



## Opwekking Duurzame Energie met Waterturbines bij het stuwcomplex Driel



### Oprichtgever

Stichting Heveainitiatief

namens:

- de provincie Gelderland
- de gemeenten Renkum en Overbetuwe

### Uitvoerders

Ocean Energy International en WASB BV



Amersfoort/Heveadorp, 11 oktober 2021



## INHOUD

Inleiding .....	3
Beschrijving stuw-complex Driel .....	5
Waterdata Nederrijn / Driel .....	7
Resultaten onderzoek on-site .....	10
Onderzoek naar impact op watermanagement .....	10
Waterdata (1) - Middenpijler / Cilinderschuifkanaal .....	11
Waterkrachtinstallatie - Voorkeurconfiguratie .....	15
Turbine-installatie (1) - Middenpijler / Cilinderschuifkanaal .....	16
Turbine-installatie (2) - visluizen in Landhoofden noord/zuid .....	18
Potentieel waterkrachtinstallatie.....	20
Watermanagement - Effect turbine-instalLatie in cilinderschuifkanaal .....	21
Watermanagement - Afvoeren door Landhoofden noord/zuid / visluizen.....	21
Recap afvoeren met 3 turbines (midden-, noord- en zuidpijler) .....	22
Watermanagementplan / concept in nieuwe situatie .....	24
Conclusies .....	25
Vervolgacties .....	27
Pro Memorie: “KribKracht”-optie.....	28
Visveiligheid / vispassage .....	29

Opstellers:

Menno Broers, Ocean Energy International BV

Wim Schoonderbeek, WSAB BV

Versie V1.0

Amersfoort/Heveadorp, 11 oktober 2021



## INLEIDING

Het idee voor dit project is van 2015 en werd ingegeven door de vraag of er een collectieve voorziening mogelijk is voor de duurzame opwekking van elektriciteit bestemd voor Heveadorp. In de loop der jaren zijn er verschillende partijen bij dit project betrokken geweest.

Dat waren de provincie Gelderland, de gemeenten Renkum en Overbetuwe, meerdere inwoners van Heveadorp en Driel, de KNHM, Arcadis en de Technische Universiteit Delft. Wim Schoonderbeek is als initiatiefnemer de constante factor geweest die het project levend heeft gehouden.

Een kort overzicht van de geschiedenis:

- In opdracht van de provincie Gelderland is in 2016 door RHDHV een onderzoek uitgevoerd naar de potentie van waterkracht in de provincie. In de rapportage van dat onderzoek is het stuwcomplex Driel genoemd als een van de locaties met potentie voor de opwekking van elektriciteit met waterkracht.
- Begin 2018 kwam de provincie Gelderland met het project “Gelderland daagt je uit”. Dit omvatte uitdagingen voor een aantal sterk uit elkaar lopende onderwerpen. Het idee voor een waterturbine bij het Stuwcomplex Driel werd aangemeld voor de uitdaging “Hoe kunnen we de grote Gelderse rivieren benutten voor het opwekken van duurzame energie?”<sup>1</sup>. Het project haalde de nominaties maar viel uiteindelijk net buiten de prijzen. Het beoogde haalbaarheidsonderzoek kon daarom niet doorgaan.
- Eind 2018 is het project door de provincie Gelderland (als Lead Partner), aangemeld voor het Interreg NWE-project FLASH [Feasible Low head Applicable Small Hydropower]. Helaas is het niet gelukt daaraan deel te nemen.
- In 2019 is het onderzoek naar de waterturbine door de provincie Gelderland ingebracht in het Innovation Program van Interreg NWE. Nu als een breder project SHINE [Smart Hydropower Innovation Northwest Europe]. Ook dat project heeft de eindstreep niet gehaald.
- Parallel aan voornoemde activiteiten lukte het in 2018/2019 om met steun van de KNHM een afstudeeronderzoek te laten uitvoeren door ir. S.R. van Erp, toen student aan de TU-Delft. Het onderzoek met de waterturbine als onderwerp is, in samenwerking met Arcadis, afgerond met het rapport “Techno-economic feasibility of Hydropower at weir-complex Driel with assessment method for low-head run-of-river powerplants”. De focus van dit onderzoek lag op de mogelijkheden van een grote installatie met relatief hoge investeringskosten. In een evaluatie is geconcludeerd dat een dergelijke grote installatie op dit moment voor het Stuwcomplex Driel niet haalbaar is. Ook is de conclusie getrokken dat een kleinere installatie mogelijk wel haalbaar is en dat een vervolg onderzoek naar de mogelijkheden van een kleinere installatie lage investeringskosten centraal dient te stellen.

In 2020 is door Ocean Energy International<sup>2</sup>, met ondersteuning van WSAB, een nieuw voorstel gemaakt voor een haalbaarheidsonderzoek naar de mogelijkheden van een waterturbine bij het Stuwcomplex Driel. Doel van dit onderzoek is het inventariseren van de mogelijkheden van een aangepast waterkracht-installatieconcept. Naast een rendabele installatie dienen de oplossingen ook te voldoen aan de strikte regelgeving voor visvriendelijkheid die in Nederland geldt en moeten de oplossingen een synergie vormen met de primaire functie van de stuw, te weten de regulering van het water in de rivier de Lek en het in het wijde stroomgebied daaromheen.

Dit rapport beschrijft de opzet en de uitkomsten van dit onderzoek.

---

<sup>1</sup> zie de hiervoor gemaakte videopitch <https://www.youtube.com/watch?v=mrakRQ-2hzU>

<sup>2</sup> Ocean Energy International was ook betrokken bij de eerder genoemde initiatieven voor FLASH en SHINE.



Het onderzoekvoorstel van Ocean Energy International is voorgelegd aan de provincie Gelderland en daarna, samen met de provincie, aan de gemeenten Renkum en Overbetuwe. Dit heeft erin geresulteerd dat de provincie en beide gemeente 60% van de onderzoekskosten willen subsidiëren. De gemeente Renkum zou namens deze drie partijen opdrachtgever worden van de combinatie Ocean Energy International / WSAB.

Uiteindelijk bleek de gemeente Renkum de rol van Hoofdopdrachtgever niet te kunnen uitvoeren en is, om geen verdere vertraging op te lopen, besloten dat de net opgerichte Stichting Hevealinitiatief (03 juni 2020), de rol van opdrachtgever op zich zou gaan nemen.

Daarmee werden de rollen als volgt: De provincie Gelderland en de gemeenten Renkum en Overbetuwe financieren 60% van de kosten van het haalbaarheidsonderzoek. Het benodigde budget stellen zij beschikbaar aan de Stichting Hevealinitiatief. De Stichting Hevealinitiatief geeft opdracht aan de combinatie Ocean Energy International/WSAB voor de uitvoering van het onderzoek op basis van het ingediende onderzoekvoorstel.

BESCHRIJVING STUW-COMPLEX DRIEL

De stuw in Driel is onderdeel van het stuwensemble Nederrijn-Lek dat ook wel 'de kraan van Nederland' wordt genoemd. Met de 3 stuwen in Driel, Amerongen en Hagestein regelt Rijkswaterstaat (RWS) het water dat via de Rijn de Nederlandse delta binnenkomt. Stroomopwaarts splitst het stuwensemble de afvoer van het water in een stroom door de Nederrijn en een stroom door de IJssel. Onderstaand schema geeft dit rivierennetwerk weer. De stuwen in de Nederrijn en Lek zorgen voor voldoende zoet water in het rivierengebied en het IJsselmeer (het grootste zoetwaterbassin van Nederland).

De drie stuwen in de Nederrijn-Lek, met hun karakteristieke vizierschuiven, zijn in de jaren 60 van de 20e eeuw aangelegd.



Figuur 1: Schema rivierennetwerk Rijn /Nederrijn-Lek/IJssel



Foto 1: Het Stuwcomplex Driel gezien vanuit westelijke richting

Het beheer van stuw Driel is erop gericht de afvoer via de IJssel te vergroten ten behoeve van de scheepvaart op de IJssel en de watervoorziening van Noord-Nederland.

Om benedenstrooms van stuw Driel voldoende vaardiepte te houden, worden met de stuwen bij Amerongen en Hagestein stuwpeilen nagestreefd van resp. 6,00 m+NAP en 3,00 m+NAP.



Foto 2: Doorkijk door de geopende vizerschuif aan de zuidkant van Stuwcomplex

De stuwinstelling voor Driel wordt gestuurd door de waterstand bij Lobith. Met de vizerschuiven wordt de stuw globaal ingesteld, de fijnregeling geschiedt een cilinderschuif in de middenpijler.

De stuwen bij Amerongen en Hagestein zijn of waren reeds uitgerust met waterkrachtcentrales (WKC). De WKC bij Amerongen bestaat uit 4 turbines, heeft een opbrengst van ruim 30 GWh per jaar en is gesitueerd aan de linkeroever waar ook de vispassage ligt. De WKC bij Hagestein was gesitueerd in de middenpijler van de stuw en had een opbrengst die een factor 10 kleiner is dan die bij Amerongen. De WKC bij Hagestein is in het begin van het Millennium buiten gebruik gesteld en ontmanteld.

#### *Enkele feiten en cijfers*

- De stuwen zijn zo'n 24 m hoog, gemeten vanaf de bovenzijde van de stuwvloer tot aan de bovenzijde van de machinekamer boven in de betonpijler.
- Elke vizerschuif is 9 m hoog en weegt maar liefst 360.000 kg.
- 4 elektromotoren van ieder 3 pk drijven de kabeltrommels aan die een vizerschuif binnen 2 tot 2,5 uur kunnen heffen.
- De stuw bij Driel staat gemiddeld per jaar 75 dagen open bij hoogwater. De stuwen Amerongen en Hagestein 25 keer per jaar. De rest van het jaar zijn ze in functie voor het stuwen van het water.
- De benaming 'vizerschuif' verwijst naar de vorm van de constructie, die doet denken aan het vizier van een middeleeuwse ridderhelm. Deze vorm zorgt ervoor dat de waterstroom sterk uitwaaiert en dat hierdoor een minder zware bodembescherming nodig is om erosie van de bodem te voorkomen.



### Doel en sturing

Stuw Driel heeft als belangrijkste functie het sturen van de afvoerverdeling over de IJssel en de Nederrijn/Lek.

Bij **hoge afvoeren** op de Rijn is stuw Driel geheel geopend om het water snel naar zee af te voeren en overstromingen van nabijgelegen gebieden te voorkomen en vindt de afvoerverdeling over de Rijntakken zonder beïnvloeding plaats. De stuw in Driel is hiermee in wezen een belangrijk onderdeel van het watermanagement in Nederland, waarmee de belangen van stakeholders/gebruikers van het IJsselmeer en de riviergebieden worden bediend, terwijl ook een vlotte scheepvaart mogelijk is. Deze functie van de stuw dient als primaire functie te worden behouden of te worden verbeterd, als waterkracht in het complex wordt geïntegreerd.

Bij **lagere Rijnafoeren** laat men de viziëren in het water zakken en wordt het water zodanig opgestuwd dat **door de IJssel zo lang mogelijk 285 m<sup>3</sup>/s** wordt afgevoerd. (In de IJssel is overigens geen meetpunt voor de afvoer beschikbaar om de ingestelde afvoer te controleren: dat gebeurt alleen op basis van waterstand-afvoer relaties).

Bij zeer lage afvoeren worden de viziërschuiven geheel gesloten en wordt, voor het **spoelen** van de rivier benedenstrooms, de afvoer via de in de middenpijler gesitueerde cilinderschuif gerealiseerd. Dit als gevolg van het feit dat de grote breedte van de vizerstuwen de afvoer bij deze lage afvoeren lastig stabiel te realiseren valt met instelling van de vizerhoogte. Een minimum afvoer noodzakelijk voor het spoelen van de rivier benedenstrooms bedraagt ca. **30 à 40 m<sup>3</sup>/s**. Dit wordt zoveel mogelijk als minimum aangehouden; alleen bij zeer lage Rijnafoeren kan hier niet meer aan worden voldaan en kan ook de gewenste minimumafvoer op de IJssel niet meer worden gehandhaafd.

Samenvattend, van kleine naar grote afvoeren c.q. lage naar hoge waterpeilen in Lobith:

1. Minimaal 30 – 40m<sup>3</sup>/s afvoer (behoudens extreem droge periodes)
2. Oplopend tot ca. 90 m<sup>3</sup>/s\* wordt de afvoer afgeregeld met de cilinderschuif
3. Als de maximum afvoercapaciteit\* van de cilinderschuif is bereikt worden de viziërschuiven beurtelings en stapsgewijs geopend; de cilinderschuif fungeert als fijnregeling
4. Naarmate het peil in Lobith verder stijgt worden de viziërschuiven verder geopend; fijnregeling wordt steeds minder relevant. Uiteindelijk worden de viziërschuiven maximaal geopend.

Opm.: \* de maximale afvoercapaciteit van de cilinderschuif wordt bepaald door het verval. Bij maximum verval is de maximale afvoercapaciteit ca. 90 m<sup>3</sup>/s. Gemiddeld is de afvoer door dit kanaal zo'n 30 m<sup>3</sup>/s.

Bij een lager verval wordt ook de maximum afvoercapaciteit kleiner en zullen de viziërschuiven al bij een lagere capaciteit geopend worden conform regeling vermeld onder 3.

## WATERDATA NEDERRIJN / DRIEL

Rijkswaterstaat houdt de gegevens over waterstanden en debieten al lange tijd nauwgezet bij. De gegevens zijn door Ocean Energy International geanalyseerd en verwerkt voor het berekenen van de potentie voor de waterkrachtinstallaties.

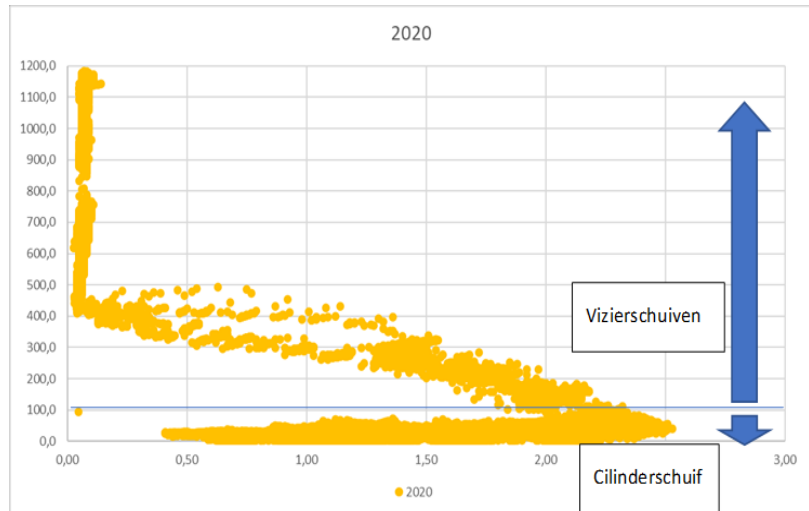
De data hebben betrekking op het gehele stuwcomplex. Als onderdeel van deze studie is met de gegevens over de instellingen van vizer- en cilinderschuiven een model gemaakt om deze verdeling te simuleren. Met de beschikbare meetdata is het model dusdanig aangepast dat dit nu in hoofdlijnen past op de diverse situaties. Op detailniveau zijn er grotere en kleinere afwijkingen te zien.

### Afvoer in relatie tot verval over stuw.

Het beheer van de stuw is goed terug te zien in de volgende grafieken met het verval versus afvoeren.

De grafiek laat goed de trends zien in afvoer (verticaal uitgezet in de grafiek, in m<sup>3</sup>/s) en verval (horizontaal, in meters) op de diverse meetmomenten in 2020.

Bij het bereiken van de maximale capaciteit van het kanaal met de cilinderschuif worden de vizierschuiven geopend. Gemiddeld zal dat optreden bij een afvoer van 30 m<sup>3</sup>/s; bij grotere vervallen (lees: verhoogde afvoer vanuit Lobith) kan dat oplopen tot een afvoer van ca. 90 m<sup>3</sup>/s.

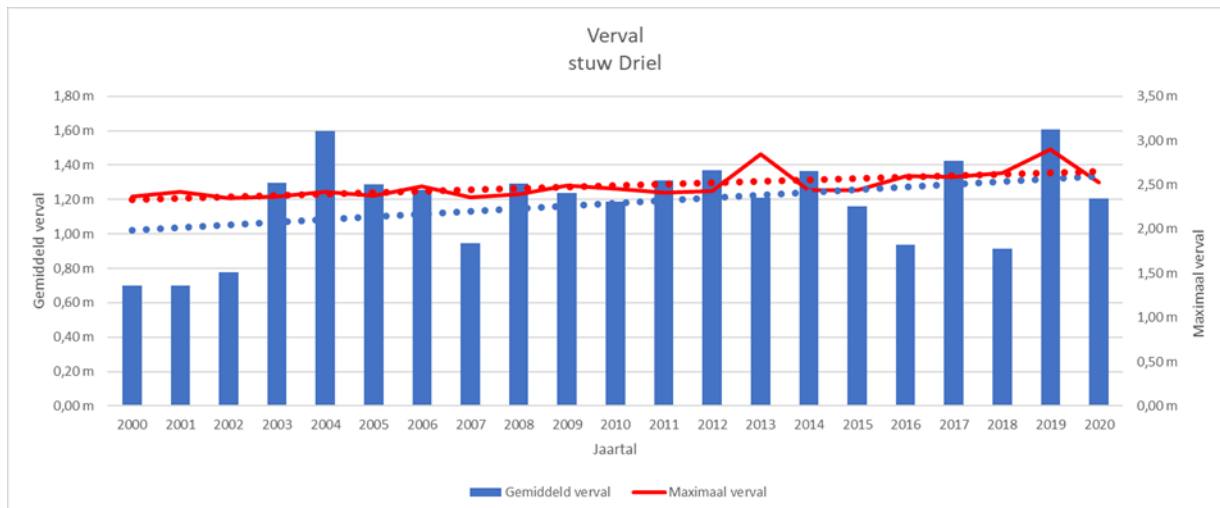


Grafiek 1: De relatie tussen het verval over de stuw en Rijnwater-afvoer (verticaal: afvoer in m<sup>3</sup>/s, horizontaal: verval in meters)

Na opening van de vizierschuiven verloopt de afvoer juist omgekeerd evenredig met het verval: de spreiding in verval/afvoer-data is vrij groot, maar goed is te zien dat in de situatie waarbij de vizierschuiven zijn geopend (blok “vizierschuiven”) het verval afneemt bij een stijgende afvoer als gevolg van het verder openen van de schuiven en bijbehorende daling van de weerstand van het kunstwerk in de stroming die het verval bewerkstelligt.

### Trends in het verval

Het verval over de stuw kent een gemiddelde van ca. 1,18 meter over de periode 2000-2020. De maximaal optredende vervallen liggen rond de 2,5 meter met een enkele extreem tot bijna 3,0 meter.



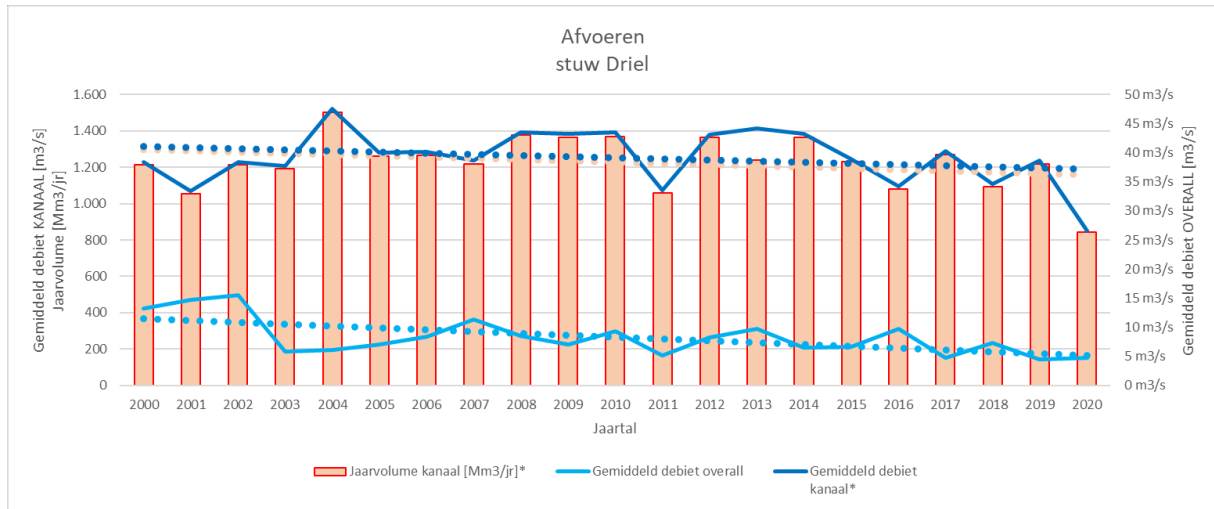
Grafiek 2: Het verval over de stuw per jaar

De ondergrens van het verval ligt op een minimale waarde van enkele centimeters. Deze situatie treedt op bij het volledig openen van de vizierschuiven (voor de scheepvaart). In dat geval vervalt de weerstand van de stuw, opdat een zo groot mogelijke afvoer wordt mogelijke gemaakt. Het gemiddeld verval kent een lichte stijging over de periode 2000-2020.



## Trends in de afvoer

Over dezelfde periode is over de stuw een gemiddelde afvoer van ongeveer 265 m<sup>3</sup>/s gerealiseerd, resulterend in een totaal afgevoerde hoeveelheid water van zo'n 1228 miljoen m<sup>3</sup> per jaar.



Grafiek 3: De waterafvoer door de stuw per jaar

Het gemiddeld debiet is een goede indicatie van het totale jaarvolume, hetgeen wordt weergegeven in de grafiek. Het Staafdiagram en kanaal-debieten volgen elkaar nauwkeurig.

Afvoeren over de periode vanaf 2000 laten een licht dalende trend zien. Naast het licht stijgende gemiddelde verval (zie hierboven) kan dat verklaard worden door de waterbeheersfuncties: deze stuw heeft mede tot doel om de afvoeren in de Oude IJssel op peil te houden. Bij een kleinere toevoer uit de Rijn volgt een verhoogde stuwactiviteit in Driel, en derhalve een kleinere afvoer over deze stuw.

Toekomstige afvoeren zijn naast de natuurlijke impact (klimaatverandering) afhankelijk van de maatregelen die Rijkswaterstaat als waterbeheerder neemt om goed voorbereid te zijn op deze effecten. Algemeen wordt verwacht dat de watertoevoer vanuit de Rijn op jaar- en/of meerjarenbasis op hetzelfde niveau zal blijven, maar in zo'n jaar en gemiddeld over enkele jaren te maken krijgt met extremere hoeveelheden, zowel drogere als nattere perioden. De afgelopen jaren (2019 en 2020) betroffen extreem droge periodes, in 2021 zien we een voorbeeld van de andere kant van het spectrum. Het waterbeheer in de Nederlandse rivieren vraagt om maatregelen die de extremen 'uitdempem' en de waterhoeveelheden uitsmeren over langere periodes. De voorbeelden van extreme wateroverlast zijn legio. Dit kan bijvoorbeeld door grote buffers langs de rivieren of het verloop van de rivier langer te maken door meer meanderend verloop te maken. Maar ook andere mogelijke oplossingen worden momenteel uitgewerkt door RWS en waterschappen. Het is nog niet duidelijk hoe dit vormgegeven gaat worden. Duidelijk is echter dat de maatregelen ook in het voordeel zijn van de waterkrachtcentrale. De waterkrachtcentrale is namelijk ook gebaat bij een constantere afvoer c.q. minder extremen in het wateraanbod. De installatie zal dan vaker in een optimaal werkgebied kunnen draaien, en minder vaak water langs in plaats van door de turbines zien langs stromen.

## RESULTATEN ONDERZOEK ON-SITE

Na de uitgebreide voorbereidingen met het onderzoek naar de verschillende opties uit het document van Stephan Van Erp en de eigen de desktop study is het onderzoek voortgezet met een onderzoek on-site. Binnen de beperkingen als gevolg van COVID-19 is in december 2020 een bezoek gebracht aan de stuw en een vervolfbezoek in mei 2021.

Tijdens de bezoeken zijn de verschillende opties besproken met de beheerder van de stuw. Daarnaast zijn de locaties voor de plaatsing van een waterturbine onderzocht. Onderstaand worden de uitkomsten van het onderzoek gespecificeerd.



Foto 3: Uitstroomopening “visluis” in zuidelijke pijler

## ONDERZOEK NAAR IMPACT OP WATERMANAGEMENT

De bevindingen uit het onderzoek zijn op basis van de vorige statusrapportage verder onderzocht in samenwerking met RWS in de periode maart tot en met juli 2021. In dit onderzoek stond het huidige watermanagementplan centraal.

De stuw in Driel heeft een belangrijke waterbeheersfunctie in het verdelen van het water dat Nederland instroomt via de Rijn bij Lobith. Het doel van deze stuw is enerzijds de afvoer via de *IJssel* te reguleren. In de *IJssel* is geen kunstwerk geplaatst, deze functie wordt dus door de stuw in de Lek bij Driel gerealiseerd. Daarnaast dient de stuw het waterpeil in de Rijn bij Lobith te reguleren. Verder dient een minimum afvoer van 30 m<sup>3</sup>/s in de Lek te worden gerealiseerd. Tenslotte is voor extreme (droge) situaties ook volledige sluiting de afvoer van de stuw een ultieme optie.

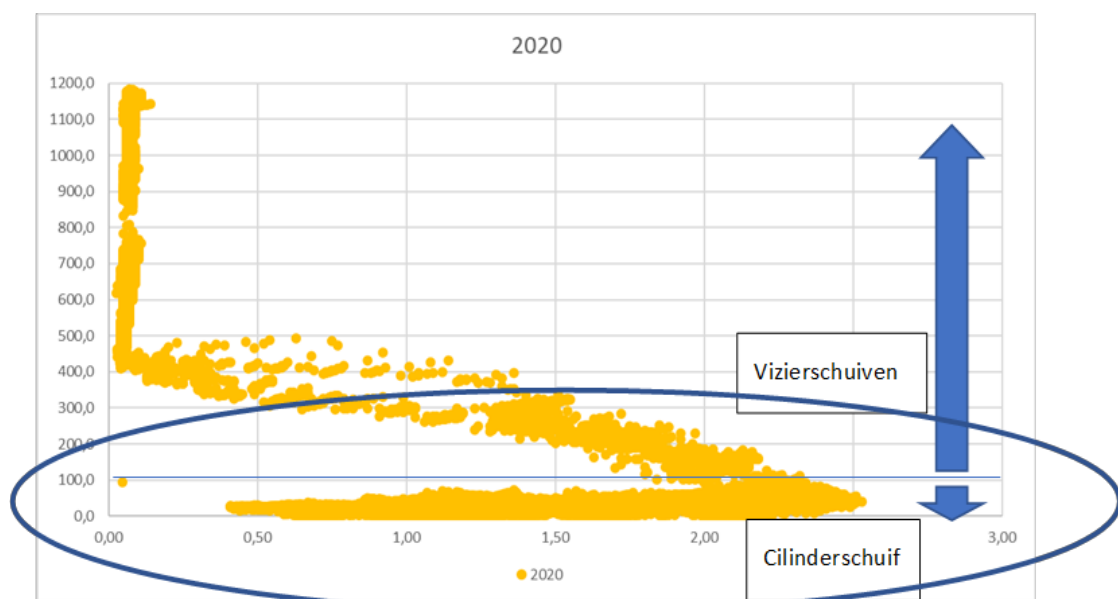
Ter recapitulatie: momenteel wordt de stuw in Driel op de volgende manier gereguleerd:

- Minimaal wordt door het kanaal in de middenpijler 30 m<sup>3</sup>/s geleid; tenzij extreme droogte ook dat niet toelaat.
- Bij een stijgend peil in Lobith en/of op basis van de afvoer in de *IJssel* wordt de cilinderschuif (verder) geopend om meer afvoer via de stuw in Driel te realiseren.
- Bij (blijvend) stijgend peil in Lobith wordt de cilinderschuif verder geopend tot de maximale stand bereikt wordt; bij voldoende verval is dat punt bereikt bij ongeveer 90 m<sup>3</sup>/s.
- Indien verdere opening noodzakelijk is wordt eerst één van de vizierschuiven en vervolgens de andere in stappen van ca. 10 cm geopend. Met de cilinderschuif wordt vervolgens fijnregeling toegepast.
- Het maximum afvoerdebiet door het kanaal van de cilinderschuif; deze is gesteld op 90 m<sup>3</sup>/s. Deze maximum capaciteit van het ‘fijnregelings-kanaal’ is mede afhankelijk van het verval en ligt bij een klein verval lager.
- Een enkele keer is aanvullende fijnregelingscapaciteit benodigd; bijvoorbeeld als het verval zo klein is dat de capaciteit van het kanaal in de middenpijler ontoereikend is. Als dan ook de vizierschuiven niet kunnen worden geopend, worden één of meer spoelriolen geopend. Dit komt zeer zelden voor, en wordt slechts als uiterste ‘backup’ beschouwd.

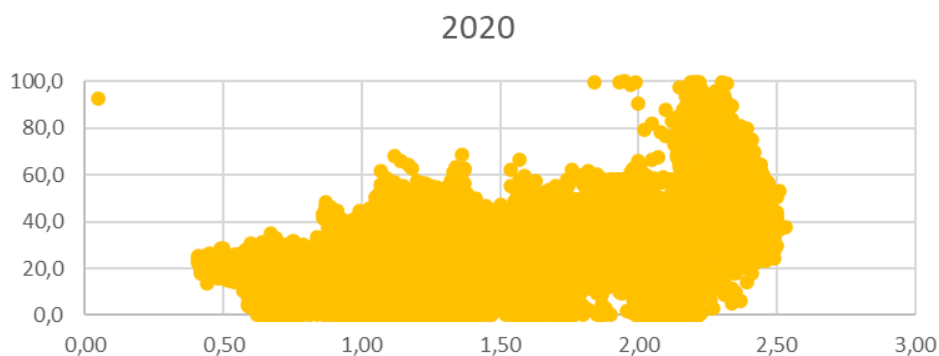
Het onderzoek werd gebaseerd op het feit dat watermanagement de primaire taak van de stuw is en blijft. Doelstelling daarbij was dat plaatsing van de waterkrachtcentrale kan worden gerealiseerd binnen de beperkingen die het watermanagement biedt. Met de gekozen oplossing is het zelfs mogelijk om een verbeterd, stabiel watermanagement te realiseren.

### WATERDATA (1) - MIDDENPIJLER / CILINDERSCHUIFKANAAL

De afvoeren over het kanaal van de cilinderschuif zijn ingeschat met de beschikbare informatie. Uitgaande van de principes van het waterbeheer worden de vizerschuiven geopend boven een afvoer van 30 m<sup>3</sup>/s tot ca. 90 m<sup>3</sup>/s afhankelijk van het heersende verval. De aangegeven maximale afvoercapaciteit is voor de eenvoud aangenomen voor het verder uitwerken van de beoogde waterkrachtinstallatie in de stuw.



Grafiek 4a: waterafvoer door de stuw in 2020  
(verticaal: afvoer in m<sup>3</sup>/s, horizontaal: verval in meters)



Grafiek 4b: waterafvoer door cilinderschuif in 2020  
(verticaal: afvoer in m<sup>3</sup>/s, horizontaal: verval in meters)

Bij een gewenste afvoer die hoger ligt dan de capaciteit van de cilinderschuif, wordt eerst één vizierschuif in kleine stappen open gezet en naarmate de afvoeren groter dienen te worden wordt ook de 2<sup>e</sup> vizier geopend. Het regelen van de afvoer met de vizierschuiven is een ‘grove’ regeling. Met de cilinderschuif wordt de afvoer bij geregeld (‘fijnregeling’).

De afvoerregeling geschiedt op basis van het peil in Lobith en de gewenste afvoer in de *IJssel*. De afstand van de stuw in Driel van Lobith veroorzaakt een vertraging van enkele uren op de regeling. Een wijziging van de instelling in de stuw in Driel heeft dus pas enkele uren later een effect in Lobith en op de Oude IJssel. In de tussentijd kan ook de aanvoer vanuit de Rijn zijn gewijzigd. Het opnieuw inregelen van een bepaalde afvoer is daarom een lastige en tijdrovende actie, waarbij de ervaring en kunde van de operator een essentiële rol speelt. Daarbij speelt ook dat er geen (relevante) metingen direct rondom de stuw worden gedaan, waardoor de effecten van acties in de stuw pas enkele uren later effect hebben.

### Effect ‘fijnregeling’

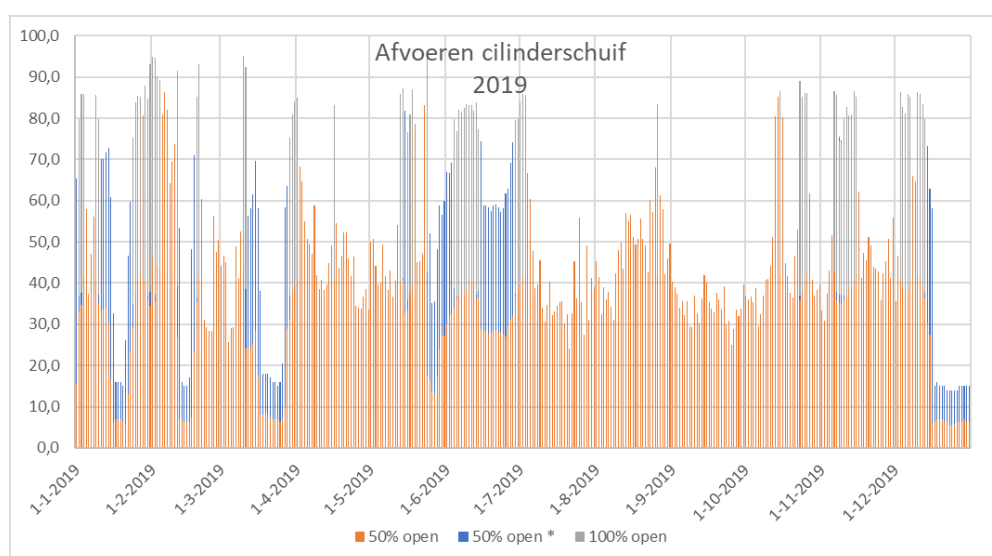
Met de informatie uit het onderzoek i.s.m. RWS is verder gewerkt aan een model voor het reproduceren van de regeling van de afvoer over de stuw. Het model is doorgerekend met de regel-protocollen van de stuw, waarmee de historische waterdata zijn ingevoerd.

Het model kent een onzekere factor: bij grotere debieten (als de vizierschuif c.q. -schuiven zijn geopend) wordt de cilinderschuif nu gebruikt voor de fijnregeling. Het kanaal in de middenpijler kent dan een variabele afvoer die moeilijk is te bepalen met de beschikbare historische data.

In het onderzoek zijn 3 varianten meegenomen om de effecten van de fijnregeling te inventariseren (bij geopende vizierschuiven), oplopend in afvoer via de cilinderschuif:

1. de cilinderschuif staat bij geopende vizierschuiven gemiddeld in de stand dat de helft van de capaciteit wordt doorgevoerd (‘half open’).
2. de cilinderschuif staat bij geopende vizierschuiven half open, totdat de totale afvoer zo groot wordt dat de fijnregeling niet meer effectief is. Bij deze (grote) afvoeren wordt de cilinderschuif weer 100% geopend.
3. de cilinderschuif is altijd 100% geopend

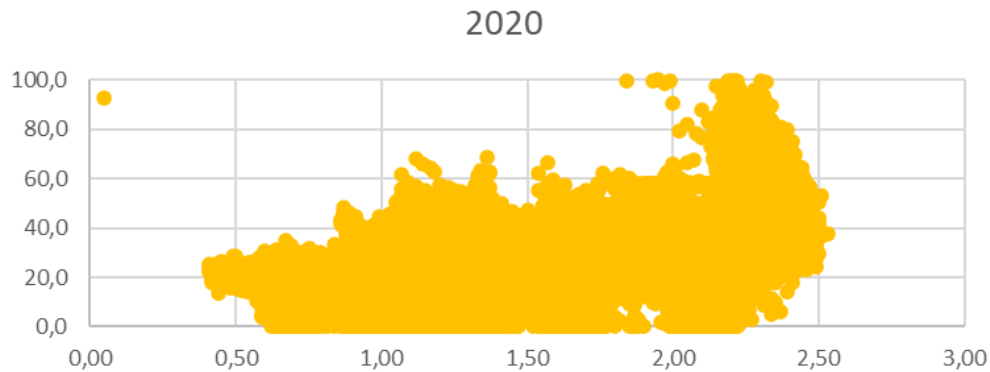
De 3 varianten worden weergegeven in de grafieken 5a en 5b. In grafiek 5a wordt de huidige situatie weergegeven, zonder turbines voor het jaar 2019. De grafiek laat zien wat de *cumulatieve* effecten zijn van optie 2 en 3 op de basisoptie (cilinderschuif half open).



Grafiek 5: geschatte waterafvoer door cilinderschuif / kanaal middenpijler in 2019

Uit het onderzoek volgt dat het effect beperkt is, zo'n 10% voor elk van de twee beperkende factoren. Gekozen is om optie 2 toe te passen in de berekeningen; hierin staat de cilinderschuif bij geopende vizierschuiven gemiddeld half geopend tot een situatie waar de totale afvoercapaciteit ca. 3x groter is dan de capaciteit van de cilinderschuif in fijnregeling. Deze optie beschrijft een toekomstige situatie met turbines op de meest zorgvuldige manier. De afwijking op de totale opbrengst als gevolg van deze onzekerheid is daarmee zo klein mogelijk geworden.

### Effecten kanaal cilinderschuif / lage afvoeren



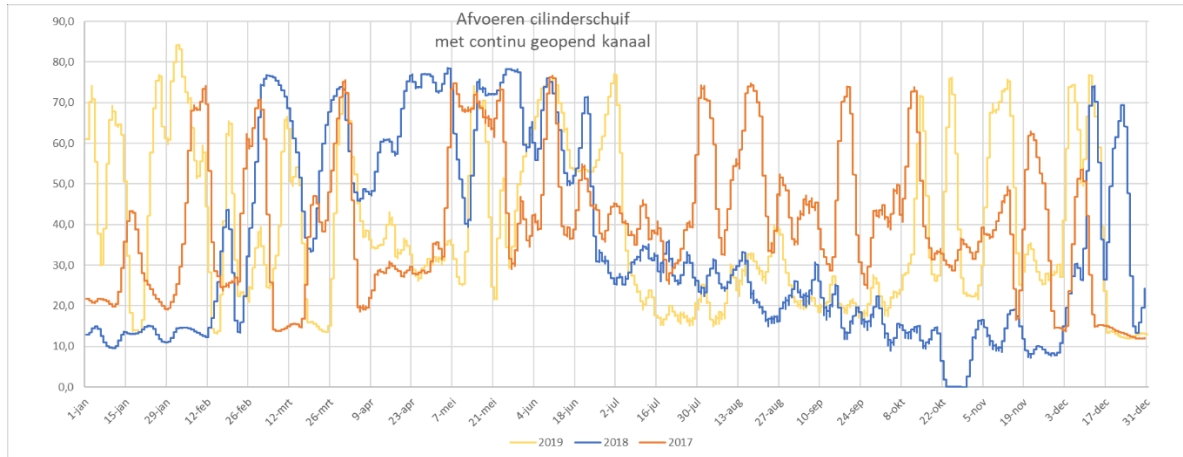
Grafiek 6: Waterafvoer door de cilinderschuif in 2020  
(verticaal: afvoer in m<sup>3</sup>/s, horizontaal: verval in meters)

De bovenstaande grafiek 6 met de afvoeren tot 90 m<sup>3</sup>/s laat zien dat er een groot spectrum aan mogelijke combinaties van verval en afvoer bestaat, voortvloeiend uit de grote variatie van situaties die kunnen optreden. Het is daarom moeilijk in te schatten of alle situaties volledig met de fijnregeling van de cilinderschuif worden opgelost.

Niet in het model is opgenomen dat een enkele keer ook de 4 spoelriolen worden geopend. Dit geschiedt bij lage vervallen, als de maximum afvoercapaciteit via de cilinderschuif en vizierschuiven ontoereikend is. Gezien het feit dat dit zeer zeldzaam voorkomt en doordat dit gebeurt bij een zeer gering verval is, is het effect op een toekomstige energetische opbrengst gering, dus is de keuze gerechtvaardigd.

## Seizoen effecten

In onderstaande grafiek 7 worden afvoeren in de loop van het jaar weergegeven, voor de meest recente jaren 2017, 2018 en 2019.



Grafiek 7: geschatte waterafvoer [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] door de cilinderschuif in 2017, 2018, 2019 (case: 100% geopend)

De grafieken laten zien dat er geen eenduidig beeld kan worden gegeven over de invloed van seizoenen op de afvoeren. Daar waar elders in rivieren in de zomers een drogere periode is te zien met minder afvoer, is dat in Driel geen mindere afvoer te zien. Dat heeft mogelijk te maken met centrale locatie in de Rijnwaterdistributie.

Uit de grafiek valt ook op te maken dat de spreiding van de afvoeren ook in dit 'fijnregeling'-regime groot is. De afvoer varieert ook frequent. Bijgaande lijnen in de grafiek zijn gewogen gemiddelden over de betreffende periodes. Op detailniveau is dus een nog grilliger verloop van de afvoeren waar te nemen.

*N.B. 2020 is niet opgenomen in bovenstaand overzicht i.v.m. het ontbreken van waterdata voor een groot deel van de periode. Die gegevens zijn derhalve niet representatief.*

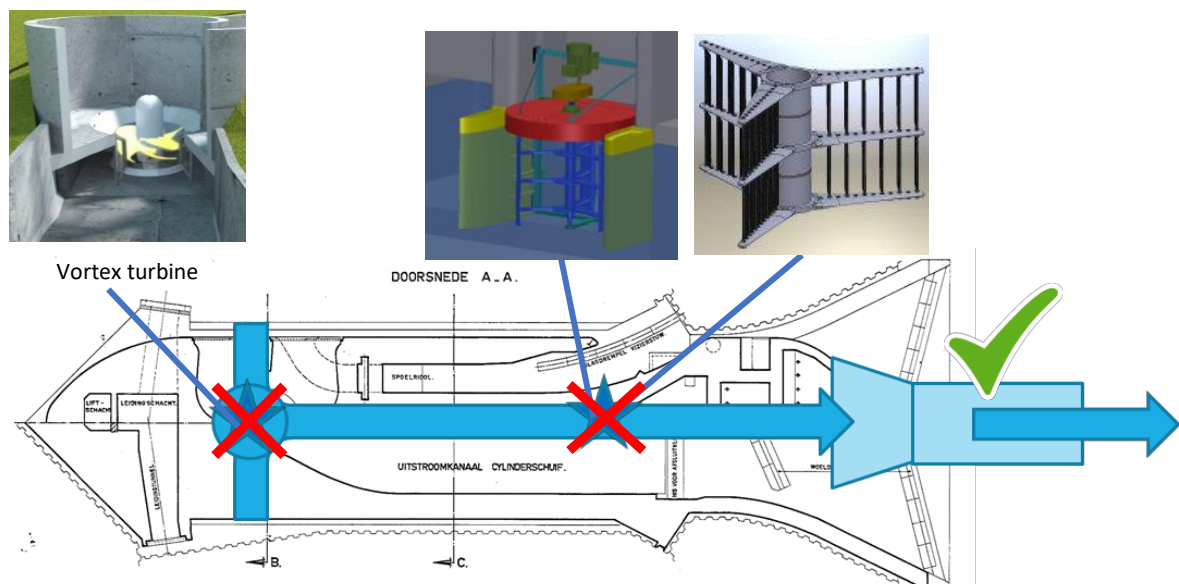
## WATERKRACHTINSTALLATIE - VOORKEURCONFIGURATIE

In de eerdere rapportages tijdens dit onderzoek zijn diverse opties de revue gepasseerd. De in de statusrapportages bepaalde locaties zijn meegenomen in het onderzoek met Rijkswaterstaat naar de impact ervan op het watermanagement. Het onderzoek heeft geleid tot de een waterkrachtinstallatie met 3 turbines, elk op een andere locatie. De voorkeursconfiguratie behelst:

1. **Plaatsing van 1 turbine in de middenpijler;** waarbij het alternatief uit de statusrapportage de uiteindelijke voorkeur heeft: een turbine aan de uitlaatzijde van het kanaal door de middenpijler.

Deze optie levert een minimale impact op het watermanagement op, in het bijzonder de cilinderschuif.

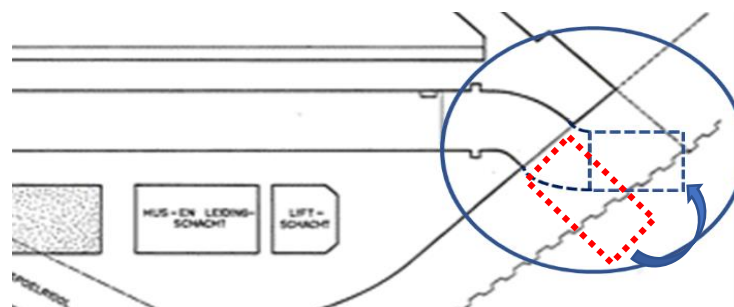
De optie om een turbine in het kanaal, direct onder de cilinderschuif te plaatsen valt hiermee af. De gekozen optie heeft daarnaast het voordeel dat de grootte van de turbine fysiek niet wordt beperkt tot de afmetingen van het kanaal. Door de turbine aan de uitlaatzijde van het kanaal te plaatsen kan de afmeting beter worden aangepast aan een optimale hydraulische doorsnede. Tenslotte is het plaatsen en verwijderen van deze turbine eenvoudiger en goedkoper.



Tekening 1: keuze turbine locatie in middenpijler

2. **Plaatsing van 2 turbines, één bij elk van de 2 oorspronkelijke 'visluizen'.**

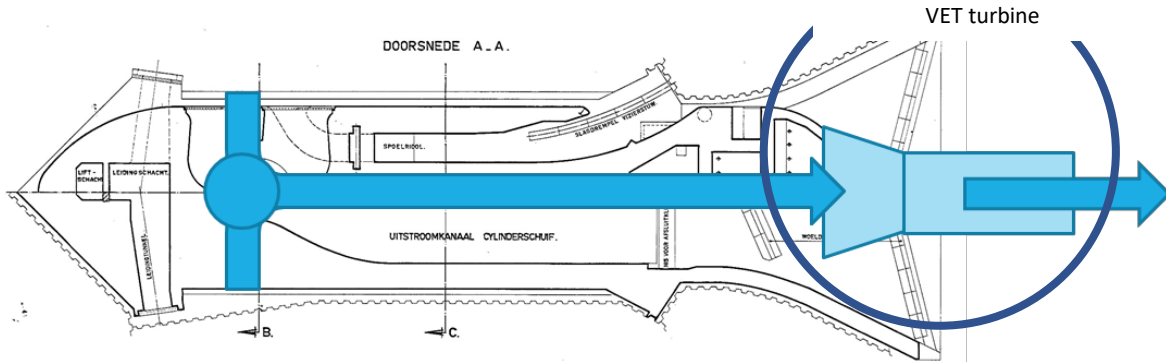
Een turbine aan beide visluizen is zonder meer interessant. Bij de plaatsing van de turbines wordt bij voorkeur zoveel mogelijk rekening gehouden met de scheepvaart. Dat kan bijvoorbeeld door de turbine voor de scheepvaart 'achter de stuw' te plaatsen. Scheepvaart verkeer houdt in principe rechts aan, de turbine aan het kanaal aan de noordzijde wordt dan bij voorkeur aan de uitlaatzijde geplaatst. Als alternatief kan de turbine meer uit de scheepvaartroute worden gedraaid.



Tekening 2: optimalisatie locatie turbine visluizen

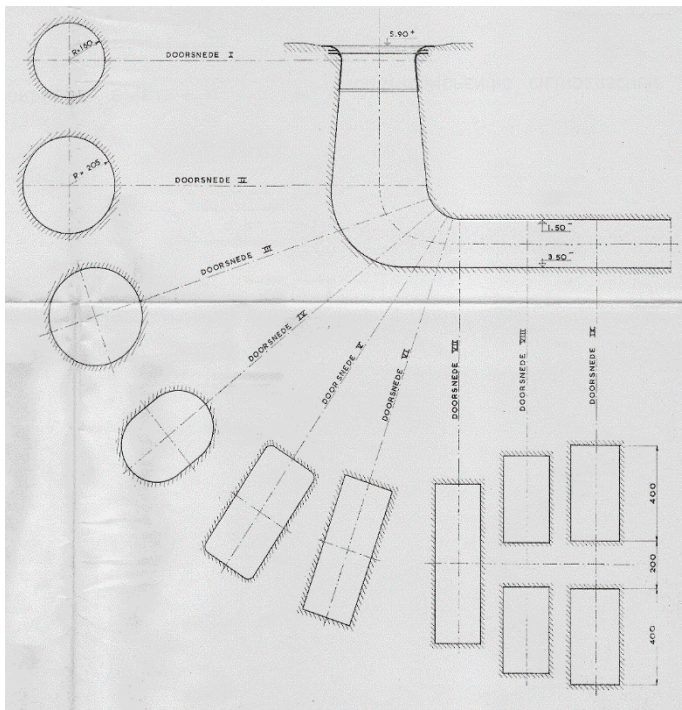
## TURBINE-INSTALLATIE (1) - MIDDENPIJLER / CILINDERSCHUIFKANAAL

Deze installatie maakt gebruik van het kanaal van de cilinderschuif in de middenpijler. De waterkrachtinstallatie, bijvoorbeeld een zgn. **Venturi-enhanced Kaplan (VET)** turbine, wordt dan aan de uitlaatzijde van het kanaal in de middenpijler geplaatst.

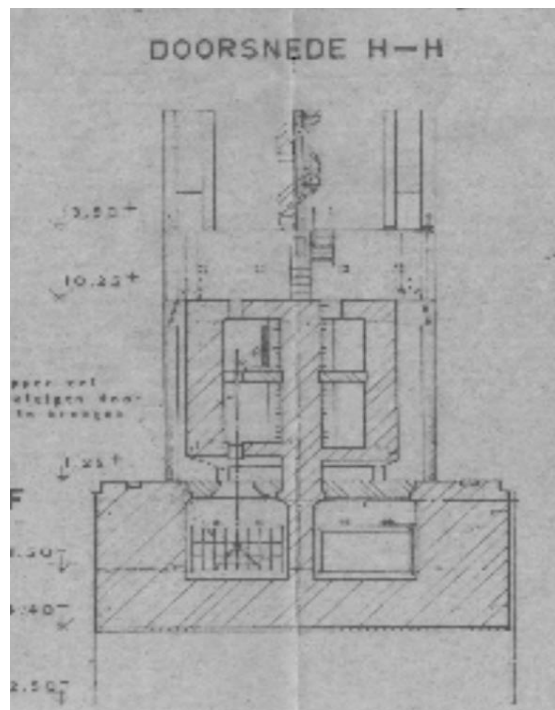


Tekening 3: Horizontale doorsnede middenpijler met turbine in uitstroomopening van het kanaal van de cilinderschuif

Het kanaal stroomt aan de achterzijde van de pijler uit in twee rechthoekig gevormde kanalen, elk 8 m<sup>2</sup> in doorsnede. De turbine wordt aan de buitenzijde van de pijler gemonteerd met een constructie die goed op de twee uitlaatkanalen aansluit.



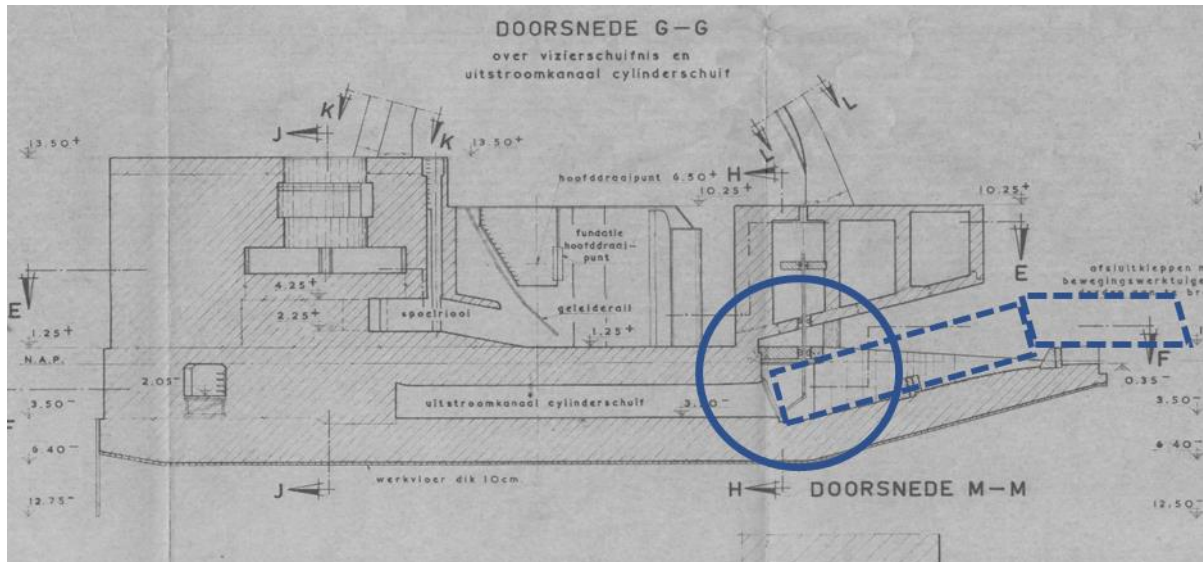
Tekening 4a: vormverloop van het kanaal achter de cilinderschuif



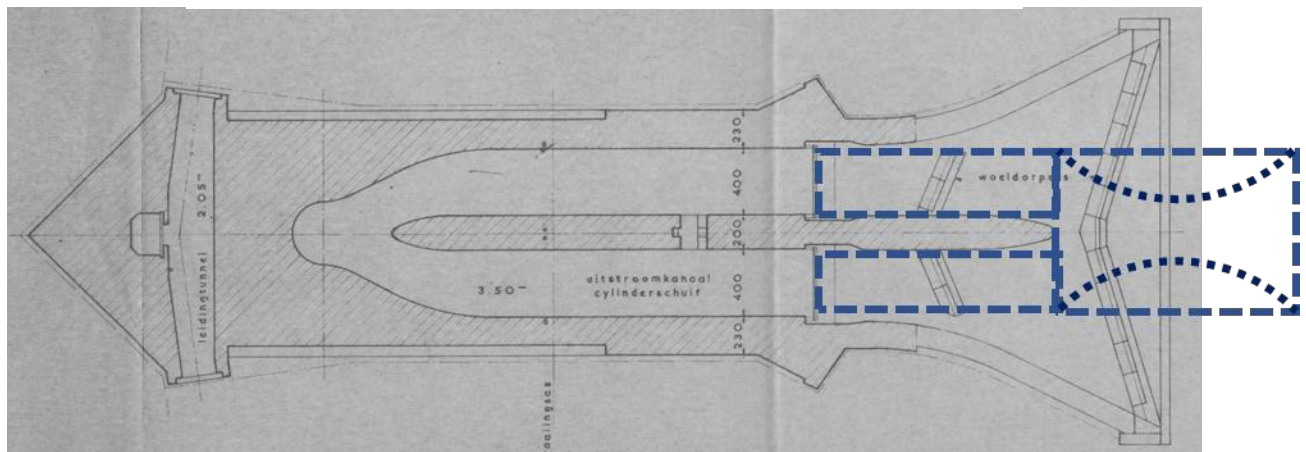
Tekening 4b: uitlaatzijde kanaal achter de cilinderschuif



Het doel is dat deze constructie relatief eenvoudig kan worden verwijderd en dat de turbine eenvoudig voor onderhoud uit het water kan worden gehesen. Voor deze optie zijn zeer waarschijnlijk geen aanpassingen nodig voor de scheepvaart. Aan inlaatzijde zijn geen aanpassingen benodigd, de aanpassingen bevinden zich grotendeels aan de uitlaatzijde.



Tekening 5: verticale doorsnede middenpijler met turbine in uitstroamopening van het kanaal van de cilinderschuf



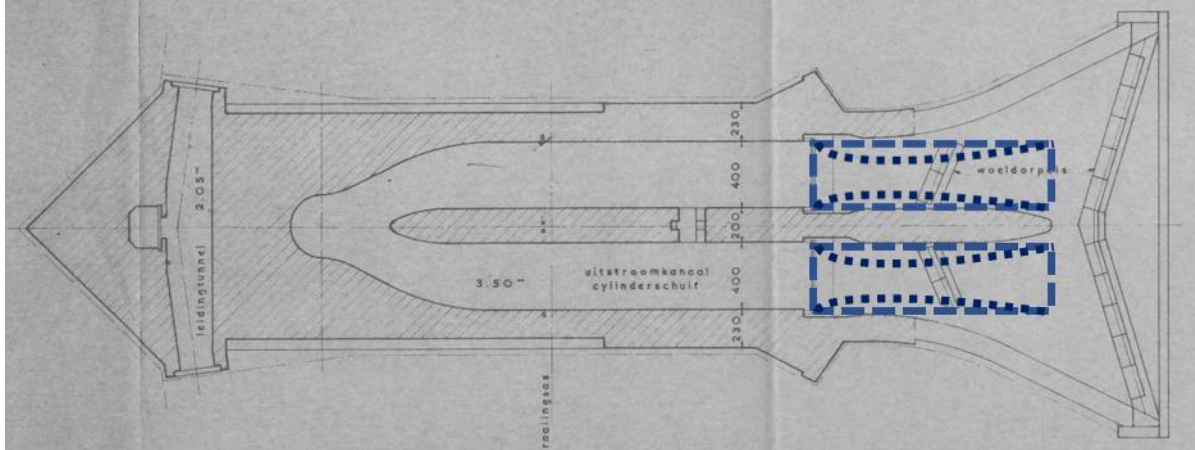
Tekening 6: Horizontale doorsnede middenpijler met turbine gekoppeld aan de twee uitstroamopeningen van het kanaal van de cilinderschuf

Uit de tekeningen valt op te maken dat de ruimte bij de uitlaat van het kanaal niet geheel vrij is:

- tussen de twee uitlaatkanalen zit een deel van de civiele constructie van de middenpijler.
- aan de onderzijde loopt ook een deel van de constructie waardoor het gebied voor een turbine niet geheel horizontaal lijkt te lopen.

Een tweeledige constructie, voor ieder uitlaatkanaal één, als een soort extensie aan de uitlaatkanalen te bevestigen, is de meest voor de hand liggende oplossing. De twee constructiedelen worden dan achter de civiele constructie samengevoegd tot één, waaraan de turbine kan worden gemonteerd. Op die manier ontstaat de mogelijkheid om één turbine te plaatsen aan het einde van die constructie/extensie. Vermoedelijk levert dit de beste oplossing op voor montage /demontage van de turbine; tijdens de bouw én tijdens exploitatie.

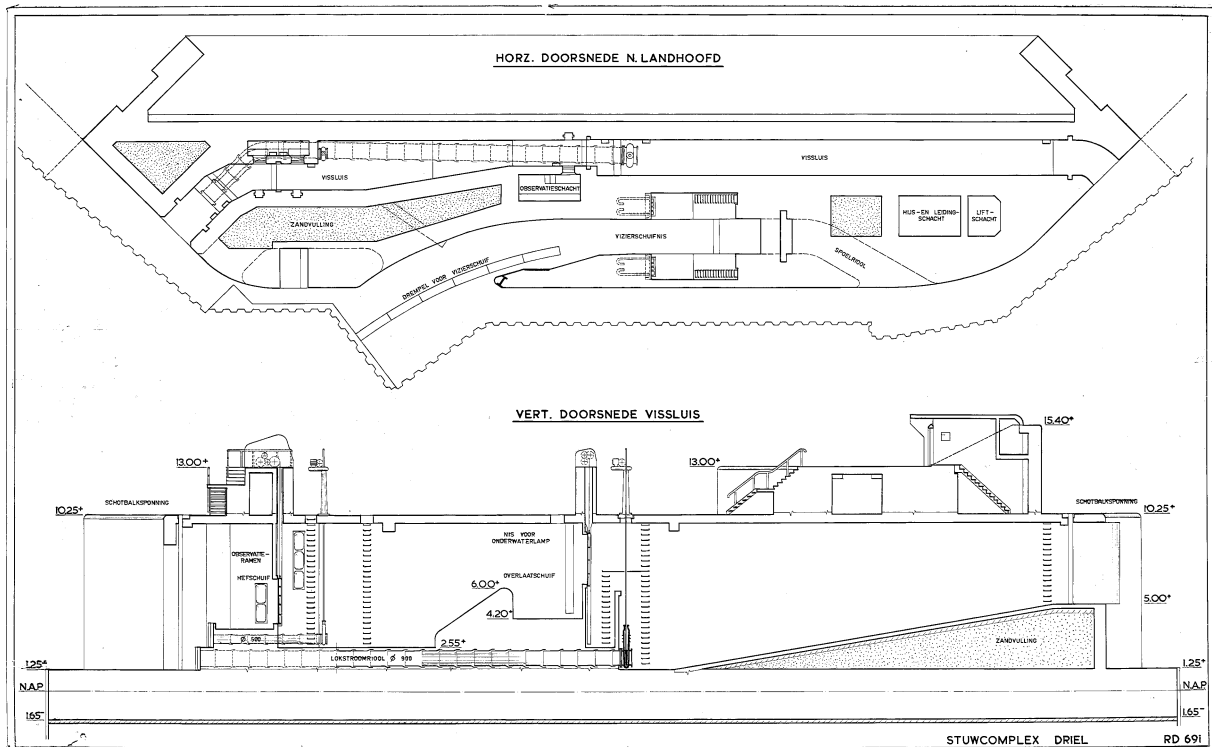
Een alternatief is om twee kleinere turbines te plaatsen die direct of met een kleinere constructie aan de uitlaatkanalen worden gemonteerd. Met deze constructie kunnen de kosten voor de constructie sterk worden gereduceerd. In een vervolgotraject dient dit verder te worden geëvalueerd.



Tekening 7: Alternatief ontwerp met 2 kleinere turbines aan de uitlaatzijde van het kanaal door de middenpijler

### TURBINE-INSTALLATIE (2) - VISSLUIZEN IN LANDHOOFDEN NOORD/ZUID

Een 2<sup>e</sup> set turbines kan goed geplaatst worden in/aan de 2 visluizen van de beide landhoofden (noord en zuid) van de stuw.



Tekening 8: Horizontale en verticale doorsnede noordelijke pijler met vissluis

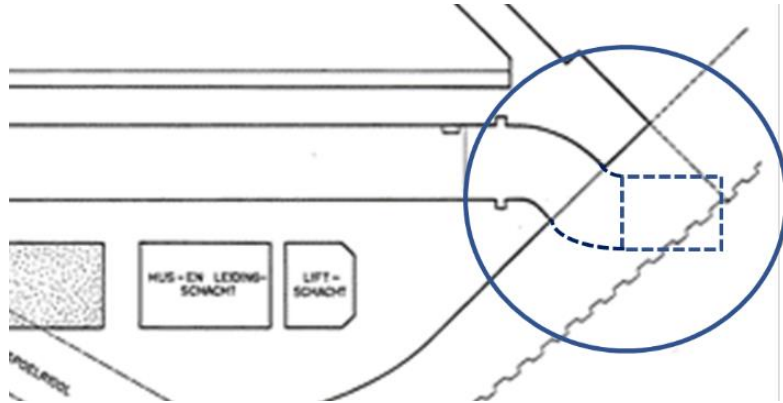
De visluizen waren oorspronkelijk bedoeld om vismigratie mogelijk te maken over de stuw. Het optredende verval over de stuw maakte het noodzakelijk om de vissen te 'schutten', net als schepen. Vissen verzamelden zich daarom in de sluis, die op gezette tijden werd geopend.

De vissluizen zijn voorzien van voorzieningen om de noodzaak van schutten en de fenomenen rondom schutten te onderzoeken: glazen wanden waar scholing van vissen kon worden gemonitord.

De vissluizen zijn na het aanbrengen van de vispassage in ca. 2000 niet meer in gebruik. De kanalen zijn semi-permanent gesloten met schotbalken. In deze rapportage wordt aangenomen dat de nieuwe vispassage van 2000 ervoor zorgt dat vissen niet meer in de buurt van de stuw komen.

Deze visluiskanalen vormen een prachtige basis voor het aanbrengen van een waterkrachtturbine. Een turbine kan aan de oostzijde (aan de inlaatzijde) worden aangebracht met minimale aanpassingen aan de stuwconstructie.

In het onderzoek i.s.m. RWS is het oorspronkelijke ontwerp licht aangepast: de turbine is in de stromingsrichting gedraaid om deze verder van scheepsbewegingen verwijderd te houden. Daarmee is het ontwerp verder geoptimaliseerd qua veiligheid.



Tekening 8a: Positie van de waterkrachtturbine bij de inlaat van de vissluis

Het nieuwe ontwerp levert bovendien een iets geoptimaliseerde instroom op.



Foto 4a: inlaat van de vissluis (noordpijler)

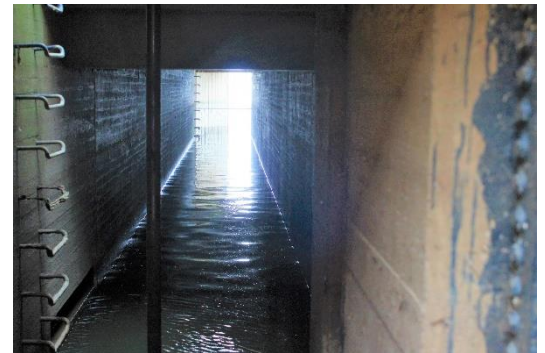


Foto 4b: inlaat vissluis gezien van binnenuit

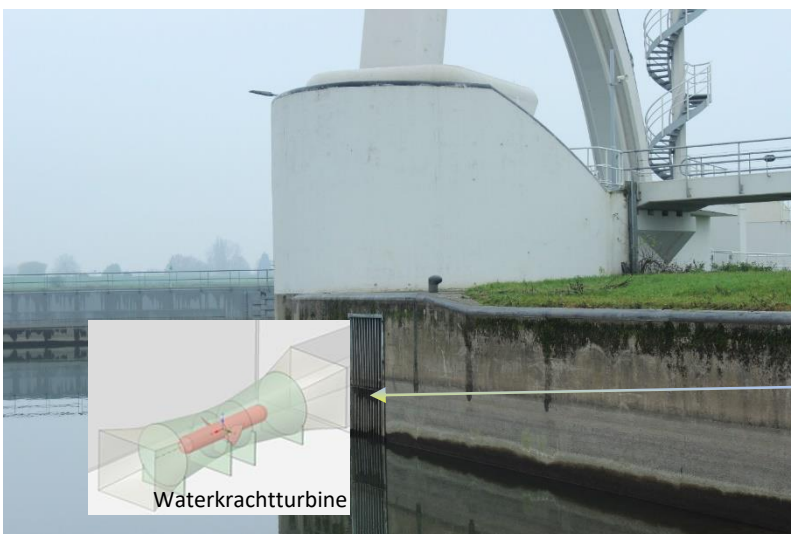


Foto 4c: impressie waterkrachtturbine bij de inlaat van de vissluis (noordpijler)

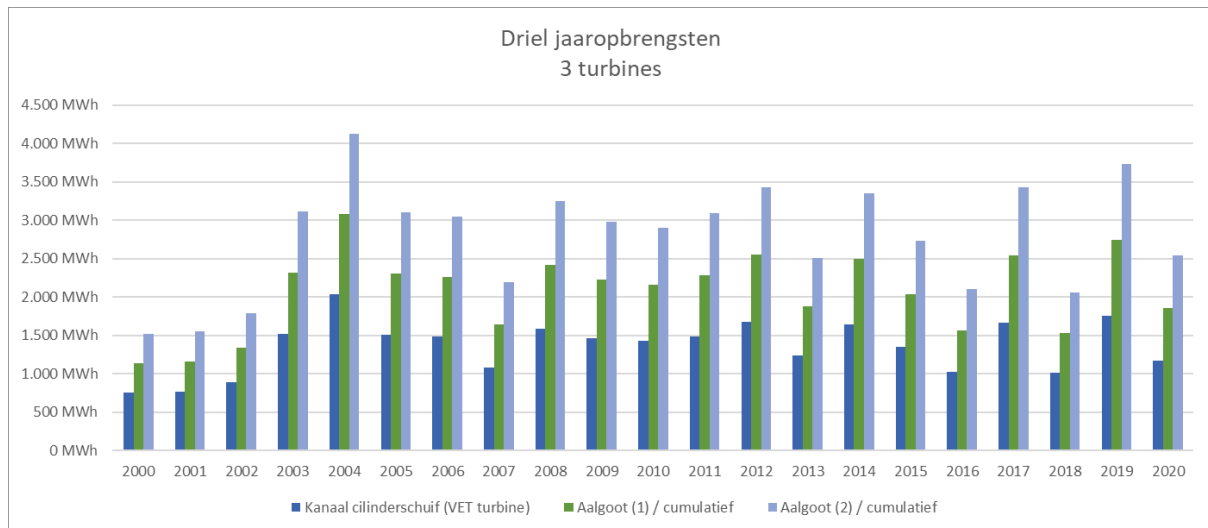


Door het weer openen van de visluizen in de noord- en de zuidpijler zorgt deze optie voor twee extra doorlaten, aanvullend op de afvoer door de middenpijler. Deze aanvullende afvoerhoeveelheden kunnen een waardevolle compensatie vormen voor de gereduceerde afvoer door de middenpijler. Het ‘fijnregeling’-afvoer-regime naast de afvoeren door de vizerschuiven krijgt met deze aanvulling een iets grotere capaciteit met meer flexibiliteit.

## POTENTIEEL WATERKRACHTINSTALLATIE

Op basis van bovenstaand onderzoek is het potentieel van de beoogde waterkrachtinstallatie verder uitgewerkt. Turbines worden geplaatst aan de uitlaatzijde van het uitstroomkanaal van de cilinderschuif en aan de inlaatzijde van elk van de twee visluiskanalen. In totaal 3 turbines.

Turbine	kanaal middenpijler	visluiskanaal (2x)	TOTAAL
Type turbine	VET (Venturi Enhanced Turbine)		
Vermogen	350 kW	175 kW (2x)	700 kW
Gem. jaaropbrengst	1300 MWh	1400 MWh	2700 MWh



Grafiek 8: Geschatte opbrengst van elektriciteit bij een waterkrachtcentrale met 3 turbines

Op basis van de modellen die zijn gemaakt en de historische data over de stuw over een periode van 2000 – 2020 is bepaald wat de turbines aan energie kunnen leveren.

Uit de modellen volgt dat de installatie een verwachte de gemiddelde opbrengst verwacht van ongeveer 2.700 MWh per jaar. Dat is goed voor ruim 1.000 huishoudens in de omgeving van de stuw.

### Opmerking

*De modellen geven een inschatting van de verwachte elektriciteitsopbrengsten op basis van enkele aannames, o.a. rond de stromingsprofielen, de performance van de beoogde turbines en de bedrijfsvoering binnen de watermanagement-aspecten. Voor een financierbare prognose dienen deze zaken nog verder uitgewerkt worden in de projectontwikkelingsfase.*



## WATERMANAGEMENT - EFFECT TURBINE-INSTALLATIE IN CILINDERSCHUIFKANAAL

Het installeren van een turbine in of aan het kanaal van de cilinderschuif heeft een behoorlijk effect op de mogelijke afvoer door dat kanaal. Dat wordt verklaard met het feit dat er energie uit het water wordt gehaald voor elektriciteitsopwekking waardoor de afvoer van het water extra weerstand zal ondervinden bij de turbines. De weerstand komt boven op de reeds bestaande weerstand van het kanaal met cilinderschuif et cetera.

Het reducerende effect op de afvoer is afhankelijk van het type turbine en de plaatsing. In de keuze voor een turbine in of aan het kanaal van de cilinderschuif zijn de turbine-opties vergelijkbaar op het gebied van de weerstand die zij veroorzaken. De voorkeursoptie waarbij de turbine aan de uitlaat van het kanaal wordt bevestigd, maakt het echter mogelijk de doorlaat van de turbine te vergroten. De turbine in het kanaal kent restricties in de afmetingen van datzelfde kanaal, terwijl een achter het kanaal te plaatsen turbine meer vrijheden kent. De grotere turbine levert een kleinere weerstand waardoor het verlies in de afvoer deels wordt gecompenseerd.

## WATERMANAGEMENT - AFVOEREN DOOR LANDHOOFDEN NOORD/ZUID / VISSLUIZEN

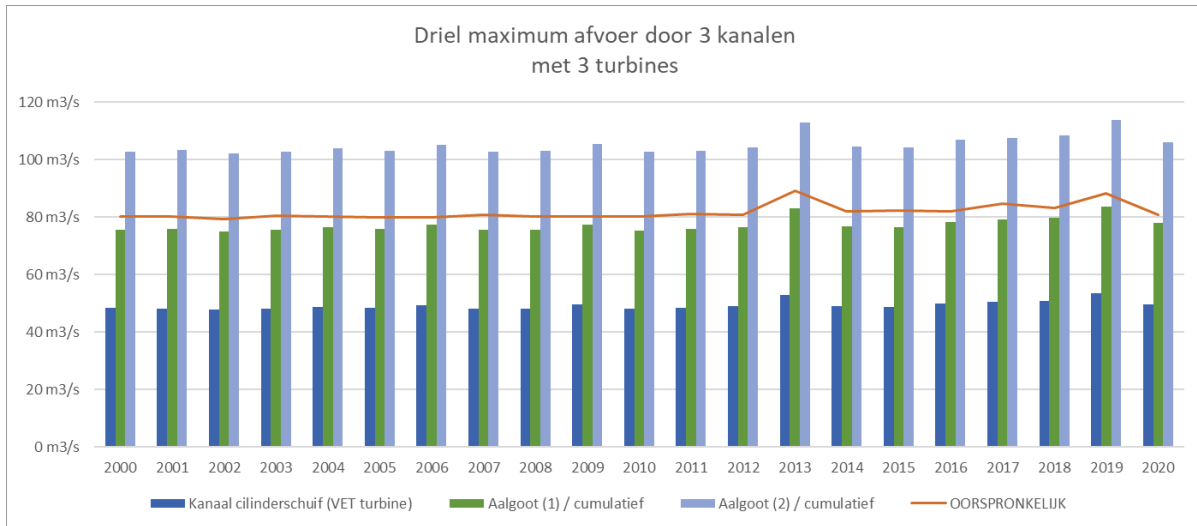
De vissluizen kennen een behoorlijk complexe vorm met vele suboptimale aspecten. Zo zijn de wanden niet ontworpen voor een optimale doorstroming, met vele obstakels, oneffenheden in de wanden en obstakels die de stromingsverliezen behoorlijk doen stijgen. Het ontwerp was bedoeld om vissen op een vriendelijke manier te 'schutten', en niet om een optimale doorstroming te bereiken.

Voor het bepalen van de afvoeren en in de toekomst van de energetische opbrengsten van een turbine aan de vissluis-kanalen, is een model gemaakt dat zo goed mogelijk rekening houdt met de grillige vorm van het kanaal. Voor dit onderzoek is besloten om een vereenvoudigd model te maken dat toereikend is om de haalbaarheid van een turbine-installatie te onderzoeken.

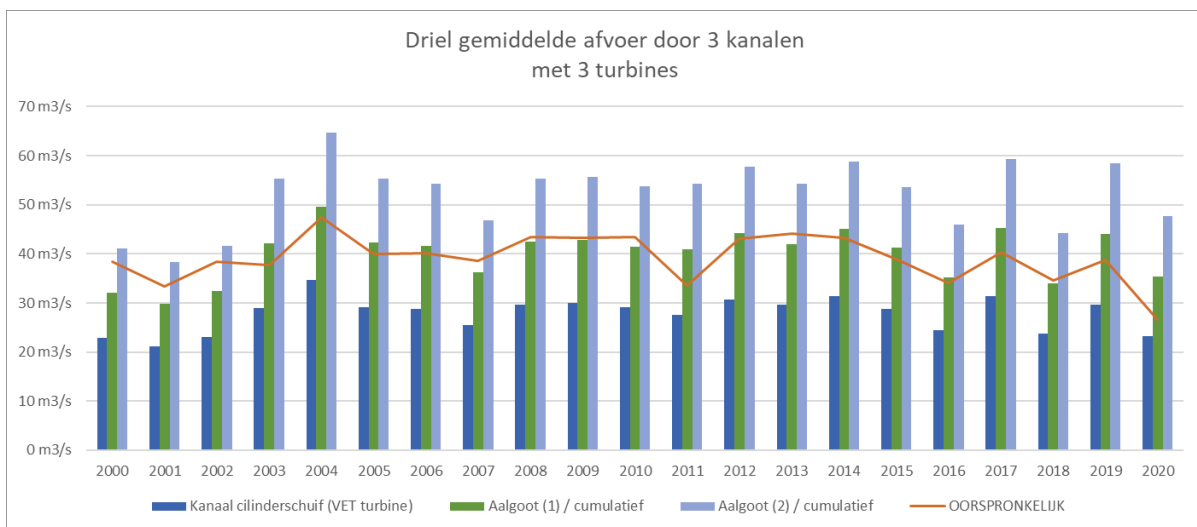
Voor een meer nauwkeurige berekening dient het model in een vervolgtraject verder verfijnd te worden om een nauwkeurige berekening van de energetische opbrengsten te krijgen. De waarden kunnen - bij voorkeur vóór start van een eventuele investering in turbines - geverifieerd worden met metingen in de stuw.

**RECAP AFVOEREN MET 3 TURBINES (MIDDEN-, NOORD- EN ZUIDPIJLER)**

Gestreefd wordt naar een situatie dat de 3 kanalen (2 vissluizen en het kanaal in de middenpijler) gezamenlijk een grotere afvoercapaciteit realiseren dan de oorspronkelijke situatie met alleen de middenpijler.



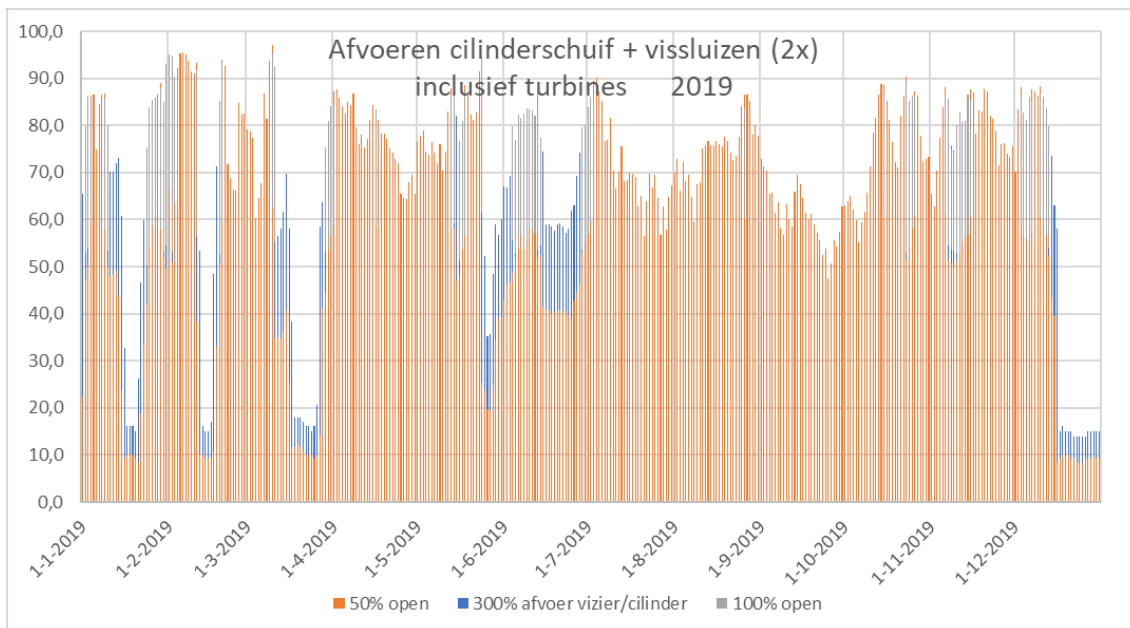
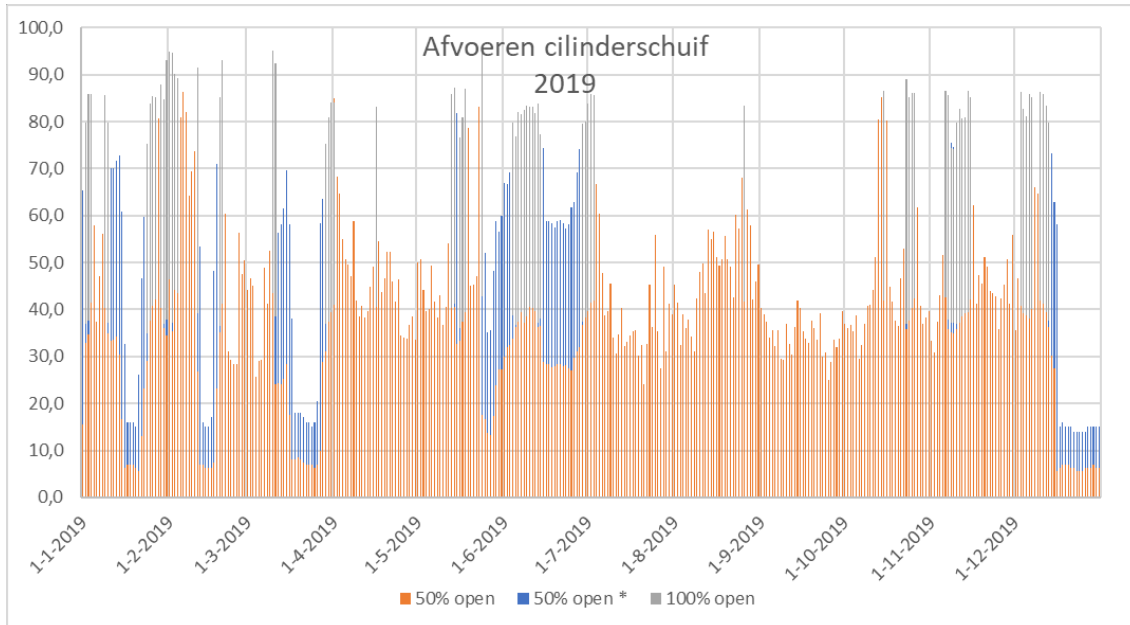
Grafiek 9: Geschatte maximale afvoer door cilinderschuifkanaal (zonder turbines) vs. (cumulatieve) maximale afvoer door cilinderschuifkanaal en 2 vissluis-kanalen (met turbines)



Grafiek 10: Geschatte gemiddelde afvoer door cilinderschuifkanaal (zonder turbines) vs. (cumulatieve) gemiddelde afvoer door cilinderschuifkanaal en 2 vissluis-kanalen (met turbines)

Gebruik van de 3 kanalen in midden- noord- en zuidpijler leidt tot uitgebreidere mogelijkheden voor afvoeren in de lage afvoerrange en fijnregeling bij geopende vizierschuiven. Daarnaast wordt met dit ontwerp de bestaande capaciteit voor genoemde situaties geëvenaard en mogelijk zelfs enigszins overstegen.

Vergelijking van de nieuwe en de oorspronkelijke situatie laat zien dat de maximale afvoeren niet veel afwijken. Het gemiddelde stijgt echter significant, van ca. 30 m<sup>3</sup>/s naar ca. 55 m<sup>3</sup>/s, ruim 60% t.o.v. de oorspronkelijke situatie. Kwalitatief blijkt dat uit het grotere rood-oranje gebied in grafiek 12.



Grafiek 12: geschatte 'fijnregeling'-waterafvoer met 3 kanalen vs. 'oorspronkelijke situatie'

De vizerschuiven kunnen nu veelal later (bij een hoger benodigd afvoerniveau) worden geopend. Het kan leiden tot een grotere kieropening in de overgang van afvoer via het kanaal in de middenpijler naar afvoer via de vizerschuiven. Wellicht geeft het ook de mogelijkheid om de start-opening van de vizerschuif te vergroten en daarmee erosie door kierwerking en daarmee slijtage van de vizerschuif te beperken.

Daarnaast ontstaat een grotere fijnregelings-range tussen de grovere stappen van de regeling met de vizerschuiven.



## WATERMANAGEMENTPLAN / CONCEPT IN NIEUWE SITUATIE

In het onderzoek i.s.m. RWS is een eerste opzet voor een nieuwe afvoerregeling opgesteld. Door het plaatsen van de turbine aan de uitlaat van het kanaal in de middenpijler loopt de afvoercapaciteit van dat kanaal terug. Uitgangspunt is dat de lagere capaciteit wordt gecompenseerd met de beoogde aanvullende passages via de kanalen van de twee vissluizen. De capaciteit van de 3 kanalen kan in de nieuwe situatie met turbines worden gebruikt voor fijnregeling.

De afvoerregeling van de stuw kan dan als volgt worden opgezet:

- Uitgangspunt voor de regeling van de turbines is de oorspronkelijke benodigde afvoercapaciteit van de stuw. De afvoercapaciteit van de turbines is daarmee bepaald; verdere optimalisatie van de energieopwekking bij die afvoercapaciteit wordt volledig automatisch in de turbineregeling ingebouwd.
- Minimaal wordt door het kanaal in de middenpijler 30 m<sup>3</sup>/s geleid (tenzij extreme droogte ook dat niet toelaat). De capaciteit van het kanaal in de middenpijler is ook in de nieuwe situatie toereikend. De afvoerregeling kan nu worden gerealiseerd met de turbine.
- Bij een stijgend peil in Lobith en/of op basis van de afvoer in de IJssel wordt de turbinecapaciteit (verder) verhoogd om naast meer energie ook de gewenste grotere afvoer via de stuw te realiseren.
- Bij (blijvend) stijgend peil in Lobith wordt deze turbine verder opgevoerd tot de maximale stand bereikt wordt; bij voldoende verval is dat punt bereikt bij ongeveer 55 m<sup>3</sup>/s.
- De volgende stap in een stijgende afvoercapaciteit van de stuw is het openen van één van de kanalen van de vissluizen en regeling van afvoer met de betreffende turbine. Daarna volgt ingebruikname van de 3<sup>e</sup> turbine in het andere vissluiskanaal.
- Bij verdere noodzakelijke afvoer is wordt eerst één van de vizierschuiven en vervolgens de andere in stappen van ca. 10 cm. geopend. Met de 3 turbines wordt vervolgens fijnregeling toegepast.
- Naarmate de afvoer verder moet stijgen worden de vizierschuiven dus verder geopend. De fijnregeling met de turbines wordt bij stijgende afvoeren minder relevant. De turbines kunnen daarom bij hogere afvoeren ook op 100% capaciteit worden afgeregeld.
- In extreme (droge) situaties kan de afvoercapaciteit door de turbines ook volledig tot 0 m<sup>3</sup>/s worden teruggedraaid.

De in het project beoogde turbines zijn in principe geschikt om de afvoer te regelen. Door een turbine 'lichter' of 'zwaarder' te laten lopen kan er meer of minder afvoer door de turbine stromen. Voor de kanalen van de vissluizen is dat de ideale oplossing voor het reguleren van die afvoeren; voor het kanaal met de cilinderschuif zou dat in principe niet hoeven, maar de opbrengst van de turbine is naar verwachting hoger als de cilinderschuif volledig geopend blijft en de regeling met de turbine wordt uitgevoerd. De cilinderschuif kan dan fungeren als backup.

Aanvullend aan bovenstaand wordt debietmeting toegevoegd aan de regeling met de turbines. Dit levert voor de energieopwekking belangrijke aanvullende informatie; voor de afvoerregeling van stuw is dit een waardevolle aanvulling die de regeling verder kan verbeteren.



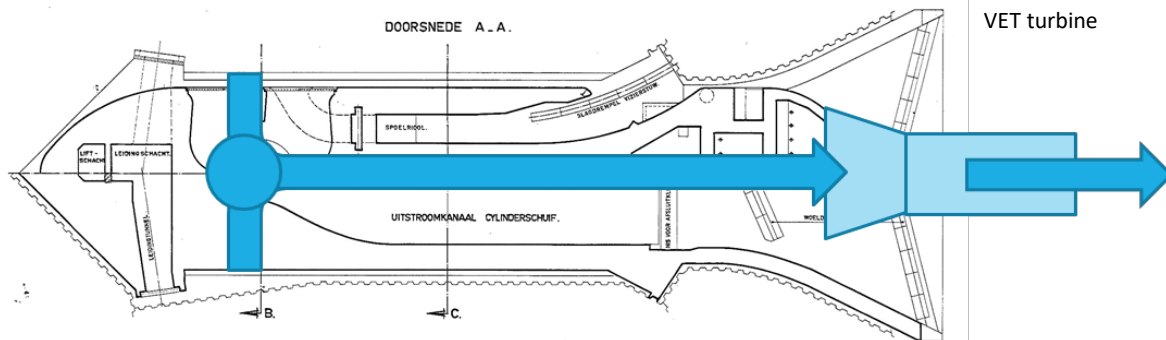
## CONCLUSIES

Dit onderzoek behelst een uitgebreide inventarisatie van mogelijke oplossingen in de stuw, zowel op basis van de tekeningen, desktop research als onderzoek on-site. Met de aanvullend door RWS geleverde waterdata en informatie over het waterbeheer zijn de diverse opties nader onderzocht en gemodelleerd.

Het onderzoek heeft geleid tot enkele interessante opties om een waterkrachtinstallatie te plaatsen in het stuwcomplex Driel. In de voorgaande statusrapportage is de beoogde totaaloplossing gekozen. In deze eindrapportage is deze verder uitgewerkt en met een onderzoek i.s.m. RWS bepaald dat deze oplossing ook past binnen de primaire taak van de stuw: de afvoerregeling van Rijnwater via de Lek en de IJssel.

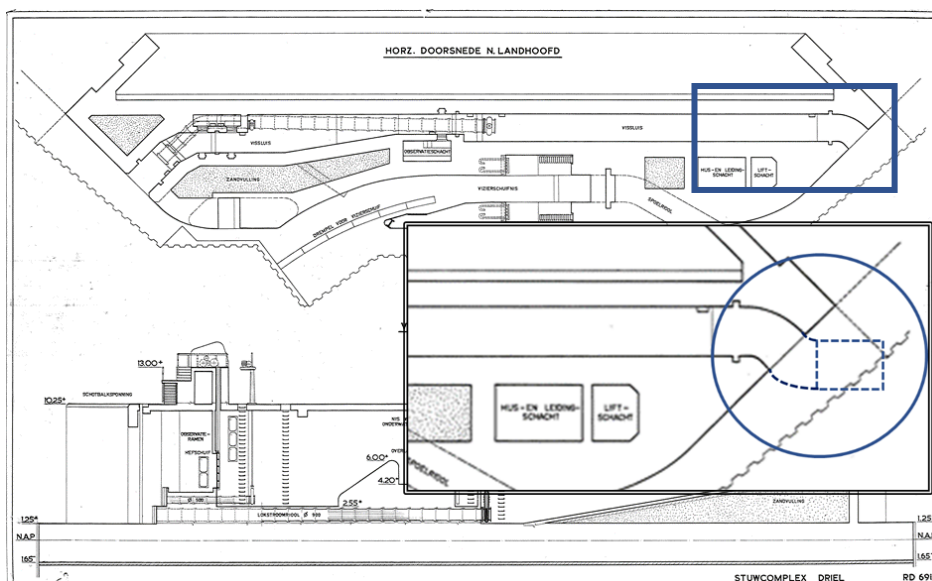
De beoogde oplossing met 3 turbines ziet er als volgt uit:

1. één turbine aan de uitlaatzijde van het afvoerkanaal met de cilinderschuif door de middenpijler



Tekening 9a: waterkrachtturbine bij de cilinderschuif in de middenpijler

2. twee turbines, één bij elk van de twee visluiskanalen in de noord- respectievelijk de zuidpijler.

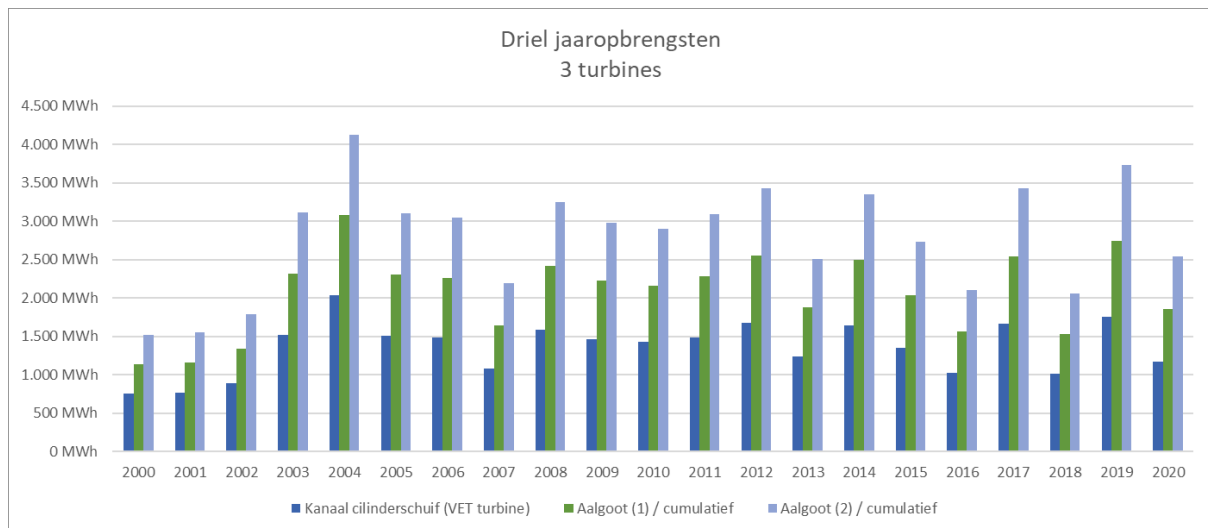


Tekening 9b: waterkrachtturbine bij de inlaten van de visluizen in noord- en zuidpijler



Turbine	kanaal middenpijler	vissluiskanaal (2x)	TOTAAL
Type turbine	VET (Venturi Enhanced Turbine)		
Vermogen	350 kW	175 kW (2x)	700 kW
Gem. jaaropbrengst	1300 MWh	1400 MWh	2700 MWh

De geschatte opbrengst in de waterkrachtinstallatie is ca. 2.700 MWh per jaar, goed voor het elektriciteitsverbruik van ruim 1.000 huishoudens in de omgeving van de stuw.



Grafiek 16: geschatte elektriciteitsopbrengst waterkrachtinstallatie

De resultaten leveren een positieve indruk op voor wat betreft een rendabele exploitatie van een waterkrachtinstallatie met 3 turbines. Geconcludeerd kan derhalve worden dat verdere voorbereidingen voor realisatie van een waterkrachtinstallatie met 3 turbines gerechtvaardigd zijn.

*Opmerking: de modellen geven een inschatting van de verwachte elektriciteitsopbrengsten op basis van enkele aannames, o.a. rond de stromingsprofielen, de performance van de beoogde turbines en de bedrijfsvoering binnen de watermanagement-aspecten. De resultaten zijn nog onvoldoende uitgewerkt voor een financiële prognose.*

In de nieuwe situatie worden in 3 kanalen turbines geïnstalleerd. Deze kanalen kunnen ook worden gebruikt voor het stuw-watermanagement. Uitgangspunt is dat de lagere capaciteit wordt gecompenseerd met de beoogde aanvullende passages via de kanalen van de twee vissluizen. De capaciteit van de 3 kanalen kan in de nieuwe situatie met turbines worden gebruikt voor fijnregeling.

De afvoerregeling van de stuw kan dan als volgt worden opgezet:

- Centraal bij de regeling van de turbines staat dus de oorspronkelijke benodigde afvoercapaciteit van de stuw. De afvoercapaciteit van de turbines is daarmee bepaald; verdere optimalisatie van de energieopwekking bij die afvoercapaciteit wordt volledig automatisch in de turbineregeling ingebouwd.
- Minimaal wordt door het kanaal in de middenpijler 30 m<sup>3</sup>/s geleid (tenzij extreme droogte ook dat niet toelaat). De capaciteit van het kanaal in de middenpijler is ook in de nieuwe situatie toereikend. De afvoerregeling kan nu worden gerealiseerd met de turbine.



- Bij een stijgend peil in Lobith en/of op basis van de afvoer in de IJssel wordt de turbinecapaciteit (verder) verhoogd om naast meer energie ook de gewenste grotere afvoer via de stuw te realiseren.
- Bij (blijvend) stijgend peil in Lobith wordt deze turbine tot verder opgevoerd tot de maximale stand bereikt wordt; bij voldoende verval is dat punt bereikt bij ongeveer 55 m<sup>3</sup>/s.
- De volgende stap in een stijgende afvoercapaciteit van de stuw is de opening van één van de kanalen van de vissluizen en regeling van afvoer met de betreffende turbine. Daarna volgt ingebruikname van de 3<sup>e</sup> turbine in het andere vissluiskanaal.
- Bij verdere noodzakelijke afvoer is wordt eerst één van de vizierschuiven en vervolgens de andere in stappen van ca. 10 cm. geopend. Met de 3 turbines wordt vervolgens fijnregeling toegepast.
- Naarmate de afvoer verder moet stijgen worden de vizierschuiven dus verder geopend. De fijnregeling met de turbines wordt bij stijgende afvoeren minder relevant. De turbines kunnen daarom bij hogere afvoeren ook op 100% capaciteit worden afgeregeld.

In extreme (droge) situaties kan de afvoercapaciteit door de turbines ook volledig tot 0 m<sup>3</sup>/s worden teruggedraaid.

De in het project beoogde turbines zijn in principe geschikt om de afvoer te regelen. Door een turbine 'lichter' of 'zwaarder' te laten lopen kan er meer of minder afvoer door de turbine stromen. De cilinderschuif kan dan fungeren als backup.

Aanvullend aan bovenstaand wordt debietmeting toegevoegd aan de regeling met de turbines. Dit levert voor de energieopwekking belangrijke aanvullende informatie; voor de afvoerregeling van stuw is dit een waardevolle aanvulling die de regeling verder kan verbeteren.

## VERVOLGACTIES

Met deze rapportage wordt het project "Opwekking Duurzame Energie met Waterturbines bij het stuwcomplex Driel" afgesloten.

Geconcludeerd wordt dat het gerechtvaardigd is om de realisatie van een waterkrachtinstallatie met 3 turbines verder voor te bereiden.

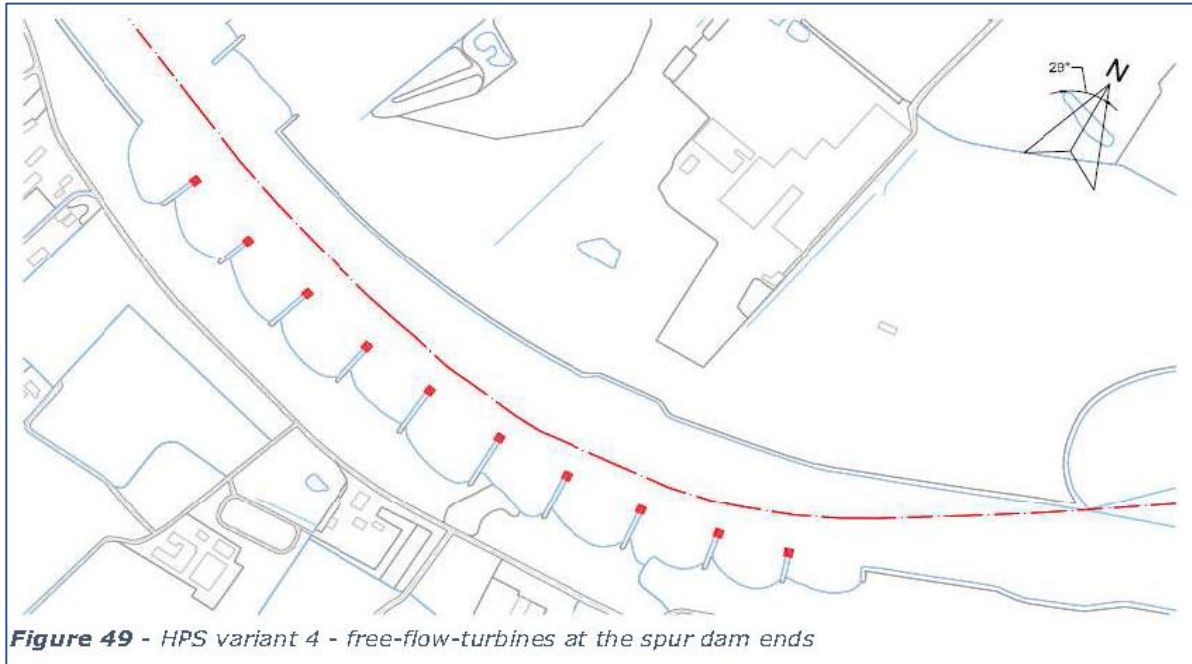
De volgende acties dienen nu te worden uitgevoerd.

1. Voorbereidingen
  - a. Verwerven van fondsen voor de acties b. tot en met f.
  - b. Gedetailleerd ontwerpen van de installatie
  - c. Aanvragen en verkrijgen van vergunningen
  - d. Opstellen financieringsplan
  - e. Opstellen exploitatieplan
  - f. Opstellen projectplan voor realisatie
2. Financiering van het project
3. Realisatie van het project

**PRO MEMORIE: “KRIBKRACHT”-OPTIE**

In de rapportage van Van Erp wordt ook gesproken over een optie voor één of meerdere kleine installaties in de kribben stroomafwaarts van de stuw. Deze optie blijft los van de eerder genoemde conclusies relevant en interessant, met name in relatie tot het onderzoeksproject KribKracht.

KribKracht is - mede op initiatief van Ocean Energy International – ontwikkeld en streeft naar een ‘2<sup>e</sup> generatie’ kribben met geïntegreerde waterkracht, waarbij de kribben ook op watermanagement een functie hebben, ten behoeve van de belangen van stakeholders/gebruikers van de rivier, waaronder de scheepvaart. Het onderzoeksproject is nog in voorbereiding.



Figuur 2: Locaties van turbines bij de kribben stroomafwaarts van het stuwcomplex



Foto 6: Gebied voor de plaatsing van turbines bij de kribben stroomafwaarts van het stuwcomplex

## VISVEILIGHEID / VISPASSAGE

Om vistrek via de Nederrijn-Lek mogelijk te maken zijn de stuwen bij Driel, Amerongen en Hagestein voorzien van vispassages. De vispassages zijn uitgevoerd als bekkentrap en zijn operationeel sinds oktober 2001 (Driel) en augustus 2004 (Amerongen en Hagestein).



Foto 7: Vispassage in Hagestein

De vispassages zijn alle drie uitgevoerd als bekkentrap met V-vormige drempels. De hydraulische randvoorwaarden voor het ontwerp van de vispassages komen voort uit eisen die volgen uit vismigratie en eisen die samenhangen met het rivierbeheer. Dit leverde het volgende pakket van eisen op:

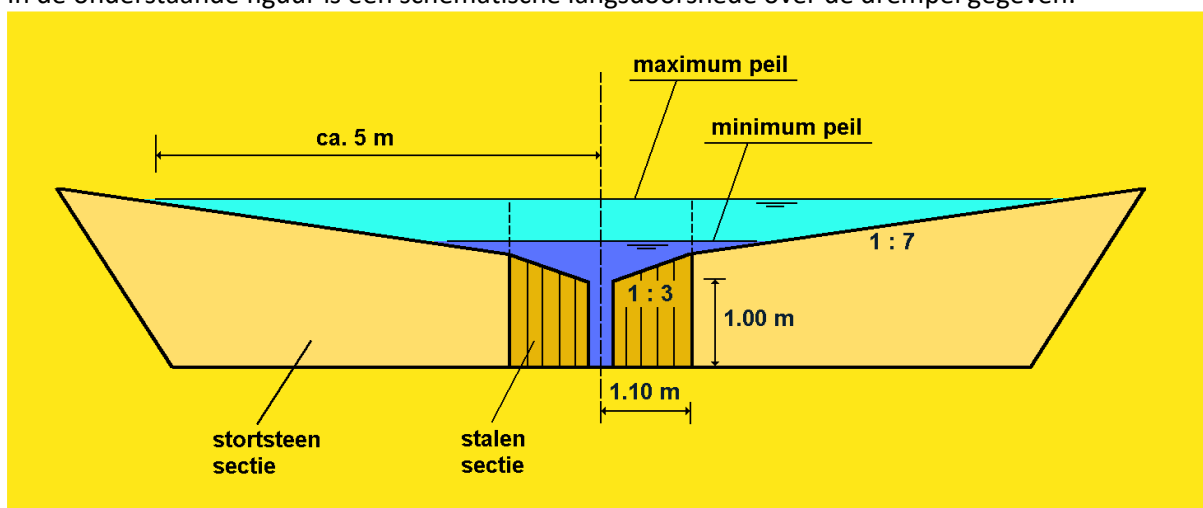
- Vismigratie:
  - Diepte boven de apex (Laagste deel van de drempel, de punt van de 'V') van de drempel minimaal 0,50 m in verband met de doorzwembaarheid.
  - Profielgemiddelde stroomsnelheid boven de drempel maximaal 0,8 – 1,0 m/s om ook minder goede zwemmers te faciliteren.
  - Afvoer door de vispassage minimaal 1 m<sup>3</sup>/s in verband met de lokstroom bij de uitstroomopening.
  - De vispassage moet voor de vis beschikbaar zijn over het volledige gestuwde bereik van de waterstand.
- Rivierbeheer:
  - Afvoer door de vispassages bij Amerongen en Hagestein maximaal 4 m<sup>3</sup>/s in verband met de watervraag van de daar aanwezig waterkrachtcentrales.

Een bekkentrap is een serie drempels waarin het verval over de stuw in stapjes wordt afgebouwd. Het verval per drempel is het verschil in hoogteligging tussen twee opeenvolgende drempels en is daarmee dus een ontwerpgrootheid. Een klein verval per drempel zorgt voor lage stroomsnelheden boven de drempel wat gunstig is voor de migratie van vis. Wel is dan ook de afvoer door de vispassage kleiner, wat weer nadelig is voor de vismigratie vanwege de kleinere lokstroom. De lokstroom bij de uitmonding zorgt ervoor dat optrekkende vis in de rivier geattendeerd wordt op de aanwezigheid van de vispassage. Voorts zijn bij een klein verval per drempel meer drempels nodig en zijn dus de aanlegkosten hoger. Het snelstromende water boven de drempel moet in het daarop volgende bekken weer worden afgeremd. Het bekken dient dan wel groot genoeg te zijn om deze vertraging ook te kunnen bewerkstelligen.

Het type drempel dat is toegepast in de vispassages van de Nederrijn-Lek is speciaal ontwikkeld om te voldoen aan de eisen die vanuit de hydrologie en het rivierbeheer gesteld worden, en tegelijkertijd de drempel te optimaliseren uit het oogpunt van vismigratie. Een bijzonder ontwerpaspect van de drempel is het 'vertical slot' in de apex van elke drempel, bedoeld om organismen die zich over de bodem voortbewegen ook de mogelijkheid te bieden de drempel te passeren. Een tweede opmerkelijk ontwerpaspect is dat de drempel een geknikt profiel heeft en uit verschillende materialen is opgebouwd. Het stalen gedeelte rond het midden heeft een helling van 1:3 en het stortstenen gedeelte op de flanken heeft een helling van 1:7.

De reden om in het midden een steilere helling toe te passen, is dat zo het waterstandsbereik waarover de vispassage werkt 0,21 m groter wordt. De stalen middensectie heeft een relatief hoge overlaatcoëfficiënt, waardoor bij lage waterstanden iets meer water door de vispassage stroomt. Dit komt de lokstroom aan de benedenstroomse zijde van de vispassage ten goede. Omgekeerd hebben de stortstenen drempelsecties een relatief lage overlaatcoëfficiënt, zodat bij hoge waterstanden niet te veel water door de vispassage stroomt, en ook de stroomsnelheden boven de drempel voldoende laag blijven. De stalen sectie is enigszins in hoogte verstelbaar om zo de afvoer door de vispassage bij te stellen, mocht uit metingen blijken dat dit noodzakelijk of gewenst is. De stortstenen sectie heeft een stalen kern om lekverliezen tegen te gaan.

In de onderstaande figuur is een schematische langsdoorsnede over de drempel gegeven.



Figuur 3: Een schematische langsdoorsnede over de drempel

Ondanks dat het geknikte drempelprofiel het waterstandsbereik vergroot waarover de vispassage werkt, is dit voor de locaties Driel en Hagestein niet voldoende. Het waterstandsbereik is hier dermate groot dat als aanvullende maatregel de vispassages met een bypass zijn uitgevoerd.

Een bypass is een voorziening om bij lage waterstanden bovenstrooms in de vispassage een aantal drempels tijdelijk af te koppelen. De bypass wordt geopend als bij dalende waterstand de minimumafvoer door de vispassage ( $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ) wordt onderschreden en vice versa.

#### *Vispassage bij stuwcomplex Driel*

De bypass bij Driel is in de onderstaande foto duidelijk te zien als de middelste van de drie aansluitingen op de rivier.

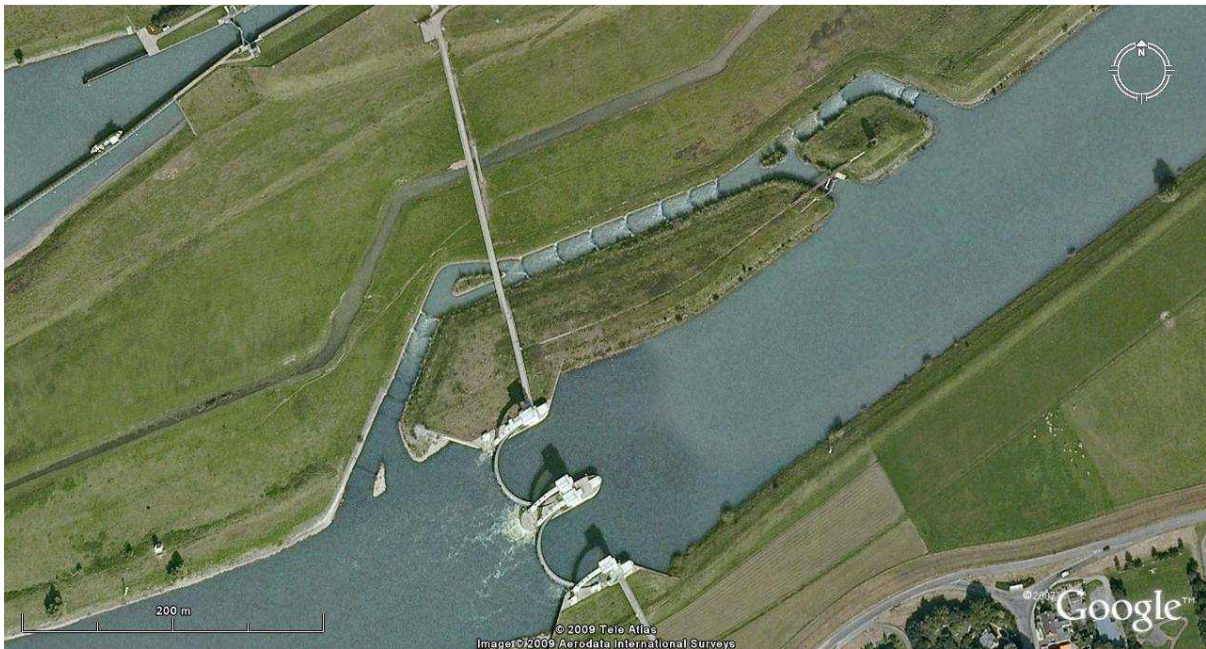


Foto 8a: Vispassage bij stuwcomplex Driel

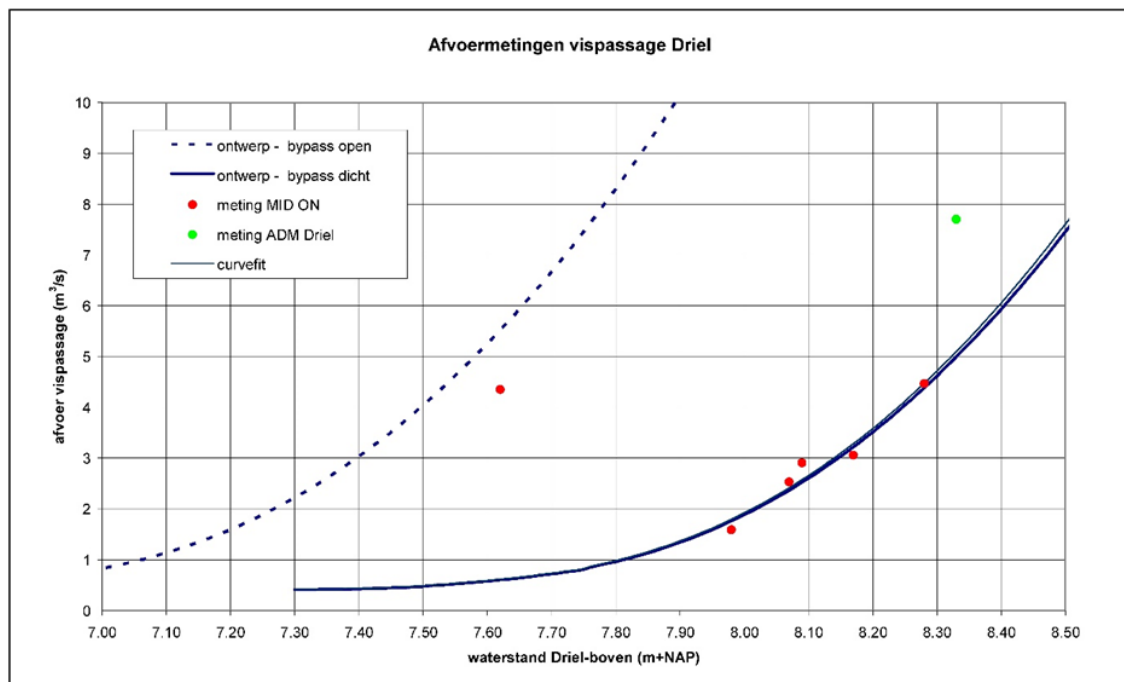


Foto 8b: Vispassage bij stuwcomplex Driel

In de onderstaande tabel zijn de belangrijkste kenmerken van de vispassages in Driel samengevat. De schakelwaterstand voor de bypass wil zeggen dat de bypass open staat als de waterstand bovenstrooms van de stuw lager is en gesloten als ze hoger is.

In 2010 zijn metingen verricht in de vispassages van de 3 stuwen. De vispassage in Driel kent de onderstaande karakteristiek.

Kenmerk	Driel
Stuw in bedrijf	240 dgn/jaar
Bovenstrooms waterstandsbereik	7,07 – 8,32 m+NAP
Aantal drempels	19
Bypass aanwezig	Ja
Schakelwaterstand bypass	7,81 m+NAP
Apex 1e drempel hoofdinlaat	7,30 m+NAP
Apex 1e drempel bypass	6,55 m+NAP
Totale lengte	470 m
Totale breedte	16 m
Minimumafvoer	1 m <sup>3</sup> /s
Maximumafvoer	10 m <sup>3</sup> /s
Maximum stroomsnelheid	0,8 – 1,0 m/s
Verval per drempel	0,15 m



Grafiek 17: De afvoer via de vispassage bij Driel als functie van de waterstand