

## Afvoerrelatie stuw Driel bij lage debieten



## Afvoerrelatie stuw Driel bij lage debieten

### Auteur(s)

Nino Zuiderwijk

Tom O'Mahoney

## Afvoerrelatie stuw Driel bij lage debieten

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	Wim Werkman (RWS -WVL), Daniel van Putten (RWS-ON)
<b>Referenties</b>	-
<b>Trefwoorden</b>	Afvoer, ADM, Stuw Driel, Cilinderschuif, Vizierschuif, Spoelriolen




### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	08-03-2024
<b>Projectnummer</b>	11209225-007
<b>Document ID</b>	11209225-007-ZKS-0001
<b>Pagina's</b>	46
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Nino Zuiderwijk Tom O'Mahoney	

***Gebruik van deze tabel is voor de controle van de juiste uitvoering door Deltares van de opdracht. Ieder ander klantgebruik en externe verspreiding is niet toegestaan.***

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord
1.0	Nino Zuiderwijk 	Anton Heinsbroek 	Remon Pot 

# Samenvatting

Rijkswaterstaat WVL heeft Deltares gevraagd om debiet-relaties op te stellen voor de verschillende objecten bij Stuw- en sluiscomplex Driel op basis van beschikbare data. Het achterliggende doel is duidelijkheid krijgen over het handelingsperspectief bij stuw Driel voor lage Rijnafoeren. De relaties zijn in dit rapport opgesteld en gepresenteerd. De relaties zijn uit te rekenen op basis van objectinformatie (vooral schuifstanden) en metingen van de hydraulische randvoorwaarden (waterstanden). Relaties voor verschillende onderdelen van het stuwcomplex zijn afgeleid, namelijk, de cilinderschuif, de vizierschuiven, de vispassage met bypass, de schutsluis en de spoelriolen.

De verwerking van de beschikbare data was vrij arbeidsintensief omdat er veel onzekerheid blijft over de gebruikte schuifstanden (vooral van de cilinderschuif). Het logboek (wat de basis vormt in dit onderzoek voor de data van schuifstanden) wordt niet systematisch ingevuld. Veel afvoerdata is hierdoor onbruikbaar omdat alleen de datapunten waarvoor een betrouwbare registratie van de schuifstand beschikbaar is kan worden gebruikt in de analyse. Er zijn hierdoor ook weinig datapunten voor enkele schuifstanden die voorkomen bij lage afvoeren (die zelf ook niet vaak voorkomen). Om de betrouwbaarheid van de debiet-relatie te vergroten zou de objectinformatie betrouwbaarder bijgehouden moeten worden.

Echter, ook gegeven deze kanttekening, is de manier van selecteren van bruikbare periodes voor de analyse wel goed onderbouwd in dit rapport. De relaties die daardoor afgeleid zijn geven een goede match met de metingen in het veld (kleine RMS Error waardes) en zijn vergelijkbaar met recente metingen bij stuw Amerongen waar er wel een hoge zekerheid was over de gebruikte schuifstanden. De in dit rapport gepresenteerde debiet-relatie is hierdoor betrouwbaar.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1	Achtergrond	7
1.2	Doel van dit rapport	7
1.3	Leeswijzer	7
<b>2</b>	<b>Beschrijving van stuw Driel</b>	<b>8</b>
2.1	Locatie	8
2.2	Kerdoelen	8
2.2.1	Stuw	8
2.2.2	Stuwbeheer	8
2.3	Onderdelen van het stuwcomplex	9
2.3.1	Stuw	10
2.3.1.1	Vizierschuiven	10
2.3.1.2	Cilinderschuif	11
2.3.2	Schutsluis	11
2.3.3	Vispassage	12
2.3.4	Spoelriool	12
2.3.5	Lekkage	13
<b>3</b>	<b>Aangeleverde data</b>	<b>14</b>
3.1	Waterinfo	14
3.1.1	Debietmetingen	14
3.1.2	Waterstanden	14
3.2	Logboeken	15
3.2.1	Logboek 2005 – 2010 (-2012/-2014)	15
3.2.2	Logboek 2020 -2023	15
3.3	Laboratoriummetingen	16
3.4	Veldmetingen 2023 stuw Amerongen	17
<b>4</b>	<b>Dataverwerking</b>	<b>18</b>
4.1	Inleiding	18
4.2	Cilinderschuif	18
4.2.1	Gebruikte periodes (2020 – 2023)	18
4.2.2	Filtering	18
4.2.3	Time lag na verandering schuifstand	19
4.2.4	Visuele controle	19
4.2.5	Datagebruik uit oude logboek 2005 – 2010	20
4.2.6	Voorbeeld resultaten	20
4.2.7	Afwijking bij kleine vervallen	21
4.2.8	Optimalisatie van de afvoerrelatie	22
4.3	Vizierschuiven	24

4.4	Vistrap	26
4.5	Spoelriolen	28
<b>5</b>	<b>Afvoerrelatie</b>	<b>30</b>
5.1	Cilinderschuif	30
5.1.1	Grafische samenvatting	30
5.1.2	Afvoerformule	30
5.2	Vistrap	31
5.2.1	Grafische samenvatting	31
5.2.2	Afvoerformule	31
5.3	Vizierschuiven	32
5.3.1	Grafische samenvatting	32
5.3.2	Afvoerformule	33
5.4	Spoelriolen	33
5.4.1	Grafische samenvatting	33
5.4.2	Afvoerformule	33
5.5	Schutsluis	34
5.6	Totale afvoer door stuw- en sluis-complex	34
<b>6</b>	<b>Conclusies</b>	<b>35</b>
6.1	Algemene conclusies	35
6.2	Resterende aandachtspunten	35
<b>7</b>	<b>Bibliography</b>	<b>36</b>
<b>A</b>	<b>Appendix</b>	<b>37</b>
A.1	Cilinderschuifstand data analyse	37
A.2	Alle datapunten uit het oude logboek	39
A.3	RMS-Error knikpunt analyse	39
<b>B</b>	<b>Technische tekeningen</b>	<b>40</b>
B.1	Bovenaanzicht stuwcomplex Driel	40
B.2	Dwarsdoorsnede middenpijler stuw incl. cilinderschuif en vizierschuif	41
B.3	Bovenaanzicht middenpijler inclusief cilinderschuif en buis	42
B.4	Zijaanzicht cilinderschuif dwarsdoorsnede	44
<b>C</b>	<b>Vergelijking <math>\mu A</math> cilinderschuif met eerdere studies</b>	<b>45</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Rijkswaterstaat WVL heeft Deltares gevraagd om debiet-relaties op te stellen voor de verschillende objecten bij Stuwcomplex Driel op basis van beschikbare data. Het achterliggende doel is duidelijkheid krijgen over het handelingsperspectief bij stuw Driel voor lage Rijnafvoeren. Verwacht wordt ook dat die informatie nuttig zal zijn voor Slim Water Management, Delta Programma Zoetwater en toekomstige overwegingen bij een eventueel nieuw stuwbeheer of visvriendelijk stuwbeheer. De relaties moeten opgesteld worden om het debiet uit te rekenen op basis van objectinformatie (vooral schuifstanden) en metingen van de hydraulische randvoorwaarden (waterstanden). Er ligt een permanente debietmeting (met ADM) bij stuw Driel maar deze kan geen onderscheid maken tussen de onderliggende objecten in het stuwcomplex.

## 1.2 Doel van dit rapport

Dit rapport beschrijft de debiet-relaties die in dit project zijn opgesteld. Het doel is om zowel de resultaten te presenteren (de daadwerkelijke relaties) als de onderbouwing van de relaties en eventuele kanttekeningen bij de relaties. Hiermee is het in de toekomst duidelijk hoe de relaties zijn opgesteld en hoe ze verbeterd kunnen worden, mocht er meer data beschikbaar komen of nauwkeuriger relaties nodig zijn.

## 1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 van dit rapport wordt het stuwcomplex Driel met alle verschillende objecten kort beschreven zodat in de rest van het rapport naar deze objecten kan worden verwezen. De beschikbare data van debiet, waterstanden en schuifstanden worden beschreven in hoofdstuk 3. Hoe deze data verwerkt worden tot debietrelaties wordt beschreven in hoofdstuk 4. Hierin wordt er ook op ingegaan welke aannames zijn gemaakt en welke afhankelijkheden er zijn. De relaties zelf zijn in hoofdstuk 5 gepresenteerd zonder de context van de afleiding waarvoor wordt verwezen naar hoofdstuk 4. De belangrijkste conclusies, kanttekeningen en aanbevelingen worden in hoofdstuk 6 samengevat.

## 2 Beschrijving van stuw Driel

### 2.1 Locatie

De stuw Driel bevindt zich 13 kilometer benedenstrooms van de afsplitsing van de IJssel en de Neder-Rijn naast Driel.

### 2.2 Kerndoelen

#### 2.2.1 Stuw

De primaire doelen van de stuw Driel zijn samen te vatten als volgt (HydroLogic, 2022):

1. Voldoende zoetwatertoevoer richting het IJsselmeer
2. Bevaarbaar houden van de IJssel
3. Voldoende zoetwatertoevoer naar de Neder-Rijn

De eerste twee primaire doelen hebben betrekking op voldoende watertoevoer richting de IJssel. Het derde primaire doel heeft betrekking op het beperken van de neveneffecten door het aanleggen van de stuw Driel. Naast deze primaire doelen zijn er doelen die mogelijk beïnvloed worden door het stuwcomplex:

- Voldoende inlaatmogelijkheden regionale inlaten
- Voldoende waterdiepte en stroomsnelheid voor ecologie en natuur
- Voldoende vismigratiemogelijkheden
- Voldoende mogelijkheden voor energiewinning benedenstrooms

#### 2.2.2 Stuwbeheer

De bediening van stuwcomplex Driel vindt plaats aan de hand van het stuwprogramma Nederrijn en Lek (Rijkswaterstaat, 2016). Het stuwprogramma is de basis voor de bediening bij regulier beheer. Bij extreme omstandigheden en calamiteiten kan hiervan worden afgeweken. Op basis van waterstandsmetingen te Lobith stuurt men op een waterstand bij de IJssel-kop.

Voor de inzet van stuwcomplexen Driel, Amerongen, en Hagestein zijn op hoofdlijnen vier fases te onderscheiden:

1. Wanneer de waterstand bij Lobith onder de 11,40 mNAP (Bovenrijnafvoer ca. 3630 m<sup>3</sup>/s) komt treedt het stuwprogramma in werking. Tussen de 11,40 en 10,00 mNAP (Bovenrijnafvoer ca. 3630 - 2600 m<sup>3</sup>/s) bij Lobith begint het stuwproces met het knijpen van de afvoer van de Nederrijn/Lek met stuw Amerongen en stuw Hagestein ten behoeve van peilregulatie voor de scheepvaart op de Nederrijn/Lek. Stuw Driel is in deze fase nog volledig geopend, en de waterverdeling over de IJssel en de Nederrijn-Lek wordt bepaald door de riviergeometrie en -ruwheid, in het bijzonder bij de twee splitsingspunten.
2. Bij een waterstand van Lobith onder 10,00 mNAP (Bovenrijnafvoer ca. 2600 m<sup>3</sup>/s) sluiten de vizierschuiven van stuwcomplex Driel steeds verder, gericht op het zo lang mogelijk handhaven van minimaal 285 m<sup>3</sup>/s richting de IJssel. Tot een waterstand van 8,60 mNAP te Lobith (Bovenrijnafvoer ca. 1590 m<sup>3</sup>/s) is dit mogelijk.
3. Onder een waterstand van 8,60 mNAP bij Lobith (Bovenrijnafvoer ca. 1590 m<sup>3</sup>/s) is de Nederrijn-Lek volledig gestuwd. De IJsselafvoer zakt dan mee met de Bovenrijnafvoer. Door stuwcomplex Driel wordt het minimaal benodigde debiet voor de Nederrijn-Lek doorgelaten. De aanvoer van dergelijke kleine debieten (< 30 m<sup>3</sup>/s)

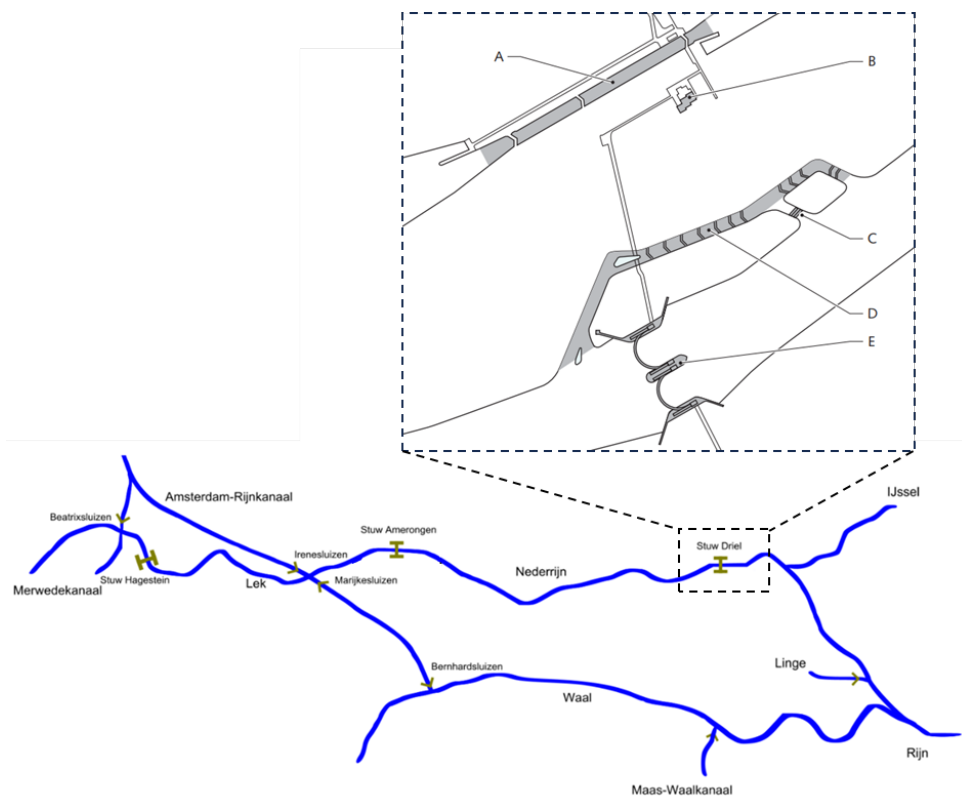


is regelbaar via de cilinderschuif, waarbij de maximale capaciteit fysiek begrensd is door de capaciteit van de buis en het verval over stuw Driel. Bij een waterstand onder 7,80 mNAP te Lobith loopt de maximale doorvoercapaciteit via de cilinderschuif bij Driel verder terug.

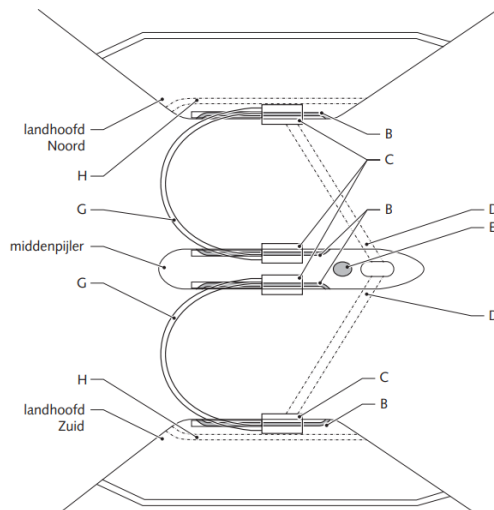
4. Onder een waterstand van ca. 7,00m NAP bij Lobith is er bijna geen verval meer over het stuwcomplex; bij een waterstand bovenstrooms Driel lager dan 6,00 mNAP is de waterstand lager dan het peil van het benedenstroomse pand Driel-Amerongen (6,00 mNAP) en is er sprake van een negatief verval. Om dit te voorkomen en aanvoer naar de Nederrijn-Lek te behouden, worden de vizierschuiven opgezet.

## 2.3 Onderdelen van het stuwcomplex

Figuur 2-1 geeft een schematisch bovenaanzicht van het watersysteem rond stuwcomplex Driel. Daarnaast is een overzicht van gehele complex gegeven inclusief stuw, vispassage en sluis complex. Figuur 2-2 geeft een bovenaanzicht van de stuw. Het stuwcomplex bestaat uit vijf onderdelen welke bepalen hoeveel water er door het stuwcomplex wordt afgevoerd naar het benedenstroomse Neder-Rijn stuwpan. Deze onderdelen zijn: stuw (bestaande uit cilinderschuif en vizierschuiven), vistrap, schutsluis en het spoelriool. Daarnaast kan er lekkage van water plaatsvinden via de verschillende onderdelen wat ook invloed heeft op de totale afvoer.



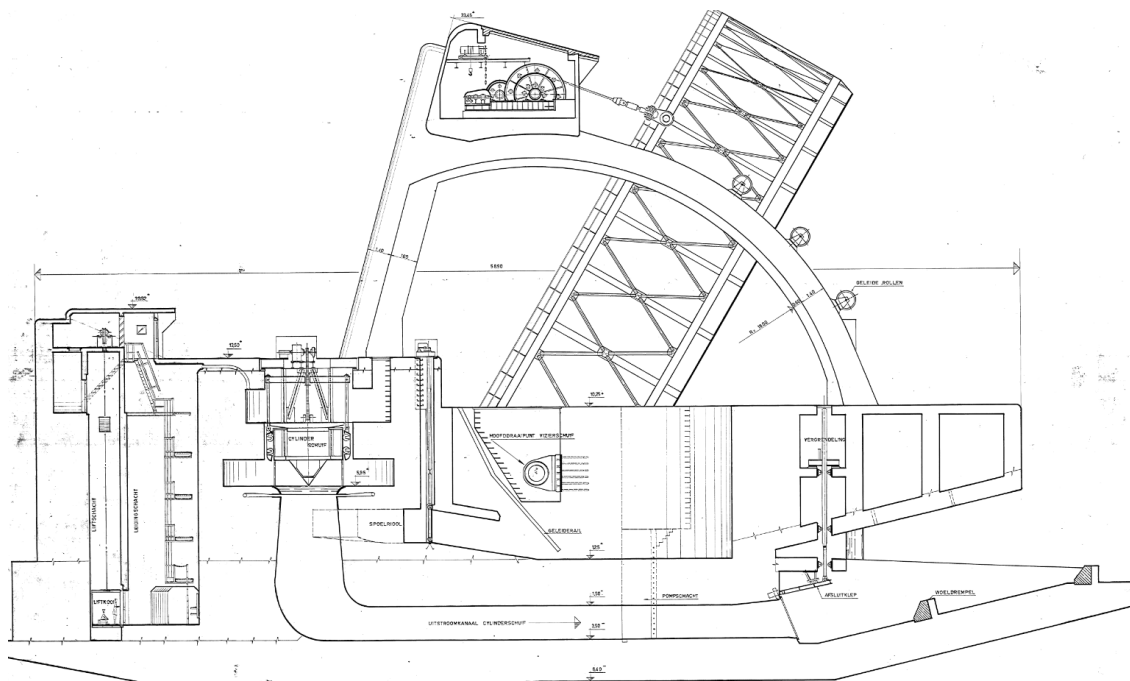
Figuur 2-1 Overzicht watersysteem Nederrijn-Lek (bron: RWS Waterberichtgeving) en schematisch bovenaanzicht van compleet stuwcomplex Driel bestaande uit sluis (A), bedieningsgebouw (B), bypass van de vistrap (C), vistrap (D) en stuw (E).



Figuur 2-2 Schematisch bovenaanzicht van stuw Driel bestaande uit spoelriool (B), machinekamer (C), stuw-tunnel (D), cilinderschuif (E), vizierschuif (G) en visluiskanaal (H).

### 2.3.1 Stuw

De stuw wordt gebruikt om de waterverdeling te sturen over de IJssel en Neder-Rijn. Effecten hiervan werken door op de waterverdeling ter hoogte van de Pannerdense Kop en, in mindere mate, op de waterhoogte bij Lobith. Door middel van de onderdelen in de stuw kan water het benedenstrooms stuw-pand binnengelaten worden. De onderdelen die hiervoor gebruikt worden zijn de vizierschuiven en de cilinderschuif. Deze worden hieronder besproken. Een dwarsdoorsnede van de stuw kan worden gevonden in Figuur 2-3. Aanvullende technische tekeningen vergroot kunnen worden gevonden in Appendix B.



Figuur 2-3 Middenpijler, overzicht van constructie met cilinderschuif en vizierschuif

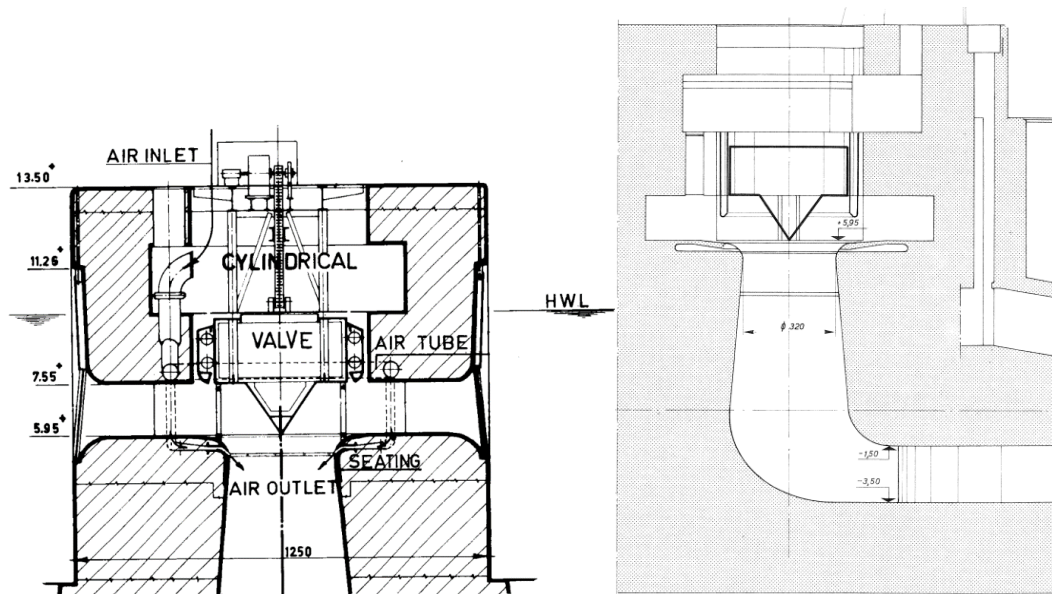
#### 2.3.1.1 Vizierschuiven

Afvoeren van boven de 100 m<sup>3</sup>/s door stuw Driel worden geregeld door middel van het openen van de twee aanwezige vizierschuiven welke individueel geopend en gesloten kunnen worden. Gesloten rusten de vizierschuiven met één zijde op het landhoofd en met de

andere zijde op de middenpijler. Om trillingen te voorkomen was de minimale opening van de bogen 25 cm (Rijkswaterstaat, 2013), maar na het renovatieproject in 2015-2020 is de minimale opening verkleind tot 10 cm (HydroLogic, 2022). Daarboven zijn de vizierschuiven per centimeter in te stellen. De waterstand bovenstrooms van Driel kan zakken tot onder +6.0 mNAP, waardoor negatief verval kan optreden over de stuw. Volgens een rapport van Hydrologic (2022) bleek uit mondelinge communicatie met Eric de Rooij (2018) dat de vizierschuiven in gevallen van negatief verval volledig worden geopend. Het debiet door de vizierschuiven wordt beïnvloed door het verval en de stand van de vizierschuif.

### 2.3.1.2 Cilinderschuif

Voor lagere afvoeren kan de cilinderschuif worden gebruikt. Het maximale debiet door de schuif is in het verleden als 100 m<sup>3</sup>/s (de Gaay & Blokland, 1970; Kolkman & Jongeling, 1996) genoteerd terwijl in een recenter handboek bediening stuw-/sluiscomplex een bovengrens van 90 m<sup>3</sup>/s wordt aangehouden (Rijkswaterstaat, 2013). De cilinderschuif bij stuw Driel bevindt zich in de middenpijler (zie Figuur 2-2) en wordt gebruikt voor de fijnregeling van afvoer door het stuwpan. De cilinderschuif bestaat uit een holle kern welke uitsteekt boven water met een cilindermantel welke op en neer kan bewegen om de schuif te openen en te sluiten (Kolkman & Jongeling, 1996). De buisdiameter in het verticale deel bedraagt 3,20 m. Het horizontale deel is rechthoekig met een hoogte van 2,00 m en een breedte van 4,00 m. De minimale schuifopening bedraagt 20 cm en de maximale schuifopening bedraagt 1,60 m. Alles tussen deze twee standen vormt het fijnregelingsgebied. De opening van de schuif wordt beschermd tegen kroos en ander drijfvuil door middel van een rooster. De bodem van de inlaat bevindt zich op een hoogte van +5,95 mNAP en het plafond op +7,55 mNAP, zie Figuur 2-4. Het debiet door de cilinderschuif wordt beïnvloed door de bovenstroomse waterstand, het verval en de stand van de cilinderschuif. Voor aanvullende overzichten zie Appendix B.3 en B.4 B.4.



Figuur 2-4 Dwarsdoorsnede vooraanzicht en zijaanzicht middenpijler Cilinderschuif

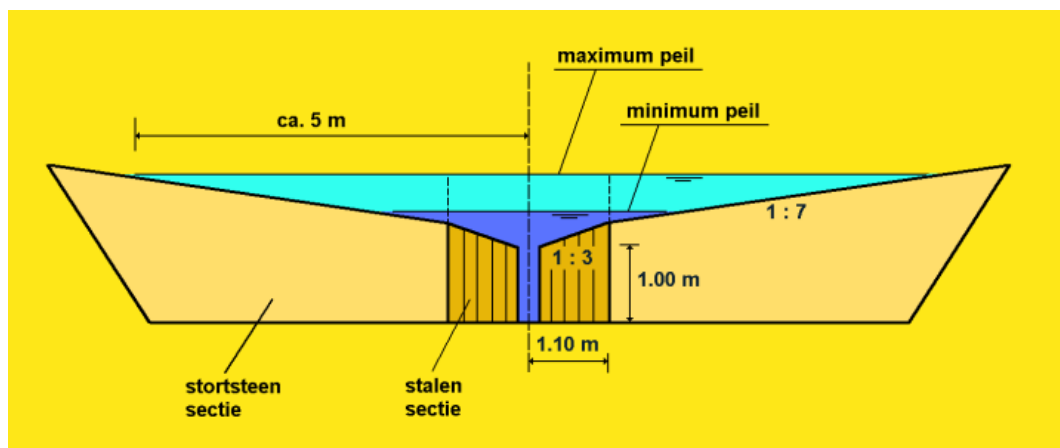
### 2.3.2 Schutsluis

De schutsluis bij Driel laat jaarlijks gemiddeld 12.000 schepen door (Rijkswaterstaat, 2023). De sluisolk heeft een lengte van 275,5 m, een breedte van 18,10 m en een schutbreedte van 17,70 m (IVS Next) (Rijkswaterstaat, 2021). De kolk kan opgesplitst worden door middel van tussendeuren in een bovenkolk met lengte 169 m en een benedenkolk met een lengte van 106,5 m om afhankelijk van de situatie de sluis efficiënter en sneller te kunnen inzetten (DIMCO, 2017). De bovendrempel van de sluis bevindt zich op +2,35 mNAP en de midden-

en benedendrempel op +1,60 mNAP (Rijkswaterstaat, 2021). Bij waterstanden boven de +9,40 mNAP worden er vuilschotten geplaatst op de schutdeuren waardoor gebruik van de sluis niet meer mogelijk is (HydroLogic, 2022). Schutverlies is afhankelijk van het aantal schuttingen en het verval over het stuwcomplex. De sluis wordt niet gebruikt voor waterverdeling maar kan wel bijdragen via het schutverlies. Het debiet door de schutsluis is het schutverlies wat afhankelijk is van meerdere aspecten waaronder de bovenstroomse waterstand, het verval, de schutfrequentie, de kolkgrootte en het verplaatste water.

### 2.3.3 Vispassage

Wanneer de vizierschuiven gesloten zijn wordt vismigratie over de rivier belemmerd. Om dit neveneffect te verminderen is een vispassage aangelegd welke vismigratie mogelijk maakt door het stuwcomplex. Vismigratie door de vispassage is mogelijk bij een minimale waterdiepte van 0,50 m. De vispassage bestaat uit een hoofdtrap en een bypass. De drempel van de inlaat van de hoofdtrap bevindt zich ongeveer 300 m bovenstrooms van het stuwcomplex (zie Figuur 3-1) op een hoogte van +7,30 mNAP wat vismigratie mogelijk maakt vanaf een bovenstroomse waterstand van +7,80 mNAP. Voor lagere waterstand wordt de bypass geopend. De inlaat van de bypass bevindt zich ongeveer 250 bovenstrooms van het stuwcomplex (zie Figuur 3-1) op een hoogte van +6,55 mNAP wat vismigratie mogelijk maakt vanaf +7,05 mNAP. Onder deze waterstand is vismigratie zo goed als niet mogelijk. In tegenstelling tot stuw Amerongen en stuw Hagestein is er geen aparte aalgoot aanwezig vanwege de aanname dat de aal volgroeid genoeg is bij het bereiken van stuw Driel om stroomopwaarts te kunnen migreren. De hoogte van de damwand (helling in de stalen sectie) is 0,37 m en de schanskorf (helling in de stortsteen sectie) is 0,71 m hoog. Bij aanleg is er een vissluis in beide landhoofden geplaatst, maar deze zijn permanent afgesloten en vervangen door de vispassage. Het debiet over de vispassage wordt beïnvloed door de bovenstroomse waterstand omdat deze ontworpen is voor superkritische stroming in de vispassage.

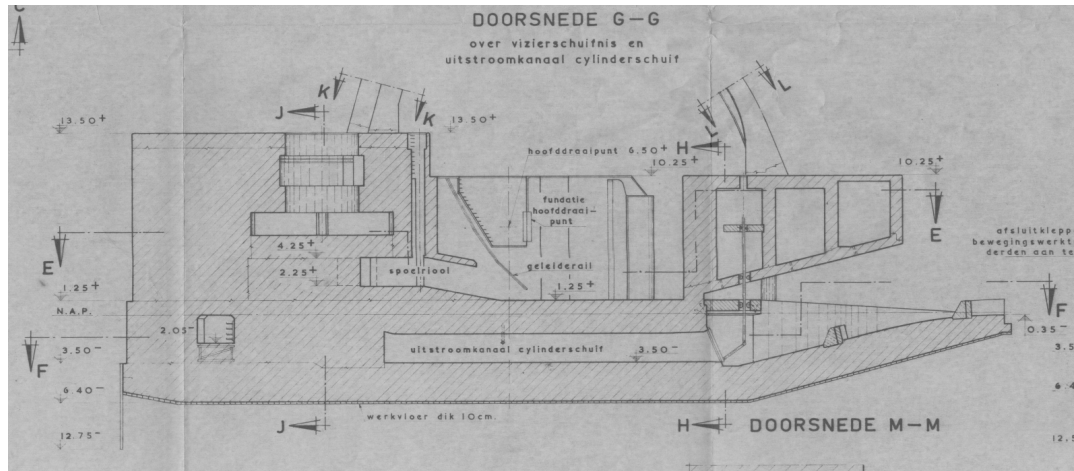


Figuur 2-5: Dwarsdoorsnede vispassage (Rijkswaterstaat Waterdienst, 2011)

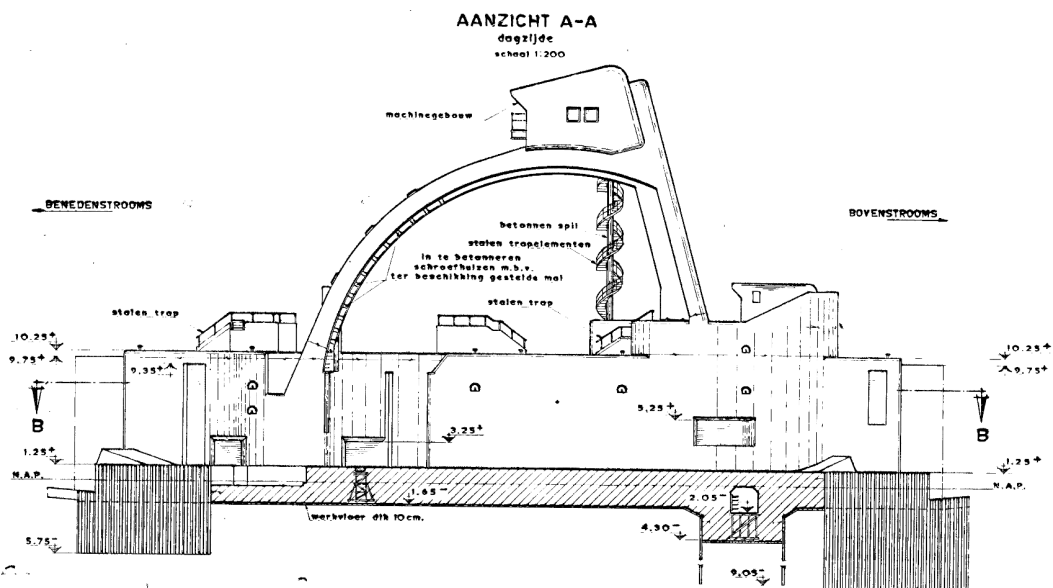
### 2.3.4 Spoelriool

De stuw bevat een totaal van 4 spoelriolen welke aangelegd zijn om eventuele sedimentatie op de vizierschuif-drempels te kunnen wegspoelen wanneer de vizierschuiven gesloten worden. De spoelriolen kunnen los van elkaar bediend worden en hebben maar twee standen, open of gesloten. In de RINK-rapportage (Arcadis, 2010) is een afvoer gemeld bij maximale afvoer van 25 m<sup>3</sup>/s. Overigens wordt in de praktijk vaak een lagere waarde gebruikt rond 15 á 16 m<sup>3</sup>/s (Rijkswaterstaat, 2021; Rijkswaterstaat, 2023). Een reden hiervoor zou de belemmering van de uitstroom kunnen zijn door de aanwezigheid van de vizierschuif. De inlaatdrempel van het spoelriool in de middenpijler bevindt zich op een hoogte van +2,25 mNAP en het plafond op +4,25 mNAP. In het landhoofd bevindt de opening van de

spoelriolen zich tussen de +3,25 mNAP en +5,25 mNAP, zie Figuur 2-6 en Figuur 2-7. Aangezien de bovenstroomse waterstand van stuw Driel in de praktijk niet onder het plafond van de spoelriolen komt, blijft de inlaat ondergedompeld en is de afvoercoëfficiënt constant. Vóór de renovatie werden de spoelriolen in de praktijk gebruikt om een debiet van 25-30 m<sup>3</sup>/s af te voeren vanwege te klein verval voor gebruik van de cilinderschuif en een minimaal benodigde opening van 25 cm voor de vizierschuiven. Hier zijn de riolen echter niet voor ontworpen. Dit is niet meer nodig na de renovatie omdat de fijnregelingsmogelijkheden via de vizierschuif zijn vergroot (HydroLogic, 2022). In het geval dat er onderhoud gepleegd wordt aan de cilinderschuif en/of vizierschuiven, kunnen de spoelriolen nog wel gebruikt worden om een minimum debiet af te voeren. Het debiet door de spoelriolen wordt beïnvloed door het verval.



Figuur 2-6: Dwarsdoorsnede middenpijl inclusief inlaatdempel hoogte spoelriool



Figuur 2-7: Dwarsdoorsnede landhoofd inclusief inlaatdempel spoelriool

### 2.3.5 Lekkage

Uit de studie 'Analyse waterbalans Betuwepand ARK, Nederrijn, Lek en Waal' (Hydrologic, 2011) is geschat dat ongeveer 5% van het totaaldebiet door de stuw werd afgevoerd via lekkage onder laagwater condities. Dit percentage was gevonden vóór de stuw renovatie over de periode 2016-2020 en zou lager moeten zijn na de renovatie (Hydrologic, 2011). Voor de analyse in dit rapport is aangenomen dat de lekkage verwaarloosbaar is. Er wordt dus geen aparte afvoer voor lekkage uitgerekend.

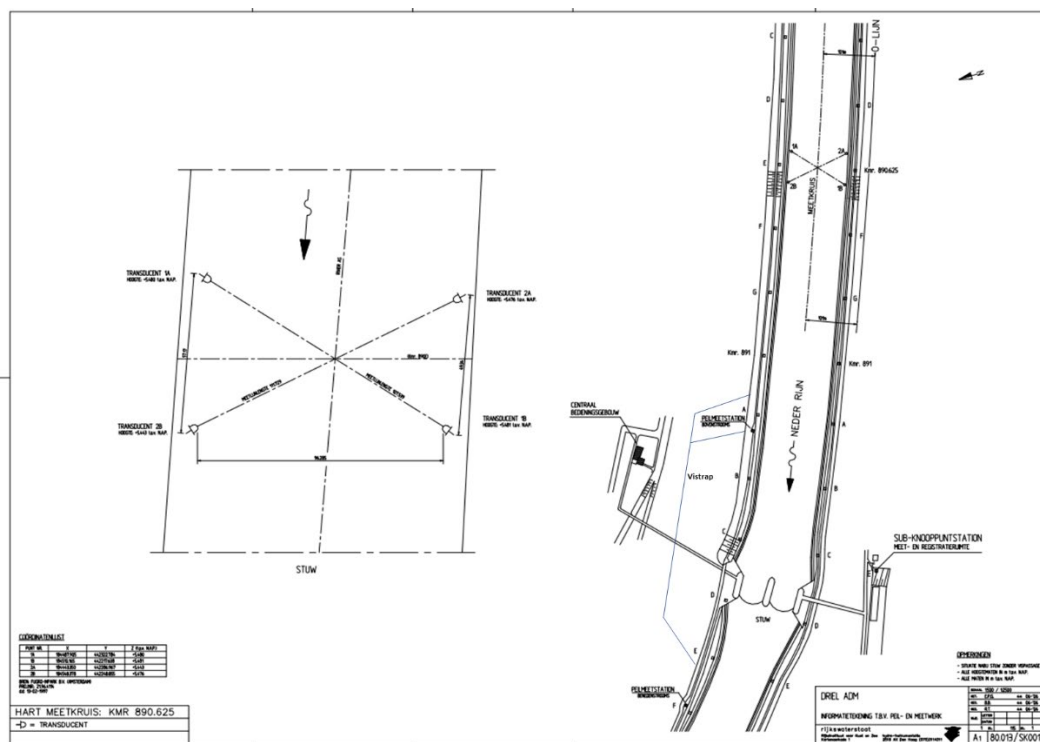
# 3 Aangeleverde data

## 3.1 Waterinfo

Rijkswaterstaat monitort continu de situatie op bepaalde locaties in de rivieren in Nederland. Deze bevat onder andere waterhoogte t.o.v. NAP en afvoerdebieten op locatie. Ook wordt er gemonitord bij stuw Driel. Waterhoogte boven- en benedenstrooms en afvoer bovenstrooms worden verzameld bij stuw Driel en de historische metingen hiervan kunnen opgevraagd worden (Rijkswaterstaat, 2023).

### 3.1.1 Debietmetingen

Debiet wordt gemeten door middel van een geplaatste ADM bovenstrooms van stuw Driel en benedenstrooms van de aftakking met de sluis, zie Figuur 3-1. Daarom bevat de gemeten afvoer bovenstrooms van stuw Driel geen informatie over de afvoer via de sluis. De vispassage bestaat uit de hoofdlaat en bypass welke zich beide benedenstrooms bevinden van de ADM. Concluderend geven de debietmetingen inzicht in het debiet (in m<sup>3</sup>/s) dat wordt afgevoerd door een combinatie van de vizerschuiven, cilinderschuif, spoelriolen en combinatie van hoofdlaat en bypass van de vispassage. Waterinfo presenteert de data met een debiet elke 10 minuten. Vòòr 2013 is de frequentie lager met een waarde per uur. Deze waarde is een gefilterde waarde van de ADM meting om een representatieve gemiddelde waarde te geven over een tijdsinterval van 10 minuten (vòòr 2013 per uur).



Figuur 3-1: Overzicht meet locatie

### 3.1.2 Waterstanden

Naast de debietmetingen, worden rond stuw Driel waterhoogtes gemonitord, bovenstrooms en benedenstrooms. Bovenstrooms bevindt het meetinstrument zich bij de afvoermeter. Benedenstrooms wordt de waterhoogte gemeten benedenstrooms van de stuw en vispassage uitlaat. Waterinfo presenteert de data met een waterstand elke 10 minuten. Vòòr

2013 was de frequentie lager met een waarde elk uur. Deze waarde is een gefilterde waarde van de ADM meting om een representatieve gemiddelde waarde te geven over een tijdsinterval van 10 minuten (vòòr 2013 per uur).

## 3.2 Logboeken

De logboeken van stuwmeesters bieden inzicht in de standen van stuw Driel over verschillende periodes. Over de periode 2005 – 2010 (voor de renovatie) is er een logboek beschikbaar met informatie over de standen van de stuw bij Driel, zie Figuur 3-2 net als over de overlappende periodes 2005 – 2012 en 2005 – 2014. Een vierde logboek biedt informatie over de standen van stuw Driel over de periode 2020 – 2023 (na de renovatie), zie Figuur 3-3.

### 3.2.1 Logboek 2005 – 2010 (-2012/-2014)

Het logboek 2005 – 2010 bevat data die dateert van voor het renovatie project van het stuwcomplex Driel. Hetzelfde geldt voor de logboeken 2005-2012 en 2005-2014. Logboek 2005-2010 bevat grotendeels data over de standen van de stuw dagelijks om 08:00 en 16:00, zie Figuur 3-2, in tegenstelling tot de logboeken 2005-2012 en 2005-2014 welke data hebben voor elke dag om 08:00. Op basis hiervan kan geconstateerd worden dat de data in logboek 2005-2010 meer bruikbaar is voor deze analyse door de grotere hoeveelheid data punten over deels overlappende periodes. Aanvullend zijn er sporadisch data registraties op afwijkende uren. In vergelijking met de registraties moment in het logboek 2020-2023 lijkt de data in het logboek 2005-2010 niet genoteerd te zijn bij een verandering van schuifstand. Om die reden is het onduidelijk of er een relatie is tussen het moment van noteren van de standen van de stuw met de veranderingen in standen van de stuw. Voor elk jaar is een aparte excel file met een sheet voor elke maand. Het logboek 2005-2010 bevat meerdere kolommen, waarvan enkele gebruikt worden in deze analyse vanwege afvoer en waterhoogte data van waterinfo: Datum, Tijd, VizierZuid, VizierNoord, Cilinderschuif stand en Spoel Riool.

december-05															
Dag	Datum	Tijd	Driel Boven	Driel Beneden	Verschil	Vizieren		Cylinder schuif	Spoel riolen	Debiet	IJsselkop	Lobith	Afvoer		Bijzonderheden
						zuid	noord						Rijn	IJssel	
do	1	08:00	711	597/596	597/115	0	0	51	0	24	711	754	23	173	Helder z-3
	1	16:00	714	601	113	0	0	51	0	24	713	757			
vr	2	08:00	711	599	112	0	0	51	0	24	711	752	21	173	bewolkt zzo-3
	2	16:00	713	599	114	0	0	51	0	28	711	750			
za	3	08:00	710	602	108	0	0	51	0	26	708	748	21	170	bewolkt zzo-2
	3	16:00	708	601	107	0	0	51	0	23	708	749			
zo	4	08:00	709	602	107	0	0	51	0	24	709	752	25	171	bewolkt zw
	4	16:00	712	601	111	0	0	51	0	23	711	754	2	173	

Figuur 3-2 Selectie van data logboek 2005-2010 in Excel

### 3.2.2 Logboek 2020 -2023

Het logboek 2020-2023 bevat data die genoteerd is na de renovatie van het stuw complex Driel. Het logboek vertoont geen consistentie in de combinatie datum en tijd. Om die reden wordt aangenomen dat de data in logboek 2020-2023 genoteerd is bij verandering van standen aan de stuw. Aanvullend zijn er ook lange periodes (meerdere dagen tot maanden) waarin geen data genoteerd is. Het is onduidelijk of hierin de standen van onderdelen van de stuw aangepast zijn. Het logboek bevat veel kolommen, waarvan slechts een aantal relevant is. Informatie over waterstanden en afvoer voor deze analyse is afkomstig van waterinfo, dus deze kolommen in het logboek zijn niet relevant. De volgende kolommen worden gebruikt: Datum, Tijd, VizierNoord (VN), VizierZuid (VZ), Cilinderschuif (Cyl.) stand en Spoelriool (Sp. Riool).

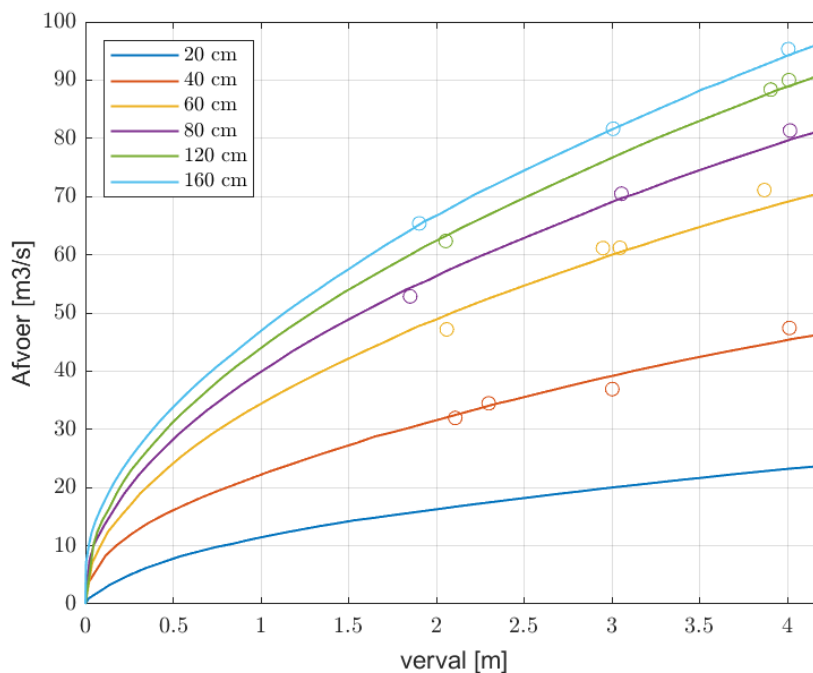
Datum	Tijd	Lobith	I.J.K.	Bov.	Ben.	Verval	VN	VZ	Cyl.	Sp. Riool	Rijn M <sup>3</sup>	IJssel M <sup>3</sup>	Driel M3	Opmerking
	16:30:00	8,84	8,29	8,29	6,09	2,20	0	0	H40	0	1791	313		spoelriolen open Tiel
10-10-2022	04:50:00	8,73	8,23	8,23	6,06	2,17	0	0	H20	0	1703			
11-10-2022	07:00:00	8,54	8,04	8,06	6,08	1,98	0	0	H50	0	1617	283		
	22:00:00	8,41	7,92	7,92	6,09	1,83	0	0	H45	0	1551	272		
15-10-2022	11:20:00	7,93	7,43	7,44	6,07	1,37	0	0	H55	0	1305	226		Sluis Wijk gaat meer innemen van 40 naar 50 kuub
	17:00:00	7,92	7,42	7,42	6,11	1,31	0	0	H70	0	1305	225		
18-10-2022	18:40:00	7,91	7,34	7,32	6,10	1,22	0	0	H60	0	1324	219		

Figuur 3-3 Selectie van data logboek 2020-2023 in Excel

### 3.3 Laboratoriummetingen

Voorafgaand aan de bouw van de stuwen zijn schaalmodelonderzoeken uitgevoerd bij het Waterloopkundig Laboratorium (nu Deltares). Specifieke onderzoeken die voor dit rapport van belang zijn, zijn modelonderzoeken over de cilinderschuif van Amerongen en Driel ( (WL, 1961) en (WL, 1968)). Er was ook een onderzoek over stuw Hagestein uitgevoerd, maar deze stuw heeft een andere vorm van de pijler en openingen. Het onderzoek van stuw Driel was bedoeld om een ijking te doen van een debiet-afleiding op basis van drukmetingen in de pijler van de cilinderschuif. Hij is als zodanig niet bruikbaar voor een debiet-relatie op basis van waterstanden die verder weg gemeten zijn.

Het onderzoek van stuw Amerongen heeft een gemeten debiet-relatie op basis van verval voor de cilinderschuif van stuw Amerongen. De gevonden relatie komt overeen met een afvoerrelatie voor een onderdompelde opening en heeft de vorm  $Q = \mu A \sqrt{2g\Delta h}$ , waarin  $Q$  de afvoer is,  $g$  de zwaartekrachtsversnelling en  $\Delta h$  het verval (van Rijn, 2011). De range van vervallen die gemeten werd is echter relatief klein (Figuur 3-4). Gezien het ontwerp van de pijlers van de stuw Amerongen en Driel erg vergelijkbaar is, is dit onderzoek naar stuw Amerongen een interessante referentie. Echter omdat het schaalmodelproeven betreft, voorafgaand aan de bouw, moeten er enkele kanttekeningen gezet worden bij deze data, namelijk: schaafeffecten zijn aanwezig bij het vertalen van resultaten in het laboratorium naar veldschaal; en, omdat de proeven voorafgaand aan de bouw zijn uitgevoerd blijven er onzekerheden over of de stuw daadwerkelijk gebouwd is zoals in het schaalmodel. Om deze redenen zullen de data in deze rapporten niet als leidend worden beschouwd, boven de metingen die inmiddels beschikbaar zijn uit het veld, bij het afleiden van de relaties in dit rapport.



Figuur 3-4 Samenvattende plot van de resultaten van het schaalmodel van de cilinderschuif te Amerongen



### 3.4 Veldmetingen 2023 stuw Amerongen

Voor een project wat parallel loopt aan deze analyse zijn veldmetingen uitgevoerd bij het stuw- en sluiscomplex Amerongen. In tegenstelling tot de ADM data welke gebruikt is in deze analyse, is bij de veldmetingen in Amerongen data verzameld met behulp van varende boten voorzien van ADCP meetapparatuur. Aan de hand van de verzamelde data uit die veldmetingen is een soortgelijke analyse gedaan om relaties voor de cilinderschuif, vistrap en schutsluis van het stuw- en sluiscomplex af te leiden. De methode welke gebruikt is in deze analyse is getracht consistent te houden met de methode uit de analyse voor stuw- sluiscomplex Amerongen (Deltares, 2024).

# 4 Dataverwerking

## 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden per object in het stuwcomplex de verschillende dataverwerkingen beschreven die nodig waren om debiet-relaties af te leiden. In eerste instantie is een uitgebreide studie voor de cilinderschuif uitgevoerd, omdat het achterliggend hoofddoel van dit project was duidelijkheid over een handelingsperspectief bij lagere afvoeren. De beschrijving van deze dataverwerking is ook meer uitgebreid beschreven hieronder.

## 4.2 Cilinderschuif

### 4.2.1 Gebruikte periodes (2020 – 2023)

Aangezien de stuw Driel tussen de periode 2015 – 2020 is gerenoveerd, is dit een zeer relevante periode om op basis van metingen een afvoer-verval reeks op te stellen voor de huidige staat van de stuw. Voor het afleiden van afvoer-verval relaties op basis van metingen is het van belang dat er voldoende informatie beschikbaar is over de instellingen van de verschillende onderdelen van de stuw om afvoer over het specifieke onderdeel te kunnen isoleren van de metingen op dat moment. Daarnaast worden instellingen voor enige tijd aangehouden waardoor afhankelijk van het logboek ook metingen direct na de data notatie in het logboek gebruikt kunnen worden voor het afleiden van afvoer-verval relatie. Voor elk logboek geldt dat de onzekerheid toeneemt voor metingen later na het bruikbare data punt uit een logboek. Om onzekerheid over de stuwinstellingen te verkleinen worden in deze analyse alleen metingen uit periodes geselecteerd wanneer de het eerste en eerstvolgende logboek datapunt binnen 2 dagen liggen. Bij een langere periode is het aannemelijk dat er stuw instellingen veranderd zijn zonder dat dit genoteerd is.

#### Cilinderschuif

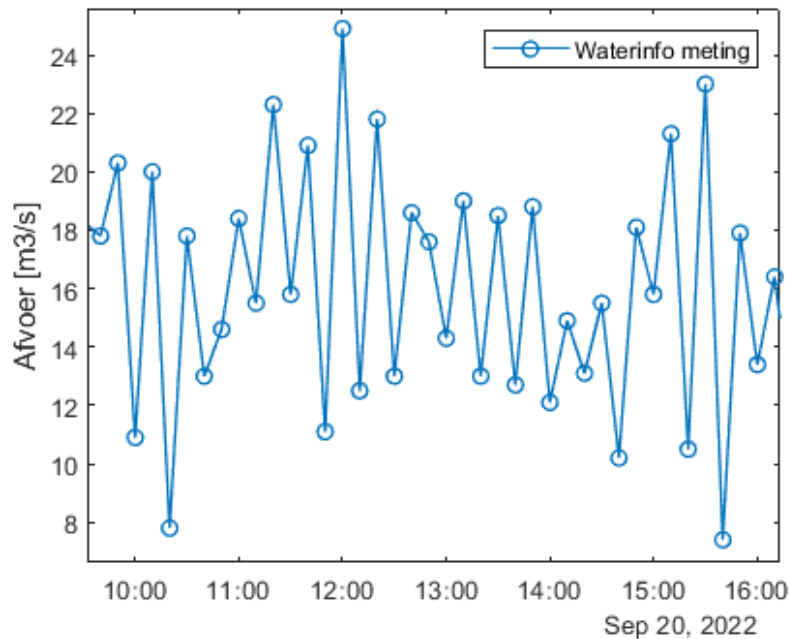
Voor de afvoer-verval relatie van de cilinderschuif is het van belang dat de vizierschuiven gesloten zijn net als de spoelriolen om de afvoer door de cilinderschuif te kunnen isoleren. Er wordt voor de vispassage gecorrigeerd door het gemeten debiet aan te passen zodat het exclusief de vispassage is. In deze analyse wordt gekeken naar een bepaalde selectie aan cilinderschuifstanden: 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140 en 160 cm. Voor elke stand van de cilinderschuif kunnen op deze manier geschikte periodes gevonden worden:

1. Tijd tot volgende data notatie moment is korter dan 2 dagen (48 uur)
2. vizierschuiven gesloten (0 cm opening)
3. Spoelriolen gesloten (0 spoelriolen open)
4. Cilinderschuifopening is bekend
5. De afvoer en waterstanden over de periode bevatten geen extreme toe of afname

### 4.2.2 Filtering

De afvoer en waterhoogte metingen van Waterinfo bevatten ruis, zie Figuur 4-1. De waardes uit water info zijn al gefilterd met een filterlengte van 10 minuten (er is een waarde elke 10 minuten). Deze filterlengte lijkt voor de meestal gevallen voldoende maar resulteert in een nog steeds proportioneel groot variatie in debiet bij de kleinere debieten (wat voor de cilinderschuif van belang zijn). De figuren van de gekozen periodes per schuifstand wordt in de bijlage gepresenteerd (zie bijlage A.1). Elk datapunt in die plotten geeft zowel de gemiddelde aan als de range (max-min van verval en afvoer) binnen elke periode. Voor de analyse in dit rapport wordt de data niet extra gefilterd. In plaats daarvan wordt de analyse van de afvoer gedaan met de gemiddelde afvoer per gekozen periode, op deze manier is de ruis uitgemiddeld. Voor de toepassing vanuit waterbeheer, waarbij de vraagstelling de

watervdeling over een termijn van uren of dagen betreft, is dit voldoende. De afhankelijkheid van de resultaten voor filtering werd ook getoetst door middel van het wel toepassen van een extra filter. De resultaten bleven nagenoeg hetzelfde. Er werd ook gekeken naar de mediaanwaarde per periode maar die week nauwelijks af van de gemiddelde waarde, wat aangeeft dat de variatie symmetrisch is en dat de gemiddelde waarde representatief is voor de afvoer in elke periode.



Figuur 4-1 Voorbeeld signaal van de waterinfo data

#### 4.2.3 Time lag na verandering schuifstand

Wanneer een stand van één van de stuw objecten wordt aangepast, dienen de afvoer en waterhoogte zich aan te passen aan de nieuwe instellingen, waardoor deze 'instelperiode' niet bruikbaar is voor het opstellen van een afvoer-verval relatie. Op het moment van data notatie in de logboeken is bekend wat de cilinderschuif-, vizerschuif- en spoelrioolstanden zijn. Overigens is het onbekend wanneer exact de standen naar de genoteerde instelling zijn aangepast en wanneer de 'instelperiode' voor de desbetreffende instelling eindigt. Om die reden wordt data pas geanalyseerd na een periode van 20 minuten. Dezelfde onzekerheid bevindt zich rond het eindmoment, waardoor data tot maximaal 30 minuten vóór het eindpunt van de periode geanalyseerd wordt. Bovendien neemt de onzekerheid toe met betrekking tot de standen van de stuw naarmate meer tijd is verstreken na de notatie van het beginmoment. Om die reden wordt data geanalyseerd over een periode van maximaal 3 uur gemeten vanaf het eerste moment dat aan de criteria voldoet.

#### 4.2.4 Visuele controle

De data kan inconsistenties bevatten, zoals een afname in afvoer, over de periode welke voldoet aan de criteria. Ook kunnen er fouten zitten in de notaties in het logboek. Om hiermee om te gaan wordt er na selectie van de bruikbare periodes een visuele controle uitgevoerd op de meetperiodes. De volgende periodes zijn verwijderd uit het nieuwe logboek vanwege grote afwijking, onzekerheid en/of weinig datapunten. Het aantal punten dat verwijderd is, is erg klein ten opzichte van de totaal aantal punten.

Datum	Verval [m]	Afvoer [m <sup>3</sup> /s]	Cilinderschuif stand [cm]
09-08-2020 18:00:00	1,59	33,59	20
09-08-2020 18:20:00	1,63	29,54	20
09-10-2022 08:40:00	2,30	6,65	20
11-06-2023 16:30:00	1,71	11,12	20
25-06-2023 18:00:00	1,51	32,30	100
25-06-2023 18:20:00	1,56	26,45	100

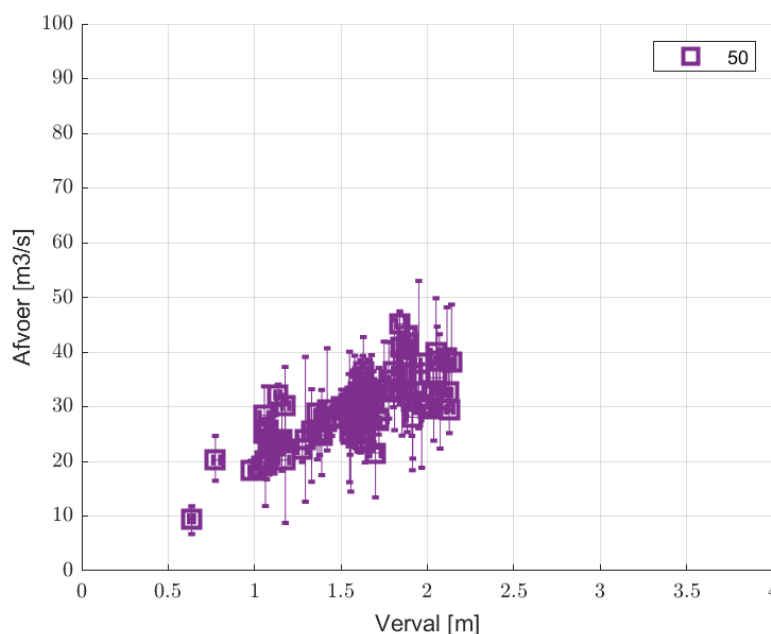
#### 4.2.5 Datagebruik uit oude logboek 2005 – 2010

Het logboek uit de periode vóór de renovatie is ook gebruikt om de dataset van geschikte periodes aan te vullen. De manier van registreren is iets anders in het oude logboek, er zijn namelijk registraties in de ochtend en middag op vaste tijdstippen (8 uur en 14 uur) en niet per se op de momenten waarop een verandering in schuifstand plaatsvindt. Als dezelfde criteria ter selectie van de geschikte periodes wordt toegepast als hierboven beschreven voor het nieuwe logboek, worden er tóch bruikbare aanvullende datapunten gegenereerd, met uitzondering van de punten bij vervallen boven 2,15 m. Voor die vervallen worden er veel wisselingen in schuifstand doorgevoerd waardoor er minder zekerheid is dat de geregistreerde schuifstand klopt. Er is dan ook veel spreiding in de data (zie bijlage 0).

De dataset van geschikte periodes is hierom aangevuld met periodes uit de tijd range 2005 - 2010 met data van het oude logboek maar met de vervallen boven 2,15 m niet meegenomen.

#### 4.2.6 Voorbeeld resultaten

In Figuur 4-2 wordt een voorbeeld resultaat van deze dataverwerking weergegeven voor de situatie dat de cilinderschuif zich op een stand van 50 cm bevindt. Voor deze situatie is er relatief veel data. Als een relatie op basis van een onderdompelde opening hierdoor gefit wordt, zoals eerder gedaan is voor de schaalmodel proeven (zie sectie 3.3 en (van Rijn, 2011)), zijn er afwijkingen bij kleine vervallen. Deze worden nader beschreven in de volgende paragraaf (4.2.7)

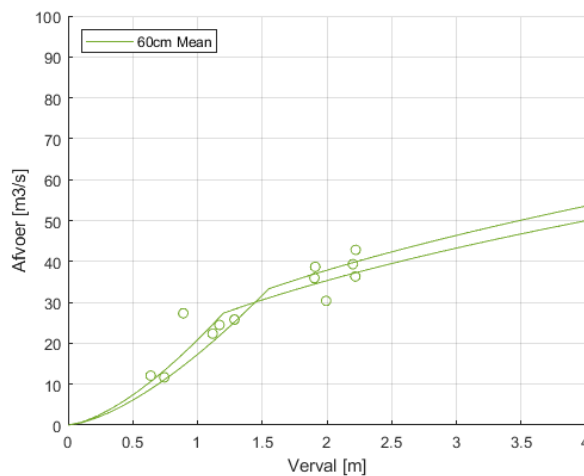


*Figuur 4-2 Plot van de gemiddelde waardes per gekozen periode voor een cilinderschuifstand van 50cm. Elk datapunt is één periode met een vierkant symbool voor de gemiddelde waardes over de periode en de range (van zowel afvoer als waterstand) tijdens de periode weergegeven als lijnen.*

#### 4.2.7 Afwijking bij kleine vervallen

De afwijkingen bij kleine vervallen voor een relatie voor een onderdompelde opening geven aanleiding om in die range van vervallen een andere relatie te gebruiken. De verklaring voor de afwijking komt vermoedelijk door het uitzakken van de bovenwaterstand bij kleinere Rijnaafvoer. De benedenwaterstand wordt door regeling van stuw Amerongen voornamelijk gehandhaafd rond de +6mNAP maar bij lagere Rijnaafvoer zakt de bovenstroomse waterstand naar een niveau dat uiteindelijk onder het plafond van de instroomopening van de cilinderschuif komt liggen. Dat niveau is +7,55mNAP (zie Figuur 2-4). Als dit gebeurt is er minder doorstroomoppervlak beschikbaar voor de stroming en zal de afvoer kleiner zijn (bij hetzelfde verval) dan als de opening wél volledig ondergedompeld zou zijn. Om deze reden is de afvoer bij kleinere vervallen dan afhankelijk van zowel het verval als de bovenstroomse waterstand. De afvoer-relatie moet dus een andere vorm krijgen als de bovenstroomse waterstand laag is. Dit effect geldt vooral voor de wat grotere hefhogtes van de cilinderschuif, aangezien bij kleinere hefhogtes de spleet onder de schuif maatgevend zal zijn.

Door de versnelling van het water rond de opening kan de waterstand al onder het plafond komen bij een gemeten waterstand verder stroomopwaarts van boven de +7,55mNAP (door het Principe van Bernoulli zal een snellere stroming een lagere diepte hebben). Echter zonder extra gedetailleerde metingen is het niet mogelijk om de overgang naar beperkt doorstroomoppervlak nauwkeurig te bepalen. Fysiek gezien is ook een geleidelijke overgang in de afvoerrelatie waarschijnlijk. Vanwege deze onzekerheid in combinatie met beperkte data voor enkele cilinderschuifstanden is besloten om het knikpunt voor elke cilinderschuif gelijk te kiezen. Overigens kan dit knikpunt anders gekozen worden, zie Figuur 4-3. Meer informatie over de gevoeligheid van de resultaten voor deze keuze is te vinden in de bijlage in Appendix A. De conclusie is dat de fit van de data (lage RMS-Error) beter is als een knik gebruikt wordt maar dat er geen duidelijke optimale knikwaarde is vanwege de grote onzekerheid in de meetdata.



Figuur 4-3 Afvoer verval relatie voor een cilinderschuifstand van 60 cm met knikpunten op +7.20 mNAP m en +7.55 mNAP bij een benedenstroomse waterstand van +6.0 mNAP, wat leid tot respectievelijk 1.2 m en 1.55 m verval in de figuur

Hier wordt een praktische keuze gemaakt om de vorm van de relatie te veranderen zodra de gemeten bovenstroomse waterstand onder het niveau van het plafond komt te liggen (+7.55 mNAP ) omdat deze beperking duidelijk op de geometrie gebaseerd is en dus makkelijk navolgbaar is voor gebruikers van de relatie.

De uiteindelijke vorm van de relatie is dus als volgt:

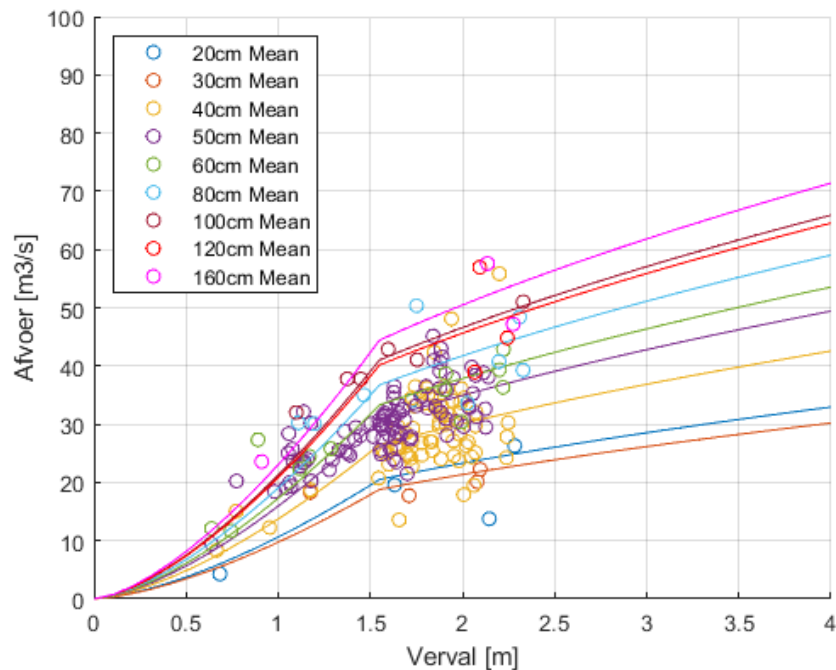
$$Q = \mu B(1,6)\sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad \text{voor} \quad h_1 \geq +7,55\text{mNAP}$$

$$Q = \mu B(h_1 - 5,95)\sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad \text{voor} \quad h_1 < +7,55\text{mNAP}$$

De waarden van 1,6 [m] en 5,95 [mNAP] in de relatie hierboven komen van de geometrische waarden van de instroomopening. De hoogte van de opening is 1,6 m en het niveau van de onderkant van de opening is +5,95 mNAP waardoor  $h_1 - 5,95$  de doorstroomhoogte is als de bovenstroomse waterstand  $h_1$  [mNAP] onder het plafond ligt. Verder de variabele  $h_2$  [mNAP] is de benedenstroomse waterstand (meestal rond de +6mNAP) en de andere parameters zijn  $g$ , zwaartekrachtsversnelling [m/s<sup>2</sup>] en  $\mu B$  [m] is de fit coëfficiënt (de totale doorstroomde breedte vermenigvuldigd met een contractiecoëfficiënt) die een andere waarde heeft per schuifstand.

#### 4.2.8 Optimalisatie van de afvoerrelatie

Nadat de vorm van de relatie gekozen is op basis van de overwegingen beschreven hierboven kan een kalibratie plaatsvinden op basis van de metingen. Hierdoor wordt de coëfficiënt,  $\mu B$ , van de relatie geoptimaliseerd om de minimale RMS Error waarde te krijgen.



Figuur 4-4 Samenvattende grafiek van de datapunten die gebruikt worden voor de afvoer – verval relatie van de cilinderschuif. Verschillende kleuren geven verschillende schuifstanden aan. De lijnen geven een relatie aan op basis van de gekozen vorm en berekende  $\mu B$  waarden uit Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Berekende  $\mu B$  waarden op basis van minimalisatie van RMS Error met metingen – cilinderschuif

Cilinder Opening [cm]	20	30	40	50	60	80	100	120	160
$\mu B$ [m]	2,4	2,2	3,1	3,6	3,9	4,3	4,8	4,7	5,2

Uit deze optimalisatie komen de volgende opmerkingen:

- De RMSE (RMS Error) waarde voor de relatie is laag, 3,9, wat duidt op een goede fit van de data;
- De RMSE waarde van een relatie die aanneemt dat de opening volledig ondergedompeld blijft is veel hoger, 25,6, wat ook verder onderbouwt van de nut en noodzaak van een andere vorm van de relatie bij kleine vervallen;
- De  $\mu B$  waardes hebben geen algeheel logisch verloop. De waarde voor 120 cm schuifstand is lager dan voor 100 cm en hetzelfde geldt voor 30 cm en 20 cm.

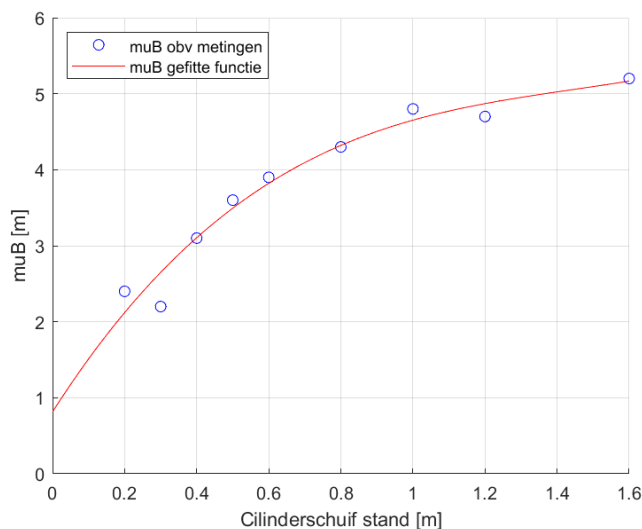
Dit laatste punt suggereert dat de afvoer bij de hogere schuifstanden 120 cm en 30 cm lager is dan voor de kleinere schuifstanden (respectievelijk 100 cm en 20 cm). Dit resultaat is onlogisch en is waarschijnlijk veroorzaakt door beperkte data voor deze schuifstanden. In de bijlage (A.1) zijn de resultaten grafieken per schuifstand weergegeven, waarin te zien is dat deze schuifstanden inderdaad relatief weinig datapunten hebben.

Omdat het onwenselijk is om een afvoerrelatie te hebben met deze onlogische eigenschappen is een verdere verwerkingsstap toegevoegd aan het bepalen van de coëfficiënten. De berekende coëfficiënten worden uitgezet tegen schuifstand in Figuur 4-5. Verwacht wordt dat er een vloeiend verloop zou zijn (vanuit fysiek perspectief) en inderdaad lijkt er zo'n verloop te zitten bij de punten waarvoor er wel veel datapunten beschikbaar zijn. De extremen van de grafiek tonen een afwijking.

Om meer zekerheid te krijgen over de aanname dat de extremen een afwijking bevatten is er een vergelijking gemaakt met de veldmetingen bij Amerongen (zie sectie 3.4). Aanvullend bevat deze vergelijking de resultaten van de schaalmodellen van de middenpijlers van stuw Amerongen (WL | Delft Hydraulics, 1961) en stuw Hagestein (WL | Delft Hydraulics, 1956). Deze vergelijking is in appendix C opgenomen en laat zien dat opnieuw berekende  $\mu B$ 's goed overeenkomen met de resultaten van andere analyses. Het is dus gerechtvaardigd om de uiteindelijke  $\mu B$  van de extremen recht te trekken door van een logisch verloop in deze  $\mu B$ 's uit te gaan.

Een logischer verloop van  $\mu B$  over de hele range wordt verkregen door een polynoomfunctie door de  $\mu B$ -waarden die afgeleid zijn om de de RMSE met de metingen te minimaliseren. In deze gevonden relatie is  $\mu B$  bij een cilinderschuifstand van 0 cm niet gelijk aan 0 m. De reden hiervoor is dat er voor een dichte cilinderschuif geen data geanalyseerd is. Daarbij is dit fysisch wel mogelijk vanwege lekkage door de cilinderschuif. De resulterende  $\mu B$  waardes per schuifstand (CilSchStand) worden gegeven in Tabel 4-2, afgeleid met de volgende relatie (en ook gebruikt in de relatie die gerapporteerd is in Hoofdstuk 5):

$$\mu B = 1.07214455 * CilSchStand.^3 - 4.65001571 * CilSchStand.^2 + 7.41537519 * CilSchStand + 0.81473672$$



Figuur 4-5 Relatie tussen optimale  $\mu B$  waardes en schuifstand

Tabel 4-2 Berekende  $\mu B$  op basis van een gefitte functie door de  $\mu B$  waardes per schuifstand - cilinderschuif

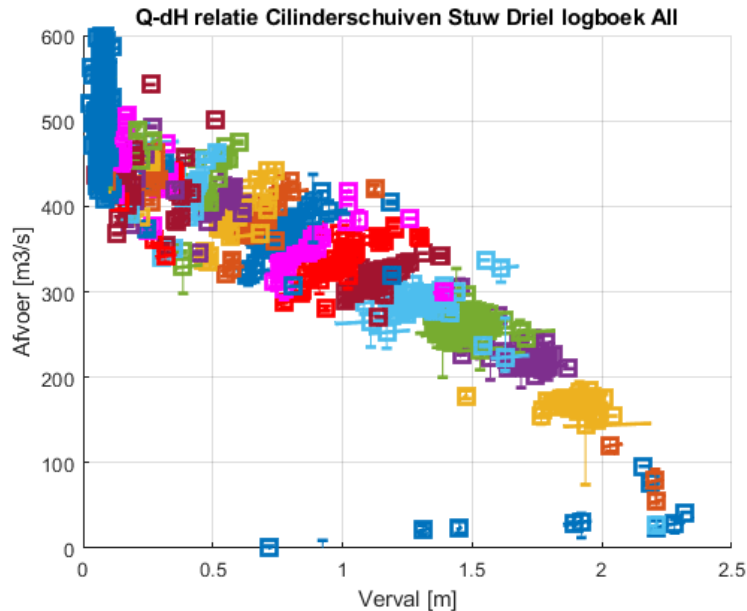
Cilinder Opening [cm]	20	30	40	50	60	80	100	120	160
$\mu B$ [m]	2,12	2,65	3,11	3,49	3,82	4,32	4,65	4,87	5,17

Let op: er wordt in deze analyse verondersteld dat de lekkage na de renovatie van de stuwen verwaarloosbaar is (een datapunt is toegevoegd waarbij het debiet nul is bij een dichte cilinderschuif). Op zich, als deze aanname niet juist is, zal het toepassen van de relatie niet gelijk onjuist zijn, omdat de lekkage ook onderdeel is van het gemeten debiet, wat gebruikt is voor het afleiden van de relaties. De aanname wordt echter belangrijker voor het toepassen van de debiet-relatie bij kleine cilinderschuifstanden en dichte vizierschuiven. In dit gebied kan de afwijking van de relatie ten opzichte van de meetpunten ook deels verklaard worden door lekkage (waardoor het debiet niet nul is bij gesloten cilinderschuif). Er is in de resultaten hierboven niet gelijk aanleiding om deze aanname aan te passen omdat de afgeleide relatie hoger ligt dan het datapunt bij 30 cm. Bij een consequente onderschatting van het gemeten debiet zal een aanwezige lekkage een logische oorzaak zijn.

### 4.3 Vizierschuiven

De afvoer voor de vizierschuiven wordt verkregen op een vergelijkbare wijze als die van de cilinderschuif, behalve dat een relatie op basis van een onderdompelde opening wel volstaat voor de hele range aan condities waarvoor de vizierschuiven gebruikt wordt om de waterstand te regelen. Figuur 4-6 geeft een samenvatting van de gekozen periodes. Hierbij moet in acht genomen worden dat alleen de periodes geselecteerd zijn waarbij de vizierschuiven op gelijke hoogte ingesteld stonden. De verschillende kleuren geven de verschillende schuifstanden aan. Omdat er zoveel schuifstanden zijn (elke 10cm wordt weergegeven) zijn de kleuren niet uniek voor elke schuifstand.

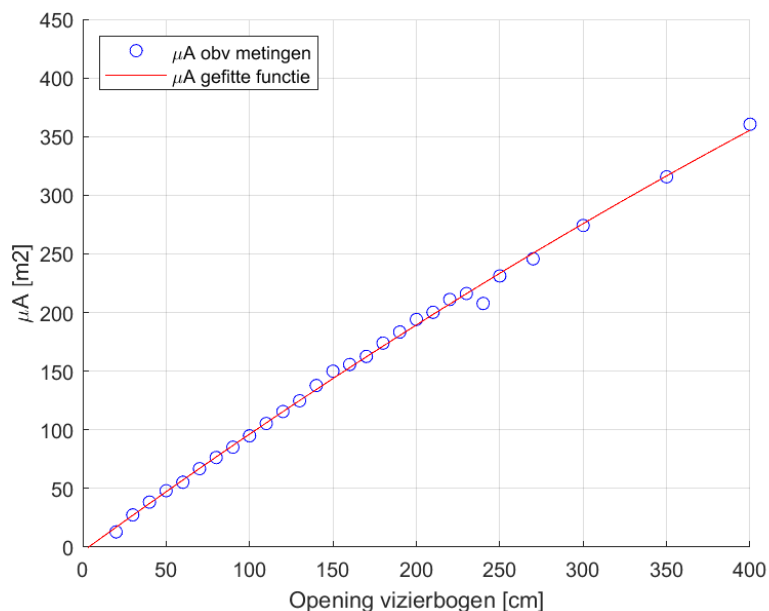




Figuur 4-6 Samenvattende grafiek van de datapunten die gebruikt worden voor de afvoer – verval relatie van de vizierschuiven. Verschillende kleuren geven verschillende schuifstanden aan. De kleur per schuifstand is niet uniek vanwege de grote hoeveelheid verschillende standen.

Er lijkt veel minder spreiding aanwezig te zijn binnen elk datapunt (wat de gemiddelde en range aangeeft van één gekozen periode). Er is ook een duidelijke relatie te herkennen in de range tussen 100 m<sup>3</sup>/s en 400 m<sup>3</sup>/s, wat de voornamelijk range is van de inzet van de vizierschuiven. Een relatie voor een ondergedompelde opening is voor de vizierschuiven toereikend. De relatie in dit gebied is op dezelfde wijze geoptimaliseerd als voor de cilinderschuif, namelijk per schuifstand is een  $\mu A$  [doorlaatoppervlak inclusief contractie, in m<sup>2</sup>] waarde berekend die de minimale RMS Error geeft ten opzichte van het gemiddelde van de datapunten die met die schuifstand corresponderen. De resulterende  $\mu A$  waarden zijn in Figuur 4-7 uitgezet tegen schuifstand. Vervolgens is er voor de definitieve  $\mu A$  een functie gefit door de  $\mu A$  per schuifstand om een logisch verloop van waarden te verkrijgen (de resultaten hiervan voor enkele schuifstanden is samengevat in Tabel 4-3). De functie is niet lineair, wat fysisch logisch is gezien er een non-lineaire relatie is tussen de schuifstand en de doorstroom oppervlak onder de schuiven vanwege de gebogen vorm. In dit geval zijn er echter weinige afwijkende resultaten en de definitieve  $\mu A$  waarden zijn dichtbij de waarden van de metingen. De resulterende  $\mu A$  waarden per schuifstand (voor gelijke stand beide vizierschuiven), genaamd VizSchStand, worden gegeven in Tabel 4-3, afgeleid met de volgende relatie (en ook gebruikt in de relatie die gerapporteerd is in Hoofdstuk 5):

$$\mu A = -3.37219919 \cdot \text{VizSchStand}^2 + 103.23370135 \cdot \text{stand} - 3.54924099$$



Figuur 4-7 De geoptimaliseerde  $\mu A$  per schuifstanden voor de vizierschuiven op basis van minimalisatie van RMS Error met geselecteerde datapunten uit de metingen

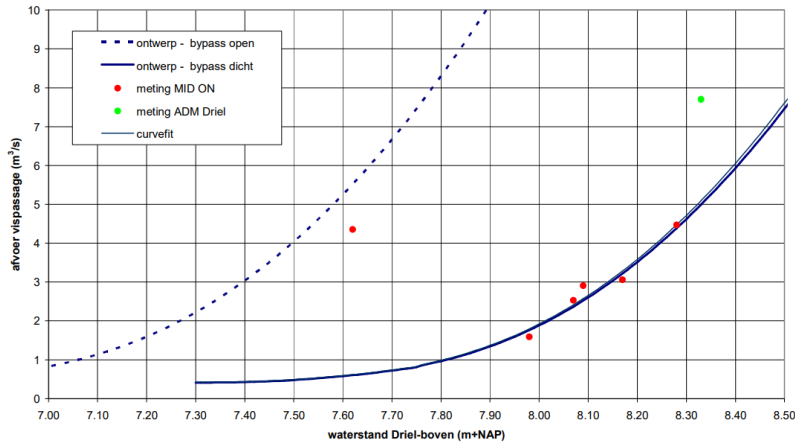
Tabel 4-3 Berekende  $\mu A$  op basis van een gefitte functie door de  $\mu A$  waardes per schuifstand – (vizierschuiven)

vizierschuiven Opening [cm]	20	50	100	150	200	250	300	350	400
$\mu A$ [m <sup>2</sup> ]	16,96	47,22	96,31	143,71	189,43	233,46	275,80	316,46	355,43

## 4.4 Vistrap

De veldmetingen met ADM die uit waterinfo beschikbaar zijn worden bovenstrooms van de vispassage gemaakt en zijn dus inclusief de vispassage en bypass. Deze metingen geven dus geen afzonderlijke informatie over de verdeling van het debiet over vispassage en stuw (cilinderschuiven of vizierschuiven) en er zijn geen of nauwelijks momenten dat zowel de vizierschuiven als cilinderschuiven dicht zijn om een relatie voor de vispassage af te leiden.

De relatie die gebruikt is voor het creëren van Figuur 4-8 is afkomstig uit het rapport ‘Samengestelde overlaten, vispassages Driel, Amerongen en Hagestein’ (1998) en is opgesteld voor de specifieke vorm van de vistrap. Voor de vistrap zijn recente en uitvoerige metingen uitgevoerd door Rijkswaterstaat (2011) en deze worden als de meest betrouwbare en nauwkeurige data beschouwd, zie Figuur 4-8. De vistrap relatie van stuw Driel is gefit op deze metingen waaruit een aanvullende coëfficiënt is gevonden ( $C_0 = 1,02$  [-]).

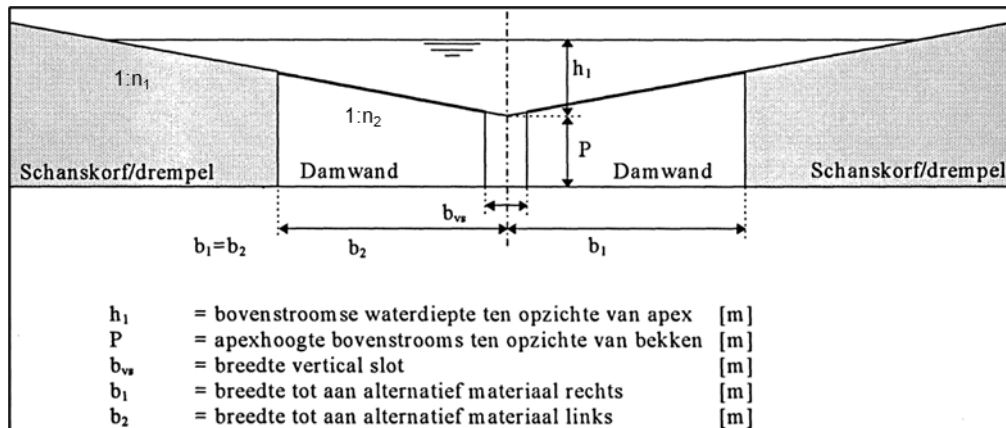


Figuur 4-8 Afvoer relatie op basis van metingen vispassage stuw Driel (Rijkswaterstaat Waterdienst, 2011)

De relatie die volgt uit deze correctie is ook gebruikt in de analyse hierboven om het gemeten debiet uit waterinfo te corrigeren zodat het debiet exclusief de vispassage wordt gebruikt om relaties voor cilinderschuif en vizierschuiven af te leiden. Aangezien de hoogte van de schanskorf groter is dan 1,25 keer de hoogte van de damwand (zie sectie 2.3.3) is de relatie uit Figuur 4-8 als volgt:

$$\begin{aligned}
 Q_{vispassage} = & C_0 * (C_{s1} * C_{d1} * \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{5}{2}} * \sqrt{\frac{g}{2}} * n_1 * (h_1 - H_b)^{2,5} \\
 & + C_{s2} * C_{d2} * \left(\frac{2}{3}\right) * \left(\frac{2}{3}g\right)^{0,5} * 2 * H_b * n_2 * \left(h_1 - \frac{1}{2}H_b\right)^{1,5} \\
 & + 0,8 * b_{vs} * P * \sqrt{2g(h_1 - h_2)}
 \end{aligned}$$

Figuur 4-9 geeft een aanvullende toelichting op een selectie aan parameters uit de vispassage relatie. De waarden voor de relatie worden gegeven in §5.2.



Figuur 4-9 Toelichting parameters uit de vispassage relatie

Aangezien de vorm van de vistrap in de hoofdinlaat en bypass gelijk zijn, kan de afvoer beschreven worden met dezelfde relatie. Het verschil tussen de hoofdinlaat en de bypass is de locatie van de apex, +7,3 mNAP voor de hoofdinlaat en +6,55 mNAP voor de bypass. Aangezien de bypass wordt geopend wanneer de bovenstroomse waterstand zakt tot onder

de +7,8 mNAP bestaan er 3 regimes waarin de totale afvoer van de vistrap afhankelijk is van de afvoer over alleen de hoofdinlaat, alleen de bypass of een combinatie hiervan:

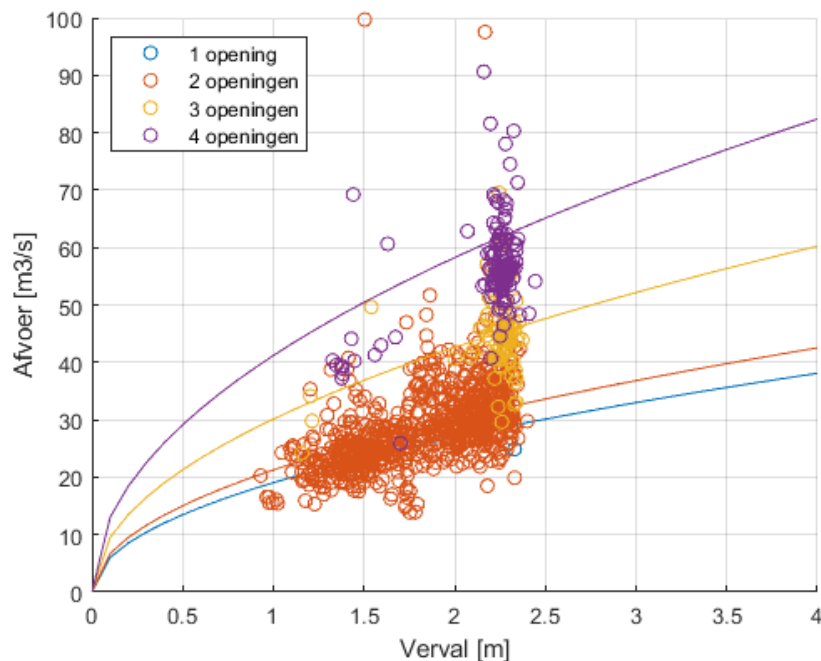
$$\begin{aligned}
 Q_{vis} &= Q_{vis,H} && \text{voor } +7,8 \text{ mNAP} < H_{\text{bov}} \\
 Q_{vis} &= Q_{vis,H} + Q_{vis,by} && \text{voor } +7,3 \text{ mNAP} < H_{\text{bov}} \leq +7,8 \text{ mNAP} \\
 Q_{vis} &= Q_{vis,by} && \text{voor } +6,55 \text{ mNAP} < H_{\text{bov}} \leq +7,3 \text{ mNAP}
 \end{aligned}$$

## 4.5 Spoelriolen

De spoelriolen waren voor de renovatie vaak ingezet om water af te voeren bij kleinere afvoer. Na de renovatie is het stuwbeheer veranderd en worden ze niet of nauwelijks ingezet voor dit doeleinde. Om deze reden is de data betreffende de afvoercapaciteit van de spoelriolen enkel beschikbaar van de periode voor de renovatie (en dus in het oude logboek).

In het logboek wordt geregistreerd hoeveel spoelriolen open zijn. De periodes voor de dataverwerking zijn gekozen op dezelfde manier als hierboven beschreven voor de cilinderschuif behalve dat alleen periodes gekozen zijn met zowel de cilinderschuif als vizierschuiven dicht (en een of meer spoelriolen open). Datapunten van na de renovatie zijn beschikbaar omdat de spoelriolen niet of nauwelijks meer gebruikt worden na een verandering in stuwbeheer. Er is weinig data beschikbaar over de gehele periode (beide logboeken) voor de situatie dat maar één spoelriool open is.

De resulterende periodes (met gemiddelde afvoer per punt) zijn gepresenteerd in Figuur 4-10.



Figuur 4-10 Samenvattende grafiek van de datapunten die gebruikt worden voor de afvoer – verval relatie van de spoelriolen. Verschillende kleuren geven verschillende aantal spoelriolen aan. De lijnen geven een relatie aan op basis van onderdompelde opening.

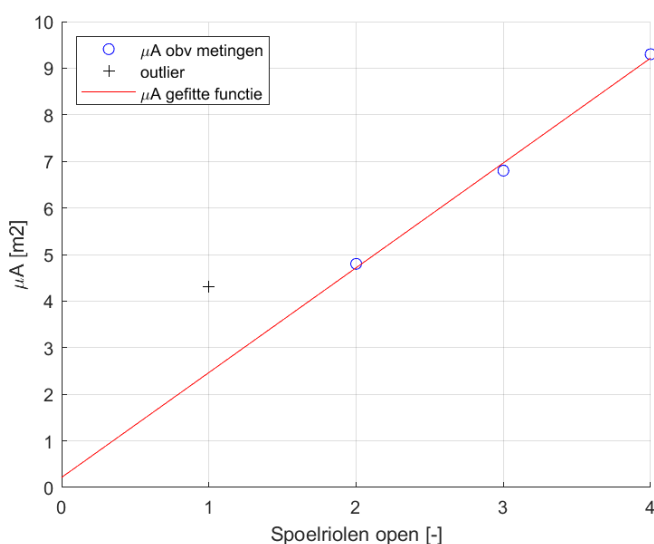
De datapunten voor 2 spoelriolen geven een goed beeld van het verloop van de relatie, en vervolgens ook dat een relatie op basis van onderdompelde opening geschikt is. De relatie in per aantal spoelriolen is op dezelfde wijze geoptimaliseerd als voor de cilinderschuif, namelijk er is een  $\mu A$  [m<sup>2</sup>] waarde berekend die de minimale RMS Error geeft ten opzichten van de gemiddelde datapunten. Deze waarden worden weergegeven in Tabel 4-4.

Tabel 4-4 Berekende  $\mu A$  waarden op basis van minimalisatie van RMS Error met metingen - spoelriolen

Spoelriolen open [-]	1	2	3	4
$\mu A$ [m <sup>2</sup> ]	4,3	4,8	6,8	9,3

De waarden voor één enkel spoelriool geven opmerkelijke hoge afvoeren (30 m<sup>3</sup>/s voor 1 opening bij verval 2,3 m, wat veel hoger ligt dan de geschatte 16 m<sup>3</sup>/s (Rijkswaterstaat, 2021) of 25 m<sup>3</sup>/s voor 1 spoelriool . Dit komt hoogstwaarschijnlijk voort uit de weinige hoeveelheid data punten voor 1 spoelriool samen met de onzekerheid over de registraties in het logboek. De waarden voor één enkel riool zijn vervolgens als outlier beschouwd en niet meegenomen in de fit van een functie door de  $\mu A$  waarden om definitieve waarden te krijgen (zoals voor de cilinderschuif en vizierschuiven gedaan is). De definitieve waarden zijn hierom nagenoeg dezelfde als de waarden van de metingen. De functie is lineair aangezien de  $\mu A$  voor elk spoelriool gelijk is en dus vermenigvuldigd kan worden met het aantal geopende spoelriolen. Wat opvalt is dat de fit niet gelijk is aan 0 wanneer alle spoelriolen dicht zijn. Daarnaast is dit fysisch wel mogelijk door de aanwezigheid van afvoer in de vorm van lekkage wanneer alle spoelriolen zijn gesloten. De resulterende  $\mu A$  waarden per schuifstand (SpRio) worden gegeven in Tabel 4-5, afgeleid met de volgende relatie (en ook gebruikt in de relatie die gerapporteerd is in Hoofdstuk 5):

$$\mu A = 2.25 * SpRio + 0.217$$



Figuur 4-11 De geoptimaliseerde  $\mu A$  per aantal riolen voor de spoelriolen op basis van minimalisatie van RMS Error met geselecteerde datapunten uit de metingen (Tabel 4-4)

De spoelriolen zijn ook opgenomen in het schaalmodelonderzoek van vóór de bouw en de resultaten daarvan zijn ook vergeleken met de resultaten verkregen in het veld. De schaalmodelproeven laten een vergelijkbaar verloop van debieten zien maar met een kleinere totale afvoer (ongeveer 10 m<sup>3</sup>/s bij een verval van 2,3 m). De veldmetingen worden als leidend beschouwd en de schaalproeven worden verder genegeerd.

Tabel 4-5 Berekende  $\mu A$  waarden op basis van een gefitte functie door de  $\mu A$  waarden per riool - spoelriolen

Aantal spoelriolen open [-]	1	2	3	4
$\mu A$ [m <sup>2</sup> ]	2,47	4,72	6,97	9,22

## 5 Afvoerrelatie

In dit hoofdstuk presenteren wij de afgeleide afvoerrelatie per onderdeel. De volgende definities worden gehanteerd:

$h_1$  = bovenstroomse waterstand (Driel boven uit waterinfo) [mNAP]

$h_2$  = benedenstroomse waterstand (Driel beneden uit waterinfo) [mNAP]

$\Delta h = h_1 - h_2 =$  verval [m]

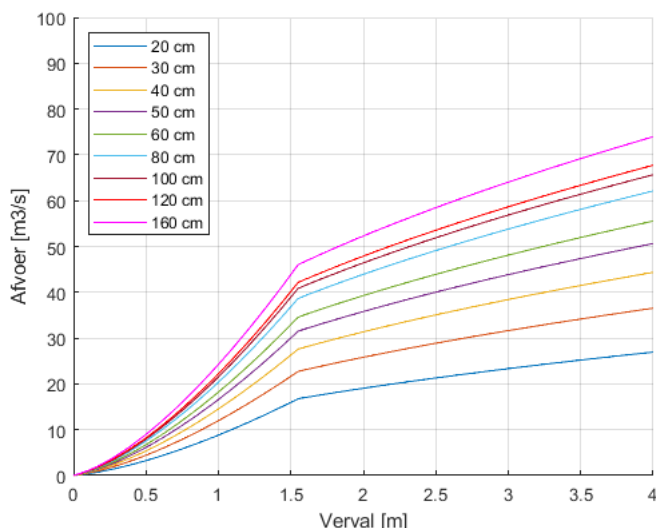
$g = 9,81$  [m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>] - zwaartekrachtsversnelling

Q of Afvoer = het debiet door het desbetreffende onderdeel van het stuwcomplex [m<sup>3</sup>/s]

### 5.1 Cilinderschuif

#### 5.1.1 Grafische samenvatting

Figuur 5-1 geeft een samenvatting van de relaties per schuifstand voor de cilinderschuif. De afvoerrelatie voor de cilinderschuif is afhankelijk van zowel  $h_1$  als  $h_2$ . Hierdoor is een afvoer-veral plot maar geldig voor één bepaalde benedenstroomse waterstand. Voor andere benedenstroomse waterstanden zou de knik komen te verschuiven.



Figuur 5-1 Samenvattend plot van een afvoer-veral relatie met de definitieve  $\mu_B$  per schuifstand (uit Tabel 5-1) voor de cilinderschuif. Deze plot geldt alleen voor een benedenwaterstand van +6,00mNAP

#### 5.1.2 Afvoerformule

De definitieve afvoerformule voor de cilinderschuif is een functie van beide waterstanden ( $h_1$  en  $h_2$ ) met parameters  $\mu_B$  uit Tabel 5-1, berekend met de volgende functie:

$$\mu_B = 1.07214455 \cdot \text{CilSchStand}^3 - 4.65001571 \cdot \text{CilSchStand}^2 + 7.41537519 \cdot \text{CilSchStand} + 0.81473672$$

In tegenstelling tot Figuur 5-1 zijn de vergelijkingen geldig voor variatie in benedenstroomse waterstand ( $h_2$ ).

$$Q_{cil} = \mu_B(1,6) \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad \text{voor} \quad h_1 \geq +7,55\text{mNAP}$$

$$Q_{cil} = \mu_B(h_1 - 5,95) \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad \text{voor} \quad h_1 < +7,55\text{mNAP}$$

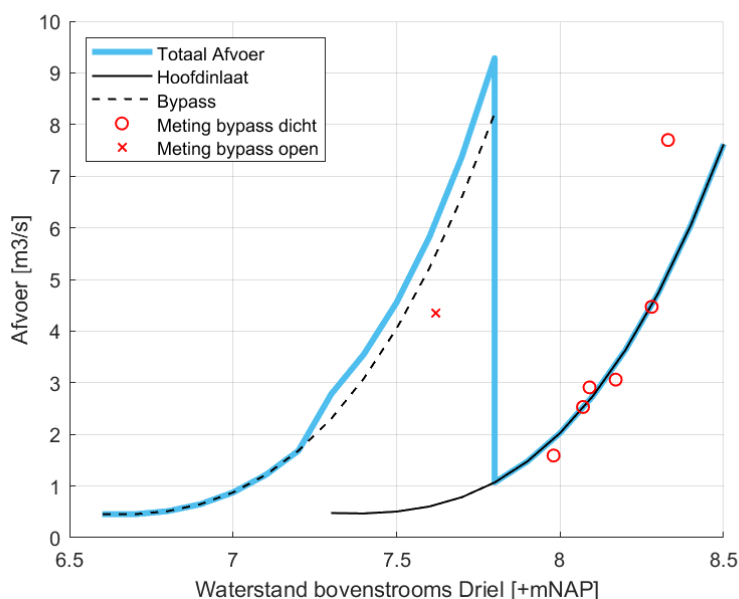
Tabel 5-1  $\mu B$  per schuifstand voor de cilinderschuif

Cilinder Opening [cm]	20	30	40	50	60	80	100	120	160
$\mu B$ [m]	2,12	2,65	3,11	3,49	3,82	4,32	4,65	4,87	5,17

## 5.2 Vistrap

### 5.2.1 Grafische samenvatting

Figuur 5-2 geeft een samenvatting van de afvoer over de hoofdinlaat en bypass van de vistrap evenals het totaal debiet.



Figuur 5-2 Samenvattende grafiek van de afvoer-relatie van de vistrap per onderdeel en totaal

### 5.2.2 Afvoerformule

De afvoer relaties zijn opgesteld door WL | Delft Hydraulics (1998) voor de specifieke vorm van de vispassage. De afvoer relatie voor de hoofdinlaat en bypass zijn gelijk en verschillen alleen in de hoogte van de apex (hoofdinlaat = +7,3 mNAP en bypass = +6,55 mNAP). De totale afvoer over de vistrap is afhankelijk van de bovenstroomse waterhoogte en openingshoogte van de bypass (+7.8 mNAP):

$$\begin{aligned}
 Q_{vis} &= Q_{vis,H} && \text{voor } +7,8 \text{ mNAP} < H_{bov} \\
 Q_{vis} &= Q_{vis,H} + Q_{vis,by} && \text{voor } +7,3 \text{ mNAP} < H_{bov} \leq +7,8 \text{ mNAP} \\
 Q_{vis} &= Q_{vis,by} && \text{voor } +6,55 \text{ mNAP} < H_{bov} \leq +7,3 \text{ mNAP}
 \end{aligned}$$

$Q_{vis,H}$  en  $Q_{vis,by}$  kunnen allebei berekend worden met onderstaande functie, waarin alleen de waarde van apex verandert:

$$\begin{aligned}
 Q_{vis,H/by} &= C_0 (C_{s1} * C_{d1} * \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{5}{2}} * \sqrt{\frac{g}{2}} * n_1 * (h_1 - H_b)^{2,5} \\
 &+ C_{s2} * C_{d2} * \left(\frac{2}{3}\right) * \left(\frac{2}{3}g\right)^{0,5} * 2 * H_b * n_2 * \left(h_1 - \frac{1}{2}H_b\right)^{1,5} \\
 &+ 0,8 * b_{vs} * P * \sqrt{2g(h_1 - h_2)}
 \end{aligned}$$

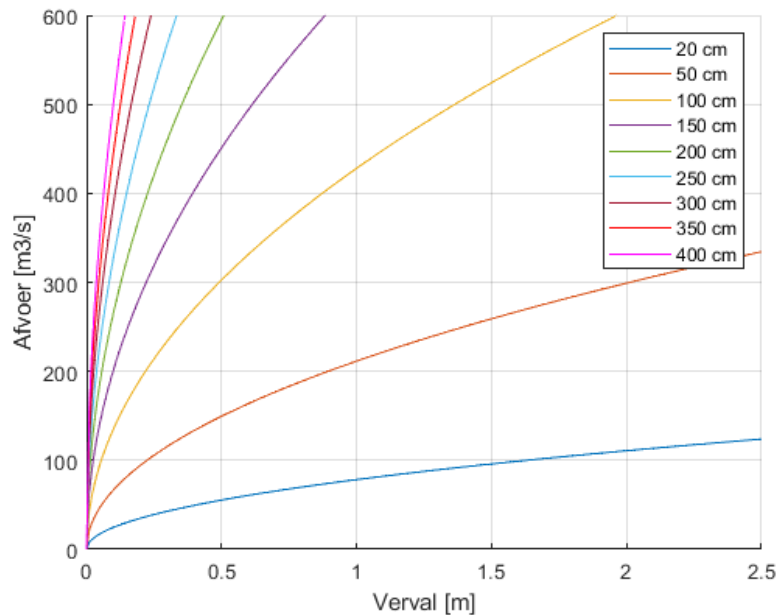
Waarin:

g (gravitatieconstante)	= 9,81	[m/s <sup>2</sup> ]
n <sub>1</sub> (helling schanskorf)	= 7,0	[-]
n <sub>2</sub> (helling damwand)	= 3,0	[-]
b <sub>vs</sub> (breedte verticale slot)	= 0,3	[m]
b (breedte apex tot knik n <sub>2</sub> → n <sub>1</sub> , in Figuur 4-9 b <sub>1</sub> en b <sub>2</sub> )	= 1,1	[m]
apex <sub>hoofdinlaat</sub> (inlaat drempel hoogte hoofdinlaat)	= 7,3	[+mNAP]
apex <sub>bypass</sub> (inlaat drempel hoogte bypass)	= 6,55	[+mNAP]
h <sub>1</sub> (bovenstroomse waterstand t.o.v. apex)	= h <sub>0</sub> – apex	[m]
h <sub>2</sub> (benedenstroomse waterstand t.o.v. apex)	= h <sub>1</sub> – 0,15	[m]
H <sub>b</sub> (afstand apex tot knik n <sub>2</sub> → n <sub>1</sub> )	= b / n <sub>2</sub>	[m]
P (apex hoogte)	= 1,0	[m]
S (relatieve doorzweemhoogte)	= h <sub>2</sub> /h <sub>1</sub>	[-]
C <sub>0</sub> (fit coëfficiënt)	= 1,02	[-]
C <sub>s1</sub> (reductiecoëfficiënt schanskorf)	= $\sqrt{1 - S^9}$	[-]
C <sub>s2</sub> (reductiecoëfficiënt rechthoekige damwand)	= $\sqrt{1 - S^2}$	[-]
C <sub>d1</sub> (afvoercoëfficiënt schanskorf)	= 1.09	[-]
C <sub>d2</sub> (afvoercoëfficiënt rechthoekige damwand)	= 1.03	[-]

## 5.3 Vizierschuiven

### 5.3.1 Grafische samenvatting

Figuur 5-3 geeft een samenvatting van de afvoerrelaties per hefstand van de vizierschuiven in gelijke stand.



Figuur 5-3 Samenvattende grafiek van een afvoer-verval relatie met de definitieve  $\mu A$  per schuifstand (uit Tabel 5-2) voor vizierschuiven



### 5.3.2 Afvoerformule

De definitieve afvoerformule voor de vizierschuiven in gelijke stand is een functie van het verval ( $\Delta h = h_1 - h_2$ ).

$$Q_{vizier} = \mu A \sqrt{2g(\Delta h)}$$

De  $\mu A$  berekende  $\mu A$  kunnen worden gevonden in Tabel 5-2 en zijn berekend met de volgende functie:

$$\mu A = -3.37219919 \cdot \text{VizSchStand}^2 + 103.23370135 \cdot \text{stand} - 3.54924099$$

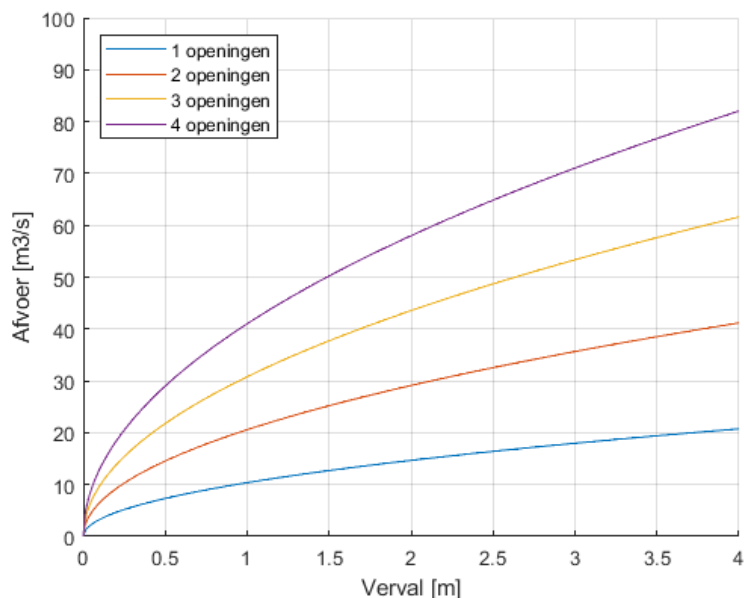
Tabel 5-2  $\mu A$  per schuifstand voor de vizierschuiven

vizierschuiven Opening [cm]	20	50	100	150	200	250	300	350	400
$\mu A$ [m <sup>2</sup> ]	16,96	47,22	96,31	143,71	189,43	233,46	275,80	316,46	355,43

## 5.4 Spoelriolen

### 5.4.1 Grafische samenvatting

Figuur 5-4 geeft een samenvatting van de relaties per aantal geopende spoelriolen.



Figuur 5-4 Samenvattende grafiek van een afvoer-verval relatie voor de spoelriolen

### 5.4.2 Afvoerformule

De definitieve afvoerformule voor de spoelriolen is een functie van het verval ( $\Delta h = h_1 - h_2$ ).

$$Q_{spoel} = \mu A \sqrt{2g(\Delta h)}$$

De berekende  $\mu A$  kan worden gevonden in Tabel 5-3 en is berekend met de volgende functie:

$$\mu A = 2.25 \cdot SpRio + 0.2167$$

Tabel 5-3  $\mu A$  per aantal riolen voor de spoelriolen

Aantal spoelriolen open [-]	1	2	3	4
$\mu A$ [m <sup>2</sup> ]	2,47	4,72	6,97	9,22

## 5.5 Schutsluis

De ADM metingen van debieten die uit waterinfo verkrijgbaar zijn exclusief het debiet door de schutsluis. De ADM is namelijk geplaatst ná de splitsing in de rivier tussen stuw en schutsluis.

Om de bijdrage van de schutsluis aan de totale afvoer van het stuw- en sluis-complex te berekenen moet dus een andere manier gevonden worden. Dit debiet is gelukkig makkelijk te berekenen. Een volume water wordt in het benedenpand geloosd als er geledigd wordt vanuit de schutkolk, ook wel genaamd nivelleerdebiet. Het volume is gelijk aan het natte oppervlak (kolkbreedte x kolk lengte) vermenigvuldigd met het verval op dat moment. De kolk lengte is afhankelijk van het gebruik van de deelkolken. Alleen de lengte van de actieve kolk dient meegenomen te worden. Dit wordt ook wel de schutschijf genoemd. Het in en uitvaren van schepen in de schutsluis zorgt verder niet voor een debiet van enige significantie, aangezien de opvaart en de afvaart elkaar hierin grotendeels compenseren.<sup>1</sup> (Deltares, 2024).

Het gemiddelde debiet door de schutsluis over een periode van 24 uur is afhankelijk van het aantal schuttingen en kan worden berekend met de volgende formule:

$$Q_{schut} = \frac{\Delta h L B s}{t}$$

Hierin is  $\Delta h$  het verval (m) over de schutsluis, L is de lengte van de actieve schutkolk, B is de breedte van de kolk en s is het aantal schuttingen over een bepaalde periode met duur t (s).

## 5.6 Totale afvoer door stuw- en sluis-complex

De afvoerrelaties beschreven hierboven zijn van elk afzonderlijke onderdeel van het stuw- en sluiscomplex Driel. Om de totale afvoer over het gehele complex te verkrijgen dienen de verschillende debieten bij elkaar opgeteld te worden<sup>2</sup>. Men komt dan op de volgende relatie voor de totale afvoer:

$$Q_{tot} = Q_{cil} + Q_{vis,H} + Q_{vis,by} + Q_{vizier} + Q_{spoel} + Q_{schut}$$

Hierin zullen sommige combinaties van deeldebieten elkaar uitsluiten (dus niet gelijktijdig niet-nul zijn), zoals bijvoorbeeld voor de vispassage mét of zonder bypass.

<sup>1</sup> Dit grotendeels verwaarloosbare debiet (geschat op gemiddeld 0.25 m<sup>3</sup>/s over de week van de meetcampagne bij Amerongen) heeft geen invloed op het waterpeil in het stuwpannd omdat het verplaatste water steeds de plek van het schip inneemt. Er hoeft niet bijgestuurd te worden om het waterpeil te handhaven en om die reden wordt de waterverplaatsing door schepen niet meegenomen in de berekeningen voor peilbeheer.

<sup>2</sup> De cilinderschuif en vizierschuiven zijn in normale omstandigheden niet gelijk in gebruik, dan zal de schuifstand van een van de onderdelen 0 bedragen en zal het debiet van dat onderdeel ook nul zijn.

## 6 Conclusies

### 6.1 Algemene conclusies

Afvoerrelaties voor verschillende onderdelen van het stuwcomplex Driel zijn afgeleid in dit rapport, namelijk voor de cilinderschuif, de vizierschuiven, de vispassage met bypass, en de spoelriolen. Deze relaties zijn gebaseerd op openbare data vanuit waterinfo (debiet door het complex excl. schutsluis) en objectinformatie in de vorm van de logboeken van de stuwmeesters.

De verwerking van de beschikbare data was vrij arbeidsintensief omdat er veel onzekerheid is over de gebruikte schuifstanden (vooral van de cilinderschuif). Het logboek (wat de basis vormt in dit onderzoek voor de data van schuifstanden) wordt niet systematisch ingevuld. Veel afvoerdata is hierdoor onbruikbaar omdat alleen de datapunten waarvoor een betrouwbare registratie van de schuifstand beschikbaar is wordt gebruikt in de analyse. Er zijn hierdoor ook weinig datapunten voor enkele schuifstanden die voorkomen bij lage afvoeren (die zelf ook niet vaak voorkomen). Om de betrouwbaarheid van de debiet-relatie te vergroten zou de objectinformatie betrouwbaarder bijgehouden moeten worden.

Echter ook gegeven deze kanttekening is de manier van selecteren van bruikbare periodes voor de analyse wel goed onderbouwd in dit rapport. De relaties die daardoor afgeleid zijn geven een goede match met de metingen in het veld (kleine RMS Error waardes) en zijn vergelijkbaar met recente metingen bij stuw Amerongen waar er wel een hoge zekerheid was over de gebruikte schuifstanden. De in dit rapport gepresenteerde debiet-relatie is hierdoor betrouwbaar.

### 6.2 Resterende aandachtspunten

Al is het gelukt om betrouwbare debiet-relaties af te leiden zijn er enkele aspecten van de data-analyse waar verbeteringen mogelijk zijn, of waar aannames beter getoetst dienen te worden.

- **Lekkage:** er wordt in deze analyse verondersteld dat de lekkage na de renovatie van de stuwen verwaarloosbaar is. Als deze aanname niet juist is zal het toepassen van de relatie niet gelijk onjuist zijn, omdat de lekkage ook onderdeel is van het gemeten debiet, wat gebruikt is voor het afleiden van de relaties. De aanname wordt echter belangrijker voor het toepassen van de debiet-relatie bij kleine cilinderschuifstanden en dichte vizierschuiven. In dit gebied kan de afwijking van de relatie van de meetpunten ook deels verklaard worden door lekkage (waardoor het debiet niet nul is bij gesloten cilinderschuif).
- **Schaarse data:** het achterliggende doel van dit onderzoek is duidelijkheid krijgen over de handelingsperspectief bij stuw Driel voor lage rijnafvoeren. Juist de schuifstanden die ingezet worden bij lage afvoer (20 cm en 30 cm van de cilinderschuif) hebben te weinig datapunten om een definitieve relatie op te baseren en de betrouwbaarheid van de relatie in dit gebied zal toenemen als deze analyse herhaald wordt na een zomer waarin de schuifstanden betrouwbaar en secuur geregistreerd worden zodat meer datapunten beschikbaar komen.
- **Meet nauwkeurigheid:** De ADM metingen van afvoer. Die de basis zijn van de data uit waterinfo laten proportioneel veel variatie in tijd zien bij de lage afvoer die in dit rapport belangrijk zijn voor de afvoer-relatie van meerdere onderdelen (vooral cilinderschuif en spoelriolen). Voor de betrouwbaarheid van de relatie bij lage afvoer is het verstandig om deze ruis te onderzoeken en waar mogelijk te verminderen.

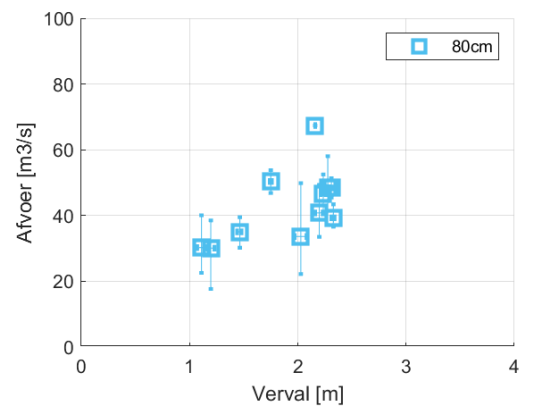
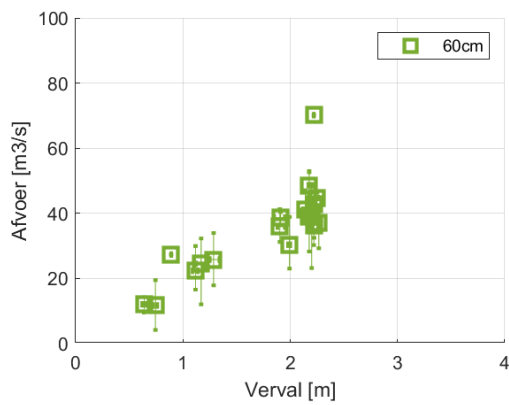
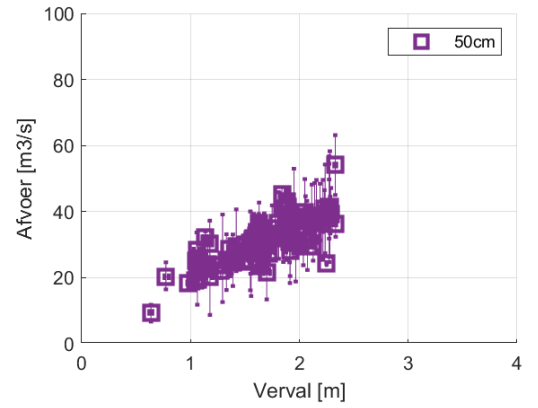
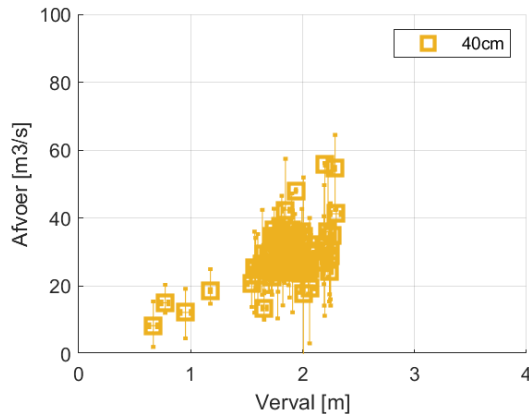
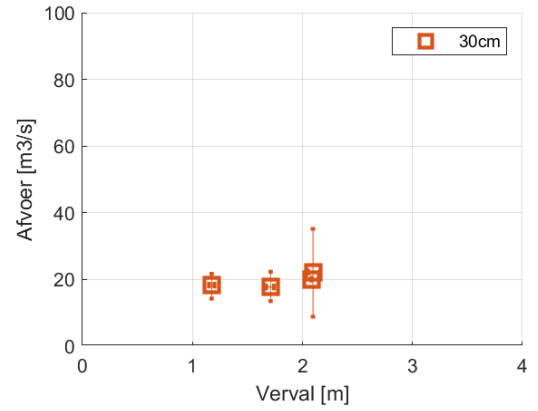
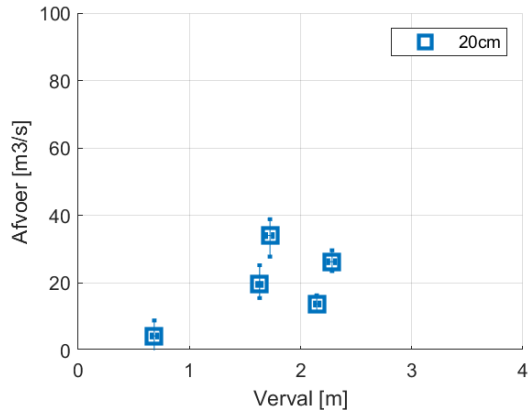
## 7 Bibliography

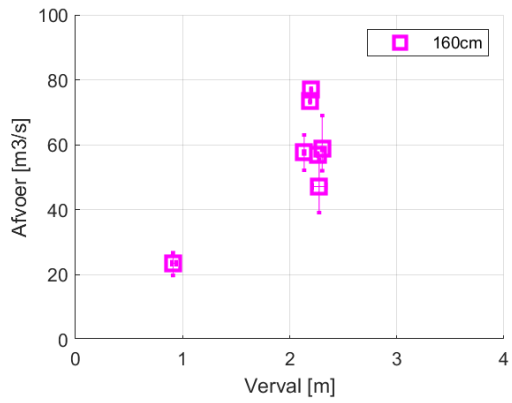
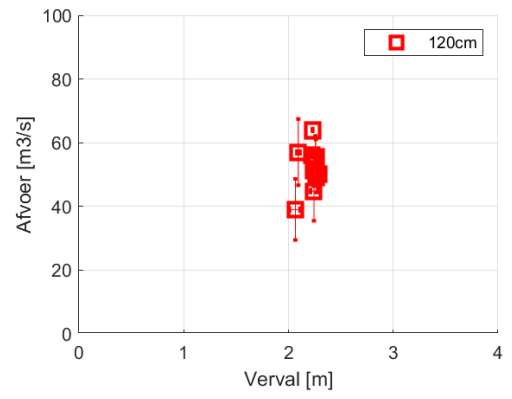
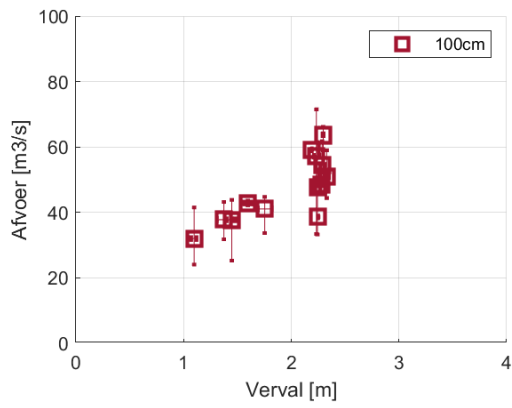
- Arcadis. (2010). *RINK SSC - Systeembeschrijving Stuw Driel [075152739:A]*.
- de Gaay, A. C., & Blokland, P. (1970). *The Canalization of the lower Rhine*. Rijkswaterstaat.
- Deltares. (2024). *Afvoerrelatie Stuw Amerongen*. 11209225-005-ZKS-0003.
- DIMCO. (2017). *39B-003-01 Sluis in de Neder-Rijn, Amerongen: Nieuwe situatie*. teknr. AM-03-100-00-101 (beneden kolk) & AM-03-100-00-102 (boven kolk).
- Hydrologic. (2011). *Analyse waterbalans Betuwepand ARK, Nederrijn, Lek en Waal*. Hydrologic.
- HydroLogic. (2022). *Evaluatie stuwprogramma Driel: Eindrapport*. HydroLogic.
- Kolkman, P., & Jongeling, T. (1996). *Dynamisch gedrag van waterbouwkundige constructies deel A: Constructies in stroming*. Delft: Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde.
- Rijkswaterstaat. (2013). *Handboek Neder-Rijn en Lek: Bediening stuw-/sluiscomplex*.
- Rijkswaterstaat. (2016). *Stuwprogramma Nederrijn/Lek. Achtergronden bij een nieuw stuwprogramma*.
- Rijkswaterstaat. (2021). *Object Specifieke Bedieninstructie Handboek B (OSBI BCA)*.
- Rijkswaterstaat. (2023). *Inzet van het spoelriool bij Stuw Driel onder laagwater situaties (Memo)*. Wilco Meijerink.
- Rijkswaterstaat. (2023). *Stuwensemble Nederrijn en Lek*. Opgehaald van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/waterkeringen/dammen-sluizen-en-stuwen/stuwensemble-nederrijn-en-lek>
- Rijkswaterstaat. (2023). *Waterinfo*. Opgehaald van Waterinfo Extra: <https://waterinfo-extra.rws.nl/data-sites/waterinfo/>
- Rijkswaterstaat Waterdienst. (2011). *Hydraulische metingen vispassages Nederrijn-Lek: Resultaten 2002-2007*. Schropp, M. H. I.
- Rooij, E. d. (2018). Mondelinge communicatie. (Hydrologic, Interviewer)
- van Rijn, L. (2011). *Principles of Fluid Flow and Surface Waves in Rivers, Estuaries, Seas and Oceans*. Blokzijl, The Netherlands: Aqua Publications.
- WL | Delft Hydraulics. (1956). *Stuw Hagestein cylinderschuif, rapport modelonderzoek M232*.
- WL | Delft Hydraulics. (1961). *Stuw Amerongen cylinderschuif, rapport modelonderzoek M678*.
- WL | Delft Hydraulics. (1998). *Samengestelde overlaten, vispassages Driel, Amerongen en Hagestein*. G.J. Akkerman, M. van der Wal, S.A.H van Schijndel.
- WL. (1961). *Stuw Amerongen Cylinderschuif - Rapport Modelonderzoek*.
- WL. (1968). *Ijking Debietmeter in de Middenpijler van de Stuw Te Driel - Rapport Modelonderzoek*.

# A Appendix

## A.1 Cilinderschuifstand data analyse

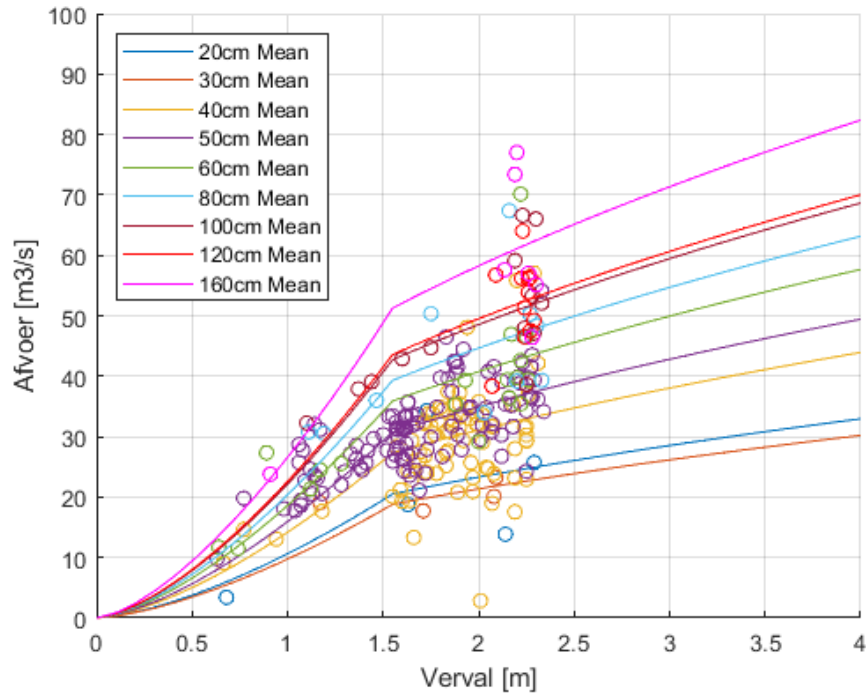
De volgende grafieken geven de datapunten van de gekozen periodes voor de cilinderschuif per schuifstand.





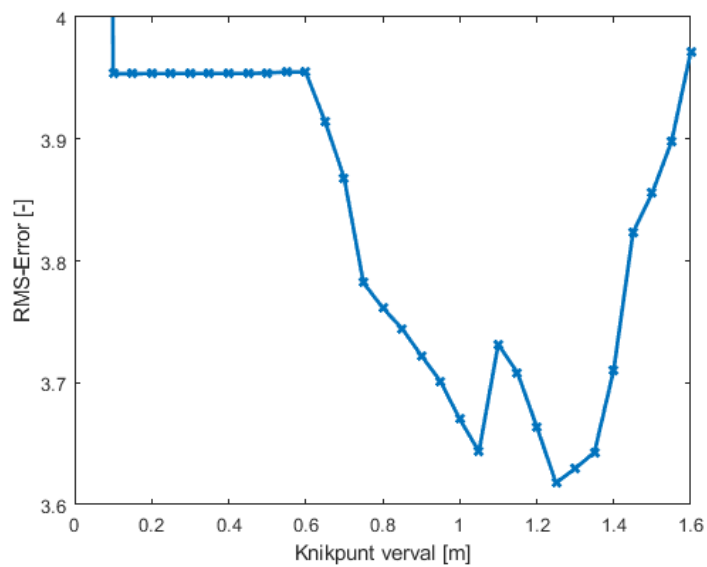
*Figuur A 1 De datapunten die gebruikt worden voor de afvoer – verval relatie van de cilinderschuif, per schuifstand*

## A.2 Alle datapunten uit het oude logboek



Figuur A 2 Samenvattende grafiek van alle de datapunten van de cilinderschuif. Verschillende kleuren geven verschillende schuifstanden aan. In deze plot zijn ook de datapunten van het oude logboek waarbij het verval groter is dan 2,15 m erbij geplot

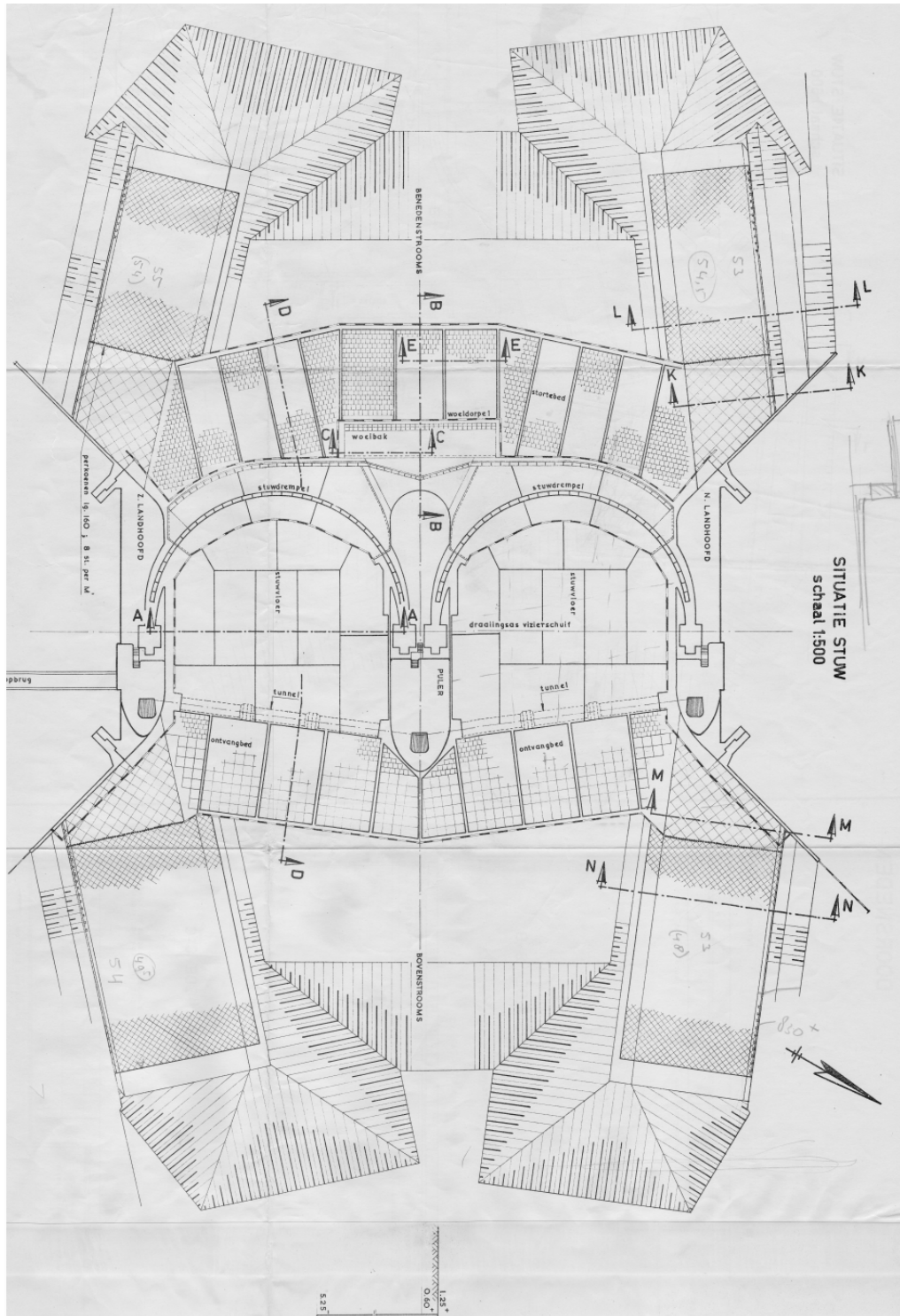
## A.3 RMS-Error knikpunt analyse



Figuur A 3 Gemiddelde RMS-Error over alle cilinderschuifstanden per knikpunt voor cilinderschuif relatie

## B Technische tekeningen

### B.1 Bovenaanzicht stuwcomplex Driel



Figur B 1 Bovenaanzicht stuwcomplex Driel

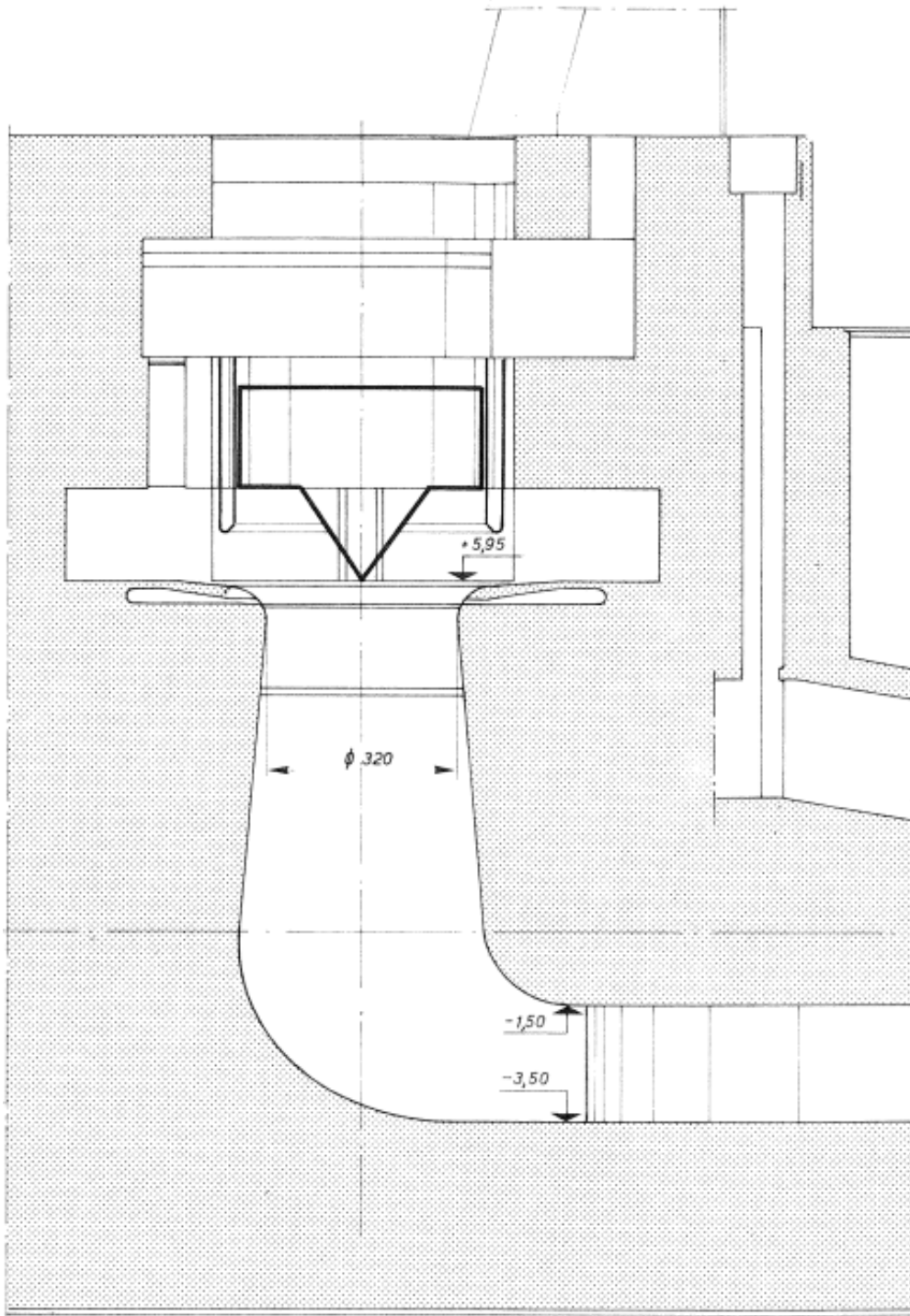






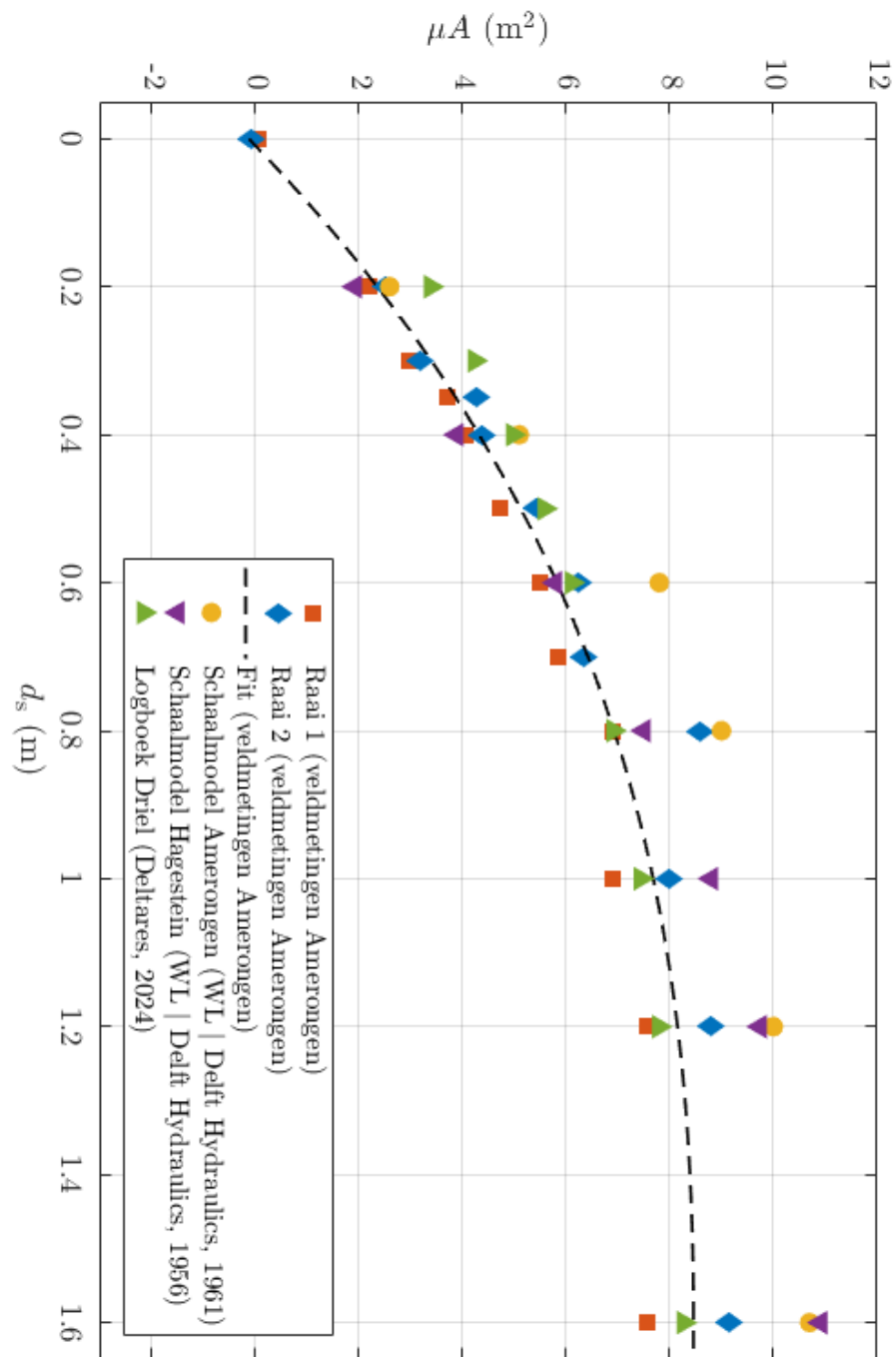


## B.4 Zijaanzicht cilinderschuif dwarsdoorsnede



Figuur B 6 Cilinderschuif dwarsdoorsnede

## C Vergelijking $\mu A$ cilinderschuif met eerdere studies



Figuur C 1 Vergelijking berekende  $\mu B$  met waarden berekend in eerdere studies. Let op: Hierbij wordt uitgegaan van een bovenstroomse waterstand voldoende voor volledige onderdompeling van de cilinderschuif opening ( $\geq 7.55$  mNAP bij Driel).

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

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)