

De afvoerverdelingen op de Pannerdensch Kop en IJsselkop

Bachelor Eindopdracht 2018



Titel

De afvoerverdelingen op de Pannerdensche Kop en IJsselkop

Opdrachtgever

Deltares, Rijkswaterstaat

Pagina's

47

Trefwoorden

Afvoerverdeling, maatregelen, varianten, afvoer, waterstand, Pannerdensche Kop, IJsselkop, regelwerk, Pannerden, Hondsbroeksche Pleij, Lent, Marsweg, nevengeul, kribben, zomerbed, relaties, trendlijn, PRIMA, waterstandsverschil, afvoerverschil

Samenvatting

Het project Programma Prestatie Management Hoofdwatersysteem is erop gericht de gemaakte afspraken tussen Rijkswaterstaat en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat na te komen. Dit zijn afspraken gemaakt in het kader van Ruimte voor de Rivier en waterveiligheid in Nederland. Specifiek ontwikkelt dit project een methode die risico-gestuurd beheer en onderhoud van objecten langs rivieren (en de kust) ondersteunt.

Dit onderzoek valt binnen dat project en legt de focus op de afvoerverdelingen op en objecten rondom twee splitsingspunten van de rivier de Rijn in Nederland. Deze splitsingspunten zijn de Pannerdensche Kop en de IJsselkop.

Allereerst wordt het effect van waterstandsverandering op de afvoer in een riviertak onderzocht. Dit wordt per splitsingspunt voor de twee bijbehorende riviertakken gedaan. Hieruit volgen relaties tussen waterstandsveranderingen en afvoer veranderingen per riviertak. Daarmee worden op beide splitsingspunten de afvoerverdelingen bepaald die aangeven hoe de afvoer in een riviertak beïnvloedt wordt door waterstandsverandering in een andere riviertak.

De relaties zijn opgesteld door de ruwheid van het zomerbed in een model aan te passen en de daardoor ontstane waterstandsverandering en uiteindelijke afvoer verandering te noteren. Door een trendlijn door deze waarden te fitten ontstaat er een relatie per riviertak.

Ook worden per riviertak een aantal kribben verwijderd wat een waterstands daling en afvoertoe name als gevolg zal hebben. Dit levert een aantal twijfelachtige effecten op de waterstand en afvoer op.

Om de betrouwbaarheid van deze methode in kaart te brengen wordt het falen van een aantal rivierobjecten gemodelleerd en de bijbehorende waterstands- en afvoer veranderingen bekeken. De rivierobjecten die falen zijn de nevengeul 'Spiegelwaal' bij Lent die compleet dichtsluit en de 'Marsdam' bij Lathum waarbij een bres gevormd is. Het effect van falen van beide objecten komt overeen met de gevonden relaties in het eerste deel.

Ten slotte worden de effecten van falen van de nevengeul en Marsdam vergeleken met de waarden uit een tool die ontwikkeld is om het effect van falen van een groot aantal rivierobjecten op afvoerverdelingen in kaart te brengen. Uit het vergelijkt blijkt dat de resultaten uit dit onderzoek verschillen met de waarden in de tool. De hoofdoorzaak hiervan is het verschil in de gebruikte modellen.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	mei 2018	Björn Breunissen		Nathalie Asselman			
				Ralph Schielen			

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Projectbeschrijving	2
2.1 Achtergrond	2
2.2 Doelstellingen	4
3 Methode	5
3.1 Onderzoeksvragen	5
3.2 Software omgeving	5
3.2.1 Configuratie software	6
3.3 Methodiek	8
3.3.1 Afvoerverdeling	8
3.3.2 Maatregelen	9
3.3.3 Falen object	12
3.3.4 Validatie	12
3.4 Baseline varianten	12
4 Resultaten	14
4.1 Effect van waterstandsveranderingen op de afvoerverdelingen	14
4.1.1 Pannerdensche Kop	14
4.1.2 IJsselkop	15
4.2 Zekerheid gevonden relaties voor afvoerverdelingen	16
4.2.1 Kribben	16
4.2.2 Dichtslibben nevengeul Lent	17
4.2.3 Bres Marsdam bij Lathum	20
4.3 Validatie tool Deltares	23
4.3.1 Vergelijking afvoerverdelingen	23
4.3.2 Vergelijking dichtslibben nevengeul Lent	23
4.3.3 Vergelijking bres Marsdam	23
5 Discussie	25
6 Conclusies en aanbevelingen	26
6.1 Conclusies	26
6.2 Aanbevelingen	27
7 Literatuur	28
8 Bijlagen	29

1 Inleiding

Dit verslag gaat over het onderzoek dat is gedaan voor de Bachelor Eindopdracht in module 12 van de studie Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. Het onderzoek is uitgevoerd binnen het grotere project 'Prestatiemanagement Hoofdwatersysteem' waarover Rijkswaterstaat de leiding en eindverantwoordelijkheid heeft. Deltares neemt een onderdeel van dat project voor haar rekening en dit onderzoek valt onder dat deel.

Centraal hierin staan de splitsingspunten, de Pannerdensche Kop en de IJsselkop, van de Rijn net nadat deze de Duits-Nederlandse grens is gepasseerd. In het project 'Ruimte voor de Rivier' wordt aangenomen dat deze splitsingspunten onderworpen zijn aan een beleidsmatige afvoerverdeling bij de maatgevende Boven-Rijn afvoer van $16.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith. Als de waterstand in een van de benedenstroomse riviertakken verandert, heeft dat invloed op de afvoerverdeling. Deze waterstand wordt beïnvloed door rivierkundige objecten en maatregelen die met betrekking tot deze objecten getroffen worden. In een situatie waarbij een van deze objecten in de buurt van het splitsingspuntengebied faalt, zal dit zich vertalen tot een verandering in de waterstand en dus de afvoerverdeling van een splitsingspunt. Dit onderzoek behandelt het effect van een verandering in waterstand op de afvoerverdeling van een splitsingspunt.

De opzet van dit verslag is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt de achtergrond van het project, de opdrachtbeschrijving en de doelstelling toegelicht. Vervolgens komt in hoofdstuk 3 de onderzoeksmethode aan bod, waarin de onderzoeksvragen, gebruikte software en aanpak behandeld worden. In hoofdstuk 4 worden de resultaten toegelicht en zal een duidelijk beeld geschetst worden van de situatie rondom de twee splitsingspunten. Uiteindelijk wordt er afgesloten met hoofdstuk 5, waarin conclusies en aanbevelingen met betrekking tot de resultaten gedaan worden.

2 Projectbeschrijving

De projectbeschrijving geeft de achtergrond van het project aan, en geeft een beschrijving van de opdracht en de doelstelling.

2.1 Achtergrond

Het project Ruimte voor de Rivier heeft als hoofddoel het rivierengebied van Nederland veiliger en aantrekkelijker als leefomgeving te maken. Het destijdse Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Rijkswaterstaat, die dit project opgezet hebben, willen dit realiseren door de overstromingskansen te verkleinen en de rivier meer ruimte te bieden. Doelstellingen hierin zijn de vergroting van ruimtelijke diversiteit van riviertakken, het vergroten van mogelijkheden van de hoofdvaarwegen (zoals het kunnen ondersteunen van grotere scheepsdrukke), behoud en ontwikkeling van landschappelijke waarden en de handhaving en versterking van het open karakter van rivieren (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2006). Ook is er een aantal beleidskeuzes gemaakt, zoals de vastgestelde afvoerverdelingen bij de maatgevende afvoer en de verdeling van extra afvoer over de Rijntakken. Rijkswaterstaat (RWS) is de beheerder van de grote rivieren, zie Figuur 2.1, en speelt dus een belangrijke rol binnen Ruimte voor de Rivier.

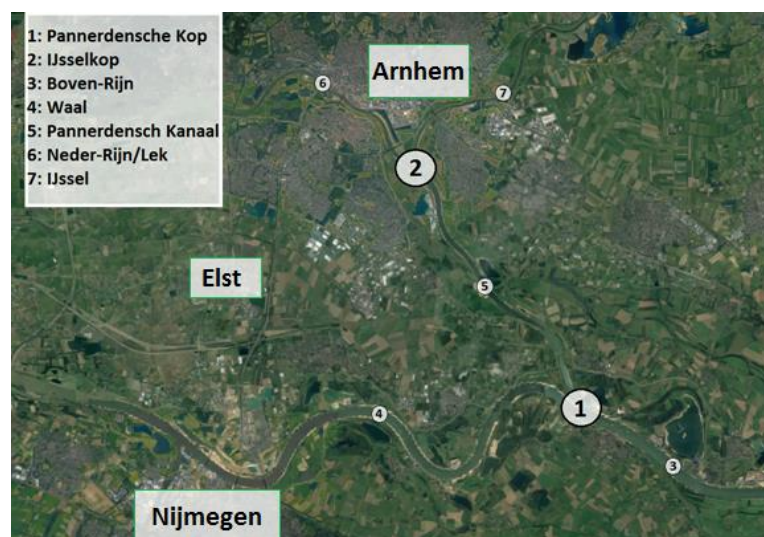


Figuur 2.1 Rivieren in Nederland

Het in 2017 ontstane ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) werkt aan de algemene leefbaarheid, bereikbaarheid en veiligheid van Nederland. De nadruk ligt hierbij vooral op infrastructuur. Door middel van om de vier jaar vastgestelde Service Level Agreements en met het oog op Ruimte voor de Rivier bespreekt het IenW met RWS welke prestaties zij minimaal moet leveren binnen het onderhoudsbudget, vastgesteld door het IenW. Hieruit is het project Programma Prestatie Management Hoofdwatersysteem (PM-HW)

voortgekomen dat erop gericht is deze afspraken na te komen. Concreet draagt dit project bij aan de waterveiligheid in Nederland door een methode te ontwikkelen die risico-gestuurd beheer en onderhoud van objecten langs rivieren (en de kust) ondersteunt (Asselman, 2018). Hiermee wordt onder andere in kaart gebracht welke objecten zich langs de rivieren bevinden, waar zij zich bevinden en wat het effect van falen op de bovenstroomse afvoerverdeling is. Een object wordt gedefinieerd als een fysiek voorwerp in of langs een rivier dat de waterstand kan beïnvloeden. Een object zorgt pas voor verandering in de waterstand als deze 'faalt'; dat wil zeggen als het niet meer naar behoren werkt of een negatieve ontwikkeling doormaakt. Voorbeelden van objecten zijn schutsluizen, zomerkades, stormvloedkeringen, nevengeulen en vegetatie. Voorbeelden van falen zijn het niet kunnen openen (van een schutsluis en stormvloedkeringen), bresvorming (in een zomerkade), dichtslibben (van nevengeulen) en verruwing en verruiging (door vegetatie).

De afvoerverdelingen op de splitsingspunten van de Rijn zijn onderworpen aan beleidsmatige waarden die gelden bij de maatgevende afvoer bij Lobith van $16.000\text{m}^3/\text{s}$ (Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, 2017). Deze worden getoond in Tabel 2.1. Het gaat om de afvoerverdelingen op de Pannerdensch Kop en IJsselkop, zie Figuur 2.2.



Figuur 2.2 Het stroomgebied van de Rijn vlak na de Duitse grens met de Pannerdensch Kop (1) waar de Boven-Rijn splitst in de Waal (4) en het Pannerdensch Kanaal (5) en de IJsselkop (2) waar het Pannerdensch Kanaal zich splitst in de Neder-Rijn – Lek (6) en IJssel (7)

Een rivierobject kan deze afvoerverdelingen beïnvloeden als het niet meer naar behoren werkt of faalt.

Het is onduidelijk hoe groot het effect van falen op de waterstand (in meter) op de lokale riviertak is, en daardoor het effect op de afvoerverdeling (in m^3/s) op het splitsingspunt. Om dit in beeld te krijgen is er binnen PM-HW door Deltares een tool ontwikkeld die alle rivierobjecten in kaart brengt en het verwachte effect van falen per object op de waterstand bij de splitsingspunten berekent. Vervolgens is het van belang om de verandering in afvoer per riviertak van het splitsingspunt te bepalen om uit te vinden of er nog aan de beleidsmatige afvoerverdeling voldaan wordt. Echter moet deze koppeling nog worden vastgesteld, omdat het onbekend is wat het effect op de afvoer vlak na het splitsingspunt is van een verandering in waterstand in een riviertak. Voor een aantal objecten zijn al berekeningen gemaakt die het effect van falen op de lokale waterstand en daardoor op de afvoerverdeling bepalen (Massoeurs, 2016), maar hieruit valt geen algemene relatie af te leiden die de verandering in afvoer van een riviertak bij een waterstandsverandering in een riviertak beschrijft.

Tabel 2.1 Afvoerverdelingen splitsingspunten (Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, 2017). De afvoeren van de IJssel en Neder-Rijn – Lek zijn inclusief het gemaal 'Kandia' (in totaal $6\text{m}^3/\text{s}$)

Tak	Aandeel (%)	Per tak (m^3/s)
Boven-Rijn	100	16.000
Waal	63,53	10165
Neder-Rijn – Lek	21,10	3380
IJssel	15,37	2461

2.2 Doelstellingen

Het hoofddoel van dit onderzoek is om een betrouwbare relatie tussen de waterstand en de afvoerverdeling op een splitsingspunt te vinden voor de maatgevende afvoer bij Lobith ($16.000\text{m}^3/\text{s}$). Hiermee moet de verandering in de afvoerverdeling door een falend rivierobject bepaald kunnen worden als de verandering in waterstand diensgevolge bekend is. Deze relatie (ook wel dh/dQ relatie) moet kunnen worden toegepast in vervolgonderzoeken naar waterstanden, afvoeren en afvoerverdelingen rondom de betreffende splitsingspunten van de Rijn.

Aangezien de tool van Deltares al waterstanden op de locatie van een falend rivierobject én op het splitsingspunt bevat, is het volgende doel om deze waterstanden te valideren. Als deze namelijk correct zijn, kunnen met deze waarden voor de verandering in de waterstand en de dh/dQ relatie direct de afvoerverdeling na het falen van een object bepaald worden. Als de waterstandsveranderingen incorrect zijn, zal er uiteraard een foute afvoerverdeling berekend worden.

De doelstellingen in het kort:

- Opstellen van een dh/dQ relatie die de verandering in afvoerverdeling als gevolg van waterstandsveranderingen op de Pannerdensche Kop en IJsselkop en weergeeft
- Validatie van de waarden met betrekking tot de waterstandsveranderingen in de tool van Deltares



Figuur 2.3 De Pannerdensche Kop



Figuur 2.4 De IJsselkop

3 Methode

3.1 Onderzoeksvragen

De onderzoeksvragen dienen als middel om de gestelde doelen te behalen. De hoofdonderzoeksvraag combineert beide doelen:

Hoe worden de afvoerverdelingen op de Pannerdensche Kop en de IJsselkop beïnvloedt door het falen van rivierobjecten?

De deelvragen dienen als hulpmiddel om een antwoord te vinden op de hoofdonderzoeksvraag:

- 1. Wat is het effect van een waterstandsverandering in een riviertak op de afvoerverdeling van een bovenstrooms splitsingspunt?*
- 2. Hoe en op welke manier faalt een object en heeft het falen enig effect op de afvoerverdeling van het bovenstroomse splitsingspunt?*
- 3. Hoe veranderen de afvoerverdelingen op de splitsingspunten door falen van een benedenstrooms object?*
- 4. Wat is de uitslag van de validatie van de tool van Deltares?*

Met behulp van de eerste deelvraag worden de afvoerverdelingen in de vorm van dh/dQ relaties voor de splitsingspunten bepaald. Ook worden de eerdere bevindingen van afvoerverdelingen hiermee vergeleken.

De tweede en de derde deelvraag focussen op het effect van falen van een rivierobject op de afvoerverdelingen. Voor deelvraag 2 zullen de reeds geanalyseerde objecten in Deltares' tool bekeken worden. Per splitsingspunt wordt één object uitgekozen. Vervolgens wordt gekeken of er een noemenswaardige verandering in de afvoerverdeling op het splitsingspunt plaatsvindt. In deelvraag 3 wordt het effect op de afvoerverdeling gekwantificeerd.

Deelvraag 4 is bedoeld om de gevonden resultaten te gebruiken als validatie voor de tool van Deltares. De waterstanden lokaal en op het splitsingspunten en de afvoerverdelingen, gevonden bij deelvraag 1, worden hierbij vergeleken met de waterstanden en afvoeren in de tool van Deltares.

3.2 Software omgeving

De gebruikte software speelt een belangrijke rol in de nauwkeurigheid van geleverde data en verkregen resultaten. Voor een nauwkeurige representatie van het onderzoeksgebied (de Rijn vanaf Lobith en haar zijtakken) worden aangeleverde kaarten gebruikt en bekeken in ArcGIS. Dit is een Geo-Informatie systeem waarbij kaarten bekeken kunnen worden en informatie gefilterd kan worden. In ArcGIS is een extensie-tool gebruikt, genaamd Baseline, die specifiek voor rivierdata gemaakt is. Tenslotte is WAQUA het 2D-hydraulisch simulatieprogramma waarin de modellen gedraaid worden en waarin rivierdata de output is. Zie Tabel 3.1 voor de gebruikte versies van de software.

Tabel 3.1 Gebruikte software en versie

Software	Versie
ArcGIS	10.2.1
Baseline	5.3.0.1212
SIMONA WAQUA	2016

3.2.1 Configuratie software

De aangeleverde situatie in de modellen waar de berekeningen mee uitgevoerd worden is de referentiesituatie. Verder is er met ArcGIS en Baseline een aantal maatregelen op de referentiesituatie (huidige rivieromgeving met 16.000m³/s bij Lobith) uitgevoerd. Een maatregel wordt in Baseline toegevoegd om een situatie te verkrijgen zoals deze bij een falend object bestaat (zoals een bres in een kade). Hiermee worden verschillende rivierkenmerken en –objecten meegenomen in de berekeningen.

3.2.1.1 ArcGIS en baseline

Baseline is een tool binnen ArcGIS die het toestaat om varianten en maatregelen op de referentiesituatie aan te maken. Vervolgens kan met Baseline de variant of maatregel in een gewenst model, in dit geval WAQUA, gemixt worden.

De geleverde kaarten bevatten de volgende informatie over de rivieren en welke objecten er rondom deze te vinden zijn:

- Ruwheden (zomerbed en uiterwaarden)
- Kunstwerken
- Meetpunten en uitvoerlocaties
- Hoogtes
- Hoogtelijnen (overlaten, kades, kribben, hoogteverschillen, breuklijnen en bandijken)
- Rivierkilometers
- Bodemhoogtes
- Oppervlaktewater (plassen)

Verder wordt een standaard model gebruikt waarin alle rivierkenmerken, varianten en maatregelen ten grondslag liggen. Dit is het model rijnl17_5-v1 en bevat vrijwel alle gegevens van het stroomgebied van de Rijn in Nederland. Maatregelen die voor dit onderzoek zijn toegevoegd zijn binnen rijnl17_5-v1 uitgevoerd en hebben betrekking op de verwijdering van kribben, de aanpassing van het zomerbed in de nevengeul bij Lent en de bres in de Marsdam. In paragraaf 3.3 meer hierover.

3.2.1.2 WAQUA

WAQUA is modelsoftware voor het berekenen van de waterbeweging in 2D. Als een model in WAQUA gedraaid wordt kunnen na afloop een groot aantal riviereigenschappen bekeken worden. Dit zijn riviereigenschappen zoals waterdiepte, stroomsnelheid, afvoer, etc. (in Bijlage 8A staat een complete lijst met riviereigenschappen die in WAQUA berekend worden). Deze riviereigenschappen worden voor elke tijdstap opnieuw berekend voor het handmatig ingestelde tijdsbestek.

De waarde van deze riviereigenschappen zijn relatief sterk afhankelijk van een aantal standaardinstellingen in het model waar WAQUA rekening mee houdt.

Zo wordt voor dit onderzoek een stationaire afvoer van $16.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith toegepast. Deze afvoer komt gemiddeld eens in de 1250 jaar voor. Hoewel een dynamische afvoergolf een realistischer scenario weergeeft, omdat er hierbij met berging en golfafvlakking rekening gehouden wordt, wordt de stationaire afvoergolf gekozen omdat deze 'wetenschappelijker' is. Dat wil zeggen dat het optreden van effecten van verschillende afvoeren beter in detail bestudeerd kan worden en niet met natuurlijke omstandigheden rekening gehouden moet worden om afvoeren van bepaalde waarden te onderzoeken. Daarbij wordt een berekening met een stationaire afvoergolf veel sneller uitgevoerd. Er wordt vooral met een dynamische afvoergolf gerekend om de verandering in waterberging van een ingreep in kaart te brengen. Echter wordt dit in dit onderzoek niet onderzocht (Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, 2017).

Verder zijn de twee regelwerken 'Pannerden' en 'Hondsbroeksche Pleij' vast ingesteld. Hierbij staat het regelwerk Pannerden ingesteld op een hoogte van $13,50\text{m} + \text{NAP}$ (bij $16.015\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith) en daarmee wordt $10.165\text{m}^3/\text{s}$ naar de Waal gestuwd.

Het regelwerk Hondsbroeksche Pleij is compleet gesloten voor afvoeren tussen de $9.990\text{m}^3/\text{s}$ en $16.015\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith.

Vanaf $16.015\text{m}^3/\text{s}$ en meer bij Lobith wordt het regelwerk actief gestuurd doordat het de Neder-Rijn ontziet van extra afvoer. Deze wordt namelijk op $3380\text{m}^3/\text{s}$ als maximale afvoer gehouden. Echter is dit een onrealistisch gemodelleerde instelling, want het regelwerk wordt maximaal één keer per jaar ingesteld en niet per verandering in waterstand).

Ten slotte is voor afvoeren lager dan $10.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith een schot uit het regelwerk verwijderd en staat het dus lager ingesteld. Het regelwerk bestaat uit een aantal slots (openingen die gesloten kunnen worden) en alléén het 11^e slot staat open bij afvoeren lager dan $10.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith (Overduin, 2016).

Voor afvoeren lager dan $16.015\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith worden deze regelwerkinstellingen gebruikt. Bij afvoeren hoger dan $16.015\text{m}^3/\text{s}$ zal de actieve sturing van het regelwerk in het model weggehaald moeten worden en één instelling gekozen worden.

Zie Bijlage 8B en 8C voor de geïmplementeerde regelwerk instellingen in WAQUA.

De standaard regelwerk instellingen in WAQUA zullen onaangepast in het onderzoek gebruikt worden. De regelwerken worden in de realiteit maximaal één keer per jaar bijgesteld en zo hoort dit ook in het model geïmplementeerd te zijn. Tijdens een hoogwatergolf kan een regelwerk vanzelfsprekend niet bijgesteld worden. Dit geldt ook voor afwijkende afvoeren bij het falen van objecten. Een verandering in de instelling van een regelwerk leidt tot verschillen van maximaal $400\text{m}^3/\text{s}$ op de Rijntakken (Spruyt & Asselman, 2017).

Een verandering zou dus eventueel het complete effect van een falend object kunnen opheffen in een onrealistisch gestuurde situatie.

Zie Bijlage 8D voor de afvoerverdelingen op de Pannerdensche Kop en IJsselkop bij de bovengenoemde instellingen. De totale afvoer door de dwarsdoorsnede van de rivier wordt aan de rechteroever weergegeven. De totale afvoer van de breedte wordt cumulatief opgeteld van de linker tot de rechter oever.

Als men bijvoorbeeld de afvoer in het midden van de rivier op rivierkilometer 867 wil weten, moet voor elk meetpunt tussen de linker oever en het midden van de rivier de afvoer op dat punt opgeteld worden.

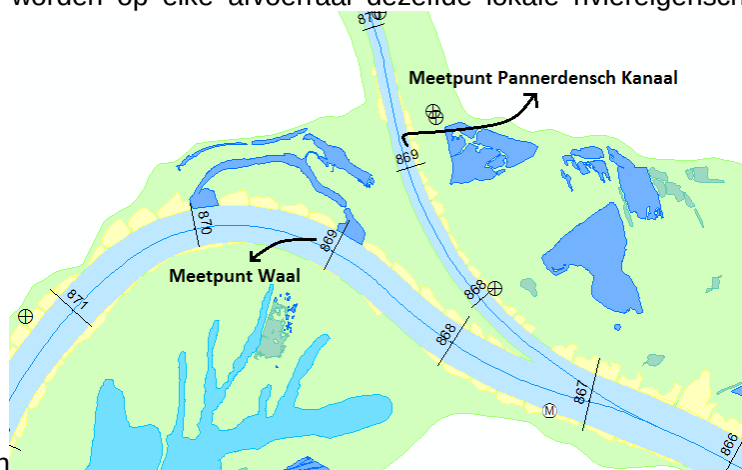
3.3 Methodiek

De methodiek beschrijft de aanpak per deelvraag.

3.3.1 Afvoerverdeling

Om een relatief betrouwbare dh/dQ relatie op te kunnen stellen die de verandering in de afvoerverdeling als gevolg van een verandering in waterstand bij een splitsingspunt weergeeft, moeten bij verschillende veranderingen in waterstanden in een riviertak de bijbehorende afvoeren berekend worden. Aangezien de afvoer bij Lobith niet verandert, betekent dat het verschil in afvoer in een riviertak gecompenseerd wordt in de andere riviertak. Ofwel: als de afvoer in een riviertak afneemt, leidt dat tot een toename van de afvoer in de andere riviertak. In eerste instantie worden de afvoerverdelingen bepaald aan de hand van een Boven-Rijn afvoer van $16.000\text{m}^3/\text{s}$. Ook zullen de verdelingen voor een Boven-Rijn afvoer van $8.000\text{m}^3/\text{s}$ bepaald worden om te kijken of een verandering in waterstand bij een andere Boven-Rijn afvoer een vergelijkbaar effect heeft op de afvoerverdeling. Zo kan worden nagegaan of de gevonden relatie toepasbaar is bij alle afvoeren, of alleen bij afvoeren van ongeveer $16.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith.

De waterstand en afvoer van een riviertak worden telkens vlak na het splitsingspunt en voor elke berekening op dezelfde locatie gemeten. Deze locatie wordt met een rivierkilometer aangegeven. Als er van een waterstand(verschil) of afvoer(verschil) gesproken wordt in een riviertak bij het splitsingspunt, wordt naar deze rivierkilometer, ookwel afvoerraai, gerefereerd. In WAQUA worden op elke afvoerraai dezelfde lokale riviereigenschappen berekend. Zie



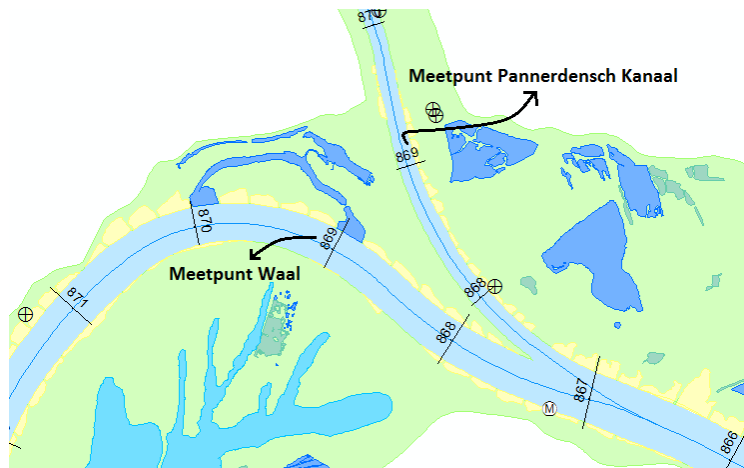
Tabel 3.2 en
Figuur 3.1 voor toelichting.

Tabel 3.2 De meetpunten voor de afvoer en waterstand per riviertak

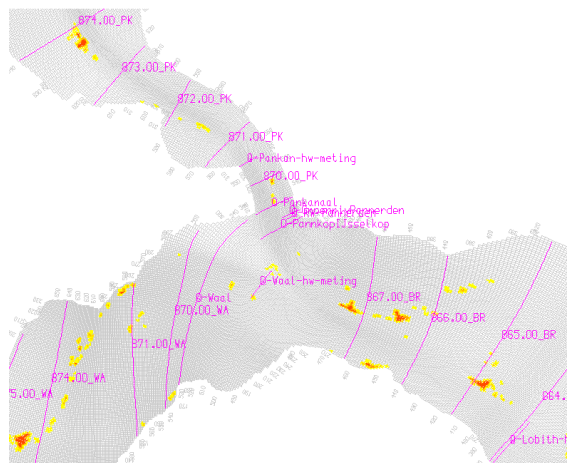
Riviertak	Afvoerraai (rivierkilometer) waterstand WAQUA	Afvoerraai (rivierkilometer) debiet WAQUA
Waal	869_Waal	Q_Pankanaal
Pannerdensch kanaal	869_PK	Q_Waal
Neder-Rijn – Lek	881_NRL	881_NRL
IJssel	880_IJ	Q_Yssel

In Figuur 3.2 en Figuur 3.3 valt te zien dat de gekozen afvoerraaien als meetpunten niet pal achter het splitsingspunt liggen. Dit heeft als rede dat afvoerraaien dicht bij de splitsingspunten vaak alleen de gegevens van het zomerbed meten, of dat op een afvoerraai

niet zowel de waterstand als de afvoer gemeten worden, maar dat verderop wel weer het geval is. Als er van een afvoer gesproken wordt, dan gaat het om de afvoer over de gehele rivierbreedte (zomerbed + uiterwaarde).



Figuur 3.1 De meetpunten (afvoerraaien) van de Waal en het Pannerdensch Kanaal; rivierkilometer 869 voor beide takken



Figuur 3.2 De afvoerraaien op de Pannerdensch Kop (Q-Waal en Q_Pankanaal worden gebruikt)



Figuur 3.3 De afvoerraaien op de IJsselkop (Q-IJssel en 881.00_NR worden gebruikt)

3.3.2 Maatregelen

Om een simulatie te verkrijgen waarbij er een toe- of afname in waterstand in een riviertak plaatsvindt, moet er in het model iets aangepast worden dat effect heeft op de waterstand. In Baseline bevinden zich een aantal elementen die aangepast kunnen worden met eventueel resultaat dat de waterstand verandert, zie 3.2.1.1.

In deze studie is gekozen om ten eerste de ruwheid van het zomerbed aan te passen, omdat dit een direct effect heeft op de waterstand en het eenvoudigst aan te passen is in WAQUA. Een aantal aanvullende berekeningen zijn gemaakt waarbij de waterstanden veranderen doordat kribben in het model zijn verwijderd. De verwijdering van kribben heeft namelijk het effect dat de stroomsnelheid op de plek van verwijdering toeneemt waardoor de waterstand

daalt en de afvoer toeneemt. Er zal nu per alinea een uitleg voor elke genomen maatregel volgen.

3.3.2.1 Ruwheid zomerbed

De ruwheid van het zomerbed bepaalt onder andere de afvoer en waterstand. Een hogere ruwheidswaarde van het zomerbed heeft als resultaat een waterstandsstijging en een afvoerdaling.

In WAQUA wordt de ruwheid van het zomerbed aan de hand van de Nikuradse ruwheidswaarde berekend:

$$k_{alluvial} = \alpha_{alluvial} \cdot h^{0,7} \cdot (1 - e^{-\beta \cdot h^{-0,3}}) \quad (1)$$

Waarbij:

- $K_{alluvial}$ = Nikuradse k (m) ruwheid
- $\alpha_{alluvial}$ = coëfficiënt voor kalibratie
- β = coëfficiënt voor kalibratie
- h = waterdiepte (m)

Om een andere ruwheidswaarde aan het zomerbed toe te kennen, moet dus de $k_{alluvial}$ aangepast worden. In WAQUA kan deze alleen aangepast worden als coëfficiënten $\alpha_{alluvial}$ en β veranderen, omdat dit de enige direct aanpasbare parameters zijn die in de formule (1) voorkomen.

In tegenstelling tot β staat $\alpha_{alluvial}$ in lineair verband met $k_{alluvial}$ en aanpassing hiervan zal dus voor de grootste verandering in $k_{alluvial}$ zorgen. De originele ruwheidscoëfficiënten $\alpha_{alluvial}$ voor de vier riviertakken zijn weergegeven in Tabel 3.3.

Om een relatief hoge reeks aan meetgegevens te verkrijgen wordt voor elke riviertak apart de ruwheid aangepast door $\alpha_{alluvial}$ tussen de 9x zo klein, 9x zo groot, 8x zo klein, 8x zo groot, ... te variëren. Als $\alpha_{alluvial}$ bijvoorbeeld met 9 vermenigvuldigd wordt (9x zo groot), wordt $k_{alluvial}$ dat ook en daardoor wordt de ruwheid van het zomerbed van die riviertak ook 9x zo hoog. Vervolgens worden de bijbehorende waterstanden en afvoeren op de afvoerradien opgeschreven. Daarna worden deze punten in een spreidingsdiagram genoteerd en wordt met een trendlijn de dh/dQ relatie voor elke riviertak bepaald.

Tabel 3.3 De originele ruwheidswaarde in het zomerbed in de bovenloop van elke riviertak

Riviertak	Ruwheidscoëfficiënt $\alpha_{alluvial}$
Waal	0,0765
Pannerdensch Kanaal	0,0964
Neder-Rijn – Lek	0,0656
IJssel	0,0585

3.3.2.2 Kribben

Het verwijderen van bestaande kribben in het model zorgt voor een snellere doorstroom van rivierwater wat tot een lagere lokale waterstand en een toename van de afvoer leidt. Door de resultaten van deze berekeningen in dezelfde figuur te plotten kunnen de resultaten van het verwijderen van kribben met de trendlijn van de zomerbed-ruwheid vergeleken worden. De overeenkomstigheid, of afwijking, tussen beide gevonden relaties zegt iets over de nauwkeurigheid van de gevonden dh/dQ relatie. De gegevens van verwijdering van kribben kunnen ter aanvulling voor de dh/dQ relatie gebruikt worden. Er worden telkens kribben benedenstrooms van een splitsingspunt verwijderd.

Ten eerste worden er op de Waal 20 opeenvolgende kribben verwijderd, zie Figuur 3.4. Dit wordt gedaan om inzicht in het effect van verwijderen van kribben te krijgen. Deze kribben bevinden zich vlakbij het splitsingspunt.

Vervolgens worden op elke riviertak tussen zes opeenvolgende rivierkilometers kribben verwijderd. Om welke rivierkilometers het gaat, staat in Tabel 3.4.

Bij het verwijderen van kribben is het van belang dat de punten waar de afvoer en waterstand gemeten worden niet na deze verwijderde kribben ligt. Een meetpunt dat bovenstrooms hiervan ligt zal namelijk een waterstandsafname en afvoertoename weergeven. Als een meetpunt na het gebied van verwijderde kribben ligt kan er zowel een waterstandstoename als afvoertoename gemeten worden. Aangezien het effect van kribben-verwijdering vergeleken zal worden met het effect van ruwheidsverandering kan deze vergelijking alleen plaatsvinden als beide effecten beschreven worden in waterstandsafname en afvoertoename (of vice versa).

Tabel 3.4 Rivierkilometers waartussen alle kribben zijn verwijderd voor elke riviertak

Riviertak	Rivierkilometers waartussen alle kribben verwijderd zijn
Waal	870 en 875
Pannerdensch kanaal	871 en 876
Neder-Rijn – Lek	882 en 887
IJssel	881 en 886

Er is voor elke riviertak een traject gekozen waarbij elke rivierkilometer minstens één krib aan weerszijden van de oevers heeft. De 5 rivierkilometers zijn gekozen om een groot genoeg effect op de waterstand en afvoerverdeling te verkrijgen. Het doel is om voor elke riviertak een relatief vergelijkbare situatie te creëren en een relatief groot effect van kribben verwijdering in de resultaten terug te zien.

Voor zowel de methode van de ruwheid als de kribben geldt dat de nauwkeurigheid van de gevonden waarden niet enorm hoog is. Dit komt vooral door andere gevolgen van deze ingrepen, zoals verandering van het doorstroomprofiel en andere effecten die zich op de achtergrond in het model afspelen. Echter wordt in de dh/dQ relatie de waterstandsverschillen en afvoerverschillen tegen elkaar uitgezet, wat een hogere nauwkeurigheid oplevert.

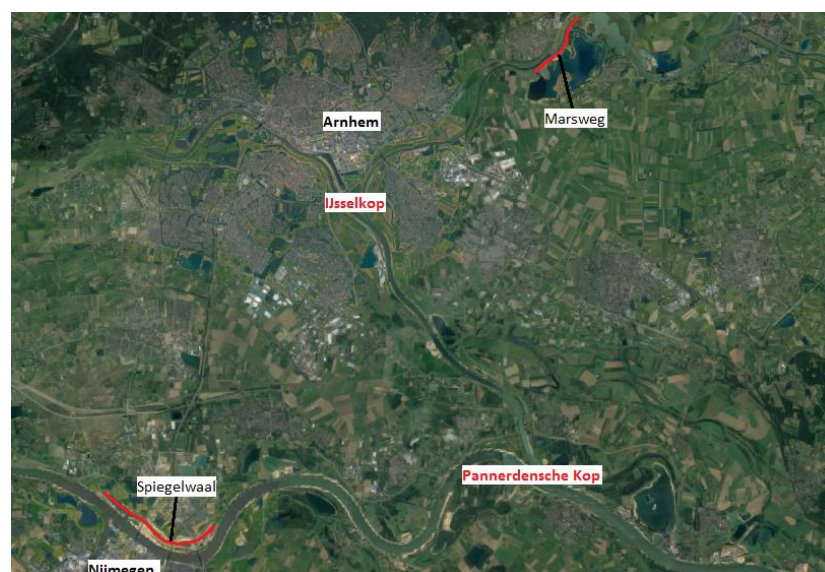


Figuur 3.4 Met behulp van ArcGIS Baseline zijn 20 kribben verwijderd. Kribben zijn geschematiseerd als dunne zwarte lijntjes zoals te zien is. De dikkere zwarte lijnen met getallen ernaast geven rivierkilometers weer.

3.3.3 Falen object

De nevengeul in Lent bij Nijmegen (Spiegelwaal) en de kade 'Marsweg' bij Lathum zijn de gekozen objecten waarvan het falen geanalyseerd wordt. Deze objecten worden ook in de tool bestudeerd waardoor validatie dus plaats kan vinden. Ook zijn deze twee objecten relatief groot en het (lokale) effect op de waterstand bij het falen zal naar verwachting dan ook niet klein zijn. Zie Figuur 3.5 voor de locaties van de gekozen rivierobjecten.

Hierbij wordt het falen van de Spiegelwaal gezien als het compleet dichtslippen (tot het niveau van de uiterwaarde) van het zomerbed en de Marsweg faalt door vorming van een bres van 77 meter. Deze faaldefinitie (dus het compleet dichtslippen en een bres van 77m) komt overeen met de definitie die is gehanteerd in de tool.



Figuur 3.5 De gekozen objecten zijn de 'Spiegelwaal' (nevengeul bij Lent bij Nijmegen) en de Marsdam (waarover de Marsweg loopt bij Lathum) in het rood

3.3.4 Validatie

In het validatieproces van de tool worden de gevonden effecten op de afvoerverdeling en waterstand vergeleken met de effecten die zijn opgenomen in de tool. Als deze overeenkomen kan geconcludeerd worden dat de resultaten relatief betrouwbaar zijn, omdat deze overeenkomend zijn voor twee verschillende rekenmethoden. Als deze niet overeenkomen kunnen hier meerdere oorzaken voor zijn. Bij de validatie worden deze oorzaken bekeken en hun invloed op de uitkomsten bestudeerd.

Een mogelijke oorzaak het gebruik van een ander model (1D hydraulisch model 'SOBEK' in plaats van het 2D hydraulisch model 'WAQUA') kunnen zijn.

3.4 Baseline varianten

Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden moeten er in Baseline een aantal varianten aangemaakt worden.

Er is voor elke situatie waarbij de zomerbed ruwheid aangepast is een nieuwe variant aangemaakt. Deze variant krijgt dan de extensie rijnlj17_5-v1_nrl2groot, als de ruwheid van de Neder-Rijn – Lek 2x wordt vergroot.

Voor elke situatie dat kribben zijn verwijderd wordt ook een nieuwe variant in Baseline aangemaakt, met de extensie rijnlj17_5-v1_nrlkribben, wanneer kribben worden verwijderd op de Neder-Rijn - Lek.

Ook zijn er varianten aangemaakt die het falen van objecten beschrijven. Zo is er een variant gemaakt voor het compleet dichtslippen van de Spiegelwaal en een variant waarin een bres in de kade Marsweg gemodelleerd zit.

4 Resultaten

Dit hoofdstuk bevat alle resultaten van de uitgevoerde (model)berekeningen.

In paragraaf 4.1 worden de relaties van de afvoerverdelingen die opgezet zijn door ruwheden aan te passen getoond. Vervolgens wordt in paragraaf 4.2 gekeken hoe zeker de gevonden relaties te zijn door waterstanden op een andere manier te beïnvloeden, namelijk door een aantal kribben te verwijderen en het effect van falen van twee objecten op de afvoerverdeling te vergelijken. In paragraaf 4.3 wordt gekeken in hoeverre de bevindingen overeenkomen met de gegevens in de tool van Deltares.

4.1 Effect van waterstandsveranderingen op de afvoerverdelingen

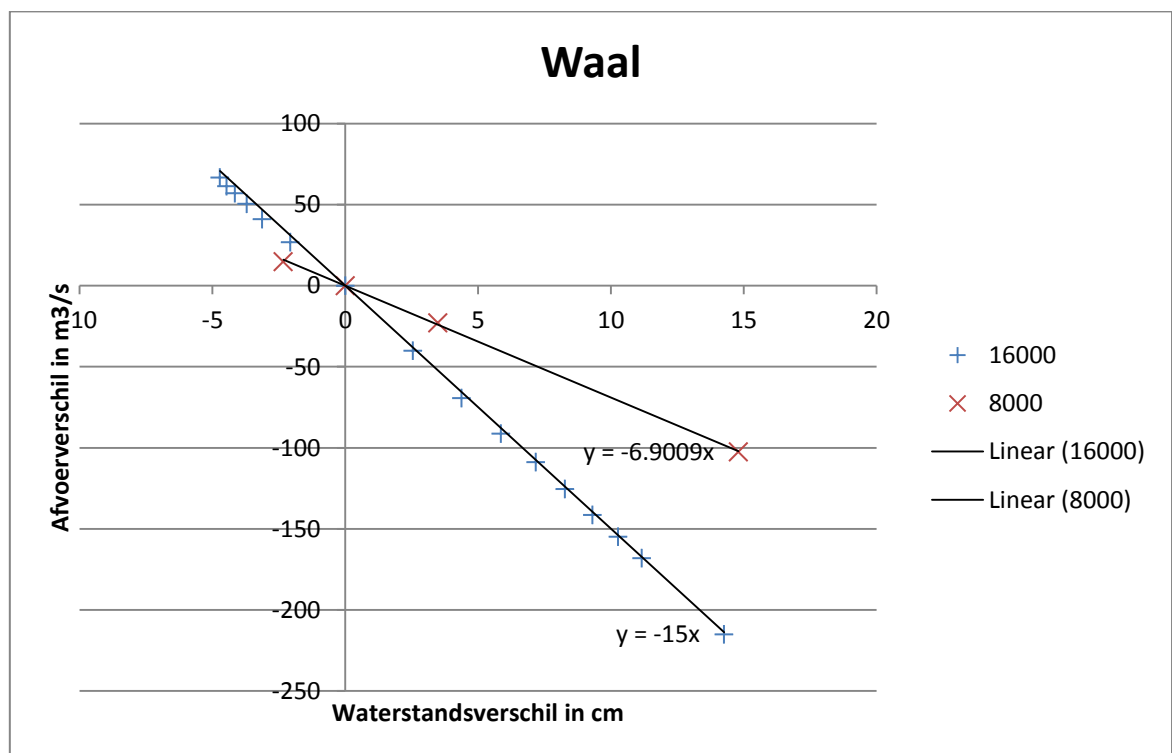
De afvoerverdelingen voor de splitsingspunten Pannerdensche Kop en IJsselkop worden bepaald aan de hand van dh/dQ relaties voor elk van de vier bijbehorende riviertakken. Deze dh/dQ relaties zijn opgesteld door het waterstandsverschil en afvoerverschil tussen de huidige situatie en situaties met een aangepaste ruwheid van het zomerbed te noteren. Vervolgens is er met behulp van Microsoft Excel een relatie aan de berekende waarden gefit die de verhouding waterstands- en afvoerverschil weergeeft.

De afvoerverdeling onder beleidsmatige omstandigheden is zoals aangegeven in Tabel 2.1 in paragraaf 2.1. Deze afvoerverdeling verandert als een riviertak een afwijkende afvoer te verduren krijgt. Als de afvoer op één riviertak met een bepaalde waarde toeneemt, zal de afvoer op de andere riviertak met dezelfde waarde afnemen.

Zie bijlage 8E voor een uitgebreide tabel waarin aangepaste ruwheden, waterstanden en afvoeren uitgewerkt staan.

4.1.1 Pannerdensche Kop

Op de Pannerdensche Kop splitst de Boven-Rijn in de Waal en het Pannerdensch Kanaal. Bij een Boven-Rijn afvoer van $16.000\text{m}^3/\text{s}$ te Lobith, gaat $10.165\text{m}^3/\text{s}$ naar de Waal. Wanneer de waterstanden op de bovenloop toenemen, dan neemt de afvoer over de Waal af. Bij een waterstandstoename van 10cm is de afname van de afvoer ongeveer $150\text{m}^3/\text{s}$. Bij een afvoer van $8.000\text{m}^3/\text{s}$ te Lobith is deze relatie anders. Wanneer de waterstand dan met 10cm afneemt, leidt dit toe een afname van de afvoer met ongeveer $70\text{m}^3/\text{s}$. Zie Figuur 4.1.



Figuur 4.1 De dh/dQ relatie voor de Waal. De kruisjes laten de waterstands- en afvoerverschillen zien voor elke keer dat de ruwheid in het zomerbed. De relatie voor de verhouding tussen waterstandstoename en afvoerafname staan beneden bij de zwarte trendlijnen. De rode kruizen geven de situatie weer voor een afvoer van $8.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith en de blauwe kruizen geven de situatie weer voor een afvoer van $16.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith.

Op dezelfde manier zijn relaties opgesteld voor het Pannerdensch Kanaal voor $16.000\text{m}^3/\text{s}$ en $8.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith en is er voor beide afvoeren een soortgelijke relatie opgesteld, zie daarvoor Figuur 8.3 in bijlage 8F. Bij een Boven-Rijn afvoer van $16.000\text{m}^3/\text{s}$ te Lobith, gaat $5.835\text{m}^3/\text{s}$ naar het Pannerdensch Kanaal. Bij een waterstandstoename van 5cm op het Pannerdensch Kanaal, neemt de afvoer af met ongeveer $120\text{m}^3/\text{s}$. Bij een afvoer van $8.000\text{m}^3/\text{s}$ te Lobith is de afvoerafname ongeveer $50\text{m}^3/\text{s}$ bij een waterstandstoename van 5cm .

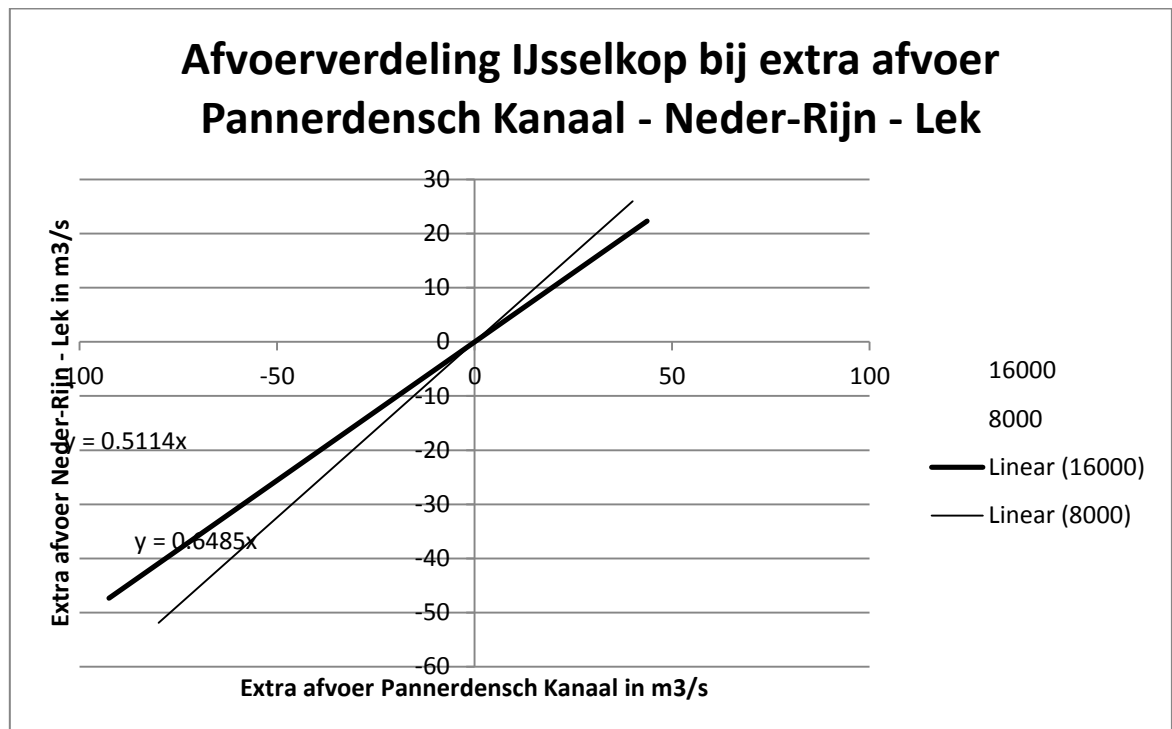
4.1.2 IJsselkop

Op de IJsselkop splitst het Pannerdensch Kanaal in de IJssel en de Neder-Rijn – Lek. Eventuele extra afvoer van het Pannerdensch Kanaal wordt dus ook over deze twee rivieren verdeeld. Bij een Boven-Rijn afvoer van $16.000\text{m}^3/\text{s}$ te Lobith, gaat $3380\text{m}^3/\text{s}$ naar de Neder-Rijn – Lek en $2461\text{m}^3/\text{s}$ naar de IJssel. De relaties voor de afvoerverdeling op de IJsselkop zijn op dezelfde manier opgesteld als voor de Pannerdensch Kop, zie daarvoor Figuur 8.4 en Figuur 8.5 in bijlage 8F.

Bij een afvoer van $16.000\text{m}^3/\text{s}$ te Lobith vindt bij een waterstandstoename van 5cm op de bovenloop van de Neder-Rijn – Lek vindt een afvoerafname van ongeveer $50\text{m}^3/\text{s}$ plaats. Voor een afvoer van $8.000\text{m}^3/\text{s}$ te Lobith vindt een afvoerafname van ongeveer $25\text{m}^3/\text{s}$ plaats, bij een waterstandstoename van 5cm . Zie Figuur 8.4.

De riviertakken die hun oorsprong bij de IJsselkop vinden zullen extra afvoer te verduren krijgen als de afvoer van het Pannerdensch Kanaal toeneemt. Bij een afvoer van $16.000\text{m}^3/\text{s}$

bij Lobith wordt extra afvoer van het Pannerdensch Kanaal vrijwel gelijk verdeeld over de IJssel en Neder-Rijn – Lek. Bij een afvoer van $8.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith gaat ongeveer $1/3$ naar de IJssel en $2/3$ naar de Neder-Rijn – Lek. De Neder-Rijn – Lek krijgt dan dus bijna twee keer zo veel extra afvoer als de IJssel. Zie Figuur 4.2 voor de extra afvoer over de Neder-Rijn – Lek bij extra afvoer over het Pannerdensch Kanaal.



Figuur 4.2 Als het Pannerdensch Kanaal extra afvoer te verduren krijgt zal deze vanzelfsprekend verdeeld worden over de Neder-Rijn – Lek en de IJssel op de IJsselkop. Deze figuur laat zien dat voor een afvoer van $16.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith nagenoeg de helft van deze afvoer over de Neder-Rijn – Lek gaat. Bij een afvoer van $8.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith bijna $2/3$ van de extra afvoer van het Pannerdensch Kanaal naar de Neder-Rijn – Lek gaan.

4.2 Zekerheid gevonden relaties voor afvoerverdelingen

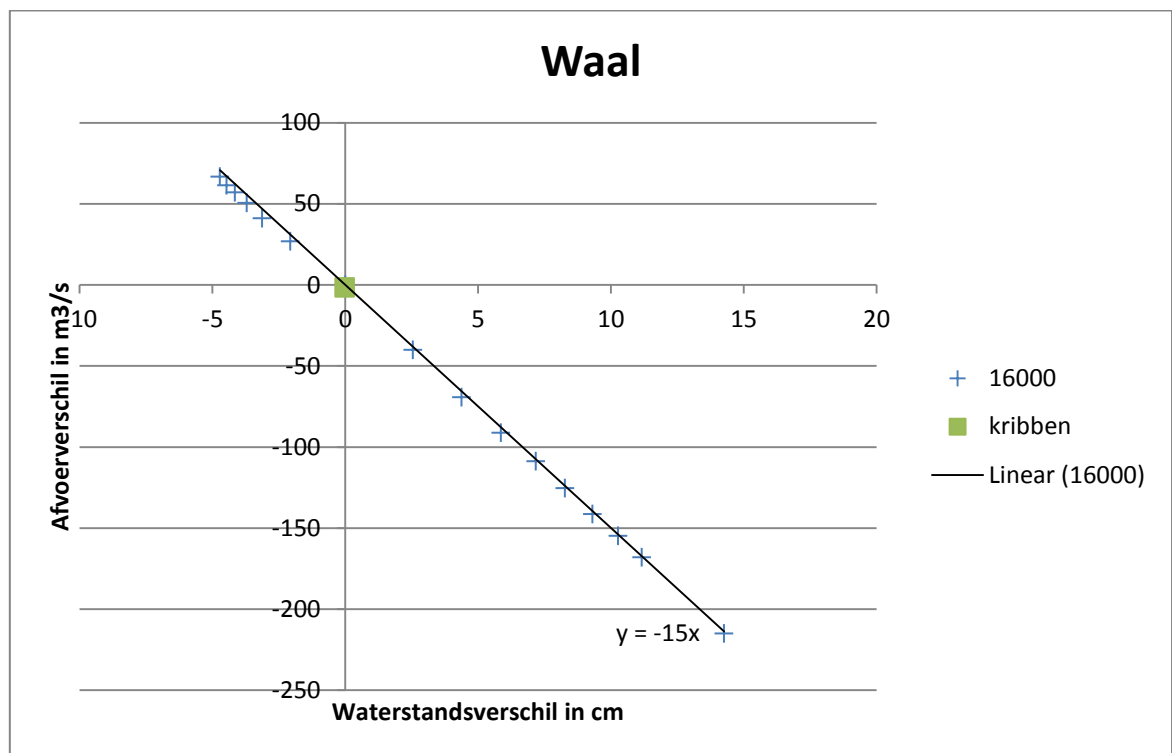
De relaties in 4.1 zijn gevonden door de ruwheid van het zomerbed te veranderen. Om de zekerheid van deze relaties te bepalen worden andere objecten in het riviergebied aangepast. Dit zal ook tot een waterstandsverschil leiden dat een afvoerverschil als gevolg heeft. In 4.2.1 worden een aantal kribben verwijderd wat tot waterstandsvaling leidt. In 4.2.2 worden twee objecten aangepast zodat er een waterstandsverandering ontstaat. In de praktijk 'falen' deze objecten. Dit is het dichtslippen van de nevengeul bij Lent op de Waal en het ontstaan van een bres van 77 meter in de Marsdam bij Lathum op de IJssel.

4.2.1 Kribben

In alle vier riviertakken zijn alle kribben verwijderd die zich tussen zes opeenvolgende rivierkilometers vlak na een splitsingspunt bevinden. Dit is gedaan voor een afvoer van $16.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith.

Op de bovenloop van de Waal levert dit bijna geen waterstandsverschil en dus geen afvoerverschil op. Dit is een onverwachts resultaat, omdat op elke andere riviertak wel een duidelijk effect op de waterstand plaatsvindt. Een verklaring hiervoor zou in het model kunnen zitten, specifiek in de hoeveelheid verwijderde kribben, in de berekening voor de

waterstanden na het verwijderen van de kribben, of dat het model oprecht geen waterstandsverandering ziet. Zie Figuur 4.3. In deze figuur en de figuren voor de andere drie riviertakken geeft het groene vierkantje telkens de waterstandsverandering en afvoerverandering ten gevolge van het verwijderen van kribben aan. De zwarte trendlijn is de relatie gevonden in 4.1 voor een afvoer van $16.000\text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith voor elke riviertak



Figuur 4.3 Het groene vierkantje laat de waterstands- en afvoerverandering zien ten gevolge van het verwijderen van kribben tussen 6 rivierkilometers. Hierdoor zal de waterstand dalen en de afvoer toenemen. Opvallend is dat het effect op de waterstand klein is.

Op het Pannerdensch Kanaal daalt hierdoor wel de waterstand met 5cm waardoor de afvoer met ongeveer $60\text{ m}^3/\text{s}$ toeneemt. Zie Figuur 8.7 in bijlage 8G.

Op de Neder-Rijn – Lek leidt het verwijderen van kribben tot ongeveer 3cm waterstandsvaling en een afvoertoe name van bijna $50\text{ m}^3/\text{s}$. Zie Figuur 8.8 in bijlage 8G.

Ten slotte ontstaat er op de IJssel een apart beeld omdat hier zowel waterstandsstijging (ongeveer 2cm) en afvoer stijging (ongeveer $30\text{ m}^3/\text{s}$) plaatsvindt. Zie Figuur 8.9 in bijlage 8G. Uit deze figuren blijkt dat de waterstandsverandering door verwijderen van kribben niet gelijk is aan waterstandsverandering door verandering van ruwheid. Alleen voor het Pannerdensch Kanaal lijkt de waterstandsverandering door kribben verwijdering in het verlengde van de relatie van de ruwheden te liggen.

Verder geeft het verwijderen van kribben bij de Waal en de IJssel onverwachtste en aparte resultaten. Het verwijderen van kribben om het effect van waterstandsverandering op een afvoerverdeling te bepalen lijkt hierdoor dus willekeurig en onbetrouwbaar.

4.2.2 Dichtslibben nevengeul Lent

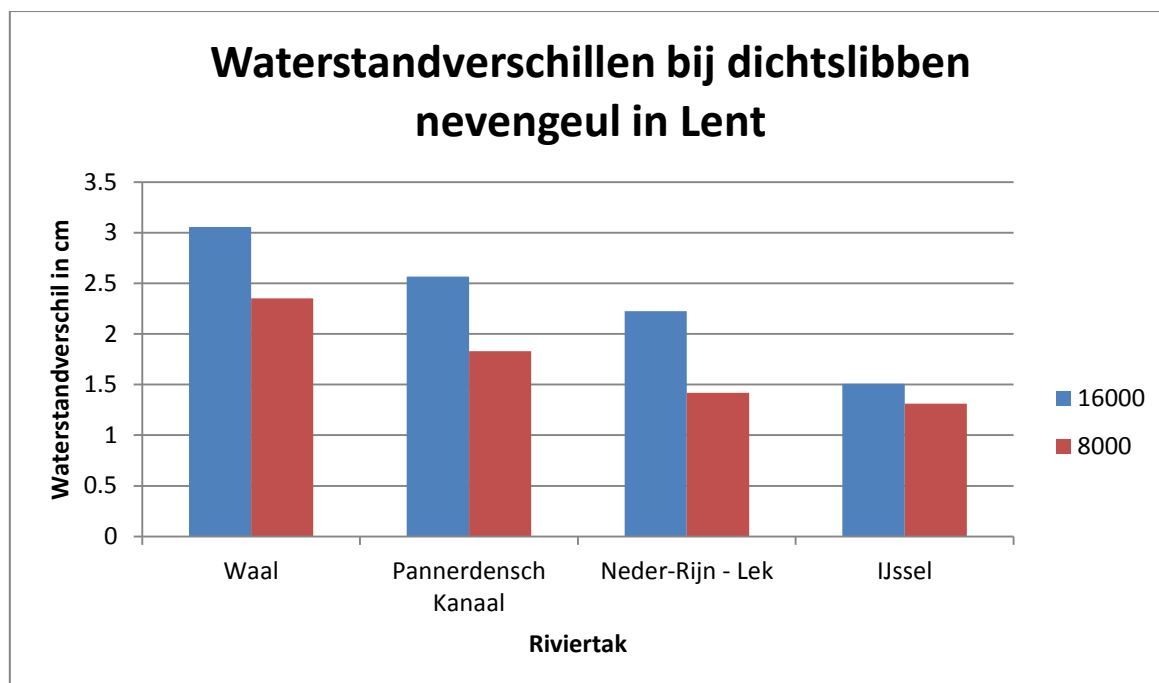
Het dichtslibben van de nevengeul wil zeggen dat het sediment in het zomerbed van de nevengeul tot aan de oeverranden rijkt. Dit betekent dat de afvoer door de nevengeul afneemt. De afvoer door de nevengeul neemt niet af tot nul omdat er nog steeds een stroming plaatsvindt vergelijkbaar aan een stroming door een reguliere uiterwaard. Het effect

van dichtslibben van de nevengeul op de waterstand op de Waal en de afvoer over de vier Rijntakken is weergegeven in Figuur 8.11 in bijlage 8H. Het waterstandsverschil en afvoerverschil door het dichtslibben van de nevengeul in elke riviervak wordt weergegeven in Tabel 4.1.

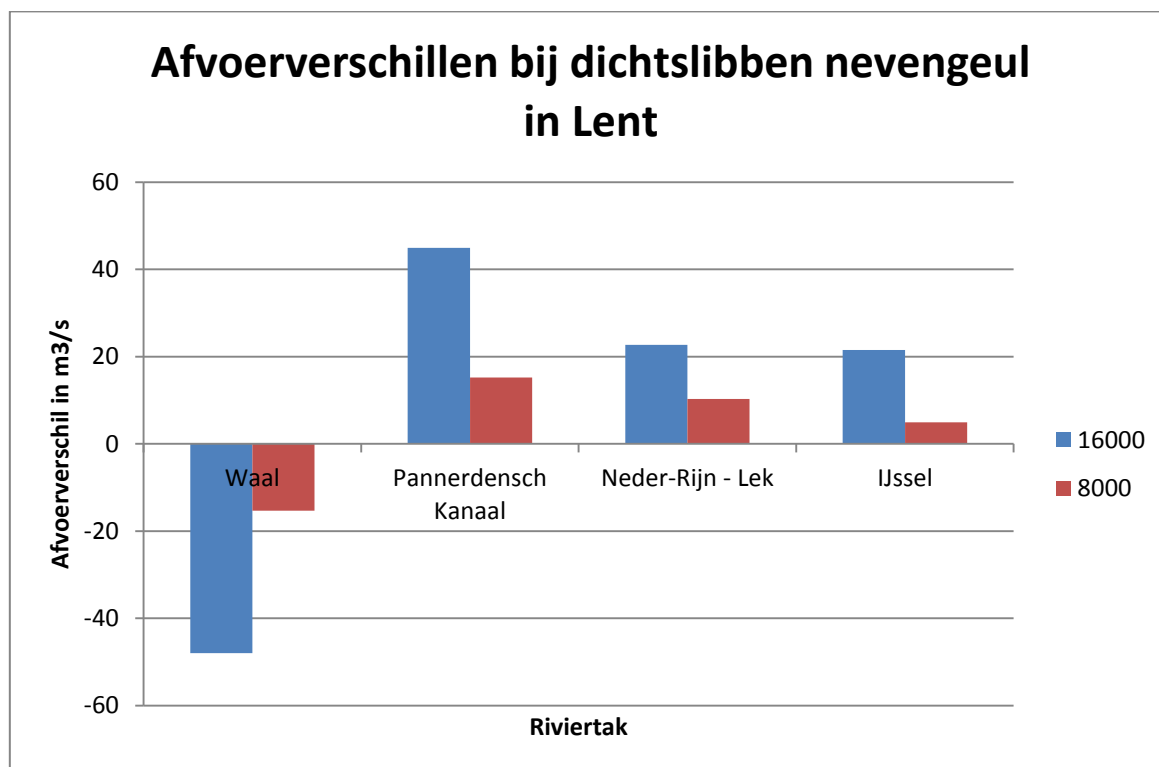
Tabel 4.1 De afvoer per riviervak na het dichtslibben van de nevengeul in Lent. De kolom 'verschil' toont het afvoerverschil met de referentie situatie en de kolom 'aandeel' toont het aandeel aan afvoer per riviervak over het bijbehorend splitsingspunt in procent

Riviervak	Per tak (m ³ /s)	Verschil (m ³ /s)	Aandeel (%)
Boven-Rijn	16.000	0	100
Pannerdensch Kop			
Waal	10119	-48.0	63,2
Pannerdensch Kanaal	5881.1	44.9	36,8
IJsselkop			
Neder-Rijn – Lek	3418.9	22.7	58,1
IJssel	2466.1	21.6	41,9

Het dichtslibben van de nevengeul in Lent zorgt voor een waterstandsverhoging op de Waal. Bij het splitsingspunt is de waterstandsverhoging op de bovenloop van de Waal ongeveer 3cm. Hierdoor neemt de afvoer over de Waal met ongeveer 50m³/s af. In het Pannerdensch Kanaal, Neder-Rijn – Lek en de IJssel neemt de waterstand respectievelijk met 1,6cm, 1,4cm en 1,3cm toe. De afvoer over deze drie riviervakken neemt toe met respectievelijk 15m³/s, 10m³/s en 5 m³/s. Zie Figuur 4.4 en Figuur 4.5.

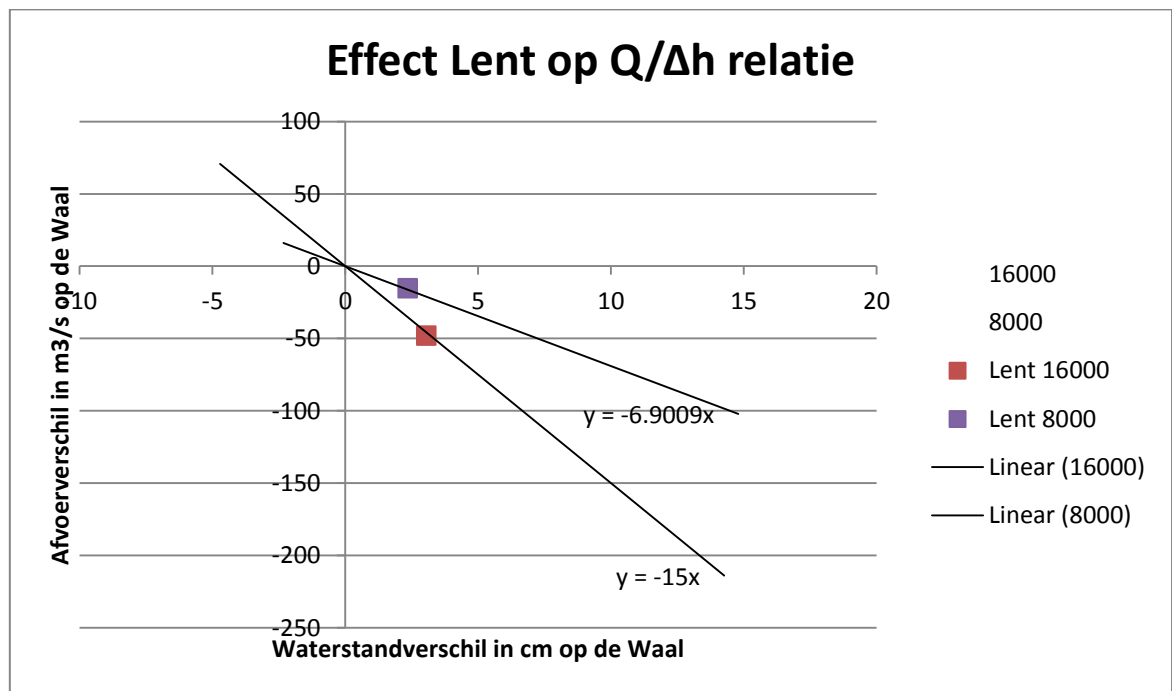


Figuur 4.4 Deze figuur toont de waterstandstoename op de bovenloop bij het splitsingspunt per riviervak. Als de nevengeul dichtslibt, leidt dit tot een afvoerafname in de nevengeul zelf. Hierdoor neemt de waterstand op de Waal lokaal toe. Het effect hiervan zal tot op het splitsingspunt te voelen zijn, wat het figuur laat zien. De waterstandstoename en afvoerafname op de Waal leidt tot een waterstandstoename op de andere riviervakken. De blauwe balken tonen het waterstandsverschil voor een afvoer van 16.000m³/s bij Lobith en de rode balken tonen het waterstandsverschil voor een afvoer van 8.000m³/s bij Lobith.



Figuur 4.5 Deze figuur toont het waterstandsverschil op de bovenloop bij het splitsingspunt per riviertak. Door de vorming van een bres van 77 meter in de Marsdam zal de waterstand lokaal dalen. Het effect hiervan zal tot op het splitsingspunt te voelen zijn, wat in het figuur zichtbaar is met een waterstandsafname op het splitsingspunt. De waterstandsafname en afvoertoename op de IJssel leidt tot een waterstandsafname op de andere riviertakken. De blauwe balken tonen het waterstandsverschil voor een afvoer van 16.000m³/s bij Lobith en de rode balken tonen het waterstandsverschil voor een afvoer van 8.000m³/s bij Lobith.

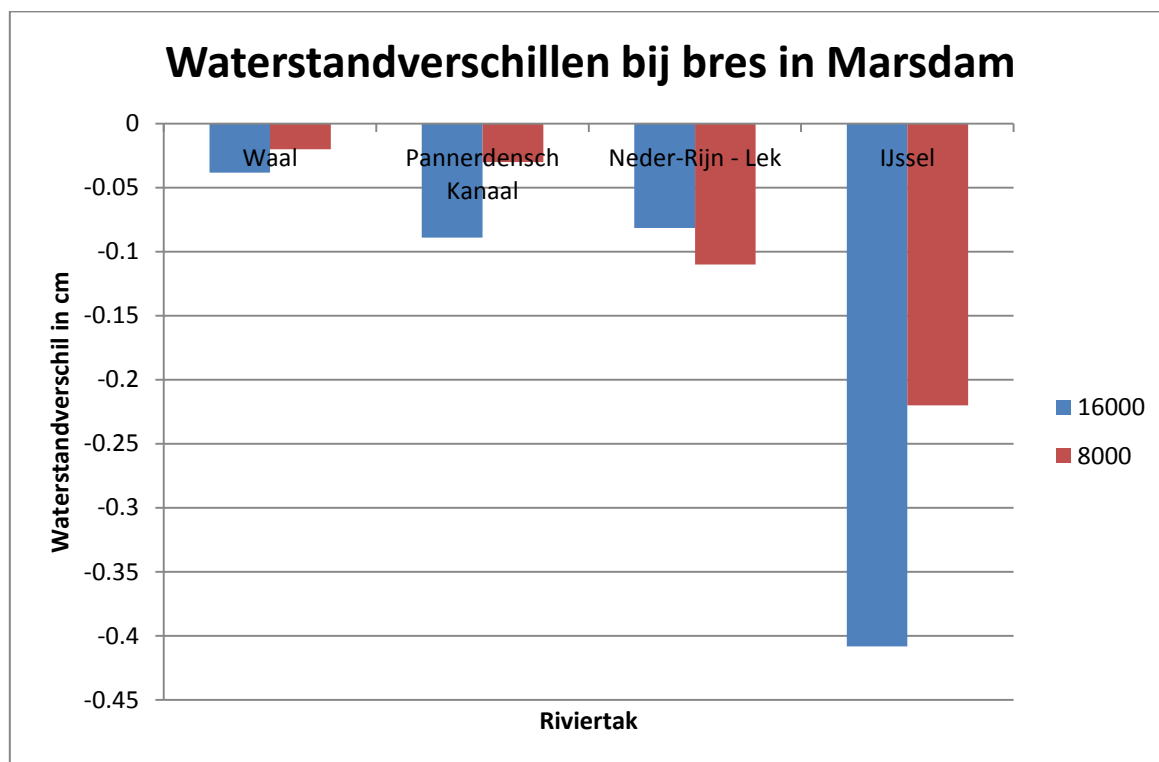
Vervolgens moet er gekeken worden of deze effecten overeenkomen met de eerder gevonden dh/dQ relaties. Uit Figuur 4.6, waarin de eerder gevonden relaties getoond worden, blijkt dat het effect op de afvoer door waterstandsveranderingen door het dichtslibben van de nevengeul overeenkomen met het effect op de afvoer door waterstandsdalingen door verandering in ruwheden. Dit geldt voor zowel een afvoer van 16.000m³/s als 8.000m³/s bij Lobith. De berekende effecten van het dichtslibben van de nevengeul bij Lent zijn aangegeven met de vierkantjes.



Figuur 4.6 Deze figuur toont de gevonden relaties in paragraaf 4.1. Hiermee wordt gekeken of een waterstandstoename een even groot effect op de afvoer heeft als bij het dichtslibben van de nevengeul bij Lent. Zowel voor een afvoer van 16.000m³/s als 8.000m³/s bij Lobith is dit effect even groot als bij de waterstandstoename van de aangepaste ruwheden.

4.2.3 Bres Marsdam bij Lathum

De bres in de Marsdam, waar de Marsweg op ligt, is 77m. De gevolgen van de bres op de waterstanden en de afvoerverdeling zijn visueel te zien in Figuur 8.13 in bijlage 8I. Voor een afvoer van 16.000m³/s bij Lobith leidt de bres in de Marsdam tot een waterstandsval van ongeveer 0,4cm. Door de bres dalen ook de waterstanden op de Waal, Pannerdensch Kanaal en Neder-Rijn – Lek met respectievelijk ongeveer 0,05cm, 0,1cm en 0,08cm. Dit wordt weergegeven in Figuur 4.7.



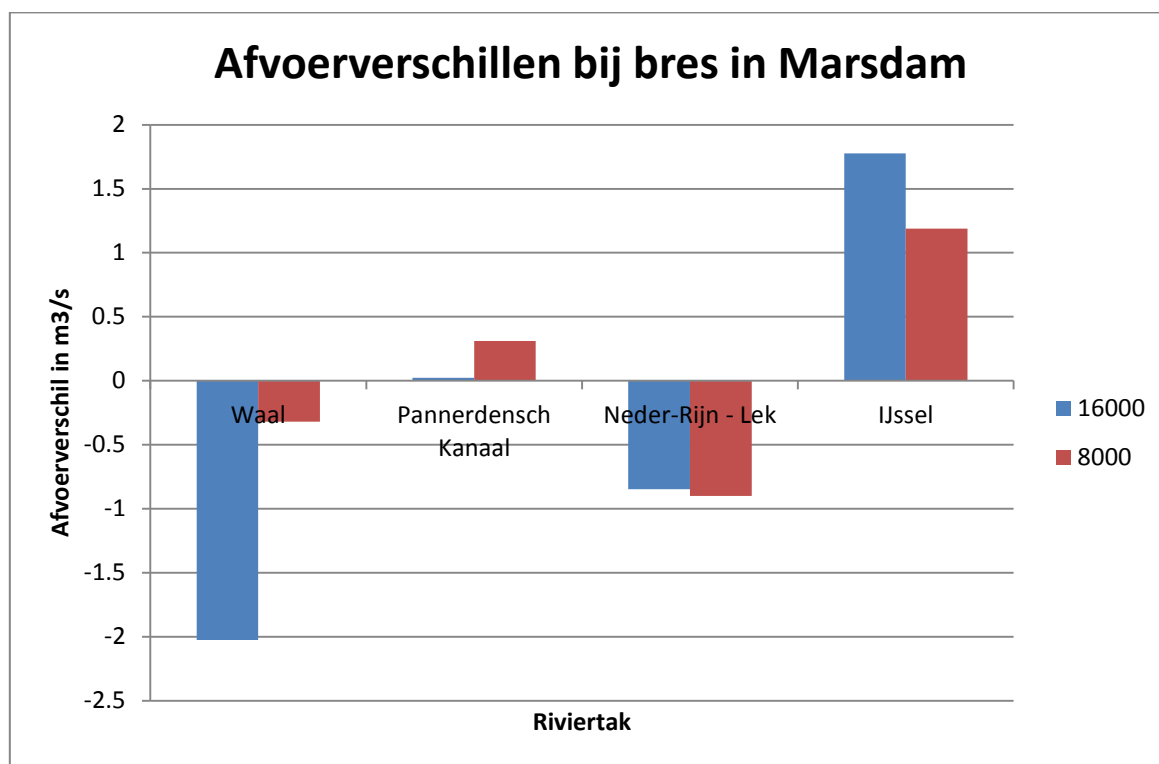
Figuur 4.7 Deze figuur toont het waterstandsverschil op de bovenloop bij het splitsingspunt per riviertak. Door de vorming van een bres van 77 meter in de Marsdam zal de waterstand lokaal dalen. Het effect hiervan zal tot op het splitsingspunt te voelen zijn, wat in het figuur zichtbaar is met een waterstandsafname op het splitsingspunt. De waterstandsafname en afvoertoename op de IJssel leidt tot een waterstandsafname op de andere riviertakken. De blauwe balken tonen het waterstandsverschil voor een afvoer van 16.000m³/s bij Lobith en de rode balken tonen het waterstandsverschil voor een afvoer van 8.000m³/s bij Lobith.

Door de waterstands dalingen op de riviertakken neemt de afvoer toe op de IJssel (1,8m³/s) en daalt deze op de Waal (2m³/s) en op de Neder-Rijn – Lek (1m³/s). Op het Pannerdensch Kanaal vindt een verwaarloosbaar afvoerverschil plaats. Zie Figuur 4.8. Voor de afvoerverschillen door de bres, zie Tabel 4.2.

Hoewel de bres in de Marsdam tot een kleine waterstands daling en afvoertoename op de IJssel leidt, ligt dit effect wel op de gevonden dh/dQ relatie voor de IJssel in 4.1. Dat wil zeggen de waterstands daling door de bres tot een even grote afvoer stijging leidt als bij het verwijderen van kribben. Zie Figuur 4.9

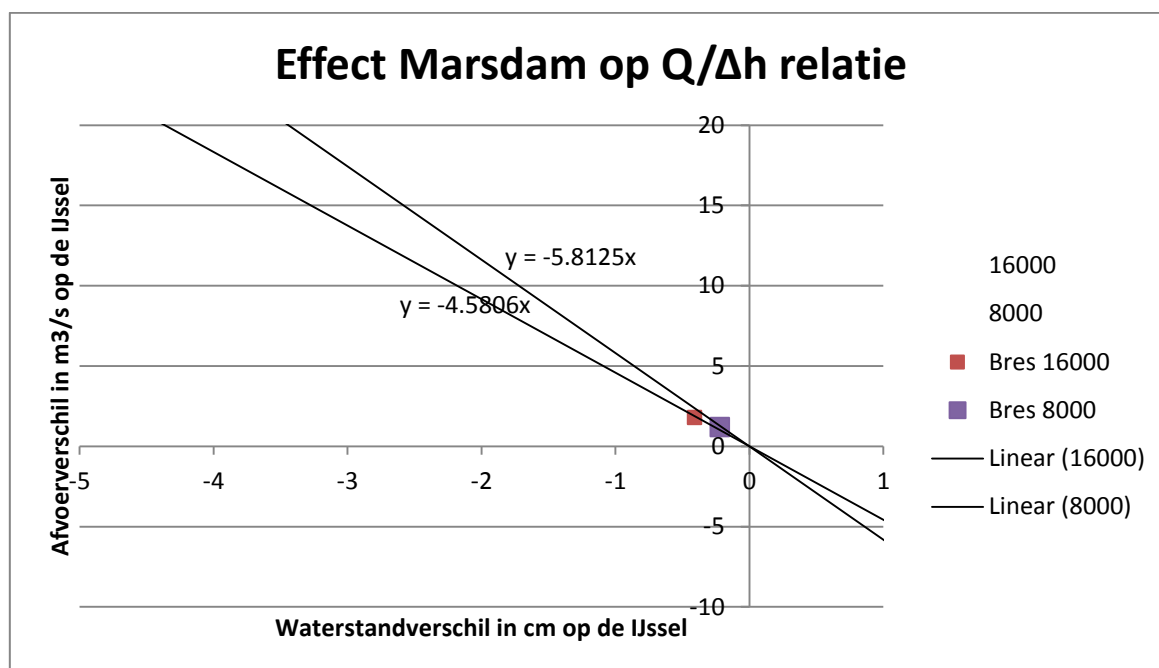
Tabel 4.2 De afvoer per riviertak na het ontstaan van de bres in de Marsdam. De kolom 'verschil' toont het afvoerverschil met de referentie situatie en de kolom 'aandeel' toont het aandeel aan afvoer per riviertak over het bijbehorend splitsingspunt in procent

Riviertak	Per tak (m³/s)	Verschil (m³/s)	Aandeel (%)
Boven-Rijn	16.000	0	100
Pannerdensch Kop			
Waal	10164.9	-2.0	63,5
Pannerdensch Kanaal	5836.2	0.0	36,5
IJsselkop			
Neder-Rijn – Lek	3395.4	-0.8	58,2
IJssel	2446.3	1.8	41,8



Figuur 4.8 Door de bres daalt de waterstand in de IJssel lokaal en op het splitsingspunt. Hierdoor neemt de afvoer over de IJssel toe en daardoor op de Neder-Rijn – Lek af. Het effect hiervan is ook op de Pannerdensch Kop te voelen, waar de afvoer op de Waal afneemt en op het Pannerdensch Kanaal vrijwel niet veranderd.

De gevonden relaties in 4.1 zijn dus ook toepasbaar voor het onderzoeken van waterstandsverschillen ontstaan door het dichtslibben van de nevengeul bij Lent en het ontstaan van een bres in de Marsdam bij Lathum.



Figuur 4.9 Deze figuur toont de gevonden relaties in paragraaf 4.1. Hiermee wordt gekeken of een waterstandsafname een even groot effect op de afvoer heeft als bij bresvorming in de Marsdam. Zowel voor een afvoer van 16.000m³/s als 8.000m³/s bij Lobith is dit effect even groot als bij de waterstandstoename van de aangepaste ruwheden.

4.3 Validatie tool Deltares

De eerste stap in het validatieproces met de tool van Deltares is vergelijking van de afvoerverdelingen. Dit betekent dat de gevonden waterstandsverschillen en bijbehorende afvoerverschillen vergeleken worden met de waterstands- en afvoerverschillen in de tool. De tool beschrijft de manier waarop een object faalt en het effect op de waterstand hierdoor. In dit onderzoek is hetzelfde faalpatroon voor beide objecten gebruikt. In de tool zijn deze alleen opgesteld voor 16.000m³/s te Lobith.

4.3.1 Vergelijking afvoerverdelingen

De bepaling van de afvoerverdeling bestaat uit twee dh/Dq relaties (één per riviertak) per splitsingspunt. Tabel 4.3 vergelijkt de relaties gevonden in deze studie met de relaties die gebruikt worden in de tool. Hierbij staat x voor waterstandtoename in cm en y voor afvoertoeename in m³/s.

Tabel 4.3 De relaties voor de afvoerverdelingen gevonden in de tool en gevonden in dit onderzoek

Riviertak	Tool	Dit onderzoek
Waal	$y = -14,7x$	$y = -15,0x$
Pannerdensch Kanaal	$y = -37,0x$	$y = -13,1x$
Neder-Rijn – Lek	$y = -21,1x$	$y = -9,5x$
IJssel	$y = -16,4x$	$y = -4,6x$

4.3.2 Vergelijking dichtslibben nevengeul Lent

In de tool is het effect van dichtslibben van de nevengeul bij Lent beschreven in waterstandsveranderingen op de vier riviertakken bij de splitsingspunten. Dit is gedaan voor een afvoer van 16.000m³/s bij Lobith. Zie Tabel 4.4 voor een vergelijking van de gegevens van de tool en van dit onderzoek. Uit de tabel blijkt dat de gevonden waterstandsveranderingen in dit onderzoek op elke riviertak groter zijn dan de gevonden waterstandsveranderingen in de tool, met uitzondering van de IJssel.

Tabel 4.4 De waterstandsverandering ten gevolge van het dichtslibben van de nevengeul bij Lent volgens de tool en volgens dit onderzoek

Riviertak	Waterstandsverandering (cm)	
	Tool	Dit onderzoek
Waal	1,8	3,1
Pannerdensch Kanaal	1,3	2,6
Neder-Rijn – Lek	0,7	2,2
IJssel	1,2	1,5

4.3.3 Vergelijking bres Marsdam

In de tool worden de bevindingen van Tabel 9 uit het werk van Schropp toegepast (Schropp, 2002), zie tabel 9 in dat onderzoek. De bevindingen worden uitgedrukt in afvoerverschillen op

de Waal, Neder-Rijn en IJssel voor een afvoer van 16.000m³/s bij Lobith en een bres van 77m. Zie Tabel 4.5 voor een vergelijking van de gegevens van de tool en van dit onderzoek. Uit de tabel blijkt dat de gevonden afvoerverschillen in dit onderzoek op elke riviertak kleiner zijn dan de gevonden afvoerverschillen in de tool, met uitzondering van de Waal.

Tabel 4.5 De afvoerverandering ten gevolge van een bres van 77 meter in de Marsdam volgens de tool en volgens dit onderzoek

Riviertak	Afvoerverandering (m ³ /s)	
	Tool	Dit onderzoek
Waal	-2	-2
Neder-Rijn	-6	+1
IJssel	+5	+2

De verschillen in waterstandsverandering en afvoeren kunnen verklaard worden door de verschillen gebruikte software; 1D hydrologisch model SOBEK in de tool en 2D hydrologisch model WAQUA in dit onderzoek.

5 Discussie

In het onderzoek zijn een aantal ter discussie staande punten. Om te beginnen bij de afvoerverdelingen met bijbehorende dh/dQ relaties. De punten die gevonden zijn door kribben te verwijderen zijn zeer onzeker. Ten opzichte van de punten gevonden door ruwheden staan deze op onverwachtse locaties. Hierdoor zijn in het model verder geen kribben verwijderd die voor nieuwe punten kunnen zorgen. Een echt vergelijk tussen aangepaste ruwheden en verwijderde kribben is hierdoor dus niet mogelijk.

Een ander discussiepunt is de beschrijving van de faal van de Spiegelwaal. Deze wordt beschreven als het compleet dichtslibben. Hoewel dit een mogelijke situatie is, zullen in een praktische situatie de nodige maatregelen getroffen worden om dit te voorkomen. Een realistischer faalpatroon zou dus het gedeeltelijk dichtslibben van de bypass zijn.

Verder komt de validatie van de tool ter sprake. Er zijn twee objecten gekozen die hiertoe dienen. In de tool zit een groot aantal objecten en een validatie gebaseerd op de vergelijking van twee objecten zou ten korte kunnen schieten. Echter dient deze vergelijking als een aandachtspunt die als doel heeft de andere objecten ook zorgvuldiger te onderzoeken.

Ten slotte is het belangrijk om rekening te houden met de onzekerheid van de gebruikte software. Hoewel de Baseline en GIS combinatie een stabiele basis voor de omgeving bieden, is er meer twijfel over WAQUA. Er is weinig literatuur beschikbaar over de betrouwbaarheid en onzekerheid van WAQUA, maar het is duidelijk dat het programma met enorm veel factoren binnen het model rekening houdt en de resultaten zoals waterstanden en afvoeren aan enige onzekerheid onderworpen zijn. Echter geldt dit voor de absolute waarden en is de onzekerheid van het verschil tussen twee waterstanden of afvoeren al veel kleiner.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Ten eerste zullen de deelvragen beantwoord worden en tot slot de hoofdvraag.

1. Wat is het effect van een waterstandsverandering in een riviertak op de afvoerverdeling van een bovenstrooms splitsingspunt?

Het effect van een waterstandsverandering in een riviertak is een verandering in de afvoer in die riviertak en de riviertak(ken) die deel uitmaken van hetzelfde splitsingspunt. Een waterstandsverandering leidt tot een afname van de afvoer op dezelfde riviertak (en vice versa).

Er zal meer afvoer over de 'verstorende' riviertak geleid worden als hier de waterstand daalt en meer afvoer over de andere riviertak als in de 'verstorende' tak de waterstand stijgt.

Wanneer er meer afvoer naar het Pannerdensch kanaal gaat, dan wordt deze extra afvoer vervolgens verdeeld over de Neder-Rijn – Lek en IJssel. De verhouding is nagenoeg 1:1 bij een afvoer van $16.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith. Deze verhouding verschuift in het voordeel van de Neder-Rijn – Lek als de afvoer bij Lobith lager is ($13:7$ bij $8.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith).

De verandering van de zomerbedruwheid heeft een direct effect op de waterstand. Het verwijderen van kribben heeft ook een direct effect op de waterstand, maar dit lijkt willekeurig en onbetrouwbaar te zijn.

2. Hoe en op welke manier faalt een object en heeft de faal enig effect op de afvoerverdeling van het bovenstroomse splitsingspunt?

In dit onderzoek ligt de focus op twee objecten, één per splitsingspunt: de bypass 'Spiegelwaal' bij Lent en de Marsdam bij Rheden op de IJssel.

De bypass faalt als deze tot het oeverniveau dichtslibt. Het dichtslibben tot het oeverniveau wordt ook in de tool van Deltares als faal gezien.

Zowel voor $8.000\text{m}^3/\text{s}$ als $16.000\text{m}^3/\text{s}$ resulteert dit in een waterstandsstijging op elke riviertak, een afvoerstijging op het Pannerdensch Kanaal, de Neder-Rijn – Lek en de IJssel en een afvoerdaling op de Waal.

De Marsdam faalt door bresvorming. De grootte van de bres wordt in dit onderzoek op 77 meter gesteld.

Zowel voor $8.000\text{m}^3/\text{s}$ als $16.000\text{m}^3/\text{s}$ daalt de waterstand in de IJssel. Hierdoor neemt de afvoer van de IJssel toe waardoor de afvoer in de andere riviertakken afneemt. De waterstanden in de andere riviertakken daalt dus ook. Op de Waal en Neder-Rijn – Lek daalt ook de afvoer en op het Pannerdensch Kanaal en de IJssel stijgt de afvoer ten gevolge hiervan.

3. Hoe verandert de afvoerverdeling op de splitsingspunten door falen van een benedenstrooms gelegen object?

Voor een afvoer van $16.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith en faal van de Spiegelwaal zal het Pannerdensch Kanaal $45\text{m}^3/\text{s}$ extra te verduren krijgen, wat $93\text{m}^3/\text{s}$ meer is dan de Waal. De Neder-Rijn – Lek krijgt $23\text{m}^3/\text{s}$ extra afvoer, wat $1\text{m}^3/\text{s}$ meer is dan de IJssel.

Voor $8.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith en faal van de Marsdam krijgt de Waal $0,0225\text{m}^3/\text{s}$ extra afvoer, wat verwaarloosbaar klein is, maar desondanks $2\text{m}^3/\text{s}$ meer is dan het Pannerdensch Kanaal. De

afvoerverdeling op de IJsselkop verandert zodanig dat de IJssel $1,78\text{m}^3/\text{s}$, wat $2,6\text{m}^3/\text{s}$ meer is dan de Neder-Rijn – Lek, extra krijgt.

4. *Wat is de uitslag van de validatie van de tool van Deltares?*

De effecten van waterstandverandering op de afvoer worden in de tool veel hoger geschat dan in dit onderzoek. Alleen de dh/dQ relaties van de Waal komen nagenoeg overeen in beide situaties. Dit betekent dat de afvoerverdelingen op de Koppen sterker veranderen onder invloed van een faal van een object in de tool dan in het onderzoek.

Uit de resultaten blijkt dat de berekeningen van de tool vrijwel altijd afwijken met de berekeningen gemaakt in dit onderzoek. Alleen het effect van de Marsdam op de afvoer van de IJssel is hetzelfde. De hoofdoorzaak hiervoor is het verschil in gebruikte software.

Hoofdvraag: Hoe worden de afvoerverdelingen op de Pannerdensche Kop en de IJsselkop beïnvloedt door het falen van rivierobjecten?

Het falen van rivierobjecten (verruwing van het zomerbed, dichtslibben van een de nevengeul bij Lent en bresvorming in de Marsdam) zorgt ervoor dat de afvoerverdelingen op de Pannerdensche Kop en IJsselkop niet aan de beleidsmatig vastgestelde waarden voldoen. Als het zomerbed van een riviertak verruwd zal dat altijd leiden tot een waterstandsstijging en afvoerdaling in die riviertak. Vanzelfsprekend zal de afvoer dan stijgen in de andere riviertak bij het splitsingspunt.

Het effect van falen Lent zorgt voor afvoerafname over de Waal en afvoertoename over het Pannerdensch Kanaal. Hierdoor neemt zowel de afvoer over de Neder-Rijn – Lek als de IJssel toe.

Het effect van falen van bresvorming in de Marsdam zorgt voor een afvoertoename over de IJssel en daardoor een afvoerdaling op de Neder-Rijn – Lek. Op de Pannerdensche Kop krijgt de Waal een afvoerdaling terwijl er nagenoeg geen afvoerverschil op het Pannerdensch Kanaal plaatsvindt.

6.2 Aanbevelingen

Het aanpassen van zomerbedruwheden leidt tot relatief betrouwbare dh/dQ relaties. Echter is het moeilijk om met het aanpassen van ruwheden grotere waterstandsdalingen te veroorzaken. Hoewel het verwijderen van kribben wel tot waterstandsdalingen leidt, is deze methode niet betrouwbaar genoeg en geeft deze afwijkende resultaten. Het wordt aanbevolen om een andere methode te zoeken die grotere waterstandsdalingen veroorzaakt zodat de huidige dh/dQ relaties uitgebreid kunnen worden.

Verder blijkt uit de validatie dat de waarden van de tool en het onderzoek niet overeenkomen. Aangezien de berekeningen uit de tool uitgevoerd zijn met een 1D hydraulisch model en in dit onderzoek met een 2D hydraulisch model, kan aangenomen worden dat de resultaten van deze studie nauwkeuriger zijn. De vraag is of de resultaten van een nauwkeuriger model dan weer af zullen wijken. De aanbeveling is dan ook om dat met een nauwkeuriger model uit te zoeken.

7 Literatuur

- Asselman, N. (2018). *Plan van aanpak KPP 2018 project*. Delft: Deltares.
- Massoeurs, K. (2016). *The effects of 'failure' of assets in the river area on*. Delft: Deltares.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2006). *Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier deel 4*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Ogink, H. (2006). *Onzekerheid afvoerverdeling splitsingspunten Rijn*. Rijkswaterstaat RIZA.
- Overduin, M. (2016). *De effecten van rivierverruimende maatregelen op de afvoerverdeling bij de IJsselkop*. Enschede: Deltares.
- Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving. (2017). *Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren Versie 4.0*. RWS Oost-, Zuid- en West-Nederland Zuid: Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving.
- Schropp, M. H. (2002). *Onzekerheden in de afvoerverdeling bij Maatgevend Hoogwater*. Arnhem: Rijkswaterstaat.
- Spruyt, A., & Asselman, N. (2017). *Afvoerverdeling Rijntakken; Eenvouding regelbaar of niet?* Delft: Deltares.

8 Bijlagen

A Riviereigenschappen in WAQUA

Nadat een modelberekening in WAQUA uitgevoerd is kunnen een aantal riviereigenschappen voor elke tijdstap in de volledige runtijd bekeken worden. Het gaat om de volgende riviereigenschappen:

```
depth grid
thin dams
temporarily inactive velocity points
weirs
-----
water level
water depth
velocity
unit discharge
discharge potential
roughness Chezy C
head
-----
time at maximum water level
maximum water level
velocity magnitude at maximum water level
-----
time at maximum velocity magnitude
water level at maximum velocity magnitude
maximum velocity magnitude
-----
bed level
-----
water level stations
-----
water level (station)
-----
instantaneous discharge (transect)
cumulative discharge (transect)
-----
gate level (barrier)
water level (barrier high M/N side)
water level (barrier low M/N side)
sill level (barrier)
flow-through height (barrier)
width (barrier)
discharge (barrier)
velocity (barrier high M/N side)
velocity (barrier)
velocity (barrier low M/N side)
energy loss (barrier)
```

- (Bodemhoogtes
- Waterkeringen
- Oppervlakten
- Ruwheden
- Waterdieptes
- Snelheden
- Afvoeren)

B Instelling regelwerk Pannerden WAQUA

Stuwsturing regelwerk Pannerden (vanaf hoogwaterseizoen 2017-2018)

Behoort bij Baseline-maatregel pk_rwp40m_a1
19 april 2017

RWS Oost-Nederland
Deltares
Agtersloot Hydraulisch Advies

ALGEMEEN

Dit bestand beschrijft de eerste versie van sturing van het regelwerk Pannerden vanaf het hoogwaterseizoen 2017-2018. De sturing is gebaseerd op de vaste instelling van het regelwerk tijdens het hoogwaterseizoen 2017-2018 en kan derhalve alleen gebruikt worden in actuele modellen die deze instelling vereisen.

In werkelijkheid is het niet mogelijk om deze instelling in het regelwerk op te nemen. De schotten van het regelwerk zijn namelijk 1 meter hoog. Na verwerking van deze informatie in de positionering van de schotten in het rekenmodel zal een tweede versie van dit sturingsbestand worden gemaakt met behoud van de afvoerverdeling.

STURING IN WAQUA

Het doel van het regelwerk Pannerden is om de afvoer naar de Waal te beperken tot 10.165 m³/s in een situatie met een maximale afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith. Om te bepalen welke stuwstand leidt tot deze afvoerverdeling is een simulatie uitgevoerd waarin het regelwerk Pannerden actief wordt gestuurd bij een constante afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith (en de bijbehorende lateralen). Uit deze simulatie volgt dat het regelwerk bijna volledig open moet staan. De drempelhoogte van de barrier is 13,50 m+NAP, overeenkomend met 150 centimeter boven de vaste drempelhoogte van het regelwerk.

In het rekenrooster rijs40m_5-v6.rgf is de totale breedte van de cellen waarop het regelwerk is gepositioneerd 171,05 meter. Om het regelwerk de daadwerkelijke breedte van 160 meter te geven wordt een correctiefactor van 0,24 toegepast voor de breedte van het oostelijke segment (B17).

Deze instelling is opgenomen in voorliggend stuwsturingsbestand.

WAQUA-IMPLEMENTATIE

- De nummering van de barriers en de tables is gestart bij 17, bij opname in de WAQUA-invoer dient de nummering zodanig aangepast te worden dat deze aansluit op de reeds bestaande barriers en tables (stuwprogramma 2005/2006 en regelwerk Hondsbroeksche Pleij).
- Vanwege de vaste instelling van het regelwerk en de gekozen uitgangspunten hoeven de barriers niet te bewegen. Dit wordt bereikt met FIXED_STATE. Er zijn derhalve ook geen tables benodigd.

```

B17 : SILL_DEPTH    INITIAL = 13.50
      GATE_HEIGHT   INITIAL = 999.00
      BARRIER_WIDTH INITIAL = 0.24
      GLOBAL        FIXED_STATE
B18 : SILL_DEPTH    INITIAL = 13.50
      GATE_HEIGHT   INITIAL = 999.00
      BARRIER_WIDTH INITIAL = 1.00
      GLOBAL        FIXED_STATE
B19 : SILL_DEPTH    INITIAL = 13.50
      GATE_HEIGHT   INITIAL = 999.00
      BARRIER_WIDTH INITIAL = 1.00
      GLOBAL        FIXED_STATE
B20 : SILL_DEPTH    INITIAL = 13.50
      GATE_HEIGHT   INITIAL = 999.00
      BARRIER_WIDTH INITIAL = 1.00
      GLOBAL        FIXED_STATE
B21 : SILL_DEPTH    INITIAL = 13.50
      GATE_HEIGHT   INITIAL = 999.00
      BARRIER_WIDTH INITIAL = 1.00
      GLOBAL        FIXED_STATE
B22 : SILL_DEPTH    INITIAL = 13.50
      GATE_HEIGHT   INITIAL = 999.00
      BARRIER_WIDTH INITIAL = 1.00
      GLOBAL        FIXED_STATE
B23 : SILL_DEPTH    INITIAL = 13.50
      GATE_HEIGHT   INITIAL = 999.00
      BARRIER_WIDTH INITIAL = 1.00
      GLOBAL        FIXED_STATE
B24 : SILL_DEPTH    INITIAL = 13.50
      GATE_HEIGHT   INITIAL = 999.00
      BARRIER_WIDTH INITIAL = 1.00
      GLOBAL        FIXED_STATE
B25 : SILL_DEPTH    INITIAL = 13.50
      GATE_HEIGHT   INITIAL = 999.00
      BARRIER_WIDTH INITIAL = 1.00
      GLOBAL        FIXED_STATE
B26 : SILL_DEPTH    INITIAL = 13.50
      GATE_HEIGHT   INITIAL = 999.00
      BARRIER_WIDTH INITIAL = 1.00

```

C Instelling regelwerk Hondsbroeksche Pleij WAQUA

STURING IN WAQUA

- Voor afvoeren lager dan 9.980 m³/s bij Lobith staat barriër B13, Regelwerk_HFleij_07, open met een breedtefactor van 0.316. De reductie is afgeleid uit de benoemde breedte van 5 meter versus de roosterbreedte van 15.5 meter.
- Voor afvoeren tussen 9.980 en 9.990 m³/s bij Lobith gaat deze barriër dicht.
- Voor afvoeren tussen 9.990 en 16.015 m³/s bij Lobith gaat deze barriër geforceerd dicht.
- Deze optie is toegevoegd om bij snel stijgende afvoer de barriër toch op 1415 dicht te hebben.
- Voor afvoeren hoger dan 16.015 m³/s bij Lobith wordt de afvoer naar de Neder-Rijn gemaximaliseerd op 3.380 m³/s. De barriër zal in zijn geheel zover openen om de afvoer naar de Neder-Rijn niet hoger te laten worden dan 3.380 m³/s. Deze afvoer is opgebouwd uit de beleidsmatige afvoer van 3.375 m³/s naar de Neder-Rijn + 4 m³/s van gemaal Vondia.
- Opgemerkt wordt dat bij een dalende afvoer onder de 9.980 m³/s bij Lobith de barriër opengaat. In werkelijkheid zal dit niet gebeuren en wordt dit uitgesteld totdat de hoogwatergolf voorbij is, danwel pas aan het eind van het hoogwaterselzen.

Afvoer Lobith [m³/s]	B13 [mNAP]	Overige [mNAP]
< 10.000	11.00	15.20
>= 10.000	15.20	15.20

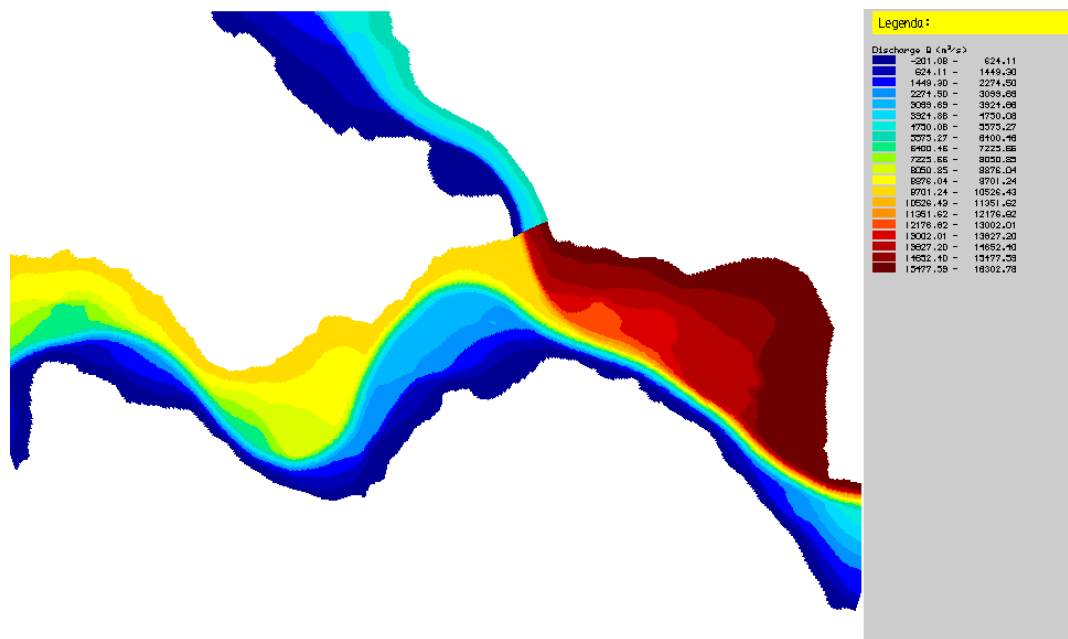
```

B7 : SILL_DEPTH      INITIAL = 15.20 VELOCITY = 0.00010
    GATE_HEIGHT      INITIAL = 999.00
    BARRIER_WIDTH    INITIAL = 1.00
    CONDITION
      IF (DISCHARGE: C1921 LT 16015) THEN
        TB101 DISCHARGE: C1917
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 LT 3379)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 GT 3381)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSE
        FIXED_STATE
      ENDIF
    ENDIF
B8 : SILL_DEPTH      INITIAL = 15.20 VELOCITY = 0.00010
    GATE_HEIGHT      INITIAL = 999.00
    BARRIER_WIDTH    INITIAL = 1.00
    CONDITION
      IF (DISCHARGE: C1921 LT 16015) THEN
        TB101 DISCHARGE: C1917
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 LT 3379)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 GT 3381)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSE
        FIXED_STATE
      ENDIF
    ENDIF
B9 : SILL_DEPTH      INITIAL = 15.20 VELOCITY = 0.00010
    GATE_HEIGHT      INITIAL = 999.00
    BARRIER_WIDTH    INITIAL = 1.00
    CONDITION
      IF (DISCHARGE: C1921 LT 16015) THEN
        TB101 DISCHARGE: C1917
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 LT 3379)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 GT 3381)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSE
        FIXED_STATE
      ENDIF
    ENDIF
B10: SILL_DEPTH      INITIAL = 15.20 VELOCITY = 0.00010
    GATE_HEIGHT      INITIAL = 999.00
    BARRIER_WIDTH    INITIAL = 1.00
    CONDITION
      IF (DISCHARGE: C1921 LT 16015) THEN
        TB101 DISCHARGE: C1917
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 LT 3379)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 GT 3381)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSE
        FIXED_STATE
      ENDIF
    ENDIF
B11: SILL_DEPTH      INITIAL = 15.20 VELOCITY = 0.00010
    GATE_HEIGHT      INITIAL = 999.00
    BARRIER_WIDTH    INITIAL = 1.00
    CONDITION
      IF (DISCHARGE: C1921 LT 16015) THEN
        TB101 DISCHARGE: C1917
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 LT 3379)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 GT 3381)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSE
        FIXED_STATE
      ENDIF
    ENDIF
B12: SILL_DEPTH      INITIAL = 15.20 VELOCITY = 0.00010
    GATE_HEIGHT      INITIAL = 999.00
    BARRIER_WIDTH    INITIAL = 1.00
    CONDITION
      IF (DISCHARGE: C1921 LT 16015) THEN
        TB101 DISCHARGE: C1917
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 LT 3379)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 GT 3381)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSE
        FIXED_STATE
      ENDIF
    ENDIF
B13: SILL_DEPTH      INITIAL = 11.00 VELOCITY = 0.00090
    GATE_HEIGHT      INITIAL = 999.00
    BARRIER_WIDTH    INITIAL = 0.316
    CONDITION
      IF (DISCHARGE: C1921 LT 9990) AND (DISCHARGE: C1915 LT 3379)) THEN
        TB102 DISCHARGE: C1921
      ELSEIF (DISCHARGE: C1921 LT 16015) THEN
        TB103 DISCHARGE: C1921
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 LT 3379)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 GT 3381)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSE
        FIXED_STATE
      ENDIF
    ENDIF
B14: SILL_DEPTH      INITIAL = 15.20 VELOCITY = 0.00010
    GATE_HEIGHT      INITIAL = 999.00
    BARRIER_WIDTH    INITIAL = 1.00
    CONDITION
      IF (DISCHARGE: C1921 LT 16015) THEN
        TB101 DISCHARGE: C1917
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 LT 3379)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 GT 3381)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSE
        FIXED_STATE
      ENDIF
    ENDIF
B15: SILL_DEPTH      INITIAL = 15.20 VELOCITY = 0.00010
    GATE_HEIGHT      INITIAL = 999.00
    BARRIER_WIDTH    INITIAL = 1.00
    CONDITION
      IF (DISCHARGE: C1921 LT 16015) THEN
        TB101 DISCHARGE: C1917
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 LT 3379)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 GT 3381)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSE
        FIXED_STATE
      ENDIF
    ENDIF
B16: SILL_DEPTH      INITIAL = 15.20 VELOCITY = 0.00010
    GATE_HEIGHT      INITIAL = 999.00
    BARRIER_WIDTH    INITIAL = 1.00
    CONDITION
      IF (DISCHARGE: C1921 LT 16015) THEN
        TB101 DISCHARGE: C1917
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 LT 3379)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSEIF ((DISCHARGE: C1921 GT 16014) AND (DISCHARGE: C1915 GT 3381)) THEN
        TB100 DISCHARGE: C1915
      ELSE
        FIXED_STATE
      ENDIF
    ENDIF

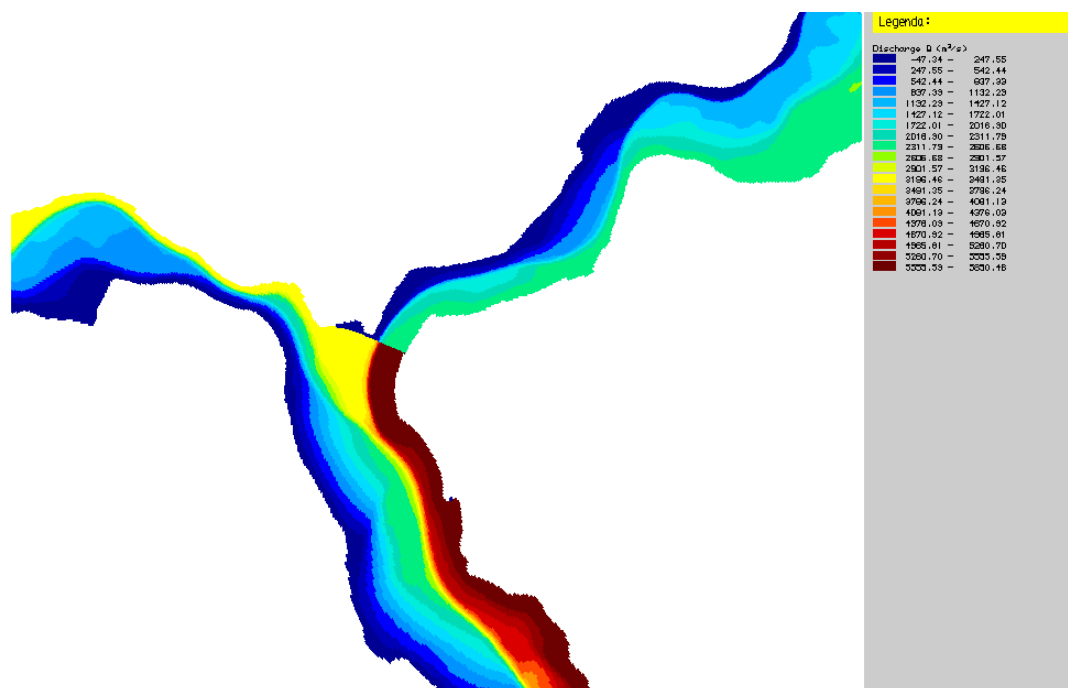
```


D Afvoerverdelingen splitsingspunten referentiesituatie

De afvoer is geïntegreerd over de breedte, van links naar rechts. D.w.z. dat het gebied helemaal rechts aan de over de afvoer voor die rivierbreedte laat zien.



Figuur 8.1 De afvoerverdeling op de Pannerdensche Kop. De totale afvoer over de breedte is de waarde aan de rechter oever. De afvoer per 'gridpunt' wordt namelijk cumulatief opgeteld van links naar rechts.



Figuur 8.2 De afvoerverdeling op de IJsselskop. Ook hier is de totale afvoer over de breedte de waarde aan de rechter oever.

E Tabellen van aangepaste ruwheden, waterstanden en afvoeren

E.1 16.000m³/s bij Lobith

Tabel 8.1 De ruwheidswaarde van het zomerbed van de Waal wordt telkens vergroot of verkleind. De nieuwe afvoer en waterstand en het waterstandsverschil en het afvoerverschil staan in de kolommen ernaast. Dit is voor een afvoer van 16.000m³/s bij Lobith

Grootte ruwheid	Afvoer	Waterstand	Verschil afvoer	in	Verschil in waterstand
Referentie	10166.96	16.51578	0		0
2x groot	10126.83	16.54121	-40.1333		2.543333
2x klein	10193.71	16.4951	26.75		-2.0675
3x groot	10097.54	16.55958	-69.4167		4.38
3x klein	10207.98	16.48453	41.025		-3.125
4x groot	10075.73	16.57438	-91.225		5.860833
4x klein	10217.42	16.47865	50.45833		-3.7125
5x groot	10058.02	16.58745	-108.942		7.1675
5x klein	10223.94	16.47427	56.98333		-4.15083
6x groot	10041.59	16.59848	-125.367		8.270833
6x klein	10228.24	16.47113	61.28333		-4.46417
7x groot	10025.61	16.60882	-141.35		9.304167
7x klein	10233.72	16.46859	66.75833		-4.71833
8x groot	10012.03	16.61848	-154.933		10.27
8x klein	10187.15	16.44479	20.19167		-7.09833
9x groot	9998.887	16.6274	-168.072		11.1625
9x klein	10187.73	16.44185	20.76667		-7.3925
1	9951.798	16.65838	-215.161		14.26083
Kribben	10165.25	16.515525	-1.708333333		-0.025

Tabel 8.2 Aangepaste ruwheden, nieuwe afvoeren en waterstanden en waterstands- en afvoerverschillen voor het Pannerdensch Kanaal voor een afvoer van 16.000m³/s bij Lobith

Grootte ruwheid	Afvoer	Waterstand	Verschil afvoer	in	Verschil in waterstand
Referentie	5836.197	5836.197	16.16866		5836.197
2x groot	5810.557	5810.557	16.18653		5810.557
2x klein	5854.65	5854.65	16.15318		5854.65
3x groot	5792.831	5792.831	16.20077		5792.831
3x klein	5864.383	5864.383	16.14582		5864.383
4x groot	5777.002	5777.002	16.21217		5777.002
4x klein	5870.583	5870.583	16.14062		5870.583
5x groot	5764.333	5764.333	16.22153		5764.333
5x klein	5872.791	5872.791	16.13797		5872.791
6x groot	5753.253	5753.253	16.23122		5753.253
6x klein	5876.298	5876.298	16.1355		5876.298
7x groot	5743.63	5743.63	16.23858		5743.63
7x klein	5879.853	5879.853	16.13343		5879.853
8x groot	5733.514	5733.514	16.24613		5733.514
8x klein	5881.843	5881.843	16.13128		5881.843

9x groot	5724.38	5724.38	16.25345	5724.38
9x klein	5883.848	5883.848	16.13042	5883.848
1	5713.357	5713.357	16.26219	5713.357
Kribben	5900.529167	16.11665	64.3325	-5.200833333

Tabel 8.3 Aangepaste ruwheden, nieuwe afvoeren en waterstanden en waterstands- en afvoerverschillen voor de Neder-Rijn – Lek voor een afvoer van 16.000m³/s bij Lobith

Grootte ruwheid	Afvoer	Waterstand	Verschil in afvoer	Verschil in waterstand
Referentie	3396.239	3396.239	14.44924	3396.239
2x groot	3369.91	3369.91	14.47623	3369.91
2x klein	3415.634	3415.634	14.42546	3415.634
3x groot	3351.671	3351.671	14.49586	3351.671
3x klein	3429.135	3429.135	14.41421	3429.135
4x groot	3336.545	3336.545	14.5109	3336.545
4x klein	3434.523	3434.523	14.40656	3434.523
5x groot	3325.458	3325.458	14.52463	3325.458
5x klein	3438.958	3438.958	14.40131	3438.958
6x groot	3315.09	3315.09	14.53587	3315.09
6x klein	3444.399	3444.399	14.39686	3444.399
7x groot	3305.017	3305.017	14.54573	3305.017
7x klein	3446.809	3446.809	14.39359	3446.809
8x groot	3296.218	3296.218	14.5547	3296.218
8x klein	3449.363	3449.363	14.39083	3449.363
9x groot	3288.15	3288.15	14.56284	3288.15
9x klein	3390.82	3390.82	14.45288	3390.82
1	3246.774	3246.774	14.60287	3246.774
Kribben	3437.850833	14.41641667	41.61166667	-3.2825

Tabel 8.4 Aangepaste ruwheden, nieuwe afvoeren en waterstanden en waterstands- en afvoerverschillen voor de IJssel voor een afvoer van 16.000m³/s bij Lobith

Grootte ruwheid	Afvoer	Waterstand	Verschil in afvoer	Verschil in waterstand
Referentie	2444.513	13.81034	2444.513	1381.034
2x groot	2428.94	13.846	2428.94	1384.6
2x klein	2457.632	13.78037	2457.632	1378.037
3x groot	2416.338	13.86793	2416.338	1386.793
3x klein	2463.218	13.7648	2463.218	1376.48
4x groot	2407.57	13.88682	2407.57	1388.682
4x klein	2468.83	13.75544	2468.83	1375.544
5x groot	2401.447	13.90332	2401.447	1390.332
5x klein	2470.222	13.7479	2470.222	1374.79
6x groot	2395.213	13.91665	2395.213	1391.665
6x klein	2472.362	13.74208	2472.362	1374.208
7x groot	2389.428	13.92865	2389.428	1392.865
7x klein	2474.759	13.73629	2474.759	1373.629
8x groot	2384.439	13.93953	2384.439	1393.953
8x klein	2477.306	13.73193	2477.306	1373.193

9x groot	2379.367	13.94937	2379.367	1394.937
9x klein	2479.048	13.72895	2479.048	1372.895
1	2350.499	14.00944	2350.499	1400.944
Kribben	2471.329167	13.81973333	26.81666667	0.939166667

E.2 8.000m³/s bij Lobith

Tabel 8.5 De ruwheidswaarde van het zomerbed van de Waal wordt telkens vergroot of verkleind. De nieuwe afvoer en waterstand en het waterstandsverschil en het afvoerverschil staan in de kolommen ernaast. De ruwheid is minder vaak aangepast, omdat een soortgelijke (lineaire) relatie als bij een afvoer van 16.000m³/s bij Lobith hieruit komt. Dit is voor een afvoer van 8.000m³/s bij Lobith.

Groote ruwheid	Afvoer	Waterstand	Verschil afvoer in	Verschil in waterstand
Referentie	5412.35	14.0151	0	0
2x groot	5389.37	14.05	-22.98	3.49
2x klein	5427.06	13.9918	14.71	-2.33
8x groot	5309.74	14.1631	-102.61	14.8
Lent	5397.04	14.0386	-15.31	2.35
Kribben	5422.52	13.999	10.17	-1.61

Tabel 8.6 Aangepaste ruwheden, nieuwe afvoeren en waterstanden en waterstands- en afvoerverschillen voor het Pannerdensch Kanaal voor een afvoer van 8.000m³/s bij Lobith

Groote ruwheid	Afvoer	Waterstand	Verschil afvoer in	Verschil in waterstand
Referentie	2587.71	13.9689	0	0
2x groot	2568.87	13.9908	-18.84	2.19
2x klein	2602.67	13.9515	14.96	-1.74
8x groot	2514.08	14.0527	-73.63	8.38
8x klein	2624.57	13.9256	36.86	-4.33
Kribben	2636.62	13.9104	48.91	-5.85

Tabel 8.7 Aangepaste ruwheden, nieuwe afvoeren en waterstanden en waterstands- en afvoerverschillen voor de Neder-Rijn – Lek voor een afvoer van 8.000m³/s bij Lobith

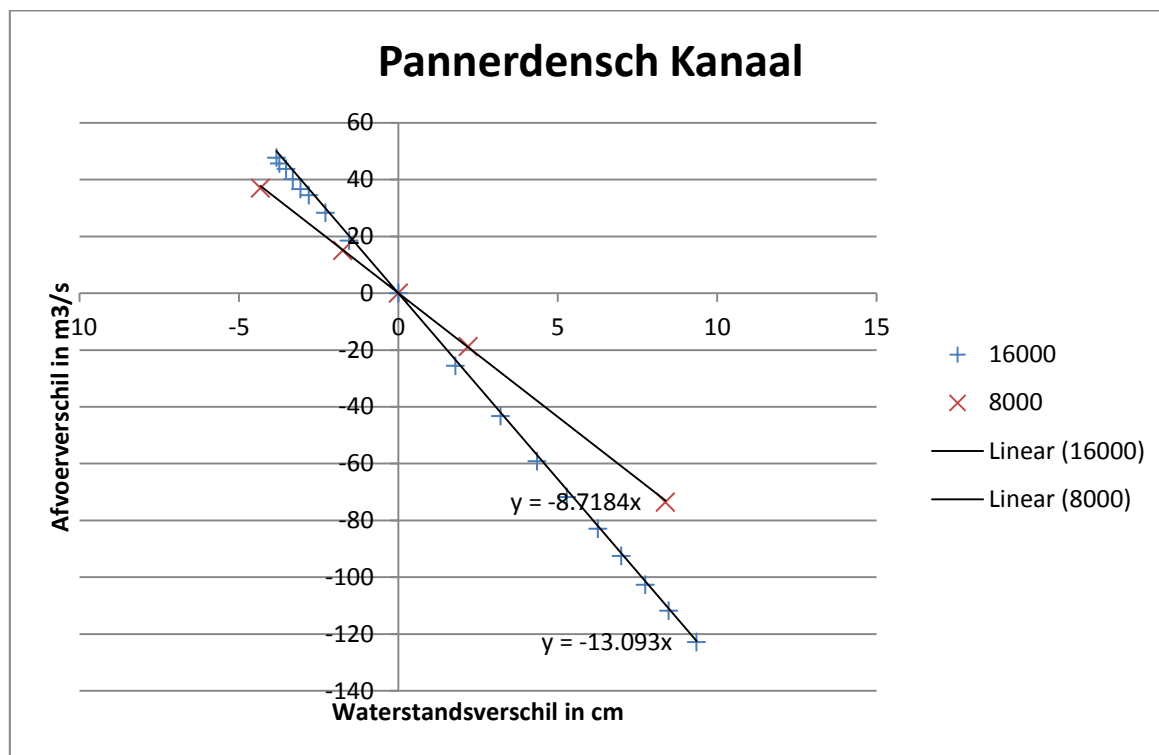
Groote ruwheid	Afvoer	Waterstand	Verschil afvoer in	Verschil in waterstand
Referentie	1515.08	12.5465	0	0
2x groot	1509.46	12.5606	-5.62	1.41
2x klein	1518.35	12.5382	3.27	-0.83
8x groot	1485.6	12.6183	-29.48	7.18
8x klein	1521.15	12.5315	6.07	-1.5
Kribben	1531.94	12.506	16.86	-4.05

Tabel 8.8 Aangepaste ruwheden, nieuwe afvoeren en waterstanden en waterstands- en afvoerverschillen voor de IJssel voor een afvoer van 8.000m³/s bij Lobith

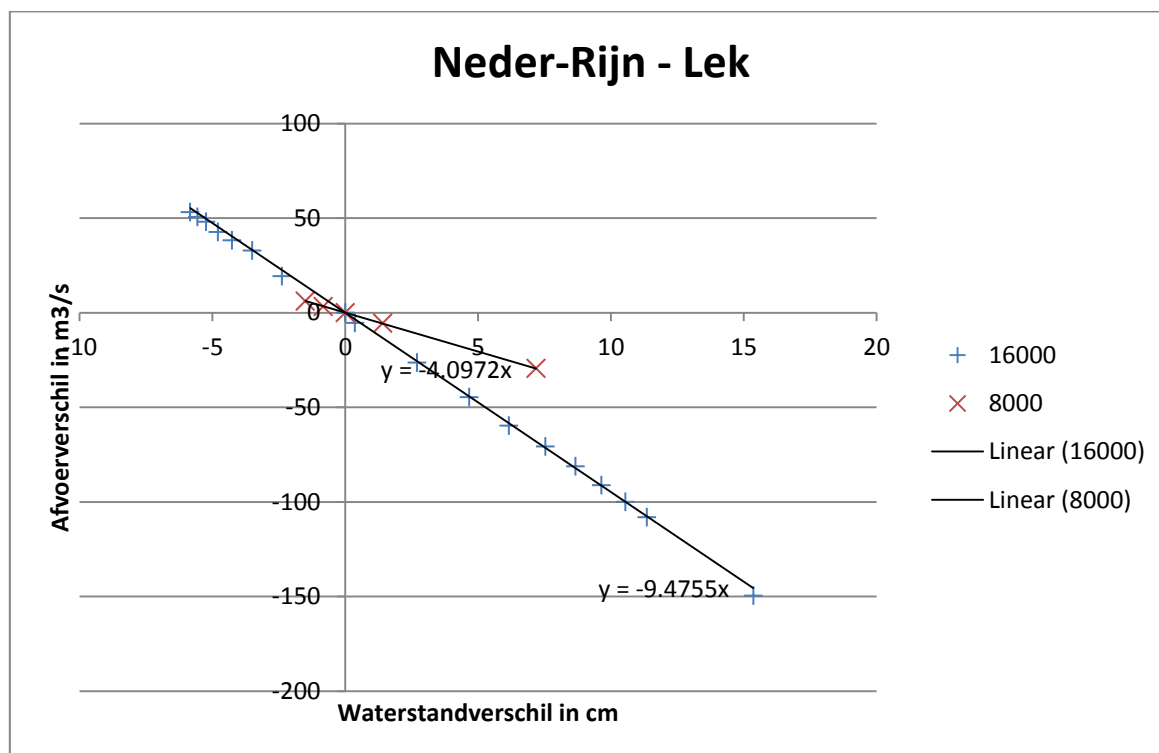
Groote ruwheid	Afvoer	Waterstand	Verschil afvoer in	Verschil in waterstand
Referentie	1076	12.5449	0	0
2x groot	1062.68	12.5681	-13.32	2.32
2x klein	1086.19	12.5275	10.19	-1.74

8x groot	1027.24	12.6278	-48.76	8.29
8x klein	1099.52	12.5026	23.52	-4.23
Kribben	1082.34	12.5347	6.34	-1.02

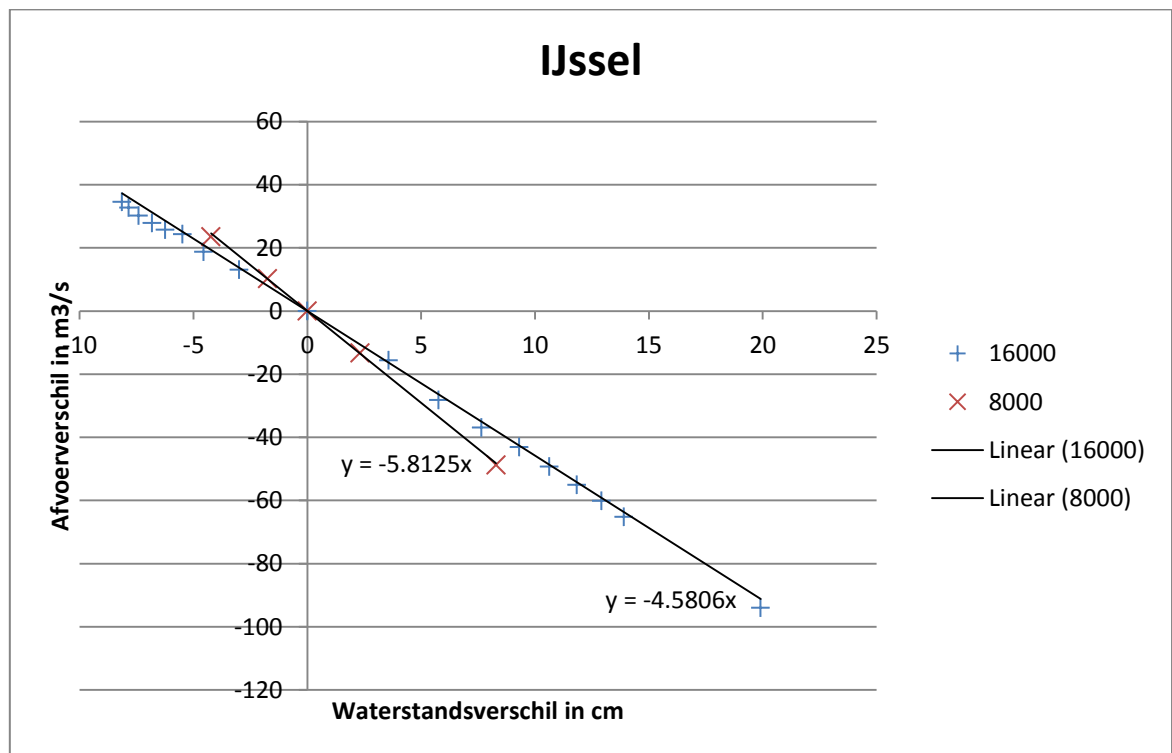
F Relaties van de afvoerverdelingen



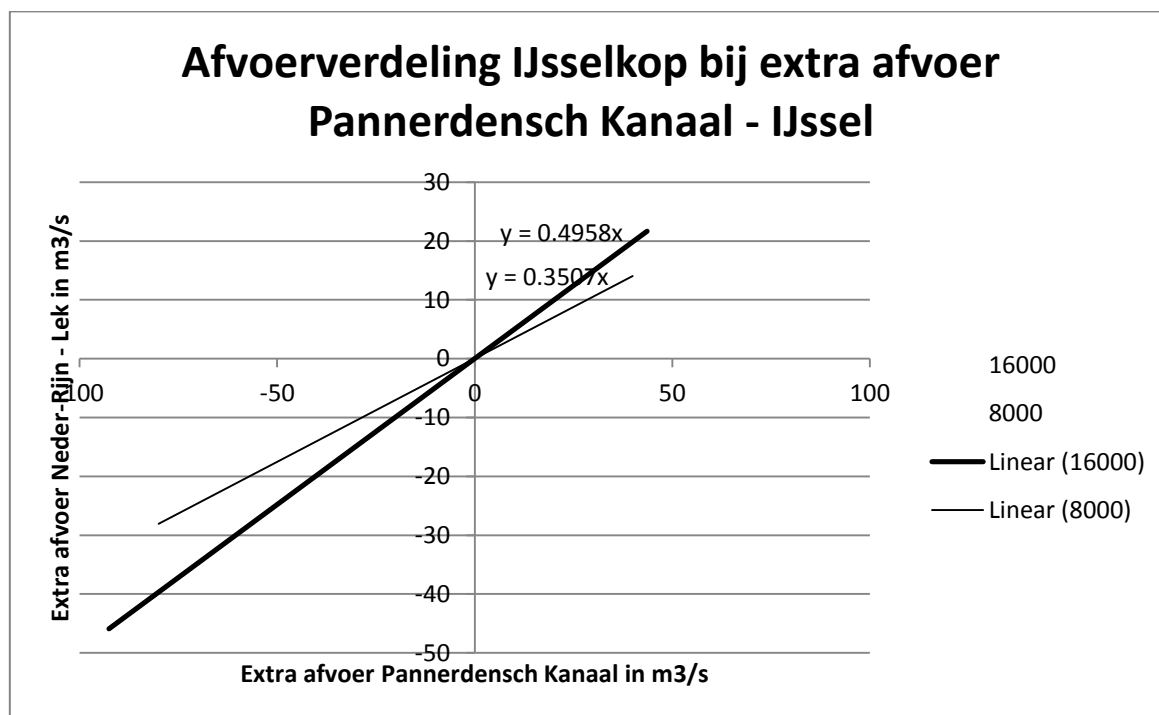
Figuur 8.3 De dh/dQ relatie voor het Pannerdensch Kanaal. De kruisjes laten de waterstands- en afvoerverschillen zien voor elke keer dat de ruwheid in het zomerbed. De relatie voor de verhouding tussen waterstandstoename en afvoerafname staan beneden bij de zwarte trendlijnen. De rode kruizen geven de situatie weer voor een afvoer van 8.000m³/s bij Lobith en de blauwe kruizen geven de situatie weer voor een afvoer van 16.000m³/s bij Lobith.



Figuur 8.4 De dh/dQ relatie voor de Neder-Rijn – Lek. De kruisjes laten de waterstands- en afvoerverschillen zien voor elke keer dat de ruwheid in het zomerbed. De relatie voor de verhouding tussen waterstandstoename en afvoerafname staan beneden bij de zwarte trendlijnen. De rode kruizen geven de situatie weer voor een afvoer van $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith en de blauwe kruizen geven de situatie weer voor een afvoer van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith.

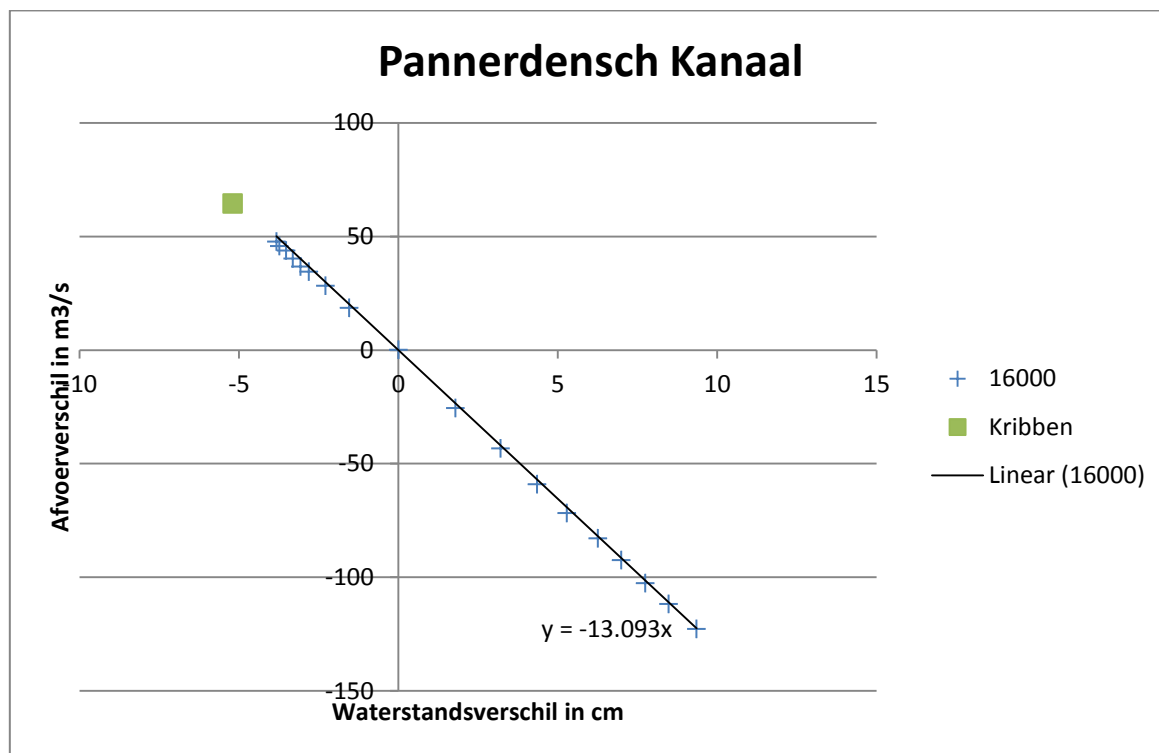


Figuur 8.5 De dh/dQ relatie voor de IJssel. De kruisjes laten de waterstands- en afvoerverschillen zien voor elke keer dat de ruwheid in het zomerbed. De relatie voor de verhouding tussen waterstandstoename en afvoerafname staan beneden bij de zwarte trendlijnen. De rode kruizen geven de situatie weer voor een afvoer van $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith en de blauwe kruizen geven de situatie weer voor een afvoer van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith.

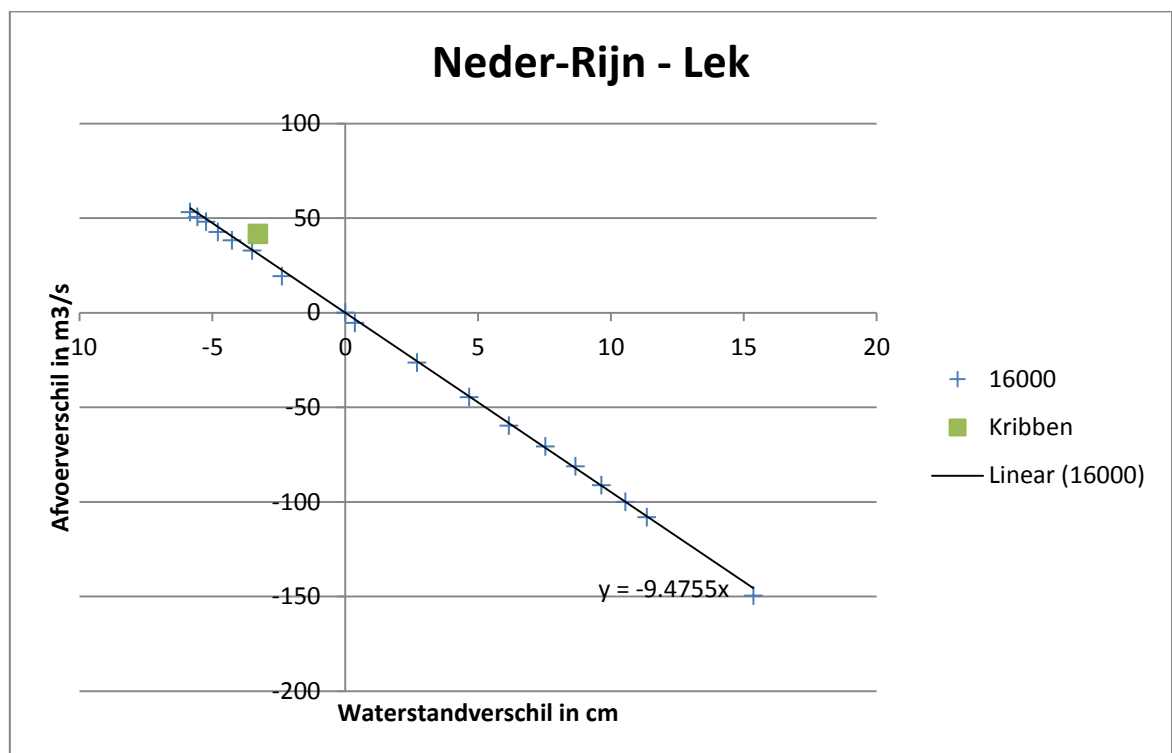


Figuur 8.6 Als het Pannerdensch Kanaal extra afvoer te verduren krijgt zal deze vanzelfsprekend verdeeld worden over de Neder-Rijn – Lek en de IJssel op de IJsselkop. Deze figuur laat zien dat voor een afvoer van 16.000m³/s bij Lobith nagenoeg de helft van deze afvoer over de IJssel. Bij een afvoer van 8.000m³/s bij Lobith bijna 1/3 van de extra afvoer van het Pannerdensch Kanaal naar de IJssel gaan. De afvoerverdeling voor extra afvoer van het Pannerdensch Kanaal bij een afvoer van 16.000m³/s is dus bijna 1:1 op de IJsselkop.

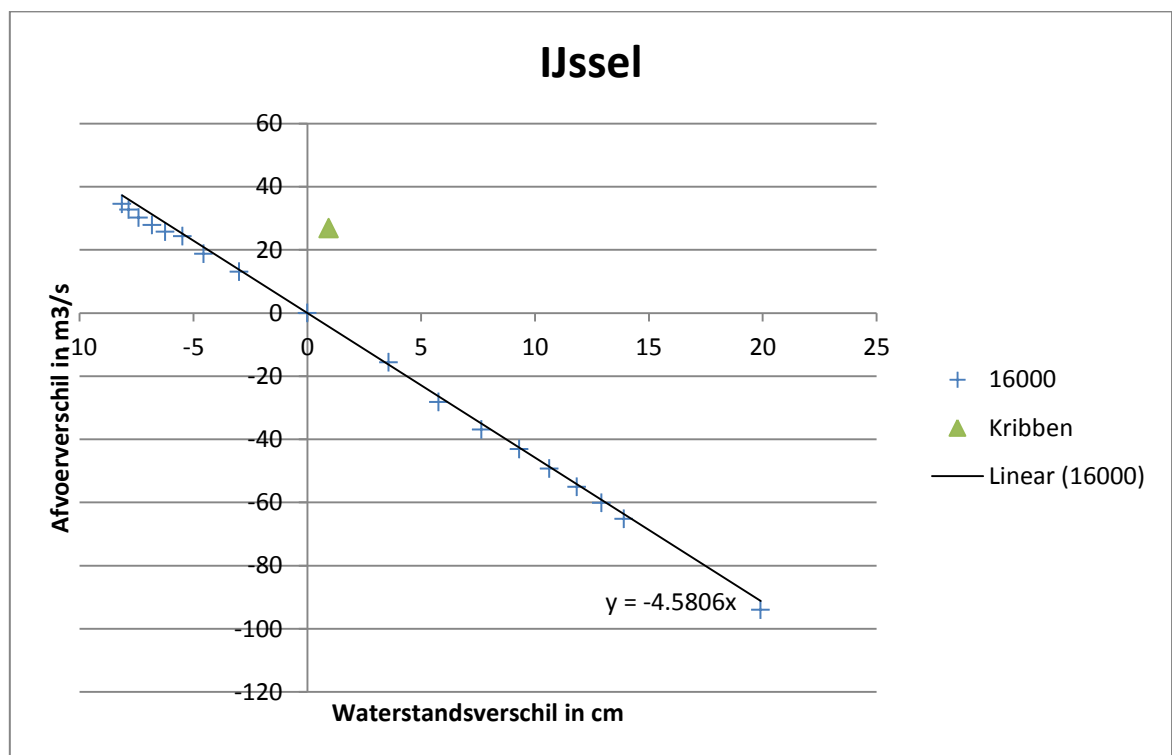
G Toepasbaarheid van gevonden relaties (kribben)



Figuur 8.7 De waterstandsafname en afvoertoeename ten gevolge van verwijderen van kribben tussen 6 rivierkilometers op het Pannerdensch Kanaal ligt in het verlengde van het waterstandsverschil en afvoerverschil ten gevolge van aanpassing van ruwheden.



Figuur 8.8 De waterstandsafname met bijbehorende afvoertoename door het verwijderen van Kribben komt niet overeen met de waterstandsafname en afvoertoename door het aanpassen van de ruwheid in het zomerbed van de Neder-Rijn – Lek.



Figuur 8.9 Op de IJssel vindt er zowel een waterstands- als afvoertoename plaats bij het verwijderen van kribben tussen 6 rivierkilometers. Dit is een onverwachts scenario en eerder onrealistisch.

H Dichtslibben van bypass 'Spiegelwaal' in Lent

H.1 Tabellen

Tabel 8.9 De afvoer en waterstand voor een afvoer van $16.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith in de vier riviertakken in de referentie situatie, bij het dichtslibben van de nevengeul bij Lent en het verschil tussen beide situaties.

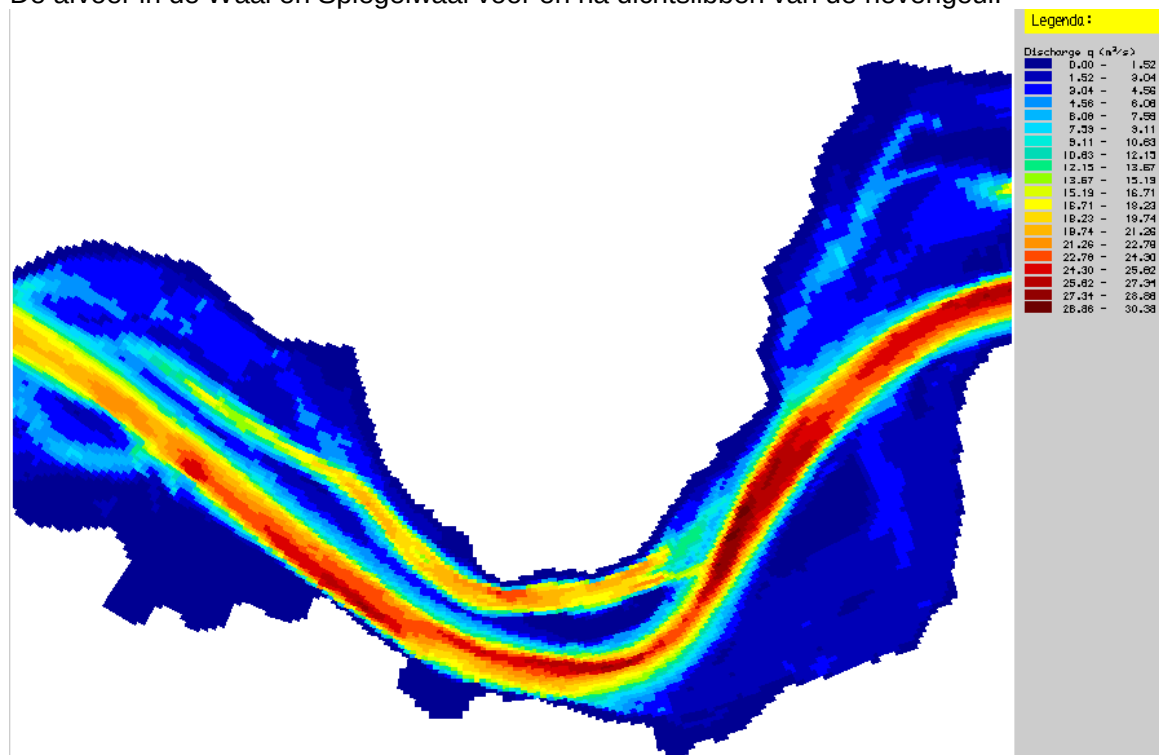
	Referentie situatie		Lent		Verschil	
	Afvoer	Waterstand	Afvoer	Waterstand	Afvoer	Waterstand
Waal	10166.96	16.51578	10119	16.54635	-47.9583	3.0575
P. Kanaal	5836.197	16.16866	5881.13	16.19433	44.93333	2.5675
NRL	3396.239	14.44924	3418.951	14.47149	22.71167	2.225
IJssel	2444.513	13.81034	2466.061	13.82543	21.54833	1.508333

Tabel 8.10 De afvoer en waterstand voor een afvoer van $8.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith in de vier riviertakken in de referentie situatie, bij het dichtslibben van de nevengeul bij Lent en het verschil tussen beide situaties

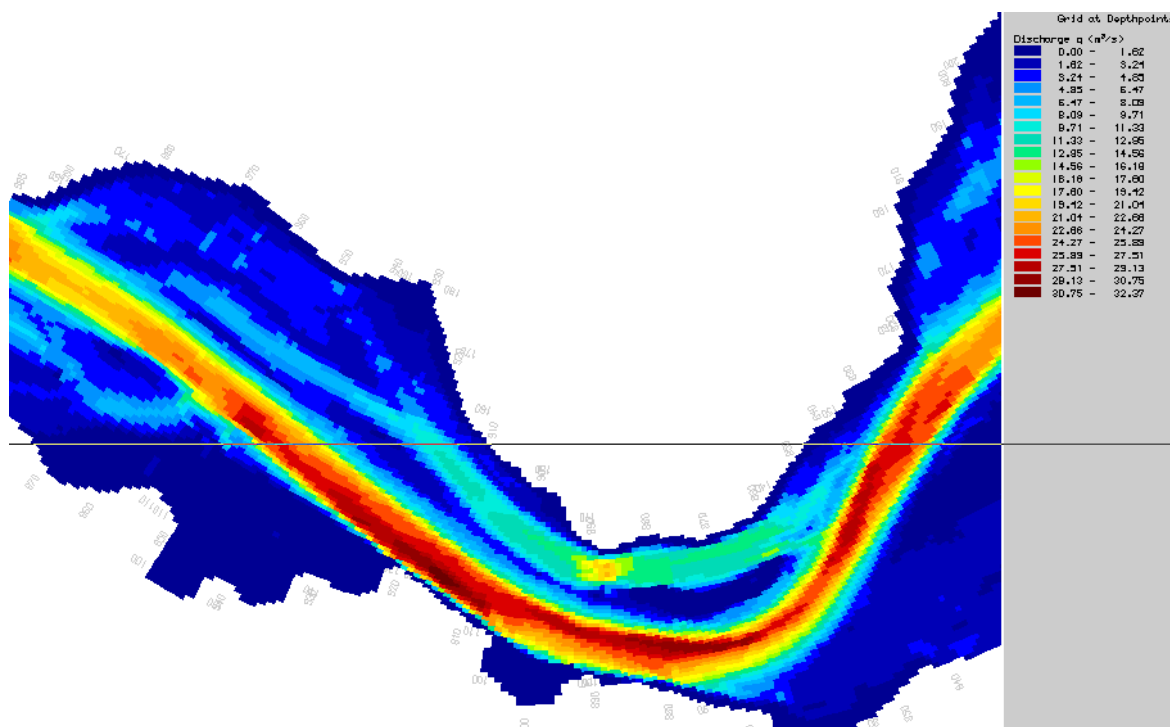
	Referentie situatie		Lent		Verschil	
	Afvoer	Waterstand	Afvoer	Waterstand	Afvoer	Waterstand
Waal	5412.35	14.0151	5397.04	14.0386	-15.31	2.35
P. Kanaal	2587.71	13.9689	2602.9	13.9872	15.19	1.83
NRL	1515.08	12.5465	1525.39	12.5607	10.31	1.42
IJssel	1076	12.5449	1080.92	12.558	4.92	1.31

H.2 Effect in WAQUA voor $16.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith

De afvoer in de Waal en Spiegelwaal voor en na dichtslibben van de nevengeul.



Figuur 8.10 De afvoer door de Waal bij Lent en de nevengeul bij Lent (dunnere tak boven de hoofdtak in de bocht) bij een afvoer van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith in de referentie situatie



Figuur 8.11 De afvoer door de Waal bij Lent en de nevengeul bij Lent (dunnere tak boven de hoofdtak in de bocht) bij een afvoer van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith in de situatie dat de nevengeul compleet dichtgeslibt is.

I Bres in Marsdam bij Rheden

I.1 Tabellen

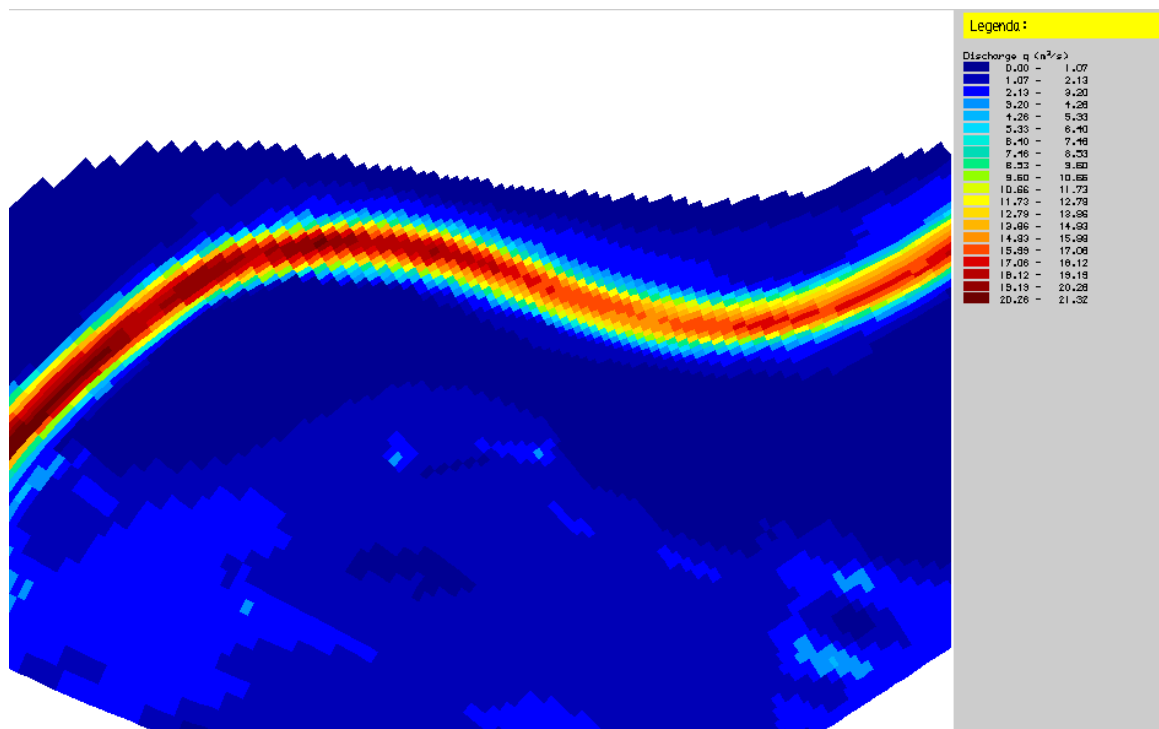
Tabel 8.11 De afvoer en waterstand voor een afvoer van $16.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith in de vier riviertakken in de referentie situatie, bij de bres in de Marsdam en het verschil tussen beide situaties.

	Referentie situatie		Bres in Marsdam		Verschil	
	Afvoer	Waterstand	Afvoer	Waterstand	Afvoer	Waterstand
Waal	10166.96	16.51578	10164.93	16.51539	-2.025	-0.03833
P. Kanaal	5836.197	16.16866	5836.219	16.16777	0.0225	-0.08917
NRL	3396.239	14.44924	3395.393	14.44843	-0.84667	-0.08167
IJssel	2444.513	13.81034	2446.289	13.80626	1.776667	-0.40833

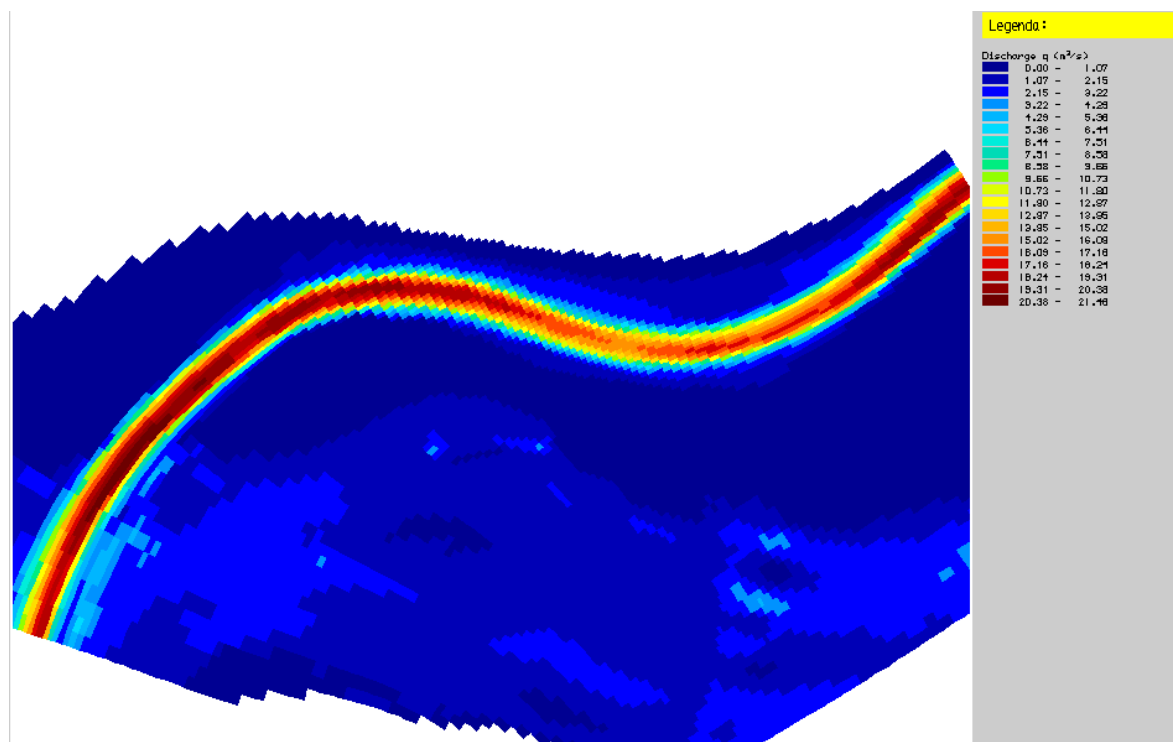
Tabel 8.12 De afvoer en waterstand voor een afvoer van $8.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith in de vier riviertakken in de referentie situatie, bij de bres in de Marsdam en het verschil tussen beide situaties.

	Referentie situatie		Bres in Marsdam		Verschil	
	Afvoer	Waterstand	Afvoer	Waterstand	Afvoer	Waterstand
Waal	5412.35	14.0151	5412.03	14.0149	-0.32	-0.02
P. Kanaal	2587.71	13.9689	2588.02	13.9686	0.31	-0.03
NRL	1515.08	12.5465	1514.18	12.5454	-0.9	-0.11
IJssel	1076	12.5449	1077.19	12.5427	1.19	-0.22

I.2 Effect in WAQUA voor $16.000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith



Figuur 8.12 Dit is het deel van de IJssel waaraan de Marsdam ligt. Deze figuur toont de afvoer door de IJssel in de referentie situatie



Figuur 8.13 Deze figuur toont de afvoer door de IJssel in de situatie waarbij een bres van 77m is gevormd in de Marsdam. Hoewel deze figuur identiek lijkt aan figuur 8.21, zit het verschil in de legenda (ordegrootte van afvoeren) en dus ook in de afvoer in dit deel van de IJssel