta h \geq 1/3 H$ = Volkomen overlaat

Als de overlaat volkomen is dan kan deze vrij zijn water afvoeren en blijft ook het debiet en de stroomsnelheid gelijk. Per afmetingen verschilt het waar de grens ligt tussen een onvolkomen of volkomen overlaat. In bijlage 15.13 Excel sheet afstudeeronderzoek is per situatie aangegeven om wat voor soort overlaat het gaat.

Tabel 26 Berekeningen nieuwe overlaat bij verval van 1,5 meter en een stroomsnelheid voor overlaat van 0,1 m/s, (Wolff, Data-analyse zoetwateraanvoer, 2021)

Hoogte overlaat	NAP -1	NAP -1,5	NAP -2	NAP -2,5	NAP -3
Debiet (m³/s)	43,62	66,37	92,02	120,47	151,29
Stroomsnelheid (m/s)	2,91	3,32	3,68	4,02	4,32

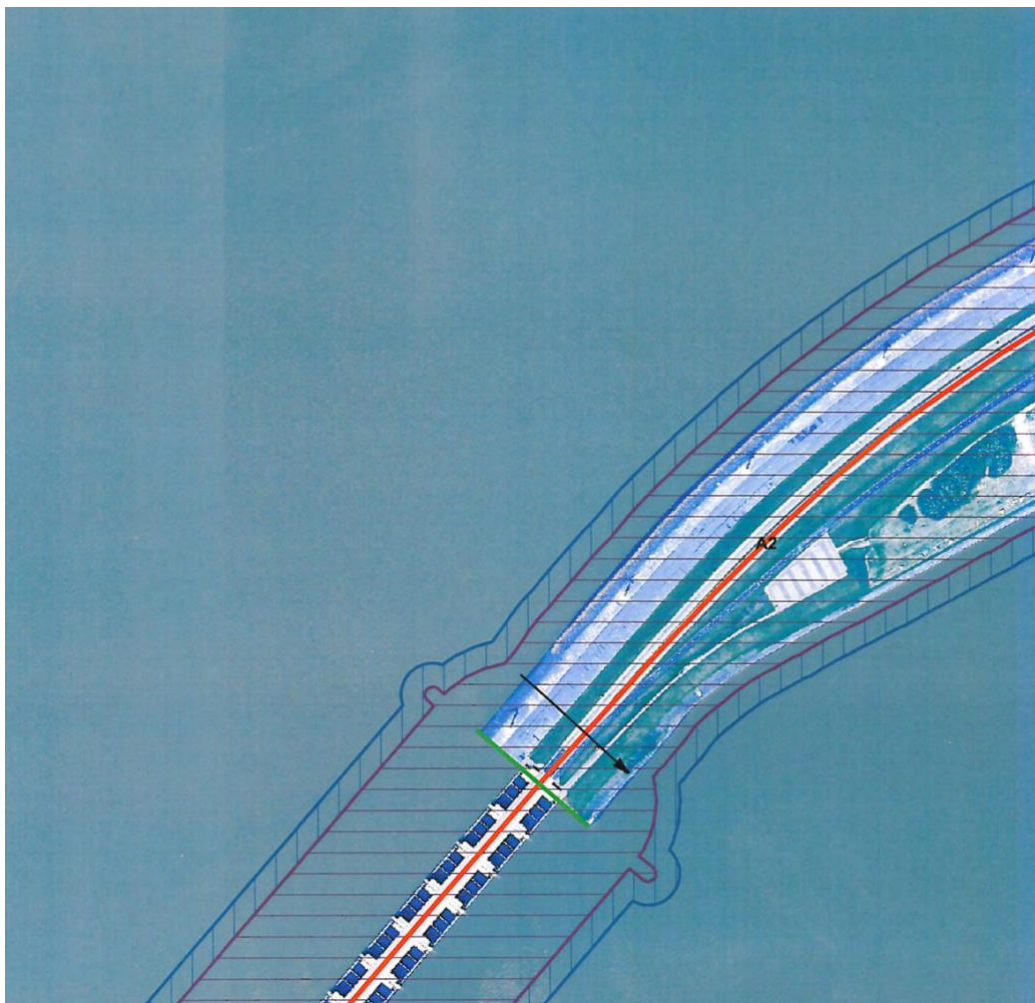
Tabel 27 Berekening nieuwe overlaat bij verval van 1,5 meter en een stroomsnelheid voor de overlaat van 0,3 m/s, (Wolff, Data-analyse zoetwateraanvoer, 2021)

Hoogte overlaat	NAP -1	NAP -1,5	NAP -2	NAP -2,5	NAP -3
Debiet (m³/s)	61	86	114	144	177
Stroomsnelheid (m/s)	4,0	4,32	4,57	4,82	5,06

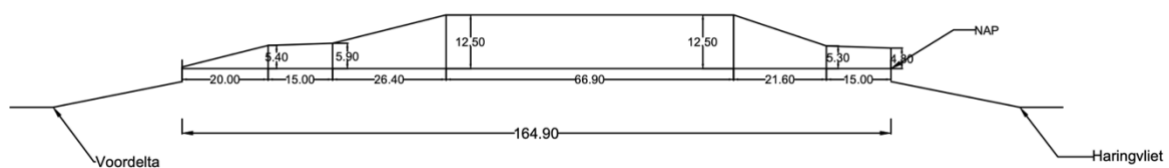
8.5. Locatie

De locatie van de vispassage is gebaseerd op het vooronderzoek (van de Wolff & Lokker, 2021), eis 4 van Delta21 en uit het hoofdstuk definiëren van het plangebied.

Eis 4 geeft aan dat de vispassage in het Noordelijk landhoofd van de Haringvlietdam dient te komen. Dam vak A2 is het smalste gedeelte van het Noordelijk landhoofd en is daarom het gunstigst voor de vispassage. Uit de overlaatberekeningen van de meest Noordelijke sluis en een geheel nieuwe doorlaat is gekomen dat een geheel nieuwe doorlaat de beste keuze is. De nieuwe doorlaat komt in het onderste gedeelte van dam vak A2 te liggen. Hier is het dam vak op zijn smalst en ligt de nieuwe doorlaat het dichtste bij de Haringvlietssluisen dat mogelijk gunstig is voor sturing, beheer en onderhoud van de vispassage.



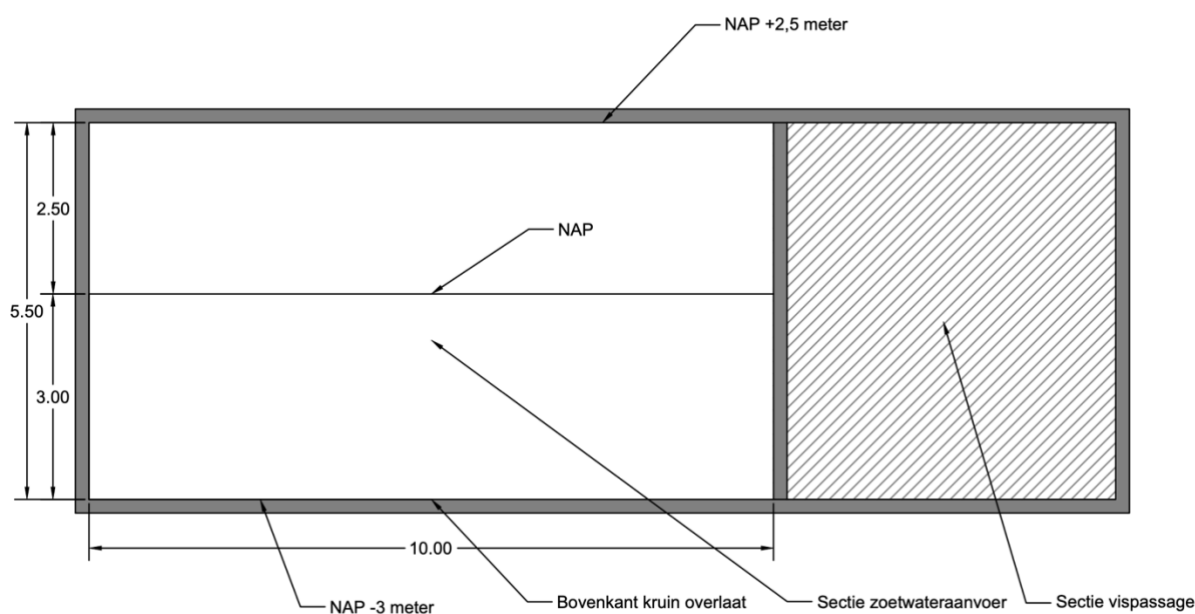
Figuur 18 Dam vak A2 (Rijkswaterstaat A. , 2009).



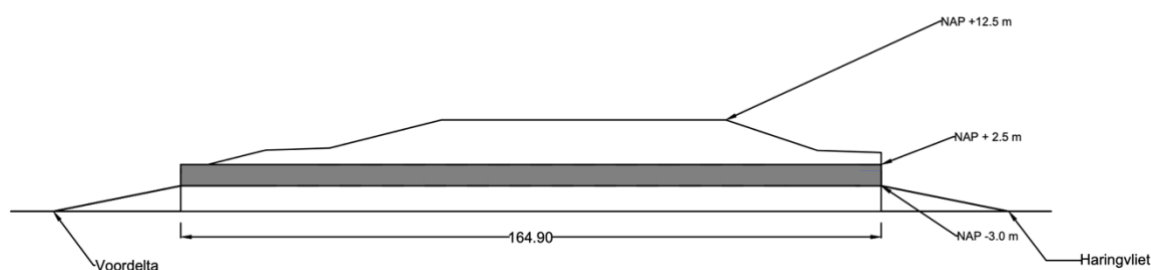
Figuur 19, Dwarsdoorsnede Haringvlietdam dam vak A2 (Wolff, AutoCad tekening dwarsdoorsnede Haringvlietdam dam vak A2, 2021)

8.6. Afmetingen

Als uitgegaan wordt van een minimaal debiet van 20 m³/s (eis 8 Delta21) en een maximaal debiet van 180 m³/s (maximaal benodigd debiet om te voldoen in scenario 2 zie Tabel 19) dan is een doorlaat met een kruinhoogte van NAP -3 meter het gunstigste (bijlage 15.13 Excel sheet afstudeeronderzoek). Bij een stroomsnelheid voor de overlaat van 0,1 m/s varieert het debiet tussen 18 m³/s en 151 m³/s. Bij een stroomsnelheid voor de overlaat van 0,3 m/s varieert het debiet tussen 65 m³/s en 177 m³/s. Dit houdt in dat alleen in een situatie van een stroomsnelheid voor de overlaat kleiner dan 0,1 m/s bij een verval kleiner dan 0,1 meter het debiet net onder de 20 m³/s komt, namelijk 2 m³/s. Dit is een klein verschil en is acceptabel aangezien de zoetwateraanvoer alleen nodig is tijdens eb. Tijdens vloed is de waterstand in de voordelta hoger dan die op het Haringvliet en draait het verval om in de richting van het Haringvliet.



Figuur 20 Vooraanzicht nieuwe doorlaat (Wolff, AutoCad tekening nieuwe doorlaat, 2021)



Figuur 21, Dwarsdoorsnede Haringvlietdam met doorlaat, (Wolff, AutoCad tekening nieuwe doorlaat, 2021)

De stroomsnelheden die in de nieuwe doorlaat op kunnen treden zijn hoger dan de gestelde eis van 0,3 m/s. In dit geval gaat het om een vrije doorstroming van het water over de overlaat. De berekende stroomsnelheden zijn de snelheden die optreden zonder dat het water gereguleerd wordt. De stroomsnelheden worden dus nog gereduceerd. Feit blijft dat de stroomsnelheden in de sectie zoetwateraanvoer veel hoger kunnen en mogen zijn dan in de sectie vispassage. De sterke zwemmers kunnen mogelijk gebruikmaken van de sectie zoetwateraanvoer voor migratie maar dit is niet het doel van deze sectie. Vismigratie zal voornamelijk plaatsvinden in de sectie vispassage.

8.7. Soorten technische vispassages

De sectie vispassage heeft als doel een zo groot mogelijk migratievenster te bieden voor alle vissoorten om te migreren tussen de voordelta en het Haringvliet. Dit betekent dat in de vispassage de stroomsnelheid niet hoger mag zijn dan de vereiste 0,3 m/s. In hoofdstuk 8.13. Operationele situatie vispassage worden de migratievensters met de daarbij behorende stroomsnelheden beschreven.

Er bestaan verschillende soorten technische vispassages. Elk type heeft zijn eigen kenmerken en zijn eigen voor- en nadelen. De typen technische vispassages die in dit onderzoek onderzocht worden zijn:

- Bekkenpassage;
- Vertical slot vispassage;
- De witvis passage;

8.7.1. Bekkenpassage

Een bekkenpassage bestaat uit verschillende bekkens (tussenruimtes) die van elkaar worden gescheiden door middel van schotten of overlaten. Het hoogteverschil dat overbrugt moet worden over de gehele barrière wordt met een bekkenpassage verdeeld over alle bekkens. Het hoogteverschil dat overblijft per bekken is voor vissen wel te nemen.

In een bekkenpassage kunnen de schotten of overlaten in sommige gevallen worden voorzien van een V-vormige overlaat. Dankzij deze V-vormige opening in het midden van de overlaat blijft de stroomsnelheid over de overlaat laag genoeg. Ook zorgt de V-vormige opening in het midden van de overlaat voor rustplekken aan de zijkanten van de bekkens. Dit stromingspatroon is te vergelijken met kribben in een rivier (Monden, Visadvies, 2004).

De voor- en nadelen van de Bekkenpassage zijn als volgt (Monden, Visadvies, 2004).
Voordelen:

- Een gevarieerd stromingspatroon met voldoende rustplaatsen;
- Ook bij zeer lage debieten blijft er water in de bekkens aanwezig;
- Geschikt voor grote variatie aan debieten;
- Eenvoudige constructie;
- Natuurlijk ogende oplossing.

Nadelen:

- Niet geschikt voor situaties met grote peilschommelingen;
- Het hoogteverschil kan voor bepaalde zwemmers een hindernis blijven;
- Constructie wordt groter naarmate het hoogteverschil toeneemt.

Doordat de bekkenpassage niet geschikt is voor situaties met grote peilschommelingen, is dit type passage niet geschikt voor dit plangebied. Hier zijn de waterpeilschommelingen namelijk groot. Scenario 1 heeft peilschommelingen tot 1,8 meter, scenario 2 tot 2,5 meter en scenario 3 tot wel 3 meter.

8.7.2. Vertical slot passage

Een vertical slot passage lijkt in eerste instantie op de bekkenpassage. Ook hier bestaat de passage uit verschillende bekkens die van elkaar gescheiden zijn door middel van schotten. In de vertical slot passage zitten verticale openingen in de schotten. Deze openingen lopen vanaf de bodem tot aan de bovenkant van het schot. Deze passage is geschikt voor situaties waar benedenstrooms sterke peilwisselingen plaatsvinden (Monden, Visadvies, 2004).

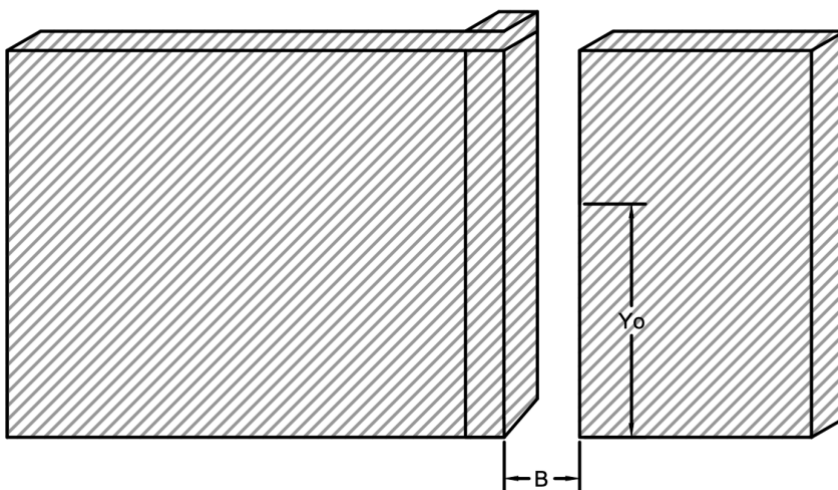
De voor- en nadelen van een vertical slot passage zijn volgens Kroes en Monden als volgt (Monden, Visadvies, 2004). Voordelen:

- Niet gevoelig voor peilschommelingen;
- Geschikt voor variatie aan debieten;
- Weinig ruimtebeslag;
- Migratie van vis over de gehele waterkolom;
- Weinig turbulente stroming.

Nadelen:

- De sleuven beperken de toepassing bij grotere debieten;
- Bij zeer lage debieten kan de vispassage leeglopen;
- Constructie wordt groter naarmate het hoogteverschil toeneemt;
- Geen natuurlijk ogende oplossing;
- Gevoelig voor verstopping van drijfvuil;
- Ondergrens van de breedte van de openingen.

Doordat de vertical slot passage niet gevoelig is voor grote peilschommelingen zou dit type vispassage goed in het plangebied passen. Uit de nadelen komt naar voren dat bij deze passage aandacht besteedt moet worden aan mogelijke verstoppingen, breedte van de openingen en zorgen dat de passage nooit leeg komt te staan.



Figuur 22 Vooraanzicht vertical slot passage (Wolff, AutoCad tekening vispassages, 2021)

8.7.3. De witvis passage

In de witvis passage wordt ook gebruikgemaakt van schotten die de passage opdelen in verschillende kamers. Per schot bevindt zich een onderwateropening. Deze openingen verspringen per schot (Monden, Visadvies, 2004).

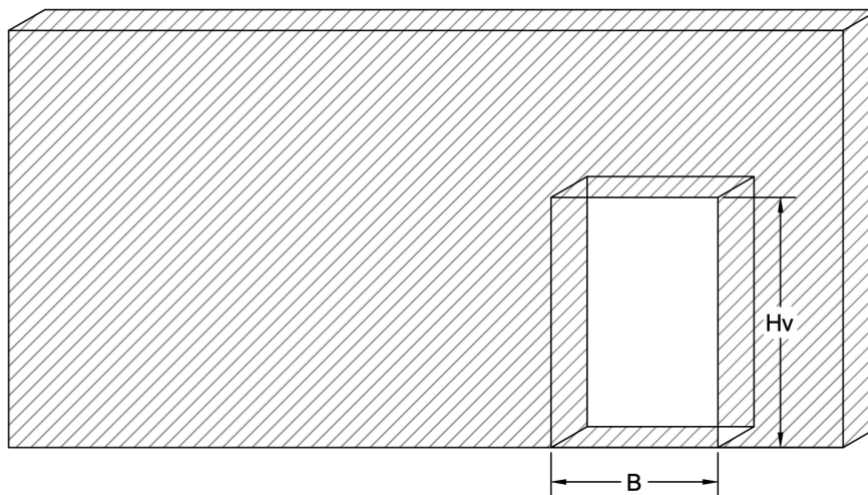
De voor- en nadelen van een witvis passage zijn volgens Kroes en Monden als volgt (Monden, Visadvies, 2004). Voordelen:

- Geschikt voor verschillende debieten;
- Geschikt voor sterk wisselende waterpeilen;
- Bij lage debieten is vismigratie nog mogelijk;
- Niet gevoelig voor ophoping drijfvuil in de constructie.

Nadelen:

- Gevoelig voor ophoping drijfvuil buiten de constructie;
- Ecologisch niet interessant;
- Opstuwning kan de stroomsnelheid in de onderwateropening sterk doen toenemen;
- Niet geschikt voor vissen die zich oriënteren aan de wateroppervlakte.

Doordat de witvispassage geschikt is voor verschillende debieten en wisselende waterpeilen zou dit type vispassage goed in het plangebied passen. Uit de nadelen komt naar voren dat deze passage niet geschikt is voor vissen die zich oriënteren aan de wateroppervlakte en dat door opstuwning van water in de passage de stroomsnelheid door de openingen sterk kan toenemen. Deze onderdelen dienen nader onderzocht te worden voor het huidige plangebied.



Figuur 23 Vooraanzicht witvis passage (Wolff, AutoCad tekening vispassages, 2021)

Keuze

Van deze drie typen vispassages valt de bekkenpassage in dit stadium al af. Dit komt doordat dit type niet geschikt is voor grote peilschommelingen en die komen in het plangebied vaak voor. De vertical slot passage en de witvis passage worden verder onderzocht aan de hand van hydraulische berekeningen.

8.8. Hydraulische berekeningen

Voor de vertical slot passage en de witvis passage is de hoeveelheid bekkens/kamers, het debiet, de stroomsnelheid en de hoeveelheid turbulentie van groot belang. De turbulentie moet kleiner zijn dan 100 W/m^3 (eis 14) en de stroomsnelheid mag niet hoger zijn dan 0,3 meter (eis 15). In bijlage 15.8 Hydraulische berekeningen vispassage worden de hydraulische berekeningen uitgewerkt.

7.8.1 Keuze

Aan de hand van de hydraulische berekeningen van de vispassages wordt een keuze gemaakt. Hoe lager de turbulentie en de stroomsnelheid in de vispassage, hoe makkelijker vissen gebruik kunnen maken van de passage.

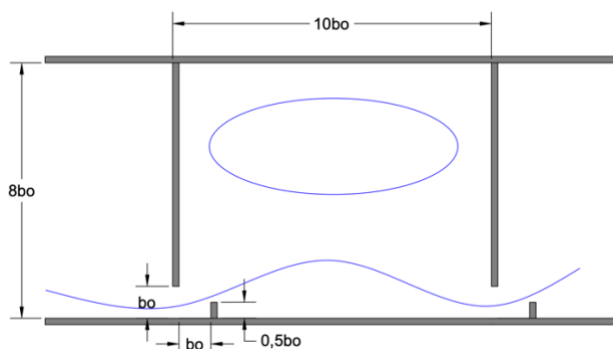
Uit de hydraulische berekeningen komt naar voren dat de witvis passage voor zowel de stroomsnelheid als de turbulentie een hogere waarde heeft dan de vertical slot passage. Dit gecombineerd met het benoemde nadeel van de witvis passage dat de vissoorten niet kunnen migreren op verschillende waterdieptes, maakt dat deze passage afvalt.

De vertical slot passage heeft lagere waardes voor zowel de stroomsnelheid als voor de turbulentie. Dit gecombineerd met het voordeel dat de vissen in deze passage wel in verschillende waterdieptes kunnen migreren, maakt dat deze passage het meest geschikt is.

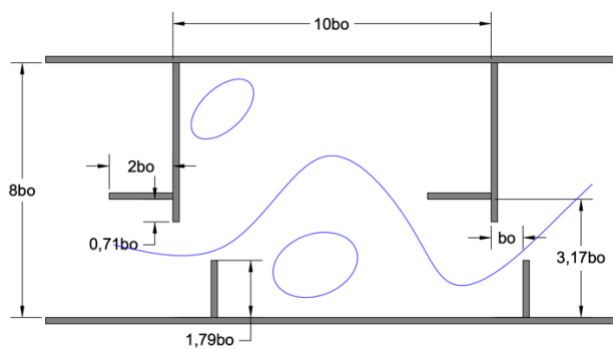
8.9. Soort vertical slot passage (Katopodis)

Katopodis heeft in 1992 onderzoek gedaan naar verschillende vertical slot passages. In dit onderzoek is gekeken naar verschillende ontwerpen van de vertical slot passage en de verschillende stromingspatronen in de bekkens. Zijn onderzoek heeft de resultaten weergegeven van 18 verschillende typen vertical slot passages zie bijlage 15.11 Vertical slot passages Katopodis. Dit onderzoek geeft de relatie weer tussen de dimensie loze afvoer Q^* , de waterdiepte in de bekkens en de breedte van de slots. Uit dit onderzoek is de vuistregel voor de afmetingen van de bekkens en slots gekomen. Voor de breedte van de bekkens geldt 8 maal de breedte van de slots en voor de lengte van de bekkens geldt 10 maal de breedte van de slots (C.Katopodis, 2011).

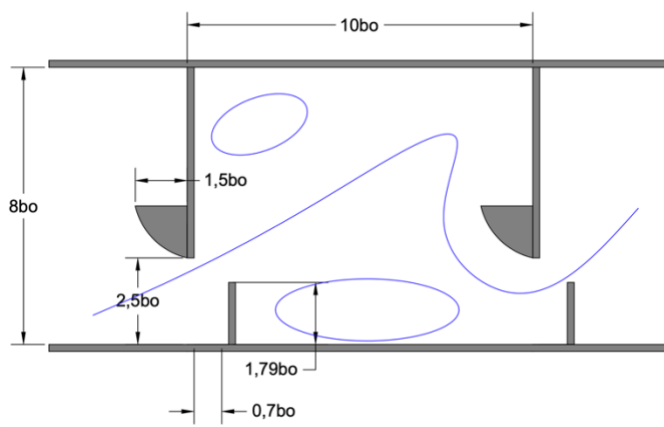
Katopodis heeft aan de hand van zijn onderzoek 3 typen passages aanbevolen door het praktisch gebruik, betere algehele prestaties en de eenvoud in ontwerp en constructie. De 3 aanbevolen typen zijn type 6, type 16 en 18 (C.Katopodis, 2011).



Figuur 24, Bovenaanzicht vertical slot passage type 6 (Wolff, AutoCad tekening vertical slot passage, 2021)

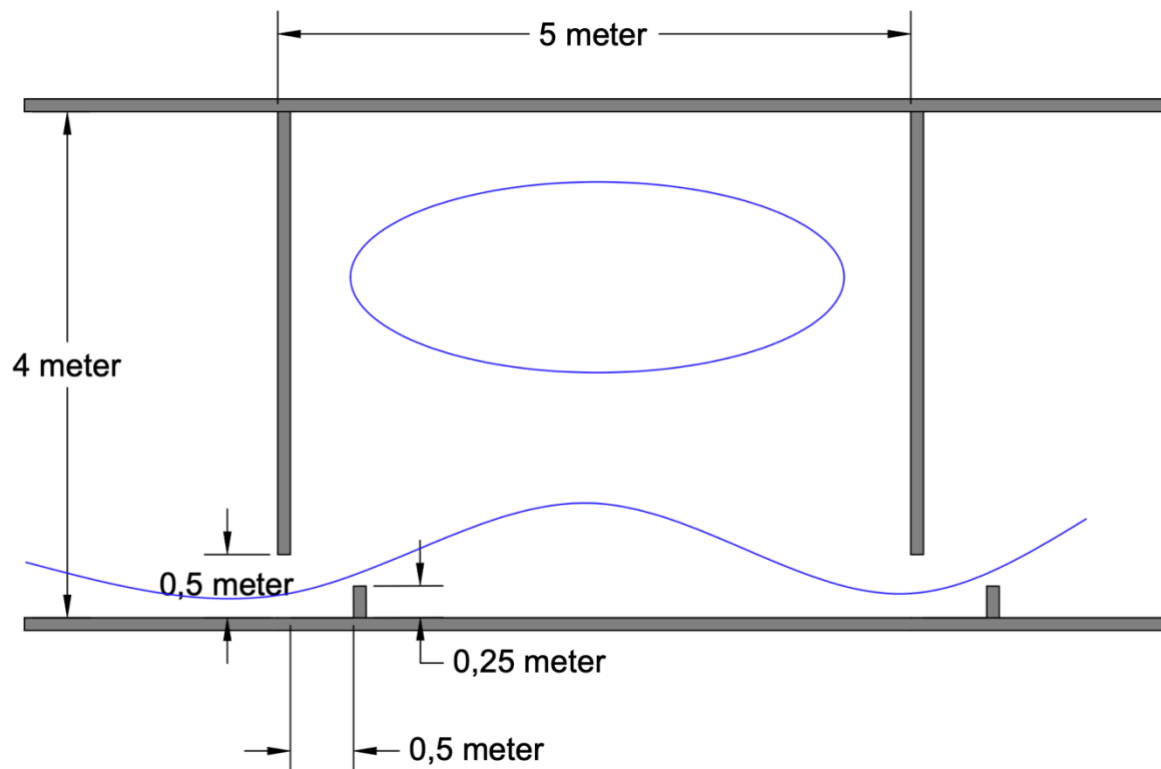


Figuur 25, Bovenaanzicht vertical slot passage type 16 (Wolff, AutoCad tekening vertical slot passage, 2021)



Figuur 26, Bovenaanzicht vertical slot passage type 18 (Wolff, AutoCad tekening vertical slot passage, 2021)

De 3 aanbevolen typen door Katopodis zijn allemaal gebaseerd op de vuistregel van Katopodis. De onderzoeksresultaten met betrekking tot de afvoer, de turbulentie en de afvoercoëfficiënt van deze 3 typen liggen daarom allemaal erg dicht bij elkaar. Bij elk van deze 3 typen valt minimale winst te behalen op de verschillende onderdelen bijvoorbeeld een verschil in een afvoercoëfficiënt van 0,1. In dit stadium van het onderzoek zijn deze minimale verschillen nog niet van belang. In dit onderzoek wordt gekozen voor type 6, omdat dit type volgens Katopodis een effectief ontwerp is en relatief simpel is te bouwen (C.Katopodis, 2011).

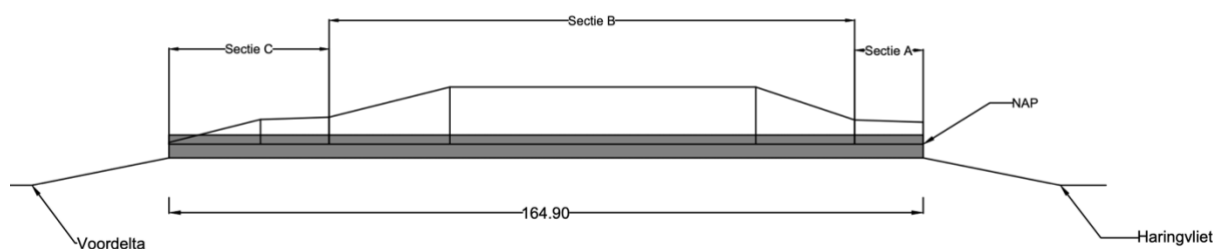


Figuur 27, Bovenanzicht vertical slot passage type 6 (Wolff, AutoCad tekening vertical slot passage, 2021)

8.10. Constructie vispassage

Om technische aanbevelingen te kunnen doen over de constructie van de vispassage is onderzocht wat de belastingen zijn tegen de constructie. Deze belastingen zijn bepaald met berekeningen te zien in bijlage 15.13 Excel sheet afstudeeronderzoek en vervolgens in het programma Matrix Frame gezet. De Q last, ook wel de gelijkmatig verdeelde last genoemd, verschilt per gedeelte van de vispassage door het verschil in hoogte van de Haringvlietdam. De vispassage wordt daarom onderverdeeld in sectie A, B en C (Figuur 28). Voor het soortelijk gewicht van droog zand van de Haringvlietdam is $15,5 \text{ KN/m}^3$ genomen en voor het soortelijk gewicht van de eigen constructie, die bestaat uit beton, is 23 KN/m^3 genomen. Deze waarden zijn afkomstig uit het boek Tabellen voor bouw en waterbouwkundigen (Blok, 2011). De belastingen zijn berekend per strekkende meter (m^1).

De dikte van de constructie is bepaald met behulp van een vuistregel afkomstig uit Tabellen voor bouw en waterbouwkundigen (Blok, 2011). De benodigde dikte van de constructie is 0,57 meter. De vuistregel zegt dat wanneer de overspanning groter is dan 7 meter, de benodigde dikte achterhaald kan worden door: de overspanning/(175/de overspanning). In dit geval $10/(175/10)$ wat resulteert in 0,57 meter. Voor ontwerpdoeleinden is deze 0,57 meter genomen als dikte van de constructie.



Figuur 28, Dwarsdoorsnede Haringvlietdam met secties A, B en C, (Wolff, AutoCad tekening secties constructie, 2021)

In Tabel 28 zijn de belastingen op de constructie weergegeven. De volledig uitgewerkte berekeningen staan in bijlage 15.9 Analyse constructie.

Tabel 28, Belastingen op de constructie

Sectie	A	B	C
Dikte van de laag (m)	3,3	10,5	3,9
Q last (KN/m^1)	51,15	162,75	60,45
Belasting eigen gewicht (KN/m^1)	13,14	13,14	13,14
Totale Q last (KN/m^1)	64,29	175,89	73,59
Max belasting tegen de wand (KN/m^1)	161,2	382,8	170,5

8.11. Regulatie van de vispassage

In dit hoofdstuk wordt onderzocht en berekend, hoe en aan de hand van welke doorstroomoppervlaktes, het water het beste gereguleerd kan worden.

De berekeningen van het debiet en stroomsnelheid door de hoofdstroom van de vispassage zijn gedaan bij vrije afstroming van het water zonder regulatie. Bij veel gevallen resulteert dit in een te groot debiet als zoetwateraanvoer. Vanuit Delta21 is de eis gesteld dat het water in de vispassage gereguleerd moet worden (eis 3) en uit dit onderzoek blijkt nogmaals dat regulatie nodig is.

8.11.1. Zoetwateraanvoer

In dit hoofdstuk wordt berekend welk doorstroomoppervlakte nodig is om te voldoen aan de benodigde zoetwateraanvoer tijdens de verschillende scenario's. De berekende zoetwateraanvoer staat weergegeven in Tabel 16 tot en met Tabel 21. De benodigde doorstroomoppervlakten worden berekend aan de hand van formule 1.

Omdat de Δh in de formule in werkelijkheid altijd in beweging is, is het lastig om de juiste doorstroomoppervlaktes te bepalen omdat deze per Δh verschillen. Voor ontwerpdoeleinden wordt voor de waterstand op het Haringvliet NAP +0,5 meter genomen en de waterstanden in de voordelta veranderen met stappen van 0,1 meter zoals in de scenario's. Op deze manier wordt duidelijk wat de gewenste doorstroomoppervlaktes zijn per verval. Voor alle berekeningen zie bijlage 15.13 Excel sheet afstudeeronderzoek.

Om de doorstroomoppervlakte te berekenen wordt de formule omgebouwd naar:

$$A = Q / (\mu * \sqrt{(2 * g * \Delta h)})$$

Het bereik van de zoetwateraanvoer met de daarbij behorende doorstroomoppervlakte is in Tabel 29 tot en met Tabel 31 per scenario weergegeven:

Tabel 29, Range doorstroomoppervlaktes scenario 1

Verval	0,1 meter	1,8 meter
3%-5% (m ³ /s)	20 (eis 8)	85,57-141,27
Doorstroom oppervlakte (m ²)	17,85	18-29,71

Tabel 30, Range doorstroomoppervlaktes scenario 2

Verval	1,9 meter	2,5 meter
3%-5% (m ³ /s)	87,92-146,53	108-180
Doorstroom oppervlakte (m ²)	18,01-30	19,28-32,13

Tabel 31, Range doorstroomoppervlaktes scenario 3

Verval	3,0 meter
3%-5% m ³ /s	132-220
Doorstroom oppervlakte (m ²)	21,51-35

8.11.2. Sedimentatie

Eis 17 geeft aan dat geen sedimentatie rond het kunstwerk mag plaatsvinden. Om tot een kritische stroomsnelheid van het sediment te komen is de korreldiameter van het sediment in het plangebied van belang. Uit bodemonderzoek, afkomstig van Dinoloket, is te zien dat de bovenste grondlagen uit zand van de fijne categorie bestaan (Dinoloket, 2021) (bijlage 15.12 Bodem en kritische stroomsnelheid analyse plangebied). Doordat de vispassage onder invloed staat van het getij is het water bijna altijd in beweging. De kans op sedimentatie is daarom erg klein, om aan te geven hoe klein deze kans is worden berekeningen uitgevoerd. De berekeningen zijn weergegeven in bijlage 15.12 Bodem en kritische stroomsnelheid analyse plangebied. Uit deze berekeningen komt een kritische stroomsnelheid van het sediment van 0,39 m/s.

8.12. Constructie kunstwerk

De belastingen op het kunstwerk moeten, net als de belastingen op de constructie van de vispassage, in kaart gebracht worden om goede technische aanbevelingen te kunnen doen.

Om te bepalen welke krachten tegen het kunstwerk komen te staan, worden de waterstanden uit de scenario's gebruikt. Voor de breedte van het kunstwerk is 10 meter genomen (de breedte van de hoofdstroom). De kruinhoogte van de overlaat ligt op NAP -3 meter. De volledige berekeningen zijn te zien in bijlage 15.13 Excel sheet afstudeeronderzoek. De formules zijn als volgt (Vloeistofmechanica, 2017-2018):

$$P_{gem} = \rho * g * h_1$$

$$F = P_{gem} * A$$

P_{gem}	= Gemiddelde waterdruk	Kpa
ρ	= Dichtheid van het water	kg/m ³
g	= Zwaartekracht versnelling	m/s ²
h_1	= Diepte van de gemiddelde druk	m
F	= Kracht tegen de constructie	KN
A	= Natte oppervlakte van de wand	m ²

8.12.1. Gemiddelde omstandigheden (scenario 1)

De waterstanden zijn afkomstig uit scenario 1.

Dit geeft een waterdiepte en belasting (F) tegen de constructie aan de voordelta kant van:

- Bij gemiddeld laagwater 2,14 meter 230,25 KN
- Bij gemiddeld hoogwater 4,24 meter 903,85 KN

Dit geeft een gemiddelde waterdiepte en belasting (F) tegen de constructie aan de kant van het Haringvliet van:

- Bij gemiddeld laagwater 3 meter 441,45 KN
- Bij gemiddeld hoogwater 3,8 meter 708,28 KN

8.12.2. Hoge omstandigheden (scenario 2)

De waterstanden zijn afkomstig uit scenario 2.

Dit geeft een waterdiepte en belasting (F) tegen de constructie aan de voordelta kant van:

- Bij laagwater 1,3 meter 84,97 KN
- Bij hoogwater 5 meter 1256,91 KN

Dit geeft een waterdiepte en belasting (F) tegen de constructie aan de kant van het Haringvliet van:

- Bij laagwater 2,5 meter 306,56 KN
- Bij hoogwater 4,5 meter 993,26 KN

8.12.3. Extreme omstandigheden (scenario 3)

De waterstanden zijn afkomstig uit scenario 3

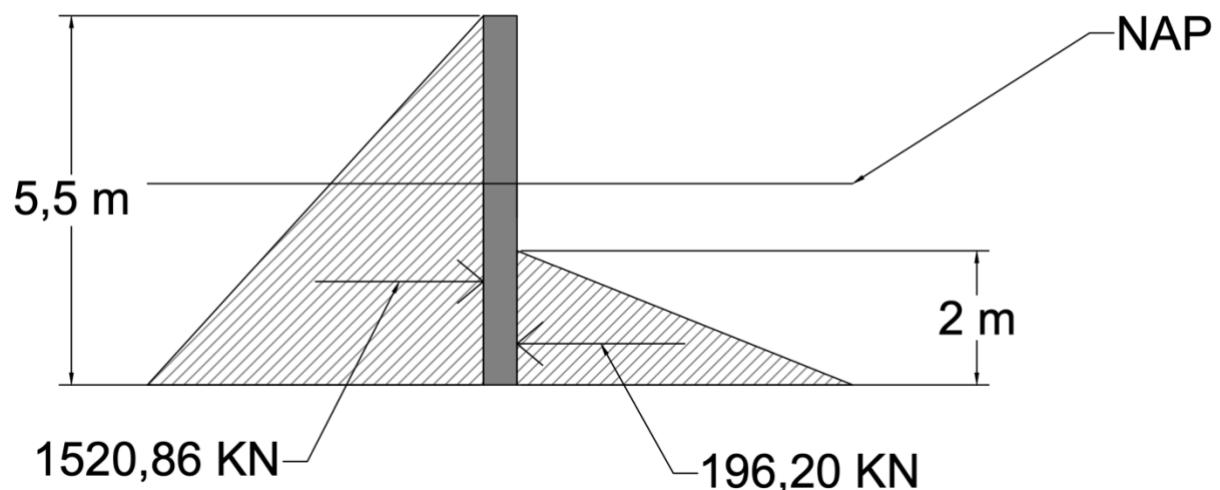
Dit geeft een waterdiepte en belasting (F) tegen de constructie aan de voordelta kant van:

- Bij extreem laagwater 1 meter 50,28 KN
- Bij extreem hoogwater 5,5 meter 1520,86 KN

Dit geeft een waterdiepte en belasting (F) tegen de constructie aan de kant van het Haringvliet van:

- Bij extreem laagwater 2 meter 196,20 KN
- Bij extreem hoogwater 5,3 meter 1377,81 KN

Bovenstaande combinatie van een extreem lage waterstand op de voordelta en een extreem hoge waterstand op het Haringvliet zijn echter onrealistisch. Omdat in deze situatie de Haringvlietsluizen en ook de hoofdstroom van de vispassage volledig openstaan. Daarom is in Figuur 29 alleen de situatie weergegeven van een extreem hoge waterstand op de voordelta en een extreem lage waterstand op het Haringvliet.



Figuur 29, Maximale krachten op kunstwerk (scenario 3), (Wolff, AutoCad tekening krachten op kunstwerk, 2021)

In Figuur 29 is een schematische weergave te zien van de krachten op het kunstwerk in scenario 3. De resulterende kracht (F_{res}) is in dit geval:

$1520,86 \text{ KN} - 196,20 \text{ KN} = 1324,66 \text{ KN}$ in de richting van het Haringvliet. Per strekkende meter is dit $1324,66/10 = 132,47 \text{ KN/m}^1$.

Als de waterstand in de vispassage aan de kant van het Haringvliet 2 meter bedraagt ten opzichte van bodem van de vispassage, dan is de waterstand op het Haringvliet NAP -1 meter. Dit is een erg extreme situatie (zie scenario's en data-analyse). De waterstand op de voordelta is maximaal (NAP +2,5 meter). Figuur 29 geeft daarom een goede weergave van de maximale kracht waar het kunstwerk aan moet voldoen.

Het kunstwerk dient gedimensioneerd te worden op een maximale resulterende kracht van $132,47 \text{ KN/m}^1$.

8.13. Operationele situatie vispassage

In dit hoofdstuk wordt de vispassage aan de huidige hydrologie getoetst. Het doel van de vispassage is om vismigratie tussen de twee ecologische systemen van de voordelta en het Haringvliet mogelijk te maken. De sectie hoofdstroom van de vispassage dient, zoals eerder in dit onderzoek genoemd, als lokstroom. De sectie vispassage moet een zo groot mogelijk migratievenster voor de vissoorten bieden. In dit onderzoek zijn een aantal dingen over de operationele situatie al duidelijk geworden, zoals de hoeveelheid zoetwateraanvoer (lokstroom) en de bijbehorende doorstroomoppervlakte. Deze onderdelen zullen in dit hoofdstuk niet nog een keer genoemd worden. Dit hoofdstuk is gericht op de migratievensters van de vissoorten, zij worden immers de gebruikers van de vispassage.

8.13.1. Migratievenster

Een migratievenster geeft aan hoelang en onder welke omstandigheden de vissoorten de vispassage kunnen passeren.

Uit dit onderzoek blijkt dat een constante stroomsnelheid door de vispassage niet haalbaar is door de invloed van het getij. Eis 15 kan dan ook niet de gehele getijd cyclus gehaald worden. Dit zorgt voor verschillende migratievensters voor de vissoorten door de vispassage. De maximale stroomsnelheid van de vissoorten zijn (van de Wolff & Lokker, 2021):

Tabel 32, Vissoorten met maximale zwemcapaciteit in m/s

Vissoort	Maximale zwemcapaciteit (m/s)
1. Aal/Paling	0,5
2. Bot	0,30
3. Driedoornige stekelbaars	0,30
4. Dunlipharder	0,50
5. Elft	2,0
6. Fint	2,0
7. Atlantische Haring	0,5
8. Houting	0,55
9. Rivierprik	<2,0
10. Spiering	2,0
11. Sprot	0,3
12. Europese steur	<2,0
13. Atlantische zalm	<2,0
14. Zeebaars	<2,0
15. Zeeforel	<2,0
16. Zeeprik	0,75

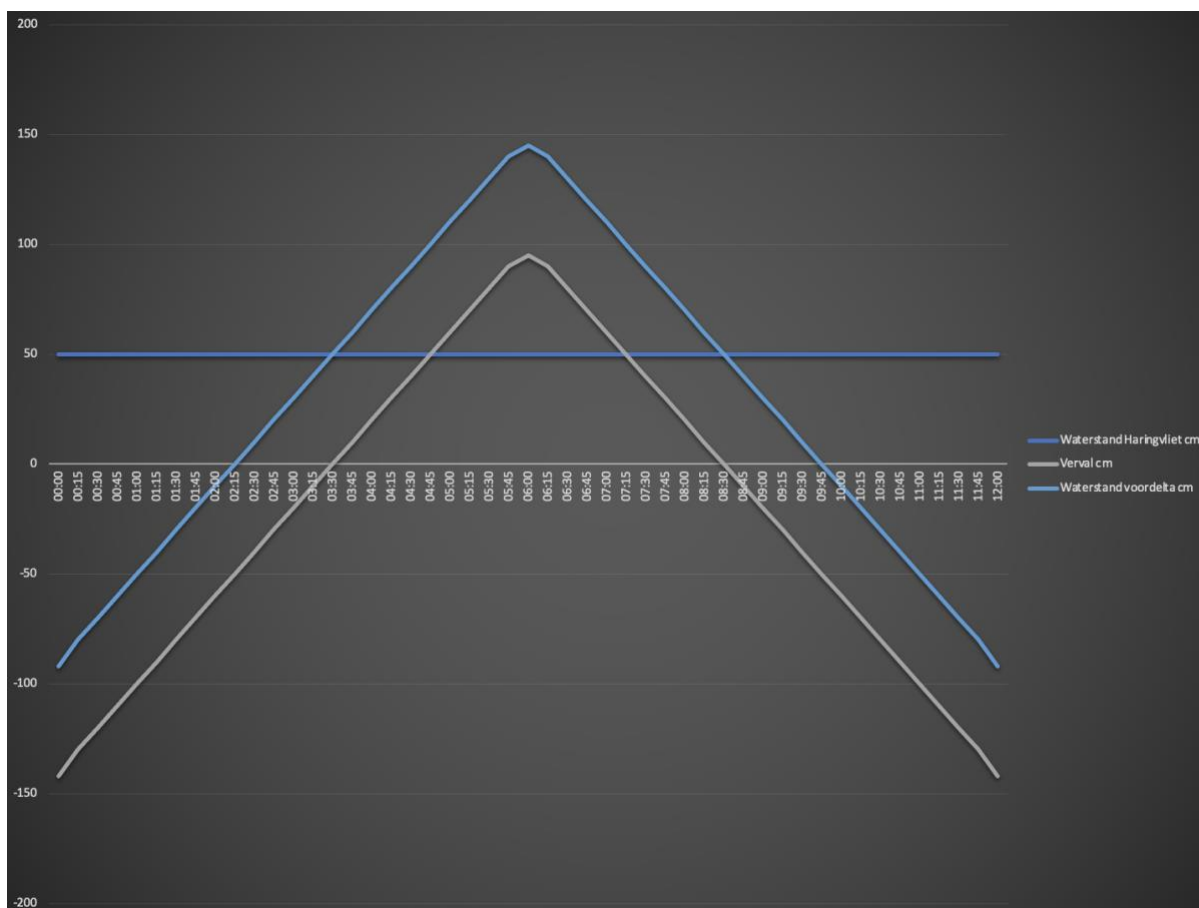
De stroomsnelheden in de vispassage zijn, zoals genoemd, afhankelijk van het getij. De stroomsnelheden zijn hieronder weergegeven bij het verval over de Haringvlietdam. Deze stroomsnelheden zijn berekend met $V_{gem} = C * \sqrt{(2g * \Delta h)}$ (Monden, Visadvies, 2004).

Tabel 33, Verval met bijbehorende stroomsnelheden en vissoorten

Verval (m)	Stroomsnelheid (m/s)	Vissoorten
0,1	0,20	1 t/m 16
0,2	0,28	1 t/m 16
0,3	0,35	1, 4 t/m 10, 12 t/m 16
0,4	0,40	1, 4 t/m 10, 12 t/m 16
0,5	0,45	1, 4 t/m 10, 12 t/m 16
0,6	0,49	1, 4 t/m 10, 12 t/m 16
0,7	0,53	5, 6, 8 t/m 10 12 t/m 16
0,8	0,57	5, 6, 9, 10, 12 t/m 16
0,9	0,60	5, 6, 9, 10, 12 t/m 16
1,0	0,63	5, 6, 9, 10, 12 t/m 16
1,1	0,66	5, 6, 9, 10, 12 t/m 16
1,2	0,69	5, 6, 9, 10, 12 t/m 16
1,3	0,72	5, 6, 9, 10, 12 t/m 16
1,4	0,75	5, 6, 9, 10, 12 t/m 16
1,5 t/m 3,0	0,78 t/m 1,10	5, 6, 9, 10, 12 t/m 15

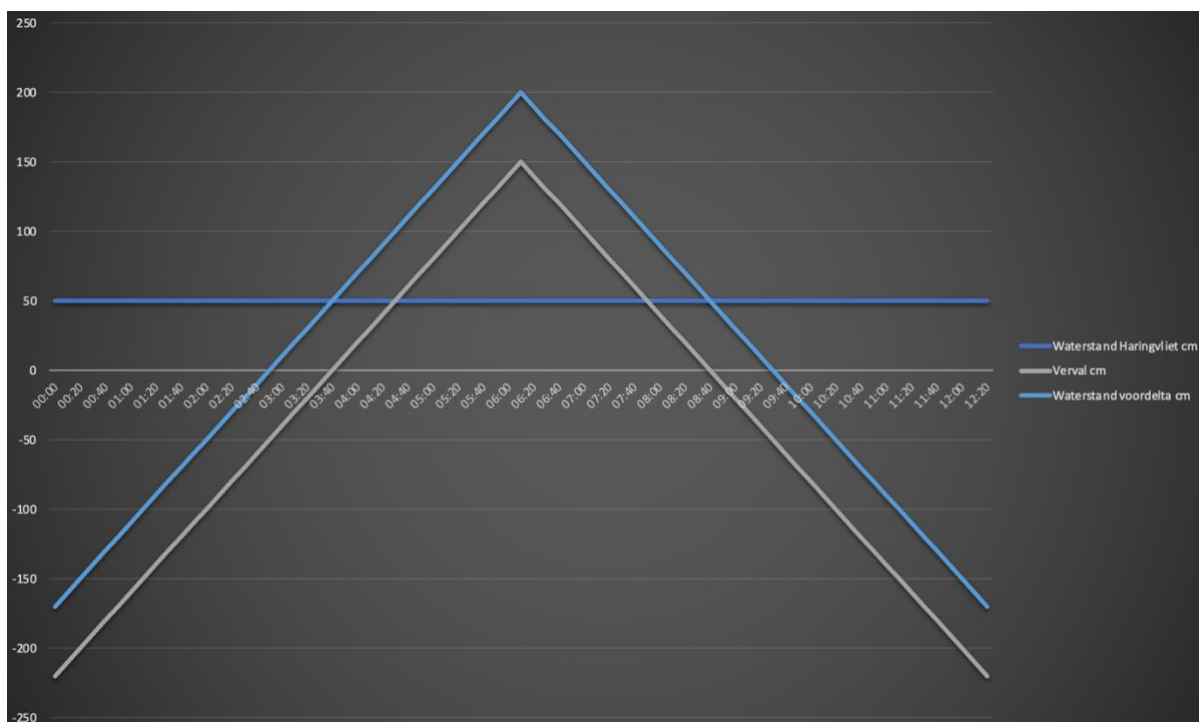
Zoals te zien in Tabel 33 kunnen alle vissoorten de vispassage passeren tot een verval van 0,2 meter. Dit gaat om een verval in de richting van de voordelta. Als het verval in de richting van het Haringvliet is, treden dezelfde stroomsnelheden op. In dit geval kunnen de vissoorten gebruikmaken van het getij om de vispassage te passeren. De vispassage geeft de gehele getijdencyclus een migratievenster voor de vissoorten: Elft, Fint, Rivierprik, Spiering, Europese steur, Atlantische zalm, Zeebaars en Zeeforel.

Het is twee keer hoog en twee keer laagwater binnen 24 uur en 50 minuten. Dit houdt in dat 1 getijdencyclus 12 uur en 25 minuten bedraagt (Rijkswaterstaat, Waterdata getij, 2021). Aan de hand van deze 12 uur en 25 minuten en de waterstanden uit de scenario's zijn grafieken gemaakt. In deze grafieken is de waterstand van het Haringvliet voor ontwerpdoeleinden op NAP +0,5 meter gezet, omdat de stroomsnelheid gerelateerd is aan het totale verval.



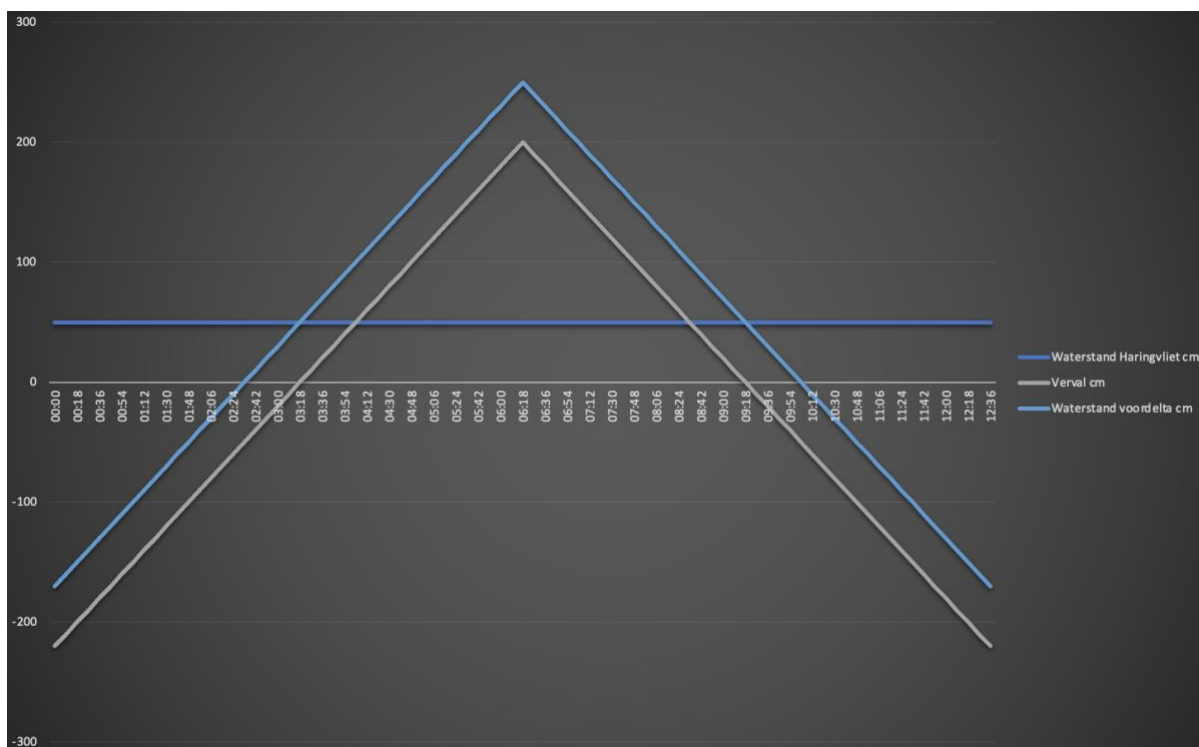
Figuur 30, Grafiek migratievenster scenario 1, (Wolff, Data-analyse migratievenster, 2021)

In Figuur 30 is te zien dat tussen 3:30 uur en 8:30 uur het verval boven 0 zit. Dit houdt in dat het verval richting het Haringvliet is. Van 0:00 uur tot 3:30 uur is het verval onder 0 en dit houdt in dat het verval richting de voordelta is. Hetzelfde geldt van 8:30 uur tot 12:00 uur. Van deze cyclus van 12 uur is het verval 7 uur in de richting van de voordelta en 5 uur in de richting van het Haringvliet. Dit houdt in dat alle vissen in scenario 1 in ieder geval 5 uur per cyclus gebruik kunnen maken van de vispassage. Voor de Bot, de Sprot en de Driedoornige stekelbaars komt daar ongeveer een uur bij tot het verval groter wordt dan 0,2 meter in de richting van de voordelta. Dit geeft een totaal van 6 uur. Voor de Aal, de Dunlipharder, de Atlantische Haring en de Houting komt daar ongeveer 3 uur bij tot het verval groter is dan 0,6 meter in de richting van de voordelta. Dit geeft een totaal van 8 uur. De overige vissoorten kunnen de hele cyclus in scenario 1 de vispassage passeren.



Figuur 31, Grafiek migratievenster scenario 2, (Wolff, Data-analyse migratievenster, 2021)

In Figuur 31 is scenario 2 weergegeven. In dit scenario geldt hetzelfde als in scenario 1, maar hier heeft ook de Zeeprik een gelimiteerd migratievenster. Als het verval groter wordt dan 1,4 meter, kan ook de Zeeprik niet meer tegen de stroom inzwemmen. De Zeeprik heeft in dit scenario een migratievenster van ongeveer 10 uur. De overige vissoorten kunnen de hele cyclus in scenario 2 de vispassage passeren.



Figuur 32, Grafiek migratievenster scenario 3, (Wolff, Data-analyse migratievenster, 2021)

In Figuur 32 is scenario 3 weergegeven. In dit scenario is tussen 3:18 uur en 9:18 uur het verval in de richting van het Haringvliet. Tussen 00:00 uur en 3:18 uur, en tussen 9:18 uur en 12:36 uur is het verval in de richting van de voordelta. In totaal dus 6 uur in de richting van het Haringvliet en 6 uur en 36 minuten in de richting van de voordelta. Het verval blijft 36 minuten onder de 0,2 meter in de richting van de voordelta. Dit geeft een migratievenster voor de Bot, de Sprot en de Driedoornige stekelbaars van 6 uur en 36 minuten. Het verval blijft 1 uur en 50 minuten onder de 0,6 meter in de richting van de voordelta. Dit geeft een migratievenster voor de Aal, de Dunlipharder, De Atlantische haring en de Houting van 7 uur en 50 minuten. De Zeeprik kan de vispassage migreren tot een verval van 1,4 meter. Dit geeft een migratievenster van 10 uur en 12 minuten. De overige vissoorten kunnen de hele cyclus in scenario 3 de vispassage passeren.

Tabel 34, Beschikbare migratietijd per vissoort gedurende een getijdencyclus van 12 uur en 25 min

Vissoort	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
1. Aal	+/- 8 uur	+/- 8 uur	+/- 7 uur 50 min
2. Bot	+/- 6 uur	+/- 6 uur	+/- 6 uur 36 min
3. Driedoornige stekelbaars	+/- 6 uur	+/- 6 uur	+/- 6 uur 36 min
4. Dunlipharder	+/- 8 uur	+/- 8 uur	+/- 7 uur 50 min
5. Elft	12 uur 25 min	12 uur 25 min	12 uur 25 min
6. Fint	12 uur 25 min	12 uur 25 min	12 uur 25 min
7. Atlantische Haring	+/- 8 uur	+/- 8 uur	+/- 7 uur 50 min
8. Houting	+/- 8 uur	+/- 8 uur	+/- 7 uur 50 min
9. Rivierprik	12 uur 25 min	12 uur 25 min	12 uur 25 min
10. Spiering	12 uur 25 min	12 uur 25 min	12 uur 25 min
11. Sprot	+/- 6 uur	+/- 6 uur	+/- 6 uur 36 min
12. Europese steur	12 uur 25 min	12 uur 25 min	12 uur 25 min
13. Atlantische zalm	12 uur 25 min	12 uur 25 min	12 uur 25 min
14. Zeebaars	12 uur 25 min	12 uur 25 min	12 uur 25 min
15. Zeeforel	12 uur 25 min	12 uur 25 min	12 uur 25 min
16. Zeeprik	12 uur 25 min	+/- 10 uur	+/- 10 uur

9. Conclusie

Door de barrière van de Haringvlietsluizen is vrije vismigratie tussen de voordelta en het Haringvliet niet mogelijk. Delta21 heeft als doel natuurherstel te realiseren in de Zuidwestelijke Delta. Het is dus belangrijk dat Delta21 alle opties voor natuurherstel, waaronder het terugbrengen van vrije vismigratie, meeneemt om optimaal natuurherstel te kunnen realiseren binnen het plangebied.

In dit rapport is het uitgevoerde onderzoek uitgebreid toegelicht en gedocumenteerd om antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag:

Welke aanbevelingen kunnen gedaan worden zodat de vispassage vanuit technisch en ecologisch perspectief optimaal ontworpen kan worden en deze voldoet aan de opgestelde eisen zodat het ontwerp integraal onderdeel kan worden binnen het Delta 21 plan?

De Haringvlietdam bestaat uit verschillende dam vakken met verschillende breedtes. Dam vak A2 is de meest gunstige plek voor het aanleggen van een vispassage, doordat het dam vak hier het smalste is en dit de gunstigste locatie is met betrekking tot beheer en onderhoud. De breedte van dit dam vak is 164,90 meter. De Haringvlietdam is in beheer van Rijkswaterstaat. Om wijzigingen aan te brengen aan de Haringvlietdam moet de beheerder hier opdracht toe geven. Deze wijziging dient door de beheerder in kaart gebracht te worden door middel van het juridisch instrument projectplan.

Aan de hand van literatuurstudie en data-analyse wordt de lokale hydrologie gekenmerkt doormiddel van drie scenario's: gemiddeld scenario 1, hoog scenario 2 en extreem scenario 3. Per scenario geldt er een maximaal verval tussen de voordelta en het Haringvliet. Scenario 1, een maximaal verval van 1,8 meter. Scenario 2, een maximaal verval van 2,5 meter. En scenario 3 een verval dat groter is dan 2,5 meter.

Uit literatuurstudie blijkt dat de oplossingsvariant, die het beste binnen de lokale hydrologie past, een technische variant is. Een technische variant wordt gekozen boven de natuurlijke en seminatuurlijke oplossingsvariant, omdat binnen de lokale hydrologie sterke waterpeilschommelingen plaatsvinden. Deze technische variant dient twee secties te hebben: een sectie zoetwateraanvoer die ervoor zorgt dat de vissen de vispassage kunnen vinden door middel van een lokstroom en een sectie vispassage die ervoor zorgt dat de vissen ook daadwerkelijk kunnen migreren tussen de twee ecologische systemen.

Uit ontwerpend onderzoek blijkt dat de sectie zoetwateraanvoer een breedte dient te hebben van 10 meter en een hoogte van 5,5 meter, waarbij de bodem van de constructie op NAP -3 meter ligt. Deze afmetingen resulteren in de gunstigste debieten, tijdens vrije afstroming, voor het creëren van een lokstroom zoals gesteld in eis 13. Om binnen elk scenario de juiste hoeveelheid zoetwateraanvoer te realiseren, wordt aanbevolen om de doorstroomoppervlakte van de zoetwateraanvoer te kunnen veranderen (knijpen) binnen de range van 17,85 m² en 35 m².

Voor wat betreft het soort vispassage komt uit het onderzoek een vertical slot passage als meest geschikt naar voren. De vertical slot passage geeft aan de hand van hydraulische berekeningen de kleinste stroomsnelheden en turbulentie. De vissoorten kunnen in de vertical slot passage op de hun gewenste waterdiepte passeren (eis 11). Uit ontwerpend onderzoek komt naar voren dat de vertical slot passage bij een slotbreedte van 0,5 meter een bekkenbreedte van 4 meter en een bekkenlengte van 5 meter dient te hebben.

Wat de belastingen op de constructie betreft, komt uit het onderzoek naar voren dat de belastingen op sectie B van de constructie het grootste zijn. Dit is te herleiden aan de hoeveelheid grond die in deze sectie boven op de constructie komt te liggen. De constructie dient gedimensioneerd te worden op de belastingen van sectie B (maximale belasting). Deze belastingen zijn: een Q last van $175,89 \text{ KN/m}^1$ en een maximale gronddruk tegen de onderkant van de wand van $382,8 \text{ KN/m}^1$. De maximaal resulterende kracht tegen het kunstwerk (om de zoetwatertoevoer te knijpen) in gesloten toestand is $132,47 \text{ KN/m}^1$ in de richting van het Haringvliet.

In de operationele situatie is de vispassage getoetst aan de huidige hydrologie door middel van berekeningen en de cyclus van het getij. Uit berekeningen van de stroomsnelheid is duidelijk geworden dat niet te allen tijde wordt voldaan aan eis 15 van een maximale stroomsnelheid van 0,3 m/s. De mogelijkheid en duur van migratie is hierdoor per vissoort verschillend.

De vispassage geeft gedurende de hele dag een migratievenster aan de sterke zwemmers: de Elft, Fint, Houting, Rivierprik, Spiering, Europese steur, Atlantische zalm, Zeebaars en Zeeforel met uitzondering van extreme situaties waarin de vispassage gesloten dient te zijn door veiligheidsoverwegingen. De Bot, de Driedoornige stekelbaars en de Sprot hebben een migratievenster van 6 uur per cyclus. De Aal, de Dunlipharder, de Atlantische Haring en de Houting hebben een migratievenster van 8 uur per cyclus. De Zeeprik heeft in scenario 1 een migratievenster van de gehele cyclus, oftewel 12 uur en 25 min en in scenario 2 & 3 een migratievenster van 10 uur per cyclus.

10. Discussie

Voor dit onderzoek zijn verschillende aannames gedaan, coëfficiënten gebruikt en keuzes gemaakt om aanbevelingen te kunnen doen over het inpassen van een vispassage binnen het Delta21 plan. In dit hoofdstuk worden deze keuzes gereflecteerd en wordt aangegeven wat beter had gekund.

De locatiekeuze van de vispassage stond vast toen het onderzoek begon. Delta21 wilde de mogelijkheden van een vispassage in het noorden van het plangebied onderzoeken. Aan de hand van deze keuze is de locatie van dam vak A2 uit literatuuronderzoek naar voren gekomen. Verder is geen onderzoek gedaan naar andere mogelijke locaties van een vispassage, waardoor er mogelijk andere gunstige locaties zijn gemist.

Binnen de uitgevoerde overlaatberekeningen heeft de parameter stroomsnelheid voor de overlaat een groot aandeel in de uitkomst van de berekening. Voor deze stroomsnelheden zijn aannames gedaan van 0,1 en 0,3 meter per seconde. De stroomsnelheden die daadwerkelijk optreden voor de overlaat zijn niet bekend en dit kan bij andere waardes de uitkomsten van de berekeningen beïnvloeden.

De grens tussen een onvolkomen en volkomen overlaat is lastig te bepalen. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de vuistregel om deze grens te bepalen. In de berekeningen is in sommige gevallen een grote sprong te zien op die grens. De aangegeven overgang tussen deze twee overlaten kan mogelijk een lichte afwijking bevatten.

Bij de uitgevoerde hydraulische berekeningen van de witvis- en vertical slot passage heeft de parameter afvoercoëfficiënt een groot aandeel in de uitkomst. Deze afvoercoëfficiënten zijn afkomstig uit literatuuronderzoek en zijn gebruikt voor ontwerpdoeleinden. Deze coëfficiënten worden beïnvloed door veel verschillende factoren en is daarom moeilijk te bepalen. Bij afwijking van deze afvoercoëfficiënten kunnen de uitkomsten van de hydraulische berekeningen aanzienlijk veranderen.

11. Aanbevelingen

Uit het uitgevoerde onderzoek is gebleken wat de belangrijkste technische en ecologische aanbevelingen voor een vispassage binnen de lokale hydrologie zijn en kunnen er aanbevelingen gedaan worden voor optimalisatie en vervolgonderzoek.

Technische aanbevelingen

Aanbevolen wordt:

- Dat de doorstroomoppervlakte van de zoetwateraanvoer geknepen dient te kunnen worden tussen 17,85 m² en 35 m²;
- De vertical slot passage te baseren op de vuistregel van Katopodis met een slotbreedte van 0,5 meter;
- De constructie te dimensioneren op de maximale belasting. Een Q last van 175,89 KN/m¹, een maximale gronddruk tegen de onderkant van de wand van 382,8 KN/m¹ en een maximale resulterende hydrostatische kracht tegen het kunstwerk van 132,47 KN/m¹.

Ecologische aanbevelingen

Aanbevolen wordt:

- Een vispassage die het gehele jaar, dag en nacht, migratiemogelijkheden aan de vissoorten biedt;
- Een vispassage met twee secties: de zoetwateraanvoer en de vispassage;
- De sectie vispassage in te vullen met een vertical slot passage, waardoor de vissoorten op hun gewenste waterdiepte kunnen passeren;
- De vispassage zo veel mogelijk af te schermen van de N57 in verband met licht en geluid.

Optimalisatie en vervolgonderzoek

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat voor het wijzigen van de Haringvlietdam het juridische instrument projectplan nodig is. In dit projectplan moet ook een inventarisatie van maatschappelijke functies en ambities meegenomen worden. Daarom wordt aanbevolen om te onderzoeken op welke manier de vispassage gecombineerd kan worden met een maatschappelijke functie binnen het Delta21 plan.

Uit het interview met Eric Bruins Slot (technisch manager vismigratierivier De Nieuwe Afsluitdijk) en literatuuronderzoek over het spuibeleid van de Haringvlietluizen is naar voren gekomen dat de zuidelijkste sluisen als eerste worden geopend. Aanbevolen wordt om te onderzoeken wat de effecten op de mogelijke vispassage zijn van dit huidige spuibesluit en te onderzoeken of dit spuibesluit veranderd kan worden.

Verder wordt aanbevolen om onderzoek te doen naar de optimalisatie van de vispassage. Dit kan gedaan worden door middel van modellering of door het onderzoeken van de vispassage op een kleinere schaal, in bijvoorbeeld een aqua lab.

Het conceptuele ontwerp van de vispassage is gedimensioneerd aan de hand van de huidige hydrologie. Aanbevolen wordt dat bij afwijking van de locatie van de vispassage dit conceptuele ontwerp meegenomen wordt in het desbetreffende onderzoek. De vispassage is grotendeels op meerdere plekken binnen het plangebied

inpasbaar. Ook wordt aanbevolen om metingen te doen binnen de lokale hydrologie voor meer data. Door metingen te doen met betrekking tot de stroomsnelheid voor de overlaat en deze gegevens te verzamelen en te implementeren, kan het ontwerp verder geoptimaliseerd worden.

12. Bibliografie

- AHN. (2021). Opgehaald van Algemeen Nederlands Hoogtebestand: <https://www.ahn.nl>
- Arcadis. Gijs van Banning, J. v. (2018). *Vismigratierivier Afsluitdijk, Hydraulische en ecologische toetsing ontwerp*.
- Archief, N. (2021). Opgehaald van Voornes duin: <https://www.natura2000.nl/gebieden/zuid-holland/voornes-duin/voornes-duin-archief>
- Blok, R. (2011). *Tabellen voor bouw en waterbouwkundigen*.
- Boiten, W., Dommerholt, A., & Wit, W. d. (2005). *Uniform ontwerp van de aangepaste De Wit vispassage*. Opgehaald van Wageningen University and Research: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/355344>
- C.Katopodis. (2011). *ResearchGate*. Opgehaald van https://www.researchgate.net/publication/237190583_New_design_for_vertica_l_slot_fishways
- Delta, Z. (2021). *Het Kierbesluit*.
- Delta21. (2018). Opgehaald van Natuurherstel: <https://delta21.nl/wp-content/uploads/2018/10/Natuurherstel-27-9-18.pdf>
- Deltares. (2012). *Sedimentstrategie*. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/255344>
- Dinoloket. (2021). *Bodem- en grondonderzoek*. Opgehaald van www.dinoloket.nl: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>
- Elliott, M. (2008). *Fishes in Estuaries*.
- Evides. (2017, juni 20). *Haringvliet blijft bron voor drinkwater*. Opgehaald van Evides Drinkwaterbedrijf: <https://www.evides.nl/over-evides/nieuws/2017/haringvliet-blijft-bron-voor-drinkwater>
- gemeenschap, M. v. (2005). Opgehaald van https://www.visadvies.nl/sites/default/files/bestanden/HANDBOEK%20VISMIGRATIE_2005.pdf
- Greg S Armstrong, M. W. (2010). *Environment Agency Fiss Pass Manual*. The Environment Agency. Opgehaald van https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/298053/geho0910btbp-e-e.pdf
- Grontmij. (2016). *Ontwerpnota vismigratierivier*. Opgehaald van https://www.planviewer.nl/imro/files/NL.IMRO.9921.Vismigratierivier-VA01/b_NL.IMRO.9921.Vismigratierivier-VA01_tb5.pdf
- Haringvliet.nu. (sd). Opgehaald van Vismigratie: https://haringvliet.nu/sites/haringvliet.nu/files/2016-05/Vismigratie_flyer_lowres.pdf
- Hoorn, C. v., Kempen, J. v., & Geerdink, R. (2014, mei). Opgehaald van Werken met de Waterwet, Juridische leidraad voor Rijkswaterstaat: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjT1q-NkO7vAhWfhv0HHfPQDYgQFjADegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fwww.hel.pdeskwater.nl%2Fpublish%2Fpages%2F132188%2Frws_gew_herdruk_broch_waterwet_2014_2.pdf&usg=AOvVaw2VixvIW1BZ4m_4IVrMgBLB
- Hop, J. (2011). *Vismigratie Rijn-Maas stroomgebied*.
- informatievoorziening, R. C. (2011). *Kenmerkende waarden*.
- Kuiken, N. (2021). Persoonlijk contact beheerder Haringvlietsluizen van Rijkswaterstaat. (B. v. Wolff, Interviewer)
- Lavooij, I. H. (2021). Interview Huub Lavooij. (B. v. Wolff, Interviewer)

- Leeuw, C. d., & Backx, J. (2001). *Rijkswaterstaat*. Opgehaald van Naar een herstel van estuariene gradienten in Nederland:
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjH9K34zO7uAhWLG-wKHVMgDC8QFjADegQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.vliz.be%2Fimisdocs%2Fpublications%2F127584.pdf&usg=AOvVaw2RoLJ6JtykkK5ALJsTg41c>
- Massing, H. (2017). *Overlaten*. Fluid Dynamics.
- Meinard Tiessen, W. K. (2019). *Data-analyse kierproef Haringvliet zoetspoelen*. Opgehaald van Data-analyse kierproef Haringvliet:
<https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=spuidebiet+haringvliet+sluizen&ie=UTF-8&oe=UTF-8>
- Monden, K. e. (2004). Opgehaald van Visadvies:
https://www.visadvies.nl/sites/default/files/bestanden/HANDBOEK%20VISMI GRATIE_2005.pdf
- Mulder, R. (2017, mei). *Vakblad Natuur Bos Landschap*. Opgehaald van www.edepot.wur.nl: <https://edepot.wur.nl/420565>
- Natura 2000. (sd). *Zuid-Holland*. Opgehaald van www.natura2000.nl:
<https://www.natura2000.nl/gebieden/zuid-holland>
- Natura2000. (2021). Opgehaald van Voornes duin:
<https://www.natura2000.nl/gebieden/zuid-holland/voornes-duin/voornes-duin-kaart>
- Nederland, S. (sd). Opgehaald van Zomer, zuurstof en vissterfte:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjJnJas--PuAhUHxIUkHbeNBvMQFjABegQIBRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.sportvisserijnederland.nl%2Ffiles%2Fib-820-zomerzuurstofsterfte_8602.pdf&usg=AOvVaw2KwJEHo7rIjNWp91Lj1Lha
- Nederland, S. (2019). Opgehaald van Haringvlietssluisen voor het eerst op een kier:
<https://www.sportvisserijnederland.nl/actueel/nieuws/20661/haringvlietssluisen-voor-het-eerst-op-een-kier-video.html>
- Noord, L. (2017). Opgehaald van <https://www.ltonoord.nl>/afdeling/hoeksche-waard/nieuws/2017/02/14/lto-wijst-gemeente-op-afspraken-kierbesluit?overview=aHR0cHM6Ly93d3cubHRvbm9vcmQubmwwem9la3Jlc3VsdGF0ZW4/cT1raWVvYmVzbHVpdA==
- Noordhuis, R. (2017). *Het Haringvliet na de kier*.
- Port of Rotterdam. (sd). *Een open haven in een natuurlijke delta*. Opgehaald van Port of Rotterdam: <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/open-haven-in-natuurlijke-delta.pdf>
- Prof. dr. ig. H.J. de Vriend, I. H. (2006). *Rivierwaterbouwkunde*. TU Delft.
- Programma Waddenzee. (2013, januari 10). *Vismigratierivier Afsluitdijk*. Opgehaald van Planviewer:
https://www.planviewer.nl/imro/files/NL.IMRO.9921.Vismigratierivier-VA01/b_NL.IMRO.9921.Vismigratierivier-VA01_tb4.pdf
- Provincie Zuid-Holland. (2020). Ruimtelijk Plan Regio Rotterdam., (p. 124). Opgeroepen op Februari 08, 2021, van file:///C:/Users/jeroe/Downloads/4-5streekplanrr202011700.pdf
- RAVON. (2017). *Passend Monitoren*. Visionair. Opgeroepen op maart 9, 2021, van <https://edepot.wur.nl/446040>
- RDM-archief. (1963). Opgehaald van <https://www.rdm-archief.nl/RDM-PB/PB-1963-11.pdf>

- Rijksoverheid. (2017, februari 2021). *Wet natuurbescherming*. Opgehaald van wetten.overheid: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0037552/2021-02-17>
- Rijkswaterstaat. (2009). Opgehaald van Legger Haringvlietdam: https://www.rijkswaterstaat.nl/rws/legger/legger_primk/Leggerdoc%20kering%2011_tcm318-296860.pdf
- Rijkswaterstaat. (2009). Opgehaald van Legger primaire waterkering: https://www.rijkswaterstaat.nl/rws/legger/legger_primk/Leggerdoc%20kering%2011_tcm318-296860.pdf
- Rijkswaterstaat. (2011, mei). *Vismigratie in de Rijn-Maasdelta*. Opgehaald van www.edepot.wur.nl: <https://edepot.wur.nl/172548>
- Rijkswaterstaat. (2016). *Beheerplan Natura 2000 Voordelta*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Opgehaald van https://www.rwsnatura2000.nl/gebieden/voordelta/vd_documenten/handlerdo_wnloadfiles.ashx?idnv=593295
- Rijkswaterstaat. (2018). *Haringvliet: Haringvlietsluizen op een kier*. Opgehaald van www.rijkswaterstaat.nl: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/projectenoverzicht/haringvliet-haringvlietsluizen-op-eeen-kier/index.aspx>
- Rijkswaterstaat. (2020). Opgehaald van Trekvissen weten kieropening te vinden: <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/2020/10/trekvissen-weten-kieropening-bij-haringvlietsluizen-massaal-te-vinden.aspx>
- Rijkswaterstaat. (2021). Opgehaald van Bescherming tegen het water: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen/deltawerken/haringvlietsluizen/index.aspx>
- Rijkswaterstaat. (2021). Opgehaald van Waterkwantiteit: <https://waterinfo.rws.nl/#!/thema/Waterkwantiteit/>
- Rijkswaterstaat. (2021). Opgehaald van Waterdata getij: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterdata-en-waterberichtgeving/waterdata/getij>
- Rijkswaterstaat, A. (2009). *Leggerkaart Haringvlietdam*.
- Rijkswaterstaat, H. d. (2021). Opgehaald van <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/crisismanagement/begrippen/toelichting/getij/>
- Rijnlanden, H. S. (2013). Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/303428>
- RIONED. (2019). *Overstorten schematiseren*.
- Rutten, M. (2018). *Stroming in waterlopen*.
- Staatsbosbeheer. (2021). *Droomfondsproject Haringvliet*. Opgehaald van Staatsbosbeheer.nl: <https://www.staatsbosbeheer.nl/overstaatsbosbeheer/projecten/haringvliet-droomfonds>
- STOWA. (2020). Opgehaald van <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/verzilting/zoutindringing>
- Tangelder, M., Winter, E., & Ysebaert, T. (2017). *Ecologie van zoet-zout overgangen in Deltagebieden*. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/436428>
- Universiteit Wageningen. (2020). *Opening the Haringvliet, a stream of possibilities*. Wageningen: Wageningen universiteit.
- van de Wolff, B., & Lokker, J. (2021). *Vooronderzoek vismigratierivier*. (2017-2018). *Vloeistofmechanica*. Hogeschool Rotterdam.
- Vree, J. d. (2004). Opgehaald van <https://www.joostdevree.nl/shtmls/zand.shtml>
- Vries, D. (1959). *Waterloopkundig Laboratorium Delft*.

- Waddenvereniging. (sd). *Vismigratierivier Afsluitdijk*. Opgehaald van de Waddenvereniging:
https://www.waddenvereniging.nl/onswerk/vismigratie/afsluitdijk?gclid=Cj0KCQjwi7yCBhDJARIsAMWFScNgYRjZlwbcxJ1Fw9020yZwHJfzgAlgK4gP3UO49ZOR_yQMjyWptsArsXEALw_wcB
- Waterpeilen. (2016). Opgehaald van
<https://www.waterpeilen.nl/extremen/jaaroverzicht-rijn-en-maas-2016>
- waterschap Hollandse Delta. (2020, december 18). *Haringvlietsluizen voor 1000ste keer open*. Opgehaald van waterschap Hollandse Delta:
<https://www.wshd.nl/haringvlietsluizen-voor-1000ste-keer-open>
- Waterschap Hollandse Delta. (sd). *Compenserende Maatregelen Kierbesluit*. Opgehaald van Waterschap Hollandse Delta:
<https://www.wshd.nl/compenserende-maatregelen-kierbesluit>
- Waterschap Rijn en IJssel. (2016, maart 17). *Vispassages*. Opgehaald van Waterschap Rijn en IJssel: <https://www.wrij.nl/thema/kennis-informatie/waterthema%27-0/natuur-0/vismigratie/vismigratie/vispassages/>
- Waterstaat, M. v. (2007). *Hydraulische randvoorwaarden primaire waterkeringen*.
- waterstaat, R. v. (2001). Opgehaald van
<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:cdfa4f42-9775-41fe-b572-376d335fc027/datastream/OBJ>
- Winter, H., Griffioen, A., & Keeken, O. v. (2014, maart 11). *De Vismigratierivier: Bronnenonderzoek naar gedrag van vis rond zoet - zout overgangen*. Opgehaald van Wageningen University & Research:
<https://www.wur.nl/nl/Publicatie-details.htm?publicationId=publication-way-343533303735>
- Wolff, B. v. (2021). *AutoCad tekening dwarsdoorsnede Haringvlietdam dam vak A2*.
- Wolff, B. v. (2021). *AutoCad tekening krachten op kunstwerk*.
- Wolff, B. v. (2021). *AutoCad tekening nieuwe doorlaat*.
- Wolff, B. v. (2021). *AutoCad tekening overlaat*.
- Wolff, B. v. (2021). *AutoCad tekening secties constructie*.
- Wolff, B. v. (2021). *AutoCad tekening vertical slot passage*.
- Wolff, B. v. (2021). *AutoCad tekening vispassages*.
- Wolff, B. v. (2021). *Conceptueel model*.
- Wolff, B. v. (2021). *Data-analyse migratievenster*.
- Wolff, B. v. (2021). *Data-analyse spuidebiet*.
- Wolff, B. v. (2021). *Data-analyse vispassage*.
- Wolff, B. v. (2021). *Data-analyse zoetwateraanvoer*.
- Wolff, B. v. (2021). *MatrixFrame belasting weergave*.
- Wolff, B. v. (2021). *Scenario AutoCad tekening*.
- Wolff, B. v. (2021). *Vooronderzoek Vismigratierivier*.
- Wolff, B. v. (sd). *AutoCad tekening overlaat*. 2021.

13 Formules

1. $Q = A * \mu * \sqrt{(2 * g * \Delta h)}$
2. $Q = C * B * h^3 * \sqrt{2g * (H - h)}$
3. $Q = C * B * H^{3/2}$
4. $H_1 + (v_1^2 / 2g)$
5. $E = P/V = \rho * g * Q * h/L * B * y$
6. $Q = C * b * y_0 * \sqrt{(2g * \Delta h)}$
7. $Q = C * b * hv * \sqrt{(2 * g * \Delta h)}$
8. $V_{gem} = V_{gem} = C * \sqrt{(2g * \Delta h)}$
9. $A = Q / (\mu * \sqrt{(2 * g * \Delta h)})$
10. $C' = 18 * \log(\frac{12h}{2,5*d})$
11. $D^* = (\Delta g / v^2)^{1/3} * D$
12. $u^* = \sqrt{\theta cr * \Delta * g * D}$
13. $U_{kr} = C / \sqrt{g * u^*}$

14 Begrippenlijst

Afvoercoëfficiënt	De coëfficiënt die bij de berekening van de afvoer over en door kunstwerken de gevolgen van onvolkomenheden in de schematisatie van de waterbeweging compenseert.
Boxplot	Een boxplot is een grafische weergave van een dataset waarbij een minimum, het eerste kwartiel, een mediaan, het derde kwartiel en het maximum worden weergegeven.
Dimensionering	Dimensionering is jargon voor het op basis van ervaring en vuistregels globaal bepalen van de afmetingen van bouwconstructies.
Energiedemping	Energiedemping betekent in de vispassage de mate van turbulentie in het water. De energiedemping duidt de hoeveelheid van de turbulentie aan.
Estuarium	Een estuarium is een gebied waar zoet rivierwater mengt met zout zeewater. Hier ontstaat een brakwater situatie en een estuarium heeft vaak een erg grote natuurwaarde.
Het kennishiaat	Met een kennishiaat wordt aangegeven wat de kennis is die nog ontbreekt.
Kunstwerk	Een kunstwerk is, in bouwkundige zin, een door mensen gemaakt, meestal niet voor bewoning bestemd bouwwerk. De term wordt heden ten dage voorbehouden aan onderdelen van infrastructuur.
Overlaat	Een overlaat is een plaatselijke beperking in de waterdiepte.
Reguleren	In goede banen leiden. In dit geval het in goede banen leiden van het water.
Scenario	Een scenario is een chronologische beschrijving van een bepaalde gebeurtenis of reeks gebeurtenissen die heeft plaatsgevonden of nog moet plaatsvinden.
Spuidebiet	Het spuidebiet is het debiet in m^3/s dat door de Haringvlietsluizen stroomt.
Uitschieters	Een uitschieter in de statistiek is een waarde die niet bij de overige waarden lijkt te passen. Meestal is dit een waarde die relatief ver van de overige waarden verwijderd ligt.

Verval	Het verval is het absolute hoogteverschil tussen 2 punten.
---------------	--

15 Bijlagen








15.1 Leggerkaart Haringvlietdam

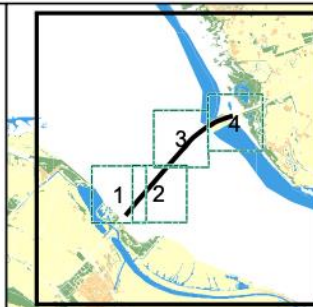
Leggerkaart 11 Haringvlietdam



Overzichtkaart

Legenda

- | | |
|--|---|
|  As kering |  Sectie |
|  Kernzone |  Sectiegrens |
|  Beschermingzone |  Kaartblad |
|  Constructief element | |



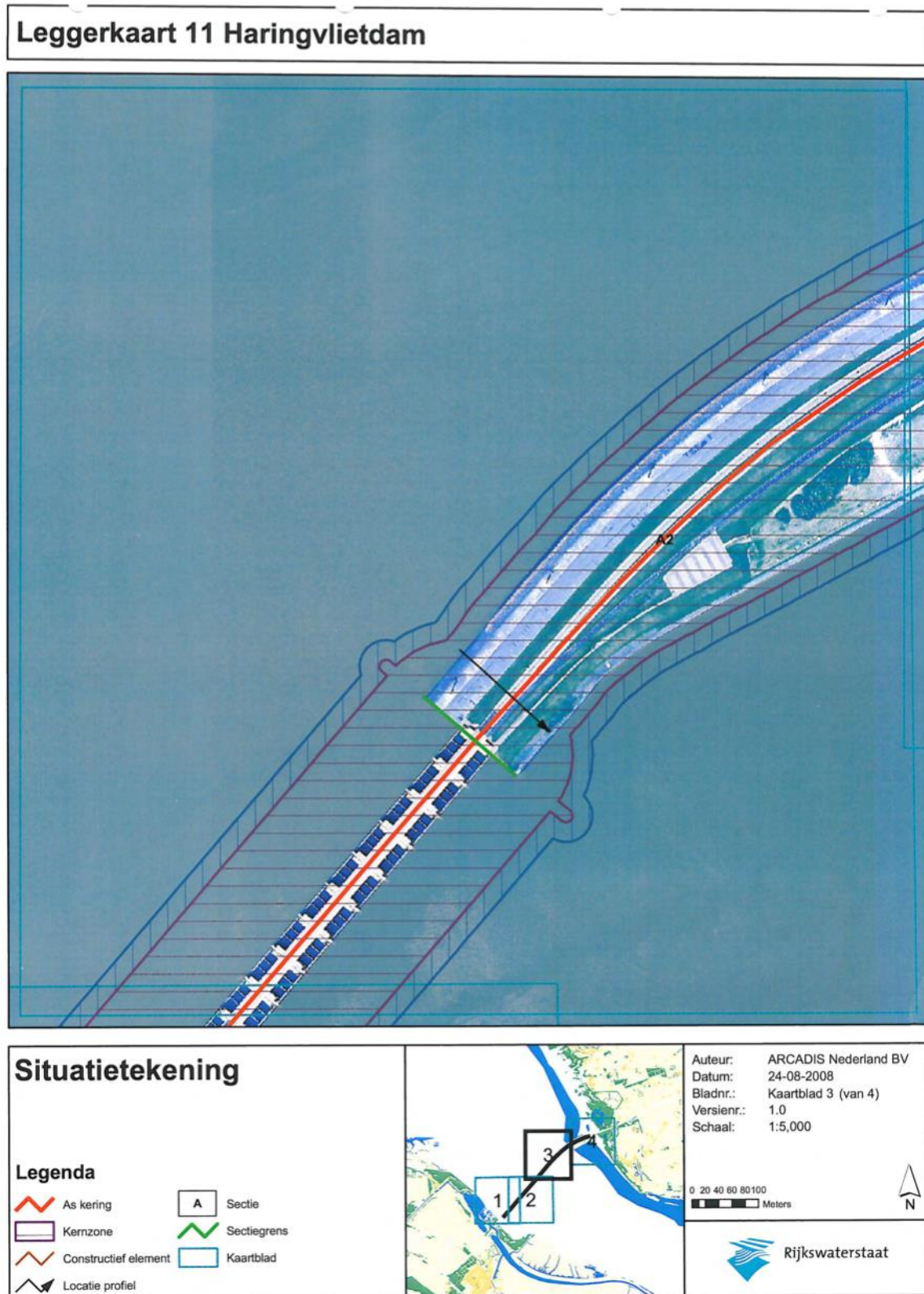
Auteur: ARCADIS Nederland BV
Datum: 25-11-2009
Bladnr.: Kaartblad 1
Versienr.: 1.0
Schaal: 1:25.000

0 200 400 600 800 1.000
Meters



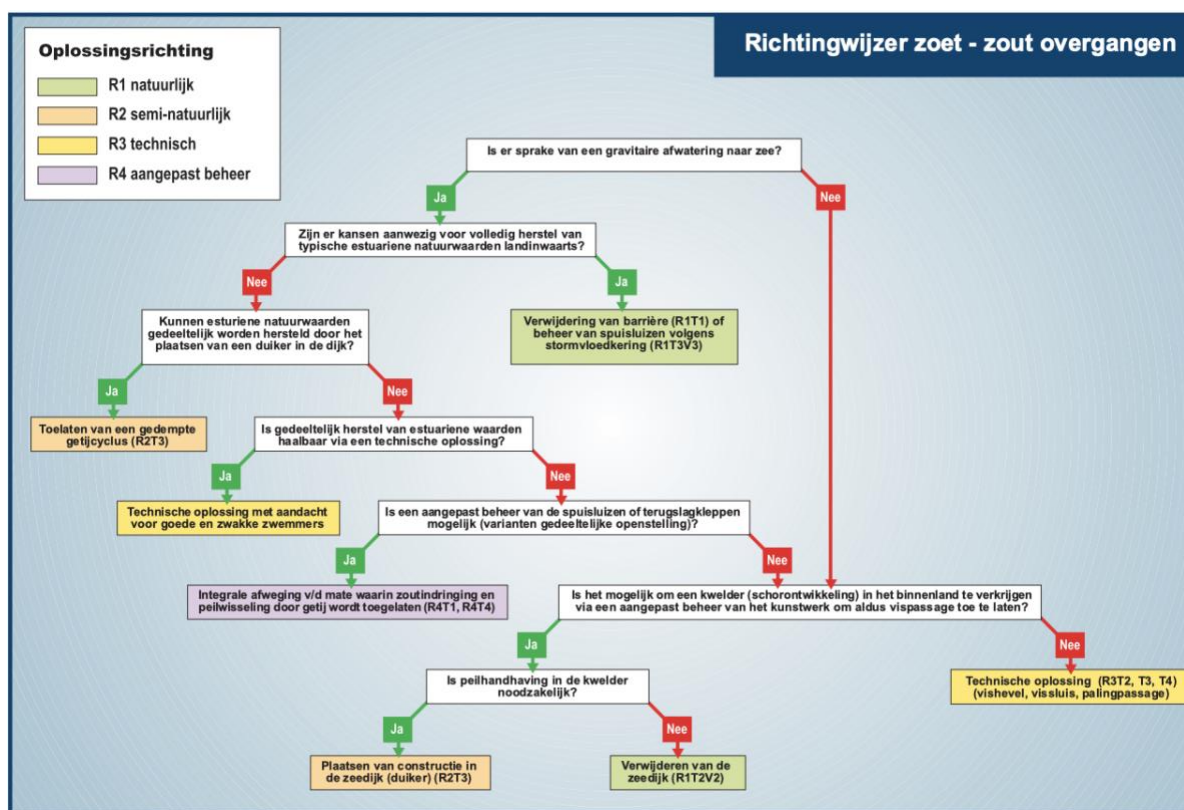
Figuur 33, Leggerkaart Haringvlietdam (Rijkswaterstaat, Legger Haringvlietdam, 2009)

15.2 Leggerkaart Haringvlietdam



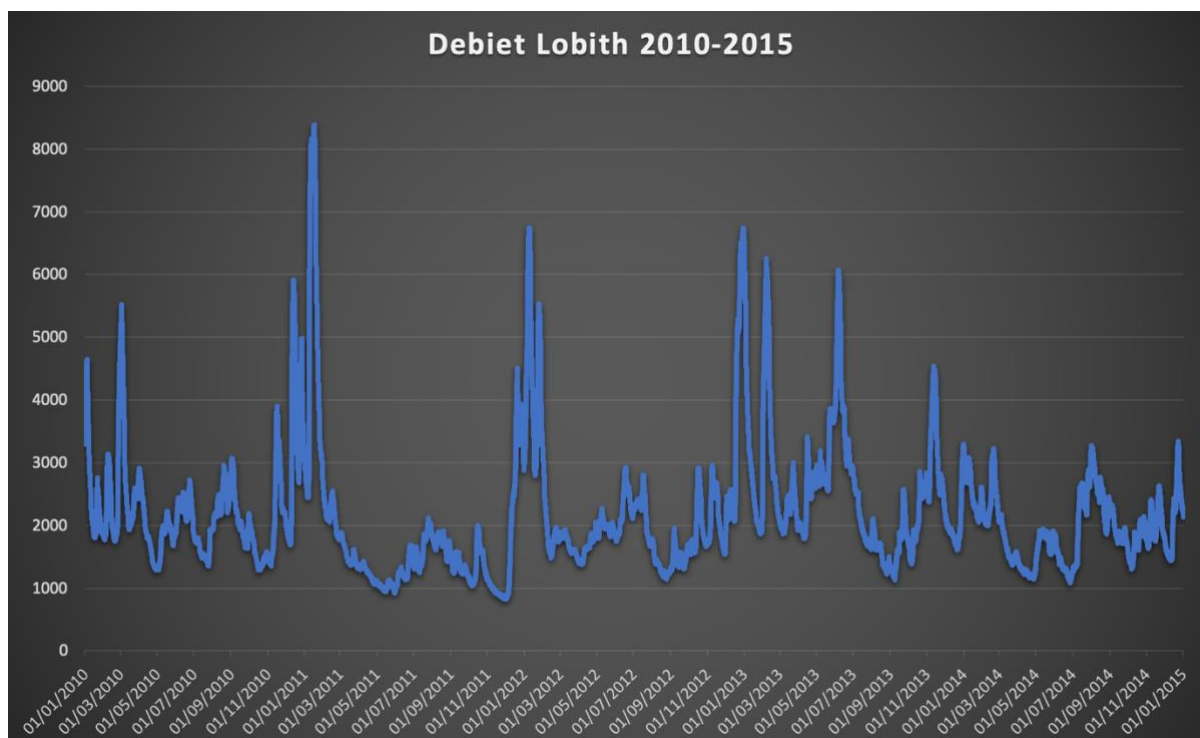
Figuur 34, Leggerkaart Haringvlietdam sectie A2 (Rijkswaterstaat, Legger Haringvlietdam, 2009)

15.3 Richtingwijzer zoet-zout overgang

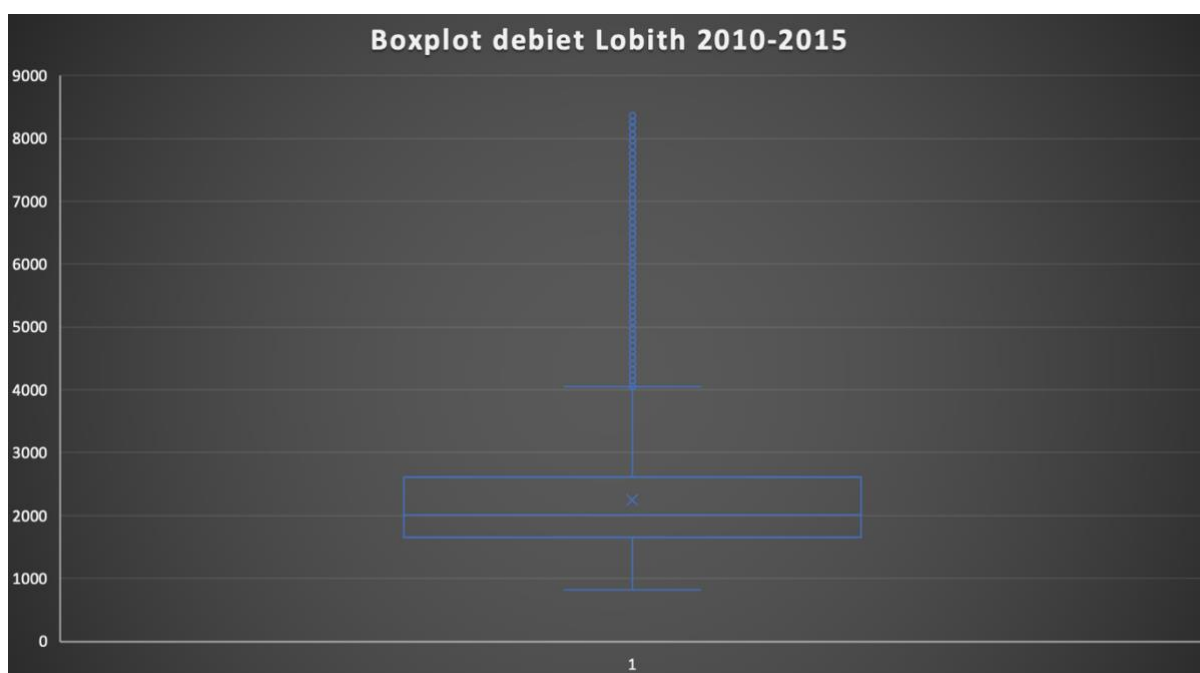


Figuur 35, Richtingwijzer zoet zout overgang (Monden, Visadvies, 2004)

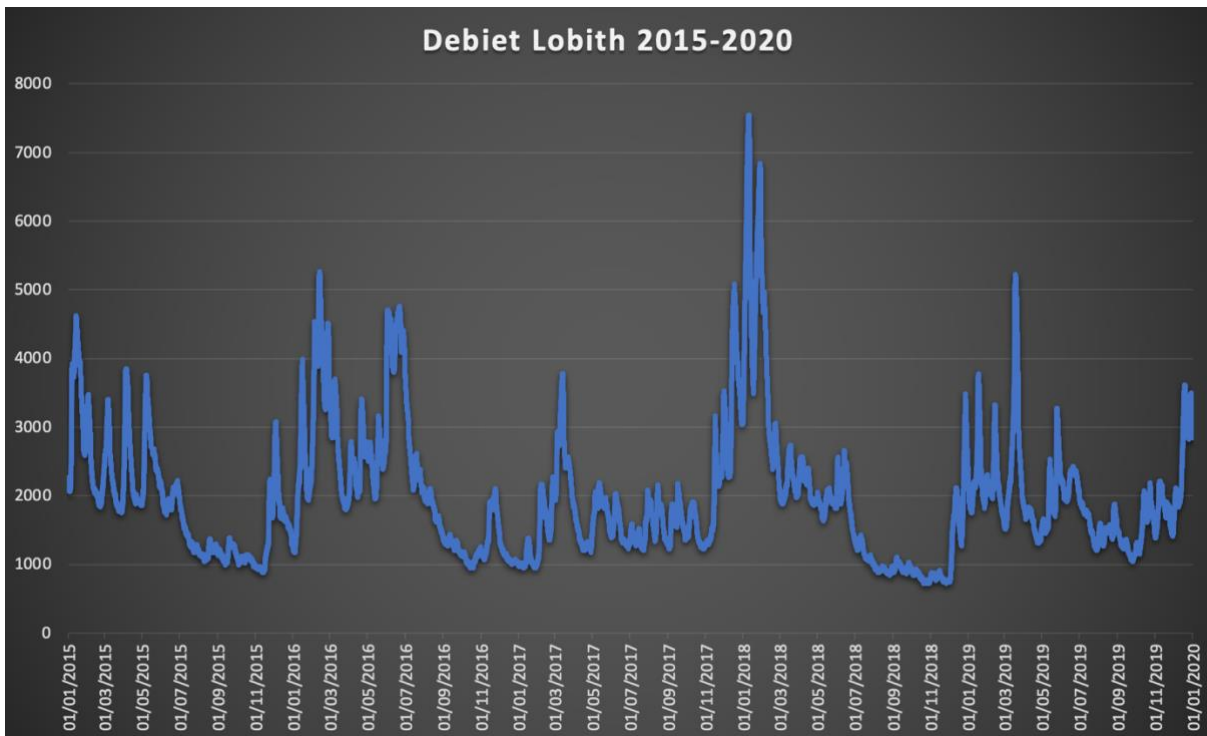
15.4 Data-analyse debiet bij Lobith



Figuur 36, Debiet Lobith 2010-2015



Figuur 37, Boxplot debiet Lobith 2010-2015



Figuur 38, Debiet Lobith 2015-2020



Figuur 39, Boxplot debiet Lobith 2015-2020

2010-2015 meetpunt Lobith

- Kleinste waarneming: 821 m³/s
- 1^e kwartiel: 1657 m³/s
- Mediaan: 2016 m³/s
- 3^e kwartiel: 2613 m³/s
- Grootste waarneming: 8388 m³/s

Doormiddel van de boxplot kan gezegd worden dat 25% van de afvoer bij Lobith in 2010-2015 tussen 821 m³/s en 1657 m³/s lag. 50% van de afvoer lag tussen de 1657 m³/s en 2613 m³/s. De laatste 25% van de afvoer lag tussen de 2613 m³/s en 8388 m³/s. Goed te zien in Figuur 36 zijn de “uitschieters”.

Het gemiddelde debiet van de periode 2010-2015 was 2246,76 m³/s.

2015-2020 meetpunt Lobith

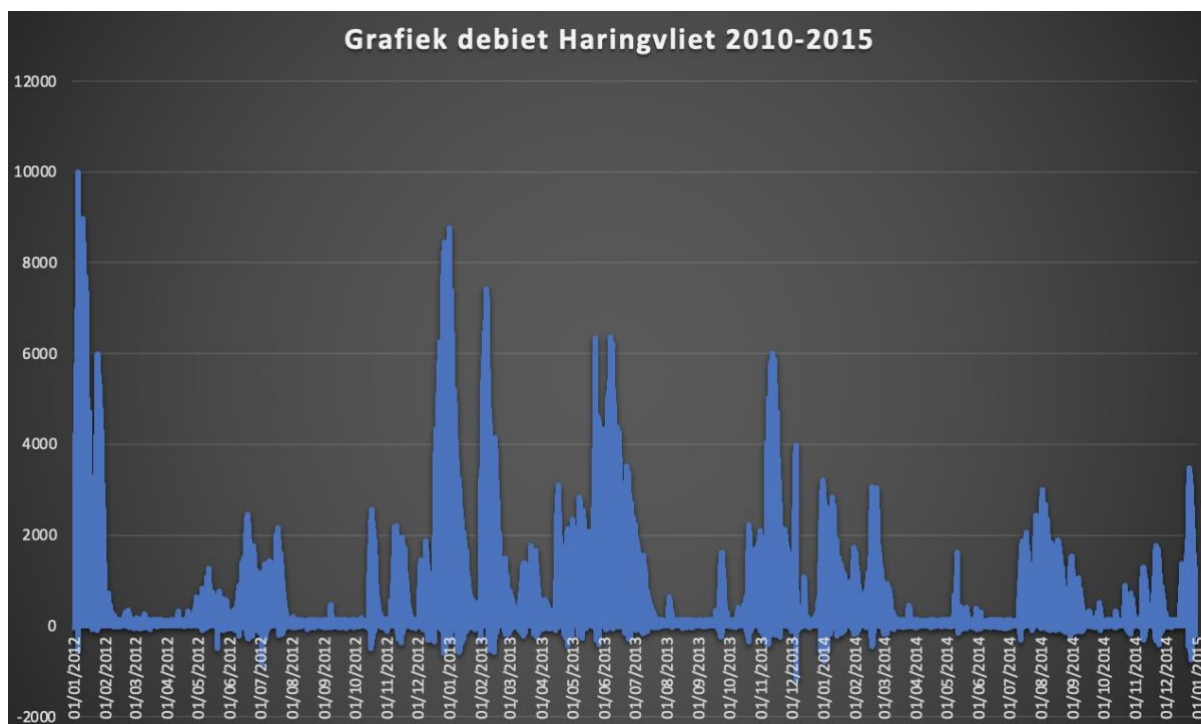
- Kleinste waarneming: 708 m³/s
- 1^e kwartiel: 1286 m³/s
- Mediaan: 1827 m³/s
- 3^e kwartiel: 2304 m³/s
- Grootste waarneming: 7553 m³/s

Doormiddel van de boxplot kan gezegd worden dat 25% van de afvoer bij Lobith in 2015-2020 tussen 708 m³/s en 1286 m³/s lag. 50% van de afvoer lag tussen 1286 m³/s en 2304 m³/s. de laatste 25% van de afvoer lag tussen de 2304 m³/s en 7553 m³/s. Goed te zien in Figuur 38 zijn de “uitschieters”.

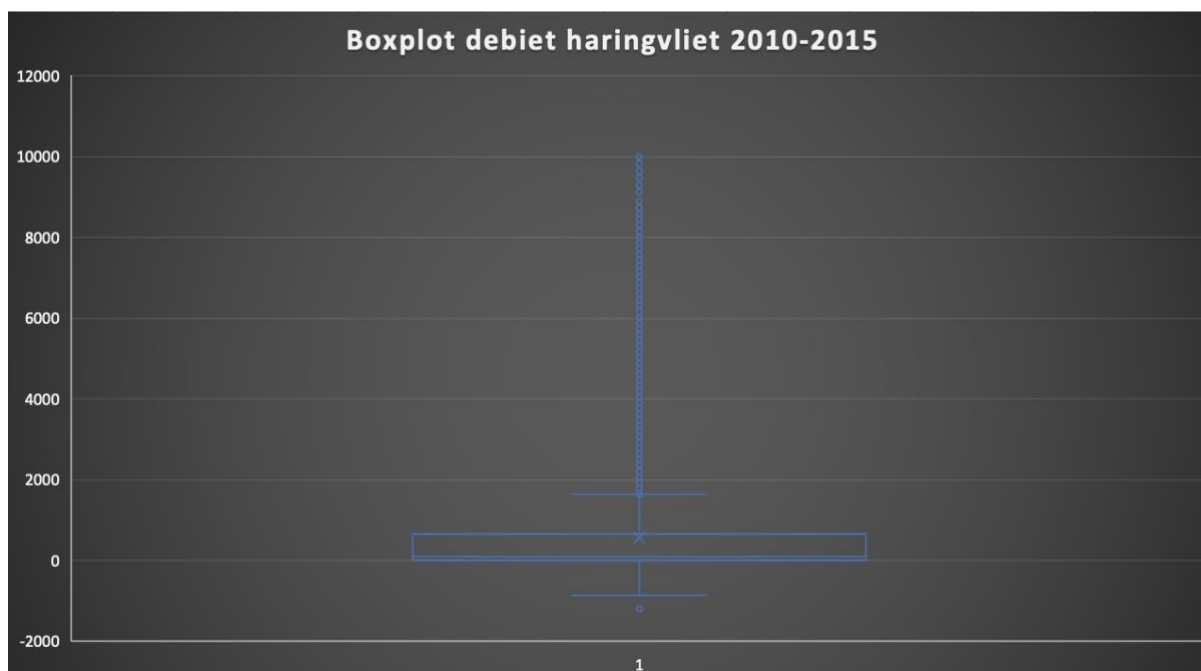
Het gemiddelde debiet van periode 2015-2020 was 1987,98 m³/s.

Het gemiddelde debiet over de periode 2010-2020 is 2117,37 m³/s. In de scenario's zal bij een gemiddeld debiet gerekend worden met 2100 m³/s.

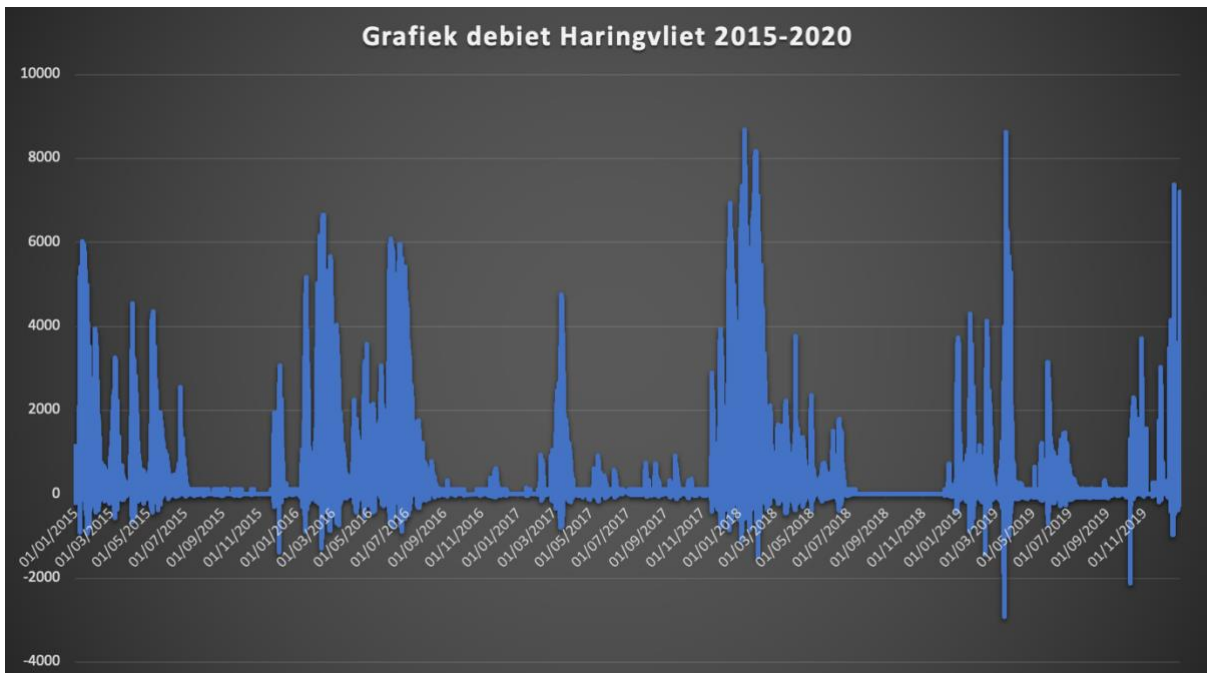
15.5 Data-analyse debiet bij Haringvlietsluizen



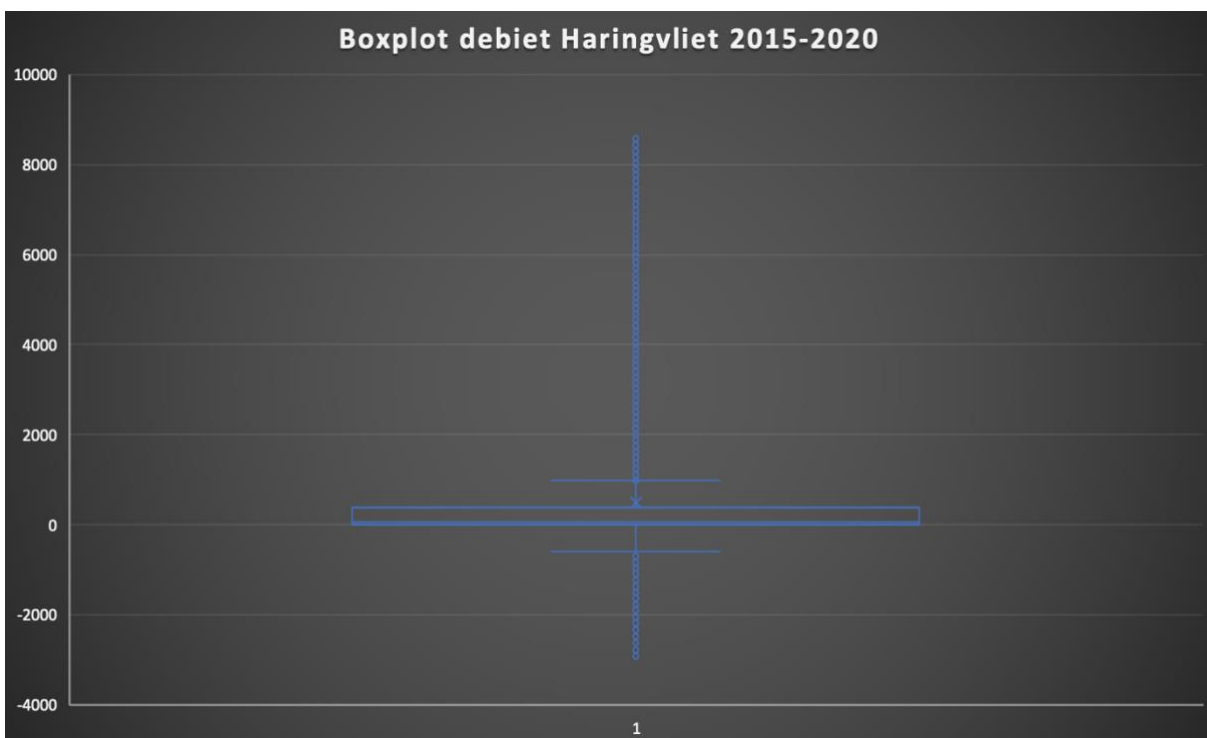
Figuur 40, Grafiek debiet Haringvliet 2010-2015



Figuur 41, Boxplot debiet Haringvliet 2010-2015



Figuur 42, Grafiek debiet Haringvliet 2015-2020



Figuur 43, Boxplot debiet Haringvliet 2015-2020

2010-2015 meetpunt Haringvliet

- Kleinste waarneming: -1190 m³/s
- 1^e kwartiel: 0 m³/s
- Mediaan: 98 m³/s
- 3^e kwartiel: 662 m³/s
- Grootste waarneming: 9988 m³/s
- Gemiddelde 580 m³/s

Doormiddel van de boxplot kan gezegd worden dat 25% van de afvoer van de Haringvlietsluizen in 2010-2015 tussen -850 m³/s en 0 m³/s lag. Dit zijn afvoeren richting het Haringvliet. Dit heeft te maken met het ingelaten water dat het Haringvliet binnenstroomt door middel van het kierbesluit.

50% van de afvoer lag tussen de 0 m³/s en 662 m³/s. De laatste 25% van de afvoer lag tussen de 662 m³/s en 1656 m³/s.

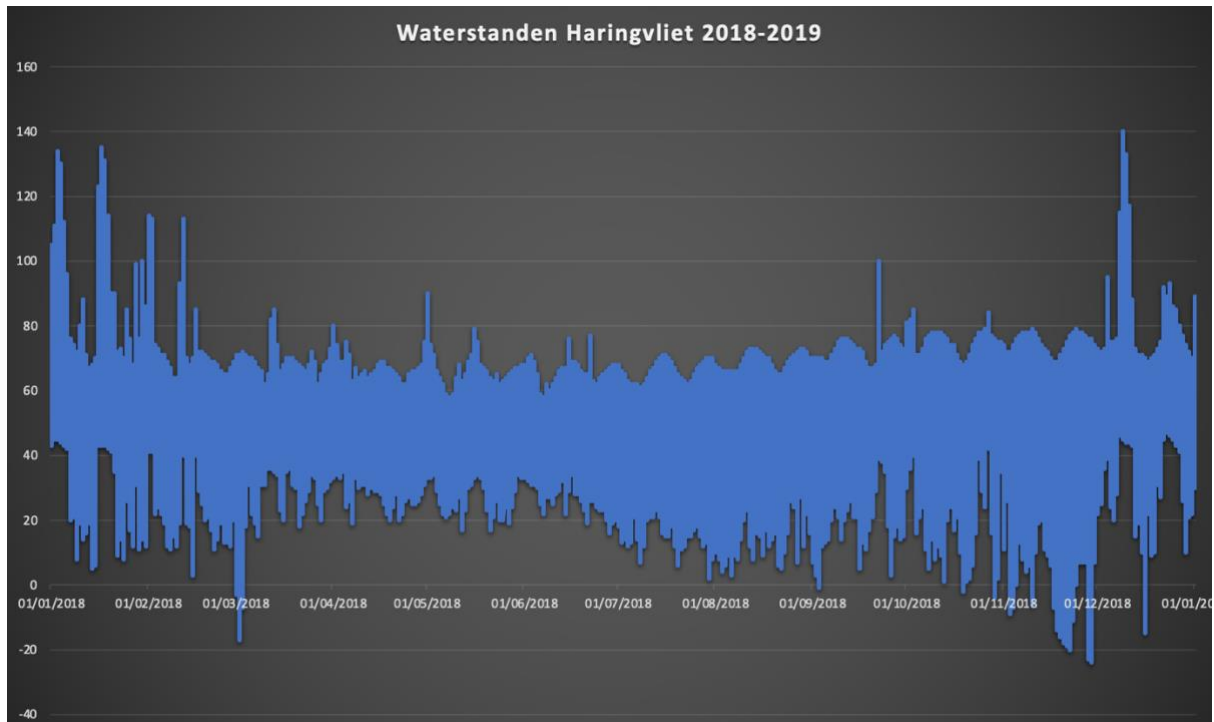
2015-2020 meetpunt Haringvliet

- Kleinste waarneming: -2920 m³/s
- 1^e kwartiel: 0 m³/s
- Mediaan: 51 m³/s
- 3^e kwartiel: 395 m³/s
- Grootste waarneming: 8695 m³/s
- Gemiddelde 492 m³/s

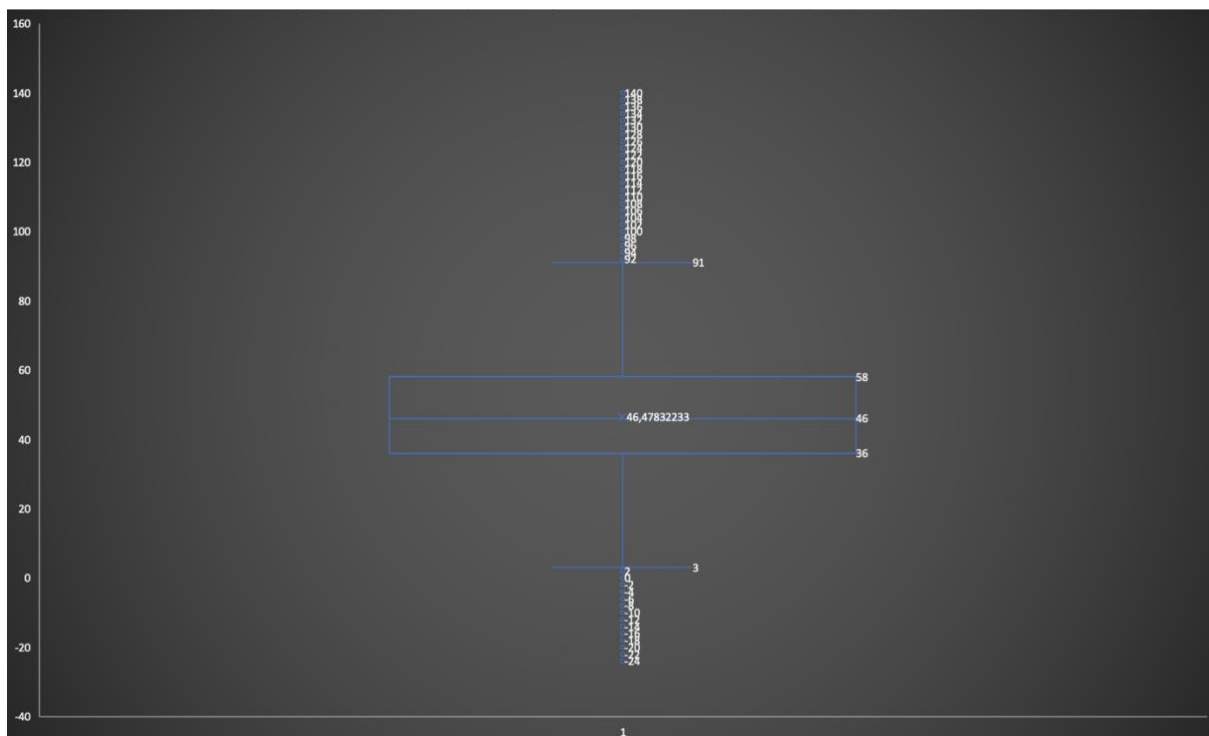
Doormiddel van de boxplot kan gezegd worden dat 25% van de afvoer van de Haringvlietsluizen in 2015-2020 tussen -591 m³/s en 0 m³/s lag. Dit zijn afvoeren richting het Haringvliet. Dit heeft te maken met het ingelaten water dat het Haringvliet binnenstroomt door middel van het kierbesluit.

50% van de afvoer lag tussen de 0 m³/s en 395 m³/s. De laatste 25% van de afvoer lag tussen de 395 m³/s en 987 m³/s.

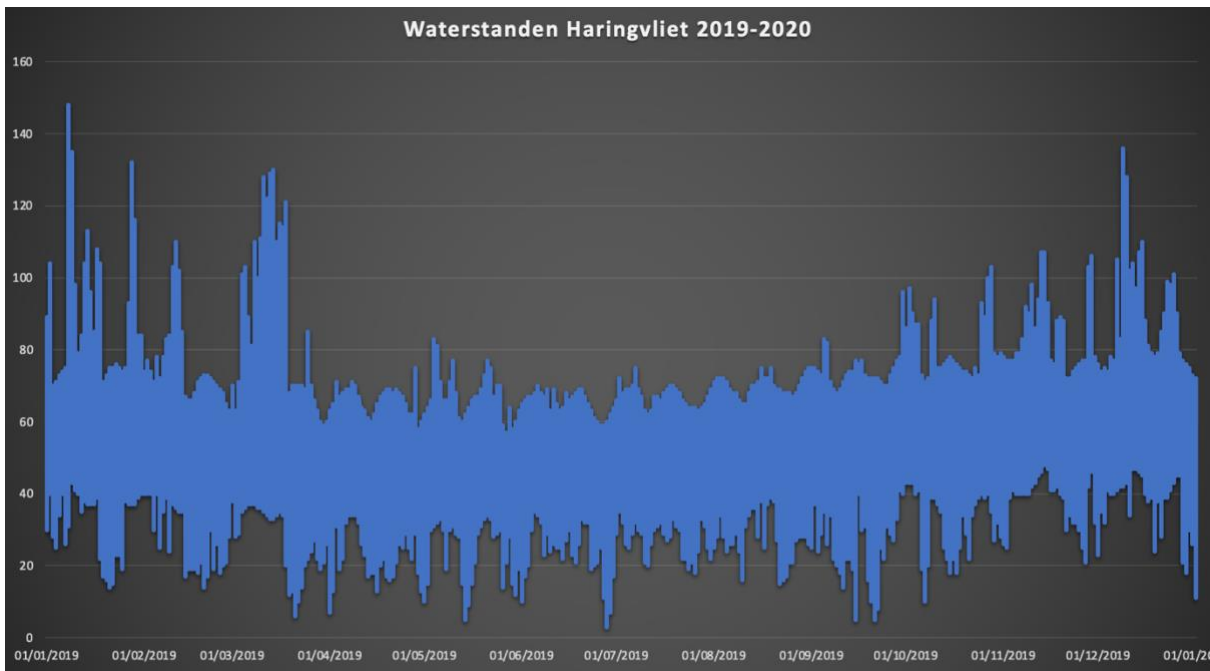
15.6 Data-analyse waterstanden Haringvliet



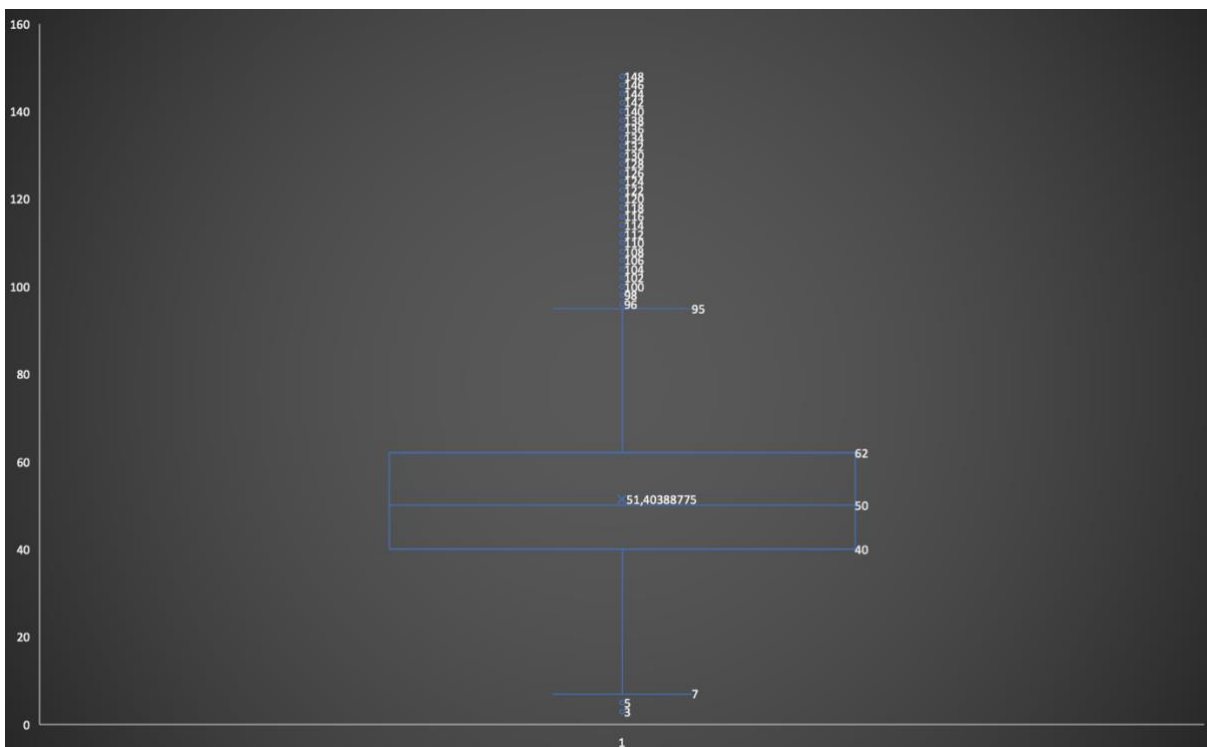
Figuur 44, Grafiek waterstanden Haringvliet 2018-2019



Figuur 45, Boxplot waterstanden Haringvliet 2018-2019



Figuur 46, Grafiek waterstanden Haringvliet 2019-2020



Figuur 47, Boxplot waterstanden Haringvliet 2019-2020

Van alle waterstanden in het jaar 2018-2019 in het Haringvliet is met behulp van Excel een boxplot gemaakt. In Figuur 45 zijn de verschillende waarden van de boxplot te zien.

- Kleinste waarneming: NAP -24 cm
- 1^e kwartiel: NAP +36 cm
- Mediaan: NAP +46 cm
- 3^e kwartiel: NAP +58 cm
- Grootste waarneming: NAP +140 cm

Doormiddel van de boxplot kan gezegd worden dat 25% van de waterstanden in 2018-2019 in het Haringvliet tussen NAP +3 cm en NAP + 36 cm lagen. 50% van de waterstanden lagen tussen NAP +36 cm en NAP +58 cm. En de laatste 25% van de waterstanden lagen tussen NAP +58 cm en NAP + 91 cm. Er zijn een aantal uitschieters die onder de eerste 25% liggen en een aantal uitschieters die boven de laatste 25% komen.

50% van het jaar 2018-2019 bevond het waterpeil zich dus tussen NAP +36 cm en NAP +58 cm. Het gemiddelde waterpeil was NAP +46 cm.

Van alle waterstanden in het jaar 2019-2020 in het Haringvliet is met behulp van Excel een boxplot gemaakt. In Figuur 47 zijn de verschillende waarden van de boxplot te zien.

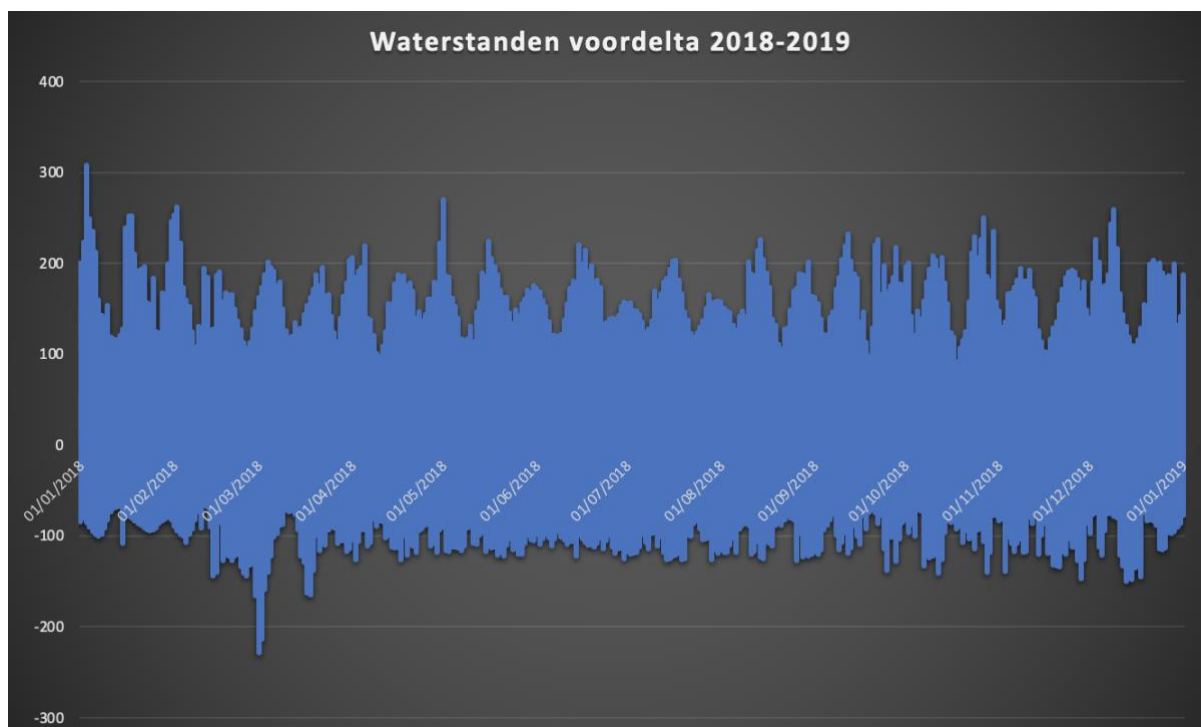
- Kleinste waarneming: NAP +3 cm
- 1^e kwartiel: NAP +40 cm
- Mediaan: NAP +50 cm
- 3^e kwartiel: NAP +62 cm
- Grootste waarneming: NAP +148 cm

Doormiddel van de boxplot kan gezegd worden dat 25% van de waterstanden in 2019-2020 in het Haringvliet tussen NAP +7 cm en NAP +40 cm lagen. 50% van de waterstanden lagen tussen NAP +40 cm en NAP +62 cm. En de laatste 25% van de waterstanden lagen tussen NAP +62 cm en NAP +95 cm. Er zijn een aantal uitschieters die onder de eerste 25% liggen en een aantal uitschieters die boven de laatste 25% komen.

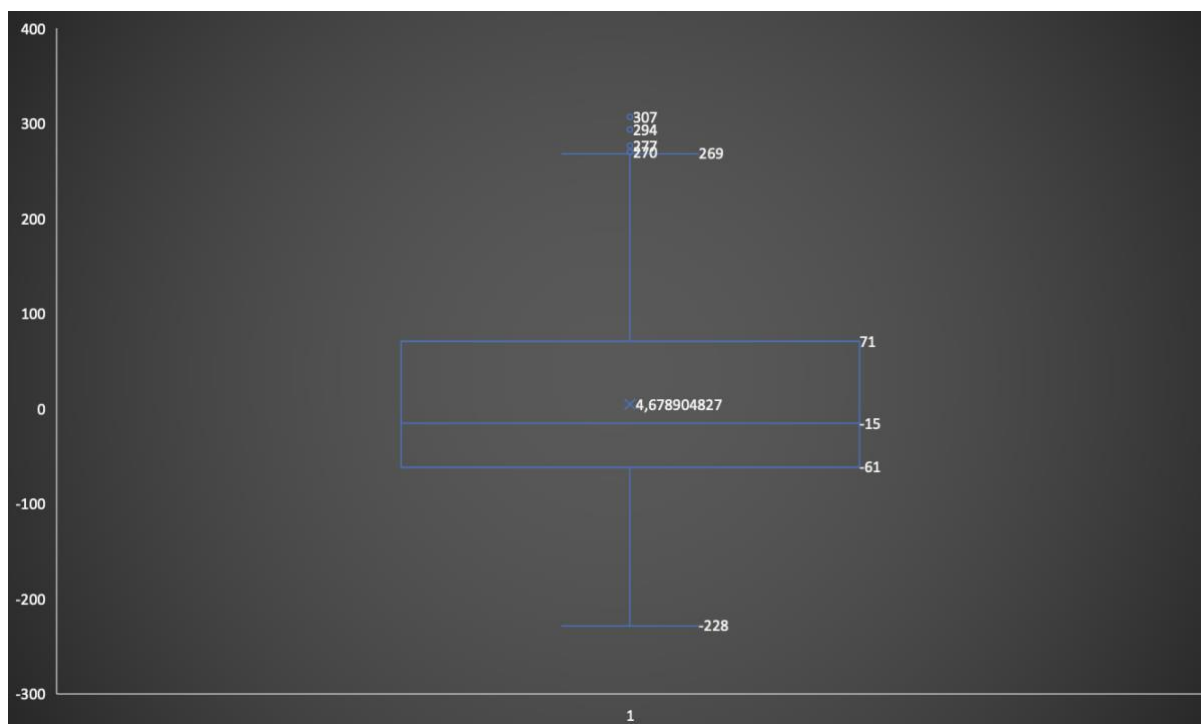
50% van het jaar 2019-2020 bevond het waterpeil zich dus tussen NAP +40 cm en NAP +62 cm.

De waterstanden in het Haringvliet waren in het jaar 2018-2019 en het jaar 2019-2020 zo goed als gelijkwaardig. Het gemiddelde waterpeil was NAP +51 cm.

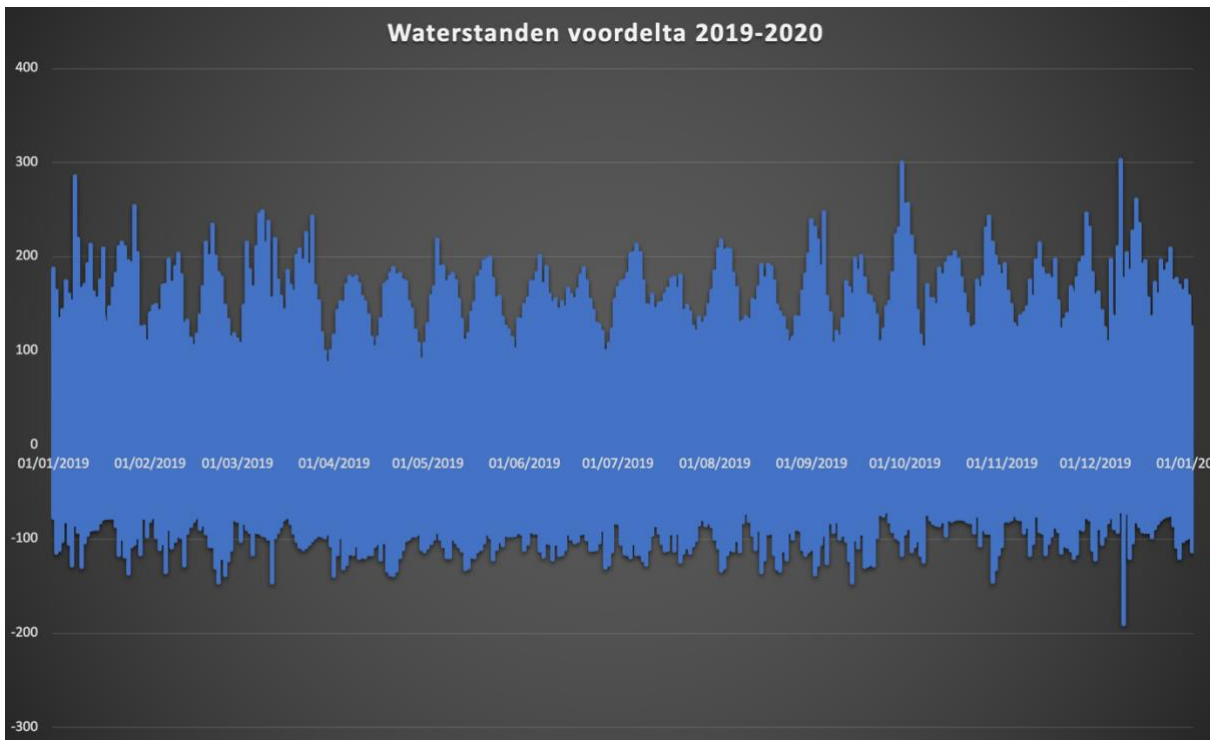
15.7 Data-analyse waterstanden voordelta



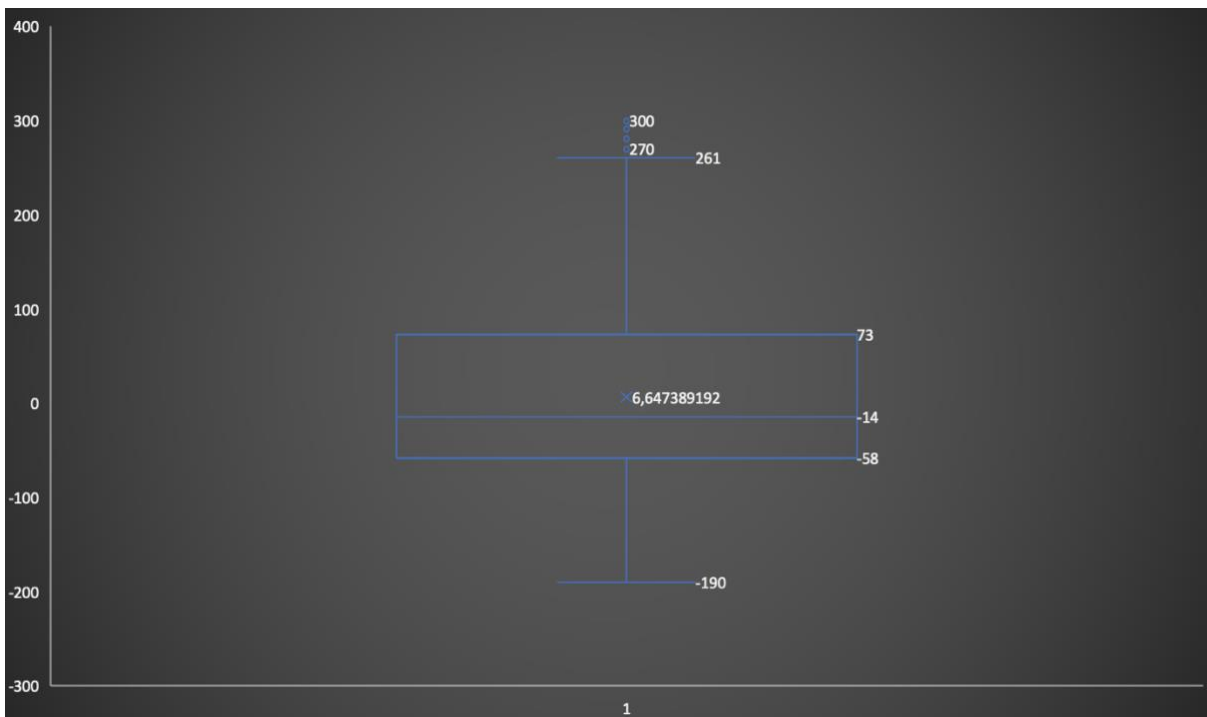
Figuur 48, Grafiek waterstanden voordelta 2018-2019



Figuur 49, Boxplot waterstanden voordelta 2018-2019



Figuur 50, Grafiek waterstanden voordelta 2019-2020



Figuur 51, Boxplot waterstanden voordelta 2019-2020

Van alle waterstanden in het jaar 2018-2019 in de voordelta is met behulp van Excel een boxplot gemaakt. In Figuur 49 zijn de verschillende waarden van de boxplot te zien.

- Kleinste waarneming: NAP -228 cm
- 1^e kwartiel: NAP -61 cm
- Mediaan: NAP -15 cm
- 3^e kwartiel: NAP +71 cm
- Grootste waarneming: NAP +307 cm

Doormiddel van de boxplot kan gezegd worden dat 25% van de waterstanden in 2018-2019 in de voordelta tussen NAP -228 cm en NAP -61 cm lagen. 50% van de waterstanden lagen tussen NAP -61 cm en NAP +71 cm. En de laatste 25% van de waterstanden lagen tussen NAP +71 cm en NAP +269 cm. Er zijn een aantal uitschieters die boven de laatste 25% uitkomen.

Het gemiddelde waterpeil was NAP +4,67 cm.

Van alle waterstanden in het jaar 2019-2020 in de voordelta is met behulp van Excel een boxplot gemaakt. In Figuur 51 zijn de verschillende waarden van de boxplot te zien.

- Kleinste waarneming: NAP -190 cm
- 1^e kwartiel: NAP -58 cm
- Mediaan: NAP -14 cm
- 3^e kwartiel: NAP +73 cm
- Grootste waarneming: NAP +300 cm

Doormiddel van de boxplot kan gezegd worden dat 25% van de waterstanden in 2019-2020 in de voordelta tussen NAP -190 cm en NAP -58 cm lagen. 50% van de waterstanden lagen tussen NAP -58 cm en NAP +73 cm. En de laatste 25% van de waterstanden lagen tussen NAP +73 cm en NAP +261 cm. Er zijn een aantal uitschieters die boven de laatste 25% uitkomen.

Het gemiddelde waterpeil was NAP +6,64 cm.

Onderbouwing waterstanden scenario 1

Laagwater Haringvliet

Uit de data-analyse waterstanden Haringvliet is te zien dat in 2018 de kleinste waarneming NAP -24 cm bedroeg. Dit was in 2018 een “uitschieter”. De data-analyse laat zien dat de onderste 25% van de waterstanden tussen NAP +3 cm en NAP +36 cm lagen.

In het jaar 2019 was de kleinste waarneming NAP +3 cm en lagen de onderste 25% van de waterstanden tussen NAP +7 cm en NAP +40 cm. In 2019 is een waterstand onder NAP 0 cm dus niet eens voorgekomen.

Uit deze data kan gezegd worden dat NAP 0 cm als ondergrens van de waterstand op het Haringvliet in scenario 1 een aannemelijke waarde is.

Hoogwater Haringvliet

Uit de data-analyse waterstanden Haringvliet is te zien dat in 2018 de grootste waarneming NAP +140 cm bedroeg. Dit was in 2018 een “uitschieter”. De data-analyse laat zien dat de bovenste 25% van de waterstanden tussen NAP +58 cm en NAP + 91 cm lagen. NAP +91 cm ligt 11 cm boven de grenswaarde van scenario 1. Een hogere waterstand op het Haringvliet dan NAP +80 cm komt voor, maar wordt niet aangemerkt als gemiddeld doordat meer dan 75% van de waterstanden in 2018 onder NAP +80 cm lagen.

In het jaar 2019 was de grootste waarneming NAP +148 cm. Dit was in 2019 een “uitschieter”. De data-analyse laat zien dat de bovenste 25% van de waterstanden tussen NAP +62 cm en NAP +95 cm lagen. NAP +95 cm ligt 15 cm boven de grenswaarde van scenario 1. Een hogere waterstand op het Haringvliet dan NAP +80 cm komt voor, maar wordt niet aangemerkt als gemiddeld doordat meer dan 75% van de waterstanden in 2019 onder NAP +80 cm lagen.

Rijkswaterstaat spreekt van een verhoogde waterstand bij een waterstand groter dan NAP +80 cm (Rijkswaterstaat, Waterkwantiteit, 2021).

Uit deze data kan gezegd worden dat NAP +80 cm als bovengrens van de waterstand op het Haringvliet in scenario 1 een aannemelijke waarde is.

Waterstanden voordelta

Uit de data-analyse waterstanden voordelta is te zien dat in 2018 50% van de waterstanden tussen NAP -61 cm en NAP +71 cm lagen. Deze 50% valt binnen de waterstanden van elk gemiddeld getij afkomstig uit de slotgemiddelden van scenario 1. In 2019 lag 50% van de waterstanden tussen NAP -58 cm en NAP +73 cm. Uit de data-analyse is te zien dat het getij in de voordelta ook regelmatig onder of boven de waterstanden van de slotgemiddelden uit scenario 1 uitkomen. Dit is goed te zien in de grafiek in Figuur 48. Doordat in scenario 1 gebruikgemaakt is van slotgemiddelden, komt het voor dat de daadwerkelijke waterstanden zich onder of boven deze slotgemiddelden bevinden. In dit onderzoek worden de waterstanden die zich onder of boven de slotgemiddelden bevinden, maar het verval binnen 1,80 meter blijft, meegenomen in scenario 1.

Onderbouwing waterstanden scenario 2

Laagwater Haringvliet

Uit de data-analyse Haringvliet is te zien dat de kleinste waarneming in 2018 en 2019 NAP -24 cm bedroeg. Uit de data-analyse kan gezegd worden dat een waterstand onder NAP 0 cm een bijzondere situatie is, maar uit de metingen van 2018 en 2019 blijkt dat deze situatie toch een aantal keer is voorgekomen.

Waterstanden onder NAP 0 cm komen dus een aantal keer per jaar voor op het Haringvliet. Binnen scenario 2 geldt als ondergrens op het Haringvliet een waterstand van < NAP 0 cm.

Hoogwater Haringvliet

Uit de data-analyse Haringvliet is te zien dat de grootste waarneming in 2018 en 2019 NAP +148 cm bedroeg. Uit de data is te zien dat een hogere waterstand dan NAP +80 cm zeker voorkomt. De omstandigheden wanneer deze waterstand voorkomt zijn wel bijzonder. De bovengrens in dit scenario van NAP +150 cm is afkomstig van waterinfo van Rijkswaterstaat. De waterstand boven NAP +150 cm wordt door Rijkswaterstaat aangeduid als hoog. Doordat waterstanden boven de NAP +80 cm voorkomen in het Haringvliet en vanaf NAP +150 cm de situatie als hoog wordt gezien door Rijkswaterstaat, zijn dit de grenswaarden van scenario 2.

Waterstanden voordelta

Uit de data-analyse van waterstanden voordelta is te zien dat waterstanden kleiner dan NAP -92 cm zeker voorkomen. De kleinste waarneming bedroeg NAP -228 cm in 2018 en NAP -190 cm in 2019. Waterinfo Rijkswaterstaat duidt waterstanden kleiner dan NAP -170 cm aan als laagwater. In scenario 2 vallen daarom alle waterstanden tussen NAP -92 cm en NAP -170 cm. Dit houdt in dat de kleinste waarnemingen zoals hierboven genoemd niet binnen scenario 2 vallen, maar binnen scenario 3. Hier wordt verder op ingegaan bij scenario 3.

Uit de data-analyse van waterstanden voordelta is te zien, zoals aangegeven bij scenario 1, dat waterstanden hoger dan NAP +146 cm zeker voorkomen. In dit scenario wordt er gesproken van een hoge waterstand als de waterstand in de voordelta tussen NAP +146 cm en NAP +200 cm ligt.

Onderbouwing waterstanden scenario 3

Laagwater Haringvliet

In scenario 3 wordt uitgegaan van dezelfde waarde bij laagwater Haringvliet als bij scenario 2: kleiner dan NAP 0 cm. Dit komt omdat een waterstand kleiner dan NAP 0 cm weinig voorkomt. Het verschil in scenario 2 en 3 zit in het totale verval. De laagwaterstand van de voordelta heeft hier relatief meer invloed op dan de laagwaterstand op het Haringvliet.

Hoogwater Haringvliet

In scenario 2 wordt bij hoogwater op het Haringvliet uitgegaan van een waarde tussen NAP +150 cm en NAP +220 cm. Deze waterstand wordt door Rijkswaterstaat aangeduid als een extreem hoge waterstand. Uit de data-analyse is te zien dat een waterstand hoger dan NAP +250 cm in 2018 en 2019 niet is waargenomen. Hierdoor wordt er van een extreme waterstand gesproken wanneer de waterstand boven de NAP +250 cm uitkomt.

Waterstanden voordelta

Uit de data-analyse blijkt dat de kleinste waarneming NAP -228 cm in 2018 en NAP -190 cm in 2019 waren. Dit zijn erg lage waterstanden en liggen lager dan in de in scenario 2 genoemde grenswaarde van NAP -170 cm. Deze waterstanden komen zelden voor en daarom is er voor scenario 3 gekozen voor een grenswaarde < NAP -170 cm.

Voor het hoogwater is in scenario 3 gekozen voor de waterstanden tussen NAP +200 cm en NAP +250 cm. Deze waardes worden in dit onderzoek en dit plangebied beschreven als extreem. Zoals bij **Error! Reference source not found.** aangegeven, wordt binnen het Delta21 plan een nieuwe waterkering aangelegd die een sluitpeil heeft van NAP +250 cm. Een hogere waterstand in de voordelta dan NAP +250 cm komt in het plangebied dan niet meer voor (Lavooij, 2021).

15.8 Hydraulische berekeningen vispassage

Voor de vertical slot passage en de witvis passage is de hoeveelheid bekkens/kamers, het debiet, de stroomsnelheid en de hoeveelheid turbulentie van groot belang. De turbulentie moet kleiner zijn dan 100 W/m^3 (eis 14) en de stroomsnelheid mag niet hoger zijn dan 0,3 meter (eis 15). In dit hoofdstuk worden de belangrijkste uitkomsten van de berekeningen weergegeven. Voor alle antwoorden en berekeningen wordt verwezen naar bijlage **Error! Reference source not found..**

Katopodis heeft vuistregels opgesteld voor de afmetingen van de bekkens in een vertical slot passage. Voor de breedte van de bekkens geldt 8 maal de breedte van de slot en voor de lengte van de bekkens geldt 10 maal de breedte van de slot. Katopodis geeft wel aan dat kleine verschillen in deze vuistregel niet direct leiden tot grote veranderingen in de hydraulische waarden van de passage (C.Katopodis, 2011).

Volgens Kroes en Monden zijn de afmetingen van de bekkens niet belangrijk zolang de bekkens maar voldoen aan de minimale grootte die nodig is voor voldoende energiedemping. Voor de bekkens wordt een minimale diepte van 0,5 meter aanbevolen (Monden, Visadvies, 2004). Aangezien de vispassage in dit plangebied een dusdanig grote constructie is, wordt deze minimale diepte makkelijk gehaald.

De bekkens zijn berekend met behulp van de vuistregel van Katopodis. Dit resulteert, bij een slot breedte van 0,5 meter, in een lengte van 5 meter en een breedte van 4 meter van de bekkens. De breedte van 0,5 meter is gekozen omdat bij deze afmeting alle vissoorten gebruik kunnen maken van de vispassage.

De hydraulische berekeningen zijn voor beide passages uitgevoerd. Voor de vertical slot passage is voor de waterdiepte door de sleuf 3,5 meter genomen. Deze waterdiepte is gekozen doordat de onderkant van de constructie op NAP -3 meter ligt en het gemiddelde waterpeil op het Haringvliet NAP +0,5 meter is. Voor de sleufbreedte in de vertical slot passage is 0,5 meter genomen. Dit resulteert in een doorstroomoppervlakte van $1,75 \text{ m}^2$. Voor de witvis passage is voor het vensterhoogte 1,75 meter genomen en voor de vensterbreedte 1 meter. Dit resulteert in een doorstroomoppervlakte van $1,75 \text{ m}^2$. Op deze manier is de doorstroomoppervlakte van beide passages gelijk en kan goed gekeken worden wat de verschillen zijn en waar deze in zitten.

Hoeveelheid bekkens

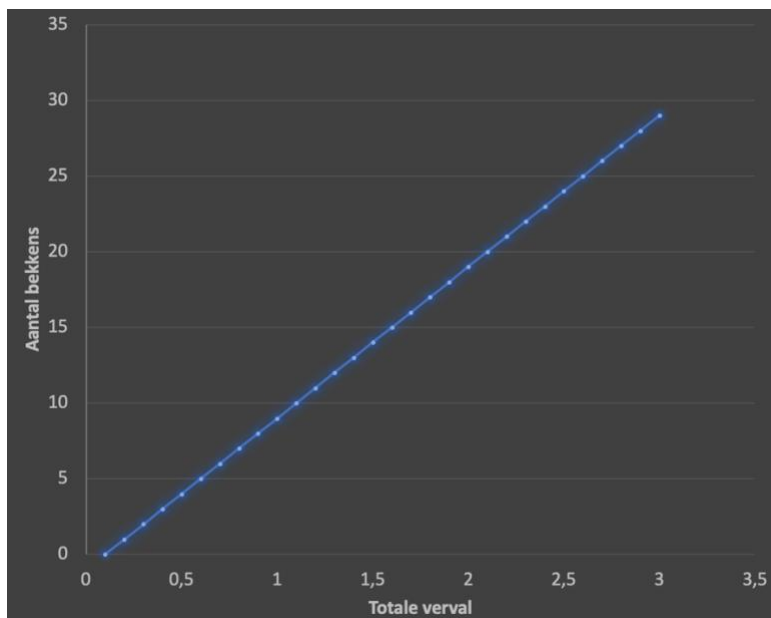
Het aantal bekkens/kamers dat nodig is om het totale verval te overbruggen is berekend met de volgende formule (Greg S Armstrong, 2010):

$$N = \left(\frac{htotaal}{\Delta h} \right) - 1$$

N = Aantal bekkens/kamers
 htotaal = Totaal te overbruggen hoogteverschil
 Δh = Verval tussen de bekkens/kamers

Bij veel gedimensioneerde vispassages gaat het om een constant verval in dezelfde richting. In dit plangebied is het verval en de richting niet constant. Om tot een aantal bekkens/kamers te komen wordt een maximaal verval van 0,1 meter per bekken genomen. Maximaal 0,1 meter verval per bekken is gekozen omdat deze parameter een erg grote invloed heeft op de stroomsnelheid en het debiet door de vispassage. Voor het totaal te overbruggen verval is 2,5 meter genomen. Dit is het grootste verval dat voorkomt in scenario 2. Het overige 0,5 meter verval die nog extra optreedt in scenario 3 (tot een totaal verval van 3 meter) wordt in het ontwerp van de vispassage niet meegenomen, omdat deze waarden erg extreem zijn en de vispassage dan hoogstwaarschijnlijk dicht zal zijn.

Bij een totaal verval van 2,5 meter en een verval per bekken van 0,1 meter, komt uit de berekening dat 24 bekkens nodig zijn. Dit aantal is voor de vertical slot passage en de witvispassage hetzelfde. Het verval per bekken zal ook per situatie verschillen. 0,1 is bij 24 bekkens het maximale verval per bekken (bijlage 15.13 Excel sheet afstudeeronderzoek).



Figuur 52, Grafiek aantal bekkens in vergelijking met het totale verval, (Wolff, Data-analyse vispassage, 2021)

Debiet

Om vervolgens de stroomsnelheid te kunnen berekenen, is het debiet dat door de passages stroomt van belang. Het debiet is berekend met de volgende formules (Monden, Visadvies, 2004):

Vertical slot passage

$$Q = C * b * y_0 * \sqrt{2g * \Delta h}$$

- Q = Debiet (m³/s)
- C = Afvoercoëfficiënt (-)
- b = Sleufbreedte (m)
- y₀ = Waterdiepte van de sleuf (m)
- g = Zwaartekrachtversnelling (m/s²)
- Δh = Verval tussen de bekkens (m)

Voor de afvoercoëfficiënt kan voor ontwerpdoeleinden bij de vertical slot vispassage 0,70 gebruikt worden (Monden, Visadvies, 2004). Het debiet kan ook berekend worden met behulp van de debietformule van Katopodis. Het nadeel van deze formule is dat gebruik wordt gemaakt van de helling van de bodem van de passage S. In dit plangebied zal de bodem geen helling hebben en is het beter om het debiet te berekenen door middel van het verval per bekken. Uit de debietberekening komt, bij een sleufbreedte van 0,5 meter, een waterdiepte in de sleuf van 3,5 meter en een verval tussen de bekkens van 0,1 meter een debiet van 1,72 m³/s.

Witvis passage

$$Q = C * b * h_v * \sqrt{2 * g * \Delta h}$$

- Q = Debiet (m³/s)
- C = Afvoercoëfficiënt (-)
- b = Vensterbreedte (m)
- h_v = Vensterhoogte (m)
- g = Zwaartekrachtversnelling (m/s²)
- Δh = Verval van de kamers (m)

Voor de afvoercoëfficiënt kan voor ontwerpdoeleinden bij de witvis passage 0,92 gebruikt worden (Monden, Visadvies, 2004). Voor de debietformule kan voor ontwerpdoeleinden de bovenstaande formule gebruikt worden (Monden, Visadvies, 2004). Uit de debietberekening komt, bij een vensterbreedte van 1 meter, een vensterhoogte van 1,75 meter en een verval tussen de bekkens van 0,1 meter, een debiet van 2,23 m³/s.

Het debiet door de witvis passage is dus groter dan het debiet door de vertical slot passage. Dit komt door het verschil van de afvoercoëfficiënt.

Stroomsnelheid

De stroomsnelheid die door de passages stroomt is waarschijnlijk de belangrijkste parameter, omdat de vissen fysiek in staat moeten zijn om de passage te kunnen passeren. De stroomsnelheid is berekend met de volgende formule (Monden, Visadvies, 2004):

$$V_{gem} = V_{gem} = C * \sqrt{(2g * \Delta h)}$$

V_{gem} = Gemiddelde stroomsnelheid door vertical slots (m/s)

C = Afvoercoëfficiënt (-)

g = Zwaartekrachtversnelling (m/s²)

Δh = Verval tussen bekkens of kamers (m)

Bij de formule voor de stroomsnelheid is te zien dat de enige parameter, die verschilt per passage, de afvoercoëfficiënt is. Dit houdt in dat de gemiddelde stroomsnelheid in de vertical slot passage kleiner is dan in de witvis passage. In de vertical slot passage is de gemiddelde stroomsnelheid bij een verval van 0,1 meter per bekken 0,98 m/s en in de witvis passage is de gemiddelde stroomsnelheid bij een verval van 0,1 meter 1,27 m/s.

Voor beide vispassages ligt de stroomsnelheid boven de eis van 0,3 m/s. Hier wordt verder op ingegaan in hoofdstuk 8.13. Operationele situatie vispassage.

Hoeveelheid turbulentie

De hoeveelheid turbulentie dat voorkomt in een bekken is van belang voor de efficiëntie van de vispassage. Bij een te hoge turbulentie kunnen de vissen geen rust vinden in de bekkens en kunnen ze niet migreren (Greg S Armstrong, 2010). De turbulentie in de bekkens is berekend met de formule (Monden, Visadvies, 2004):

$$E = P/V = \rho * g * Q * h/L * B * y$$

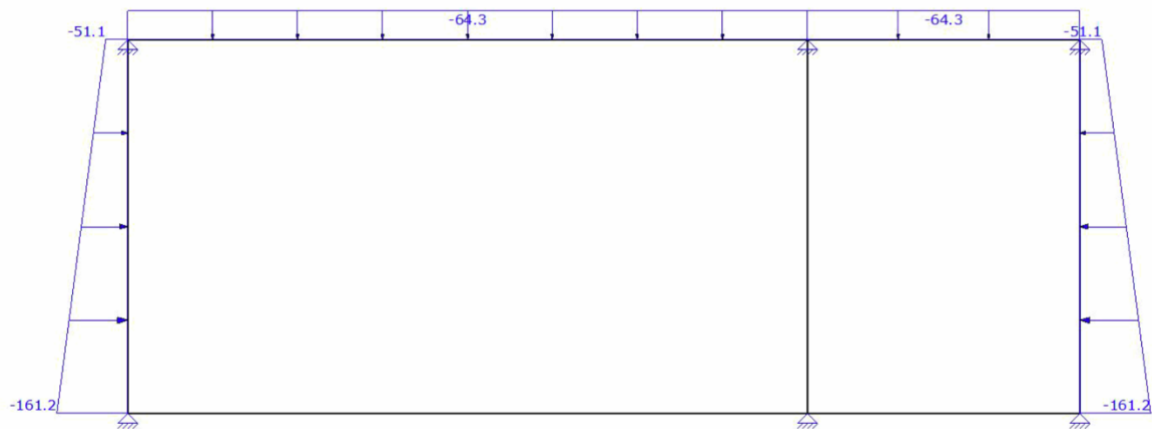
E	= Energie per bekken (W/m ³)
P	= Energiedemping (W)
V	= Volume per bekken (m ³)
ρ	= Dichtheid van water (kg/m ³)
g	= Zwaartekrachtversnelling (m/s ²)
Q	= Debiet (m ³ /s)
Δh	= Verval tussen bekkens of kamers (m)
L	= Lengte van de bekkens of kamers (m)
B	= Breedte van de bekkens of kamers (m)
y	= Waterdiepte van de bekkens of kamers (m)

De Energiedemping per m³ in een vispassage mag niet te hoog zijn. Er worden maximale waarden gehanteerd, namelijk (Monden, Visadvies, 2004):

- <200 W/m³ voor zalmachtigen
- <150 W/m³ voor elft fint en karperachtigen
- <100 W/m³ voor snoek en snoekbaars

De berekeningen zijn voor beide passages uitgevoerd. Voor de vertical slot passage is voor de waterdiepte door de sleuf 3,5 meter genomen en voor de sleufbreedte 0,5 meter. Dit resulteert in een doorstroomoppervlakte van 1,75 m². Voor de witvis passage is voor het vensterhoogte 1,75 meter genomen en voor het vensterhoogte 1 meter. Dit resulteert in een doorstroomoppervlakte van 1,75 m². De bekkens hebben beide ook dezelfde afmetingen, namelijk een lengte van 5 meter en een breedte van 4 meter. De overige parameters in de formule zijn gelijk, behalve het debiet. Uit de berekening komt een E waarde van 24,05 voor de vertical slot passage en een E waarde van 31,26 voor de witvis passage.

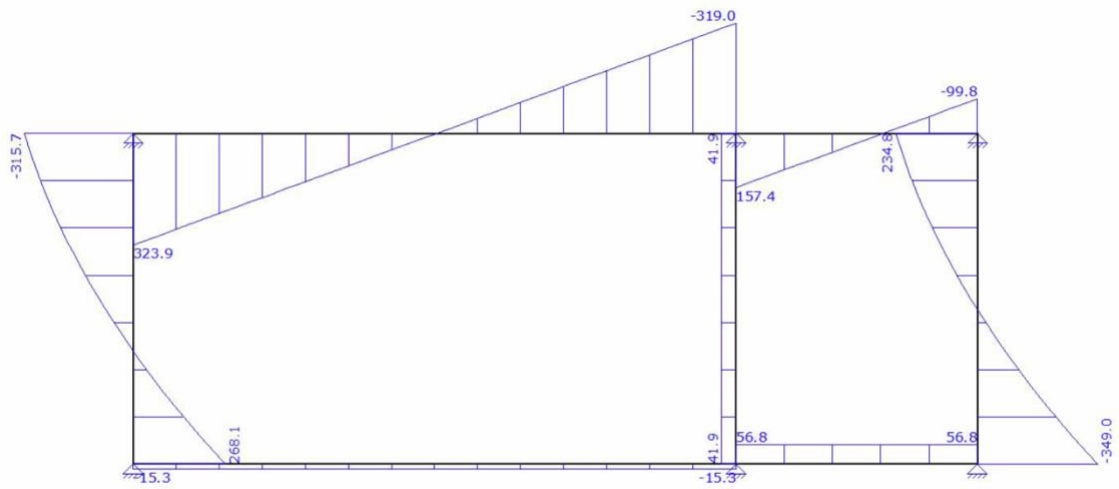
15.9 Analyse constructie Sectie A



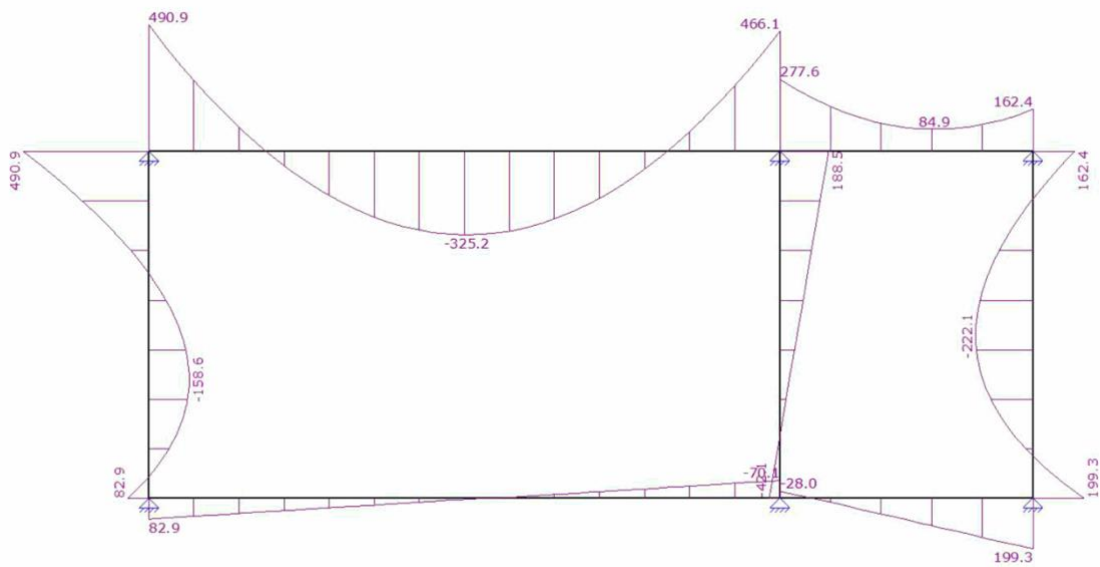
Figuur 53, Permanente belasting sectie A

De Q last boven op de constructie is berekend door ten eerste de hoogte van deze sectie maal de dichtheid van droog zand (3,3 meter maal $15,5 \text{ KN/m}^3$) te doen. Dit resulteert in $51,15 \text{ KN/m}^1$. Het eigen gewicht van de constructie wordt hierbij opgeteld ($0,57 \text{ meter maal } 23 \text{ KN/m}^3$). Dit resulteert in $13,14 \text{ KN/m}^1$. De totale Q last boven op de constructie in sectie A bedraagt $64,29 \text{ KN/m}^1$.

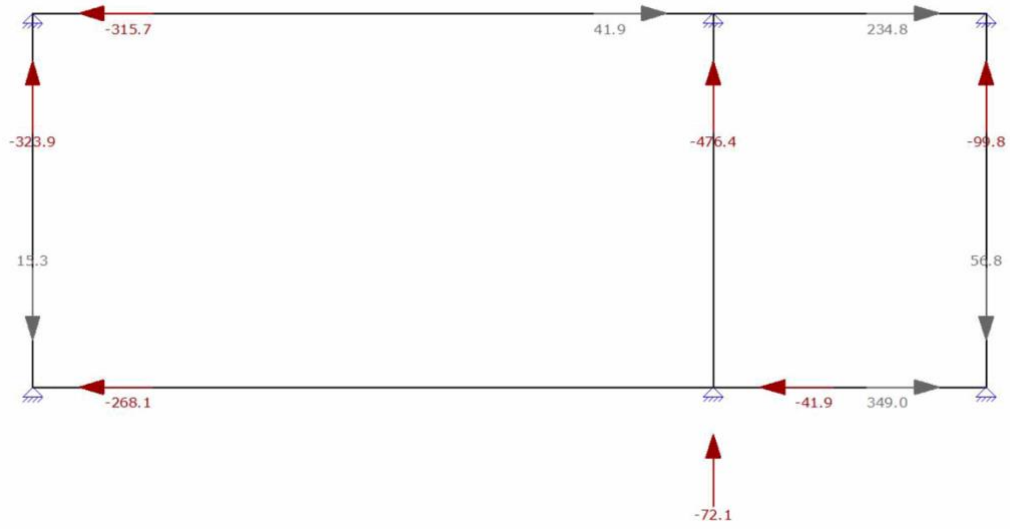
De gronddruk tegen de zijkant van de constructie is berekend door de hoogte van de constructie maal de dichtheid van nat zand (5,5 meter maal 20 KN/m^3) te doen. Dit resulteert in 110 KN/m^1 . Voor de zijkant is nat zand gekozen, omdat dit in de praktijk voor kan komen en dus de maximale belasting geeft. De gronddruk tegen de wand start niet op 0. Dit komt doordat de lagen boven de constructie ook een gronddruk leveren op de wand. In deze sectie bedraagt deze druk 3,3 meter maal $15,5 \text{ KN/m}^3$ dat resulteert in $51,15 \text{ KN/m}^1$. De maximale gronddruk aan de onderkant van de wand is daarom $161,2 \text{ KN/m}^1$.



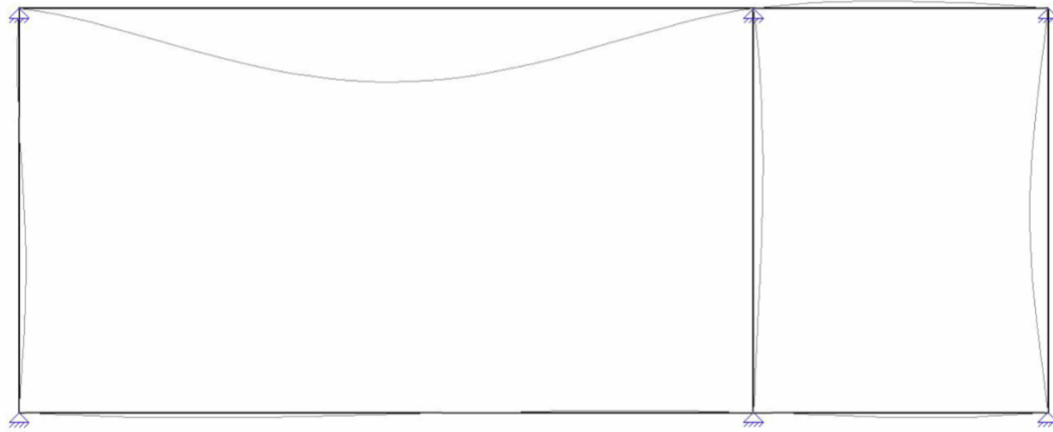
Figuur 54, Dwarskrachten sectie A



Figuur 55, Momenten sectie A

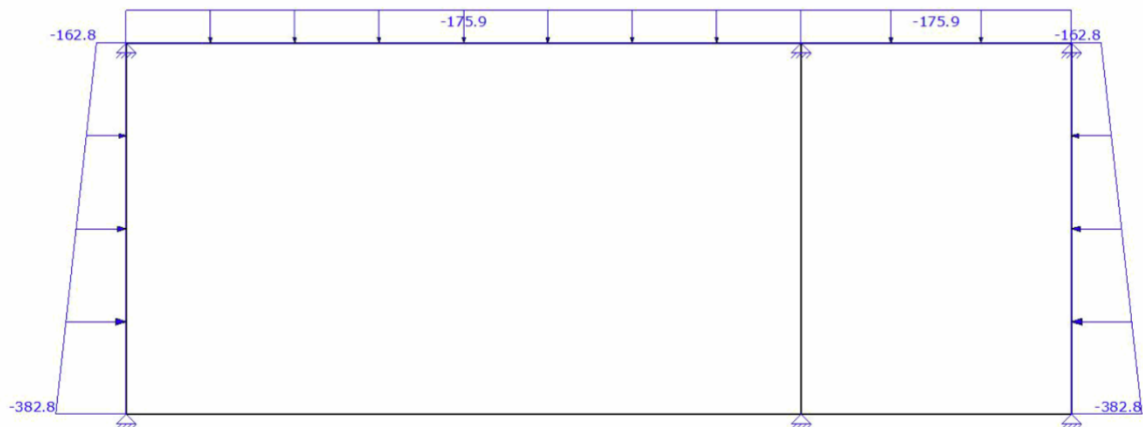


Figuur 56, Oplegreacties sectie A



Figuur 57, Doorbuiging sectie A

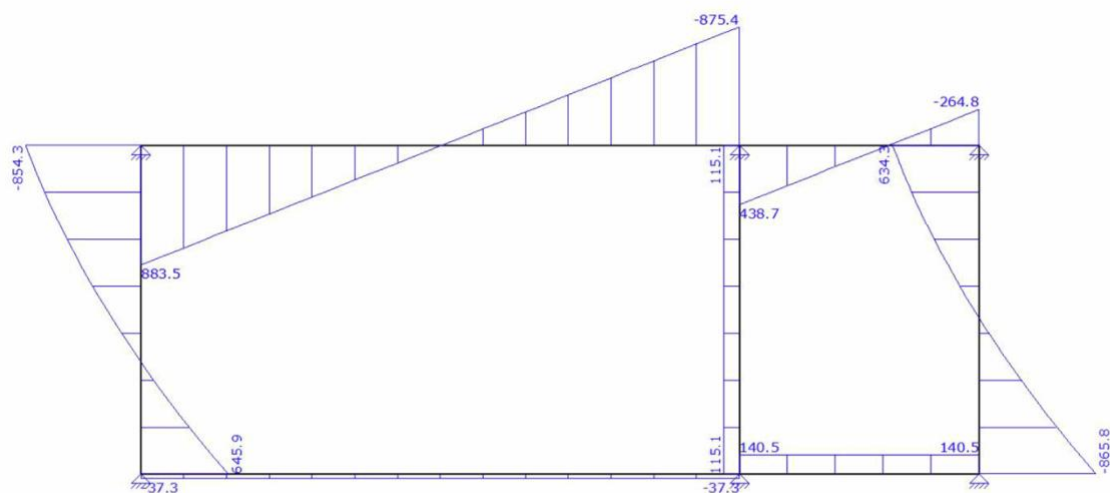
Sectie B



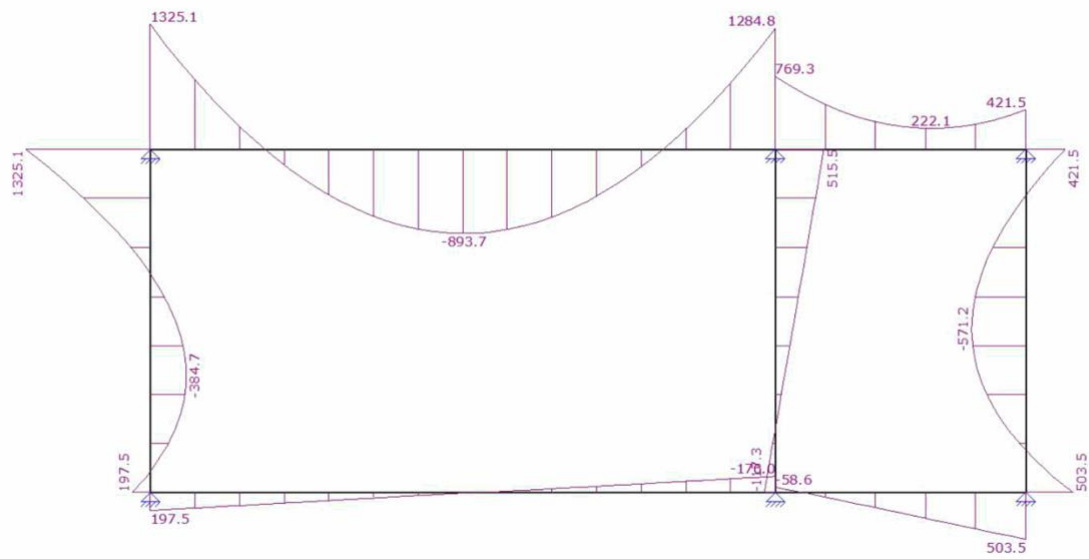
Figuur 58, Permanente belasting sectie B

Voor sectie B geldt een Q last boven op de constructie van $175,89 \text{ KN/m}^1$. De dikte van de zandlaag is in deze sectie 10,5 meter. Deze dikte maal $15,5 \text{ KN/m}^3$ resulteert in $162,75 \text{ KN/m}^1$. Het eigen gewicht van de constructie is hetzelfde als in sectie A, namelijk $13,14 \text{ KN/m}^1$. De totale Q last boven op de constructie in sectie B bedraagt $175,89 \text{ KN/m}^1$.

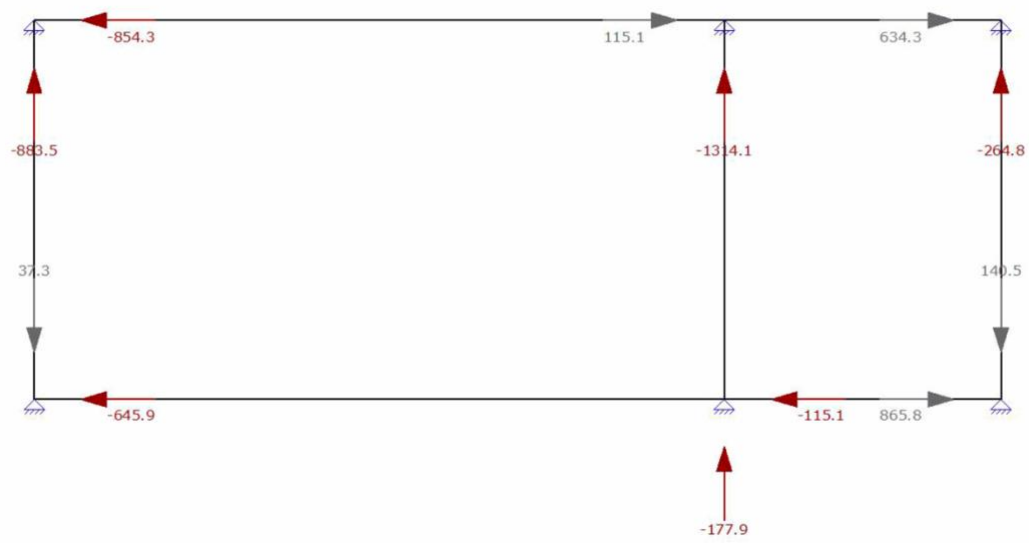
De gronddruk tegen de zijkant van de constructie verschilt aan die van sectie A. Dit komt doordat de grondlaag boven op de constructie in deze sectie groter is. De gronddruk tegen de wand start in deze sectie op $10,5$ maal $15,5 \text{ KN/m}^3$ dat resulteert in $162,8 \text{ KN/m}^1$. De maximale gronddruk aan de onderkant van de wand is $382,8 \text{ KN/m}^1$.



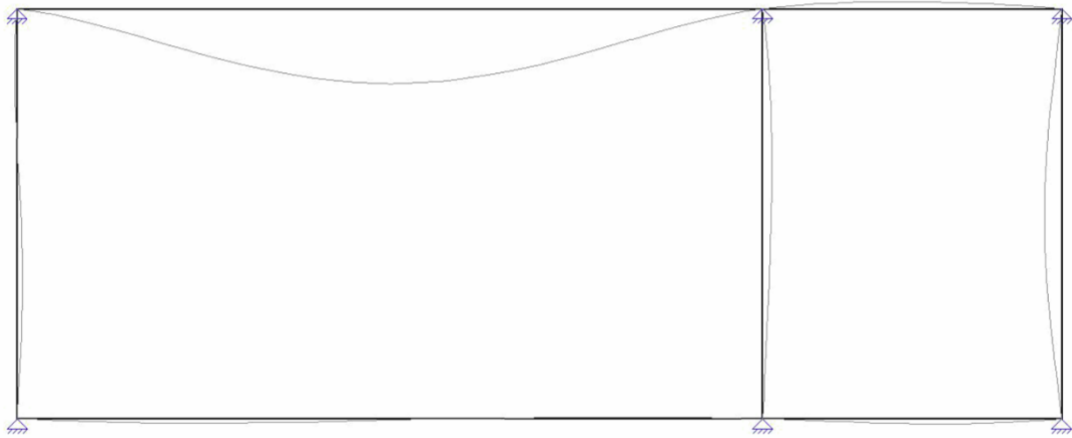
Figuur 59, Dwarskrachten sectie B



Figuur 60, Momenten sectie B

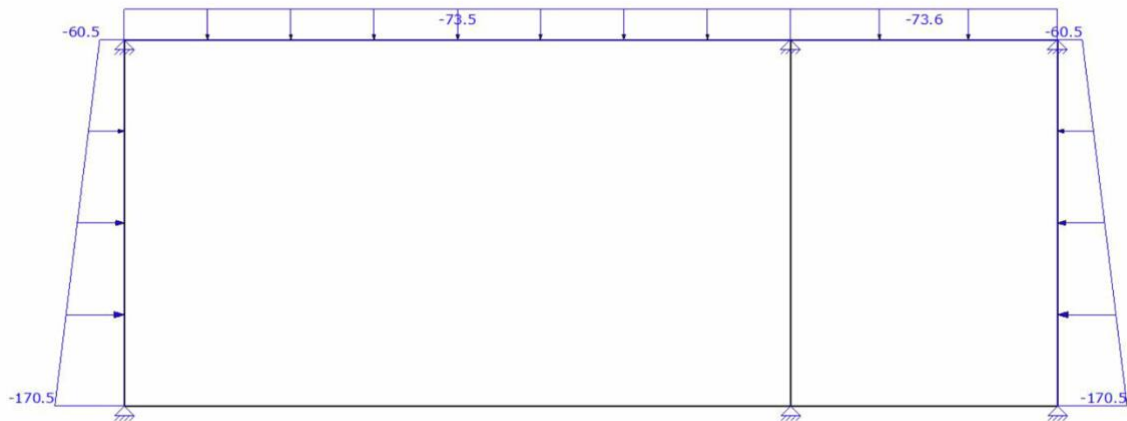


Figuur 61, Oplegreacties sectie B



Figuur 62, Doorbuiging sectie B

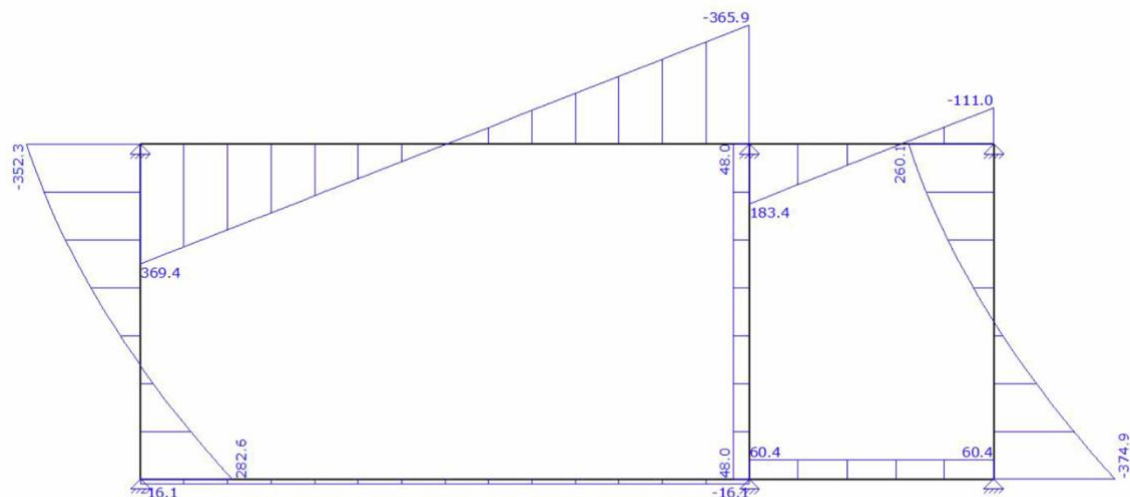
Sectie C



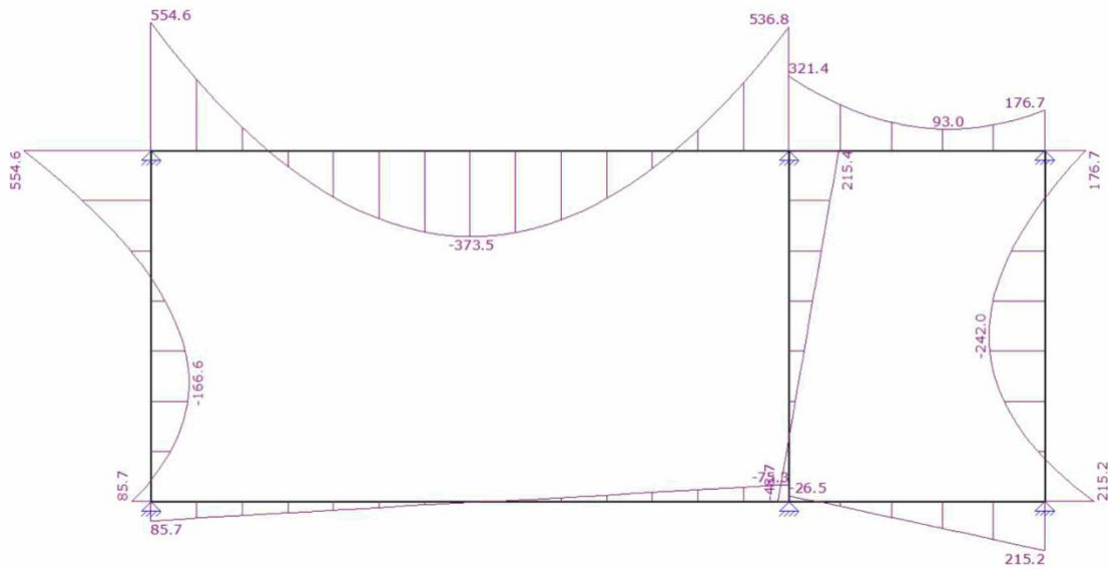
Figuur 63, Permanente belasting sectie C

Voor sectie C geldt een Q last boven op de constructie van $73,59 \text{ KN/m}^1$. De dikte van de zandlaag is in deze sectie 3,9 meter. Deze dikte maal $15,5 \text{ KN/m}^3$ resulteert in $60,45 \text{ KN/m}^1$. Ook in sectie C is het eigen gewicht hetzelfde als in sectie A en B, namelijk $13,14 \text{ KN/m}^1$. De totale Q last in sectie C bedraagt $73,59 \text{ KN/m}^1$.

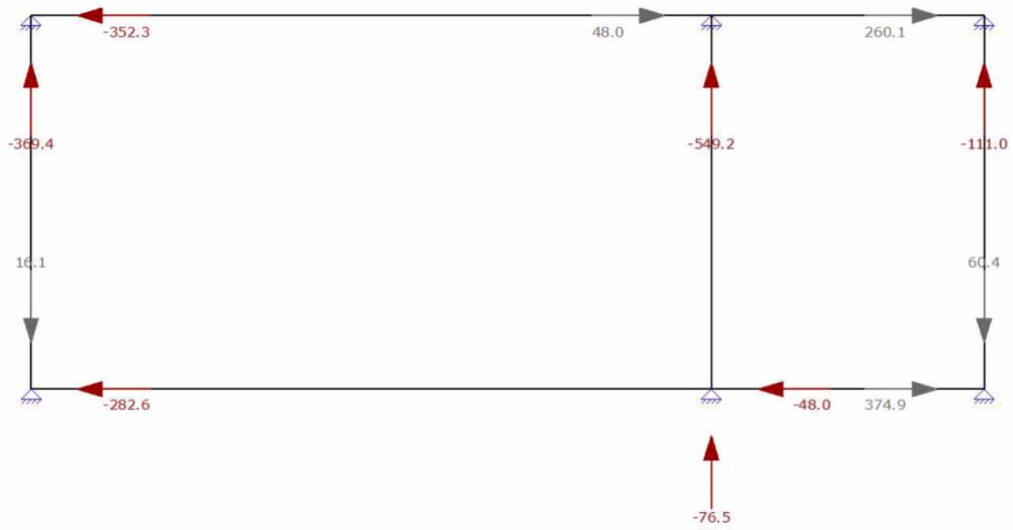
De gronddruk tegen de zijkant van de constructie verschilt met die van sectie A en B. In deze sectie is de grondlaag boven de constructie 3,9 meter. $3,9$ maal $15,5 \text{ KN/m}^3$ resulteert in $60,45 \text{ KN/m}^1$. De maximale gronddruk aan de onderkant van de wand bedraagt $170,5 \text{ KN/m}^1$.



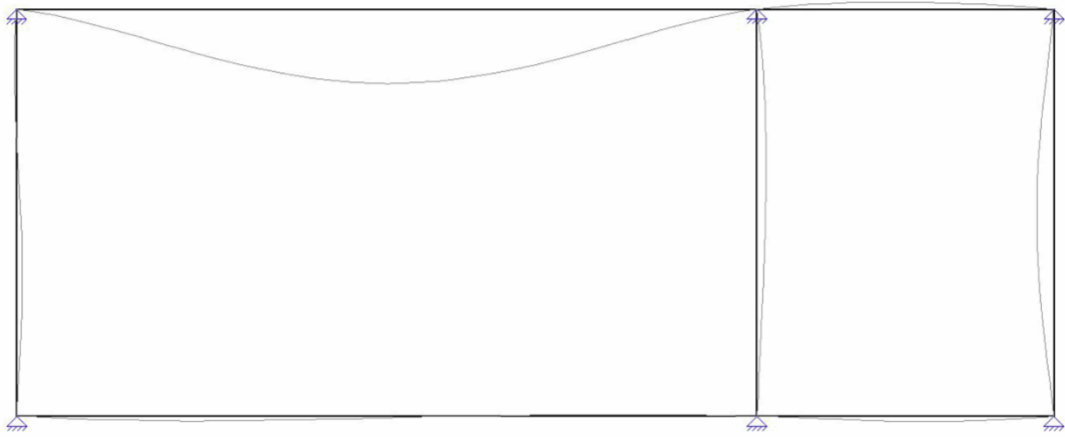
Figuur 64, Dwarskrachten sectie C



Figuur 65, Momenten sectie C



Figuur 66, Oplegreacties sectie C



Figuur 67, Doorbuiging sectie C

15.10 Slotgemiddelde Haringvliet

Getijgebied

2011.0

Kenmerkende waarden

Noordzeekust Haringvliet10

Standen in cm t.o.v. NAP

Getijtype cq grootheid	Slotgemiddelden			Waarden maansverloop	
	HW- stand	LW- stand	tijverschil	HW	LW
Gem. springtij	145	-92	237	1:14	6:44
Gem. tij	124	-86	210	1:14	7:05
Gem. doodtij	93	-77	170	1:13	7:32
Gem. duur rijzing				6:34	
Gem. duur daling				5:51	
Gem. waterstand		0			

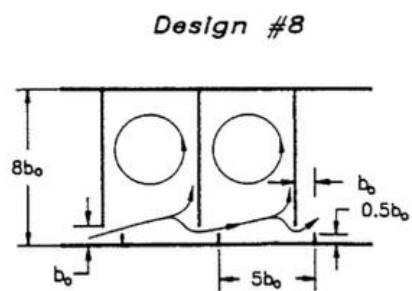
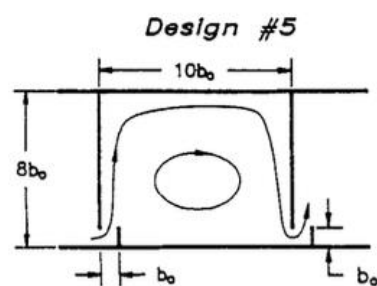
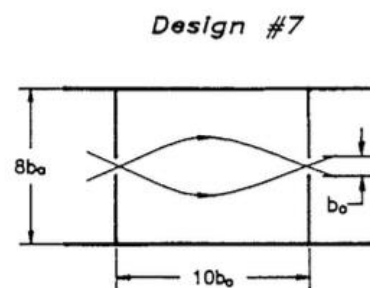
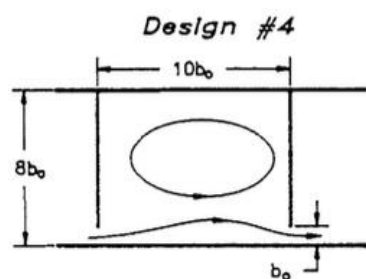
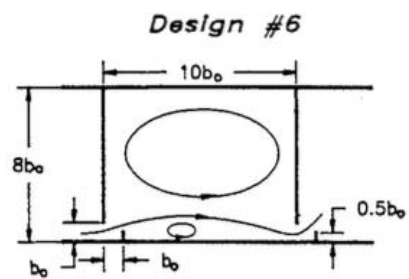
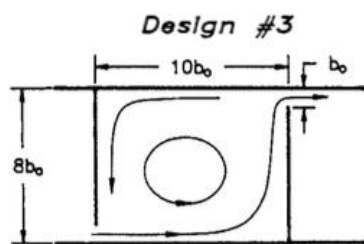
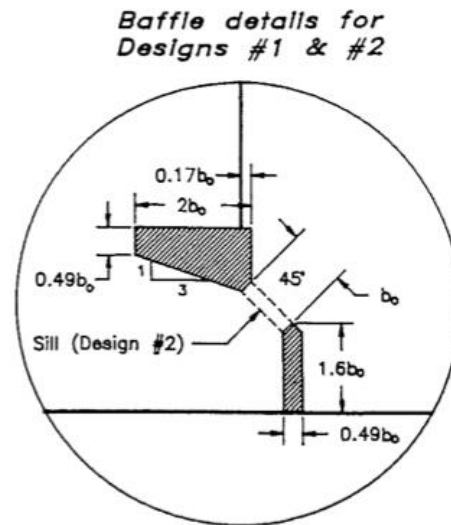
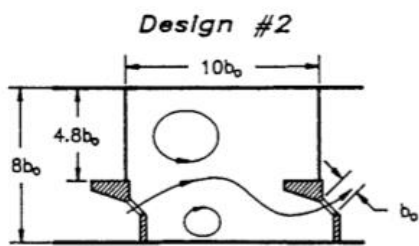
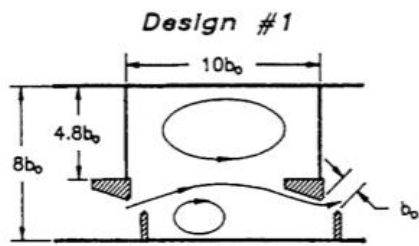
Gemiddelde over- en onderschrijdingsfrequenties		
Frequentie	Overschrijding hoogwaterstanden	Onderschrijding laagwaterstanden
1x per 10.000 jaar	500	
1x per 5.000 jaar	480	
1x per 4.000 jaar	480	
1x per 2.000 jaar	450	
1x per 1.000 jaar	430	
1x per 500 jaar	410	
1x per 200 jaar	390	
1x per 100 jaar	370	
1x per 50 jaar	350	
1x per 20 jaar	320	
1x per 10 jaar	300	-205
1x per 5 jaar	280	-200
1x per 2 jaar	260	-185
1x per jaar	245	-170
2x per jaar	230	-165
5x per jaar	210	-150
LAT		-127

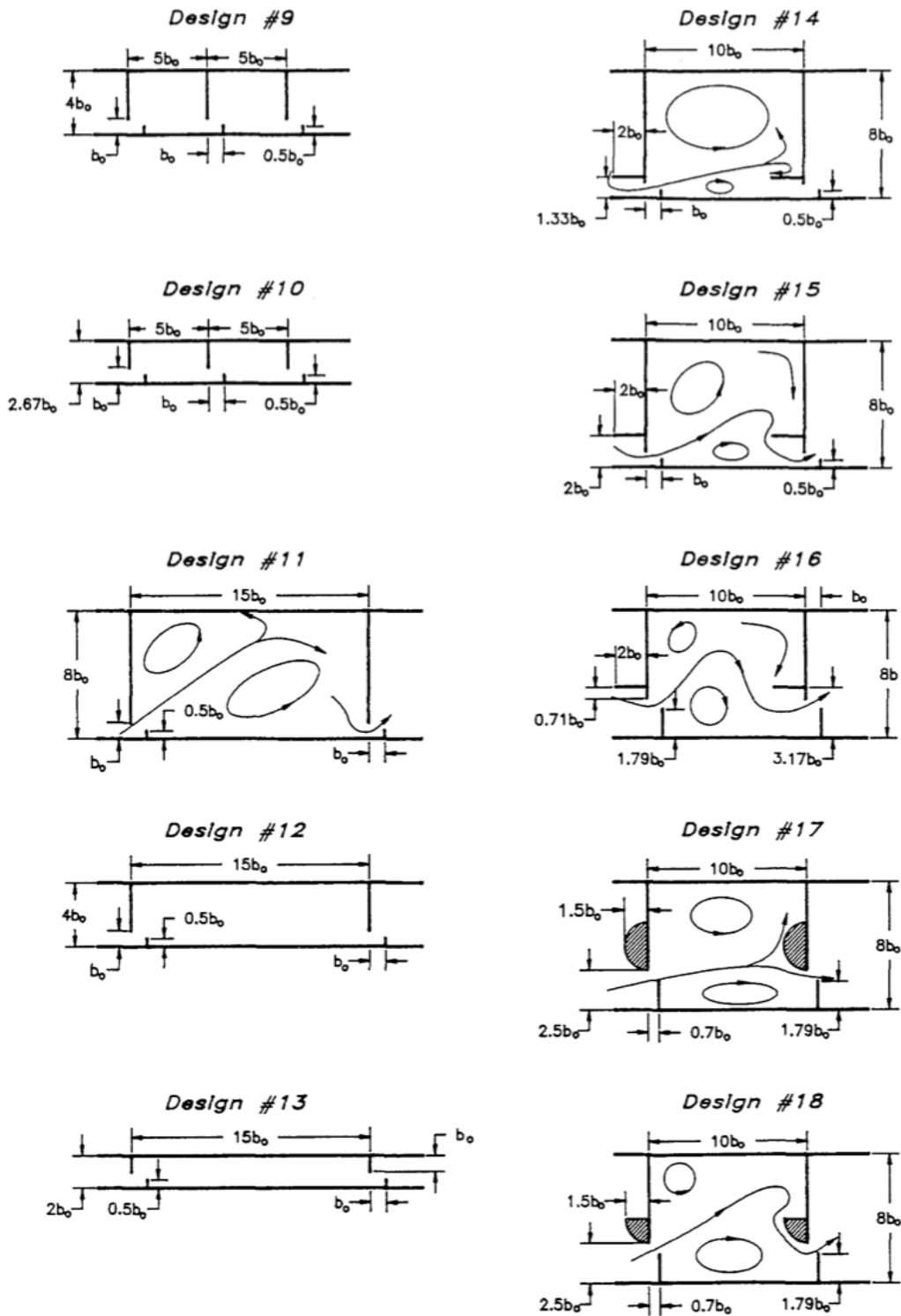
Hoogst bekende waarde 306 cm 9 nov 2007 Periode 1982-2010
 Laagst bekende waarde -215 cm 12 mrt 1996 Periode 1982-2010

Bijzonderheden:

- 1 mei 1981 Aanvang waarnemingen (DNM)

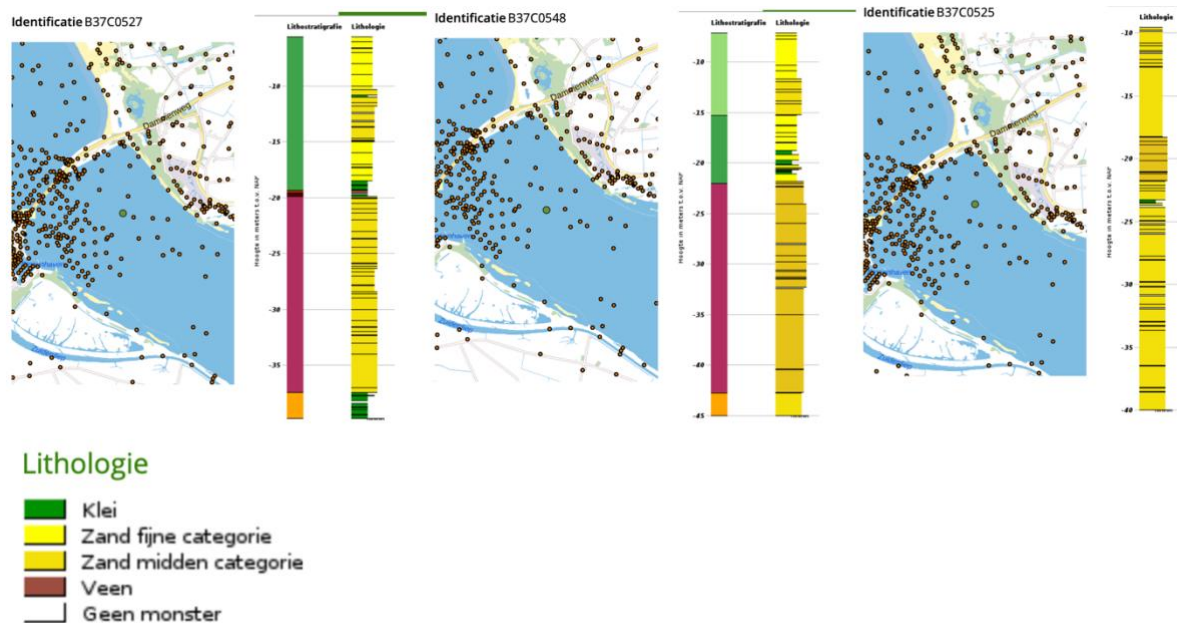
15.11 Vertical slot passages Katopodis





Figur 69, Vertical slot passages Katopodis (C.Katopodis, 2011)

15.12 Bodem en kritische stroomsnelheid analyse plangebied



Figuur 70, Bodemonderzoek plangebied (Dinoloket, 2021)

Zand van de fijne categorie heeft een korreldiameter van 0,00015 tot 0,00021 m (Vree, 2004). Voor de berekeningen van de kritische stroomsnelheid is een korreldiameter van 0,0002 m aangehouden. De volledige berekeningen zijn te zien in bijlage 15.13 Excel sheet afstudeeronderzoek. De formules zijn afkomstig uit het dictaat rivierwaterbouwkunde (Prof. dr. ig. H.J. de Vriend, 2006).

Berekeningen

Om te beginnen dient de Chezy coëfficiënt gerelateerd aan de korrelruwheid C' berekend te worden. Dit wordt gedaan met de volgende formule:

$$C' = 18 * \log\left(\frac{12h}{2,5*d}\right)$$

- C' = Chezy coëfficiënt gerelateerd aan de korrelruwheid ($m^{0,5}/s$)
- H = De waterdiepte (m)
- d = De korreldiameter (m)

Uit deze berekening is een C' gekomen van 88,63 $m^{0,5}/s$

Vervolgens is het van belang om D^* te berekenen. Dit is een factor waarmee naderhand de kritische shields parameter (θ_{cr}) mee berekend kan worden. De formule voor D^* gaat als volgt:

$$D^* = (\Delta g/v^2)^{1/3} * D$$

- D^* = Factor (-)
- Δ = Relatieve dichtheid (-)
- g = Zwaartekracht versnelling (m/s^2)
- v = Kinematische viscositeit (m^2/s)

D = Korreldiameter (m)

Uit deze berekening is een D^* gekomen van 5,48.

D^* bepaalt de grootte van θ_{cr} aan de hand van de onderstaande vergelijkingen. D^* is 5,48, dus de formule $\theta_{cr} = 0,14/D^{*0,64}$ moet in dit geval gebruikt worden.

$\theta_{cr} = 0,24/D^*$	als	$1 < D^* \leq 4$
$\theta_{cr} = 0,14/D^{*0,64}$	als	$4 < D^* \leq 10$
$\theta_{cr} = 0,04/D^{*0,1}$	als	$10 < D^* \leq 20$
$\theta_{cr} = 0,013 \cdot D^{*0,29}$	als	$20 < D^* \leq 150$
$\theta_{cr} = 0,055/D^*$	als	$150 < D^*$

Dit geeft een kritische shields parameter van 0,047.

De kritische schuifspanning snelheid wordt berekend met de volgende formule:

$$u^* = \sqrt{\theta_{cr} \cdot \Delta \cdot g \cdot D}$$

U^*	= Kritische schuifspanning snelheid (m/s)
θ_{cr}	= Kritische shields parameter (-)
Δ	= Relatieve dichtheid (-)
g	= Zwaartekracht versnelling (m/s^2)
D	= Korreldiameter (m)

Deze formule geeft een kritische schuifspanning snelheid van 0,0139 m/s.

Nu zijn alle parameters bekend om de kritische stroomsnelheid van de zandkorrel te berekenen en te zien bij welke stroomsnelheid het zand zal beginnen met bewegen. De formule gaat als volgt:

$$U_{kr} = C/\sqrt{g} \cdot u^*$$

U_{kr}	= kritische stroomsnelheid van de zandkorrel (m/s)
C	= Chezy coëfficiënt ($m^{0,5}/s$)
g	= Zwaartekracht versnelling (m/s^2)
U^*	= Kritische schuifspanning snelheid (m/s)

Uit deze berekening komt een kritische stroomsnelheid van de zandkorrel van 0,39 m/s. Dit houdt in dat wanneer de stroomsnelheid rond het kunstwerk kleiner wordt dan 0,39 m/s, sedimentatie plaats kan vinden omdat de zandkorrels dan bezinken.

15.13 Excel sheet afstudeeronderzoek



Excelsheet
afstudeeronderzoe

15.14 Vooronderzoek



Vooronderzoek
vismigratierivier.dla

15.15 Interview Eric Bruins Slot

29-4-2021

Eco-Engineer, Technisch Manager Vismigratierivier De Nieuwe Afsluitdijk.
Notulen ongestructureerd interview

Wat is de functie van het technische gedeelte?

“Meer eenvoudigere manier een vismigratie langs de dam ontwerpen door die zoet zout grens. Weerstand creëren doormiddel van lengte.”

Waar wordt het verval binnen de vismigratierivier voornamelijk overbrugt?

“Over de gehele rivier, maar omdat het een Sand based system is wat het beste aansluit bij de natuurlijke leefomgeving is de maximale stroomsnelheid van het zand 30 cm per seconde. Verval groter dan 0,50 meter kan het systeem aan wordt het groter dan komt het zand hier en daar in beweging. Dit willen we niet omdat er geen zand toevoer is. Het verval is ook wel eens groter dan 0,50 meter en dan gaat de coupure sturen. Hiermee wordt een watersprong gecreëerd. Verval tussen de coupure en het IJsselmeer blijft 0,50 meter. Rond laagwater is het verval het grootst en dat wordt gestuurd met de schuiven.”

Wat zijn de maximale stroomsnelheden in het doorlaatmiddel?

“Stroomsnelheden achter de schuiven worden behoorlijk hoger bij het sturen. Die kunnen tot 1,5 meter per seconde komen. Voor vrijwel alle vissoorten is dit te hoog. Omdat het een lange passage is. Wandruwheid en bodemruwheid weerstand creëren d.m.v. stenen.”

Wat is de ligging van het doorlaatmiddel?

“De bodem ligt op NAP -4 meter. Gemiddeld is het waterdiepte NAP en met hoogwater +90 laag -90.”

Hebben de onderwaterdammen de functie om het water beter te mengen?

“Wat we doen, in het estuariën gedeelte in het IJsselmeer heb je een eb en vloed geul. Ook in natuurlijke situatie is dit vaak. Eb is uitvoer rivier die is smal en diep. Vloed is invoer die drukt de rivier terug en creëert nieuwe geultjes die over zandplaten heengaan en die zijn vaak ondieper. Wat in dit ontwerp is gebracht als je een overgangszone wilt hebben wil je niet dat bij elke ebstroom dat die dan helemaal verzoet waardoor de overgangszone weg is. Her risico is dan namelijk dat de vissen weer meebewegen met het getij omdat het te snel te zoet wordt. Dit wil je niet want dan moeten ze 5 x die passage nemen om erdoorheen te komen. Het is belangrijk dat in het systeem zeewater dus brakwater overblijft waar ze kunnen acclimatiseren. En daarom zijn de drempels ingebracht. De vismigratierivier is relatief ondiep zo rond de 4 meter en de uitwisseling van het getij is groot met de hoeveelheid water en daarmee voorkomen we dat het zoute water als het water op de bodem blijft en zich niet goed mengt. Het systeem is zo ontworpen dat het water goed mengt.”

Hoe zorgen jullie voor voldoende doorspoeling van zoet water?

“1,5 keer meer zoetwater ten opzichte van zout. We moeten aantonen vanwege drinkwaterbelangen dat door de vismigratierivier geen extra zoutlast op het IJsselmeer komt. Het technische gedeelte wordt dan elk getij zoet gespoeld.”

Reden locatie ingang systeem?

“De vis die zoekt zijn route en die zoekt dat op omstandigheden die de vissoorten het beste passen. De vis gaat geen plek opzoeken waar die niet mee om kan gaan. Andere soorten die zijn sterker en kunnen dit wel. Die knallen daar tegenin.”

Jullie hebben 2 ingangen ontworpen zat daar nog een gedachte achter?

“Je hebt bij Kornwerderzand bij de afsluitdijk heb je een situatie met spui en zonder spui. Het spui door het spuicomplex van RWS. Als het complex nou niet aan het spuien is dan verzamelt de zich in de spuikom en zit het dichtst tegen het spuumiddel aan. Dan wil je de meest zuidelijke opening die zal dan het meeste effectief zijn want die ligt het dichtste bij, dus deze kan de vis het snelste oppikken. Op het moment dat er gespuid wordt dan is dat zo turbulent dan zie je als het ware dat de vis hier niet meer kan handhaven. Dan gaat de vis een andere plek zoeken waar die wel kan handhaven of naar de bodem of naar de randen. De vissen die de juiste oever kiezen die komen dan in de buurt van het meest noordelijke gat.”

Werking systeem

Het getij wordt gebruikt als de motor van het systeem

50 hectare

4 kilometer

3 kilometer rivier 100m²

1,4 miljoen m³ zand

Aanbevelingen voor vismigratierivier Haringvliet

Zuidkant i.p.v. Noordkant

Spuien noordelijkste sluizen i.p.v. zuiden

15.16 Interview Christiaan Bijl

08-06-2021

Functie: Integraal ontwerpmanager BAM Infraconsult BV

Notulen ongestructureerd interview

Wie is de uitvoerder en de initiatiefnemer?

“Rijkswaterstaat is de uitvoerder. Nieuwe Afsluitdijk initiatiefnemer.”

Hoe werkt de sturing van het doorlaatmiddel?

“Met regelwerkschuiven. Twee hoogwaterkering schuiven erachter voor de waterveiligheid. Als het verval groter wordt dan 1.5 meter gaan deze hoogwaterkering schuiven dicht. Ontwerpen zowel een VMR als een hoogwaterkering.”

Zoutindringing via doorlaatmiddel?

“Discussie lengte opening van de schuiven. Wat erbinnen dringt is een fractie van de schutsluizen. Nu mag er wel zoutwater het IJsselmeer in, bij werking van de Vismigratierivier niet.”

Gaat dicht bij +1,5 en IJsselmeer op -0,3 m. Over de gehele rivier lengte. Aan het einde van de rivier zit ook een regelwerk.

Vragen over de constructie

“Bodembescherming, serieuze constructies. Wordt berekend op een situatie waarbij de schuiven niet dicht staan.”

“Elektromechanische aandrijving met ketting. Veel veiligheidsconstructies. Veiligheidsanalyse (primaire waterkering). Enkele waterkering, scenario dat die niet dicht gaat wordt ook meegenomen.”

“Tijdelijke dijk met een tijdelijke hoogwaterkering.”

“De wanden worden 1.5 tot 2 meter dik. Door de vrij diepe ligging. Type damwand met opvulling.”

“Situatie waarbij alles drooggezet wordt. Flinke belasting. Dunne betondoorsnedes, krijg je spijt van. Wapeningspercentage naar beneden (staal redelijk duur). Beton goedkoper.”

“Boven de gronddruk komt 20 kN/m² erboven op. Voor werkzaamheden (kraan, vrachtwagens, etc.). Neutrale gronddruk, spanningeffecten. Zijkant berekenen als die droog staat of met grondwaterstand. Boven belasting van belang. Sterktetoets. Scheurvorming ook van belang. 60. Zetting. Betonstorten wordt hard krimpeffecten. Waterstandsbelasting (grondwater). Vloedgolf kan op deuren slaan. Wordt helemaal vol gestort met wapening. Buizen 400 mm wanddikte.”

“Ruimte voor transformator, schuiven, etc. Weggewerkt in de dijk, niet te zien op plaatjes. Ruimtes waar veel gebeurt. Constructies wordt doorboord door kabels en leidingen. Reserveer er ruimte voor in het concept. Serieuze ruimte voor de besturing.”

“Kunststof schuiven. Houdt in dat het geen onderhoud nodig heeft. VVK, nadeel is dat het vrij licht is. Als er een schuif naar beneden gaat wil je juist gewicht hebben. VVK schuiven zijn daardoor geballast door het gewicht van staal (kokers).”

“Toegang naar ruimtes. Moet veilig bijgekomen kunnen worden.”

“Droogzet schotten, met sponning.”

“Er is gebruik gemaakt van stempels. Daar zijn ecologen niet blij mee. Verschil in lichtval kan vissen afschrikken.”

“Onderwaterbeton. Willen ecologen geribbeld hebben. Kan niet zomaar bewerkt worden. Na storten onderwaterbeton met kraanbak gaatjes inprikken. Nog niet ergens anders ter wereld gedaan. Bodem moet ruw worden. Steen storten, afgieten met cement. Gaatjes niet te groot, neemt de belasting op de vloer toe. Er wordt achteraf niet meer gekeken naar de gaatjes. Gaatjes zo onregelmatig mogelijk.”

“Rivier wordt nog uitbesteed.”

“Strekdammen of houten palen rijen.”

“Stortsteen. Ramen voor bezoekers.”