

RAPPORT

Verkenning Geulmonding

Maatregelen voor aanpak wateroverlast

Klant: Programma Waterveiligheid en Ruimte Limburg

Referentie: BJ5787-RHD-XX-XX-RP-X-0003

Status: S0/P03.01

Datum: 3 juni 2024



HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB Nijmegen
Netherlands
Water & Maritime

+31 88 348 70 00T
info@rhdhv.comE
royalhaskoningdhv.comW

Titel document: Verkenning Geulmonding

Sub titel: Maatregelen voor aanpak wateroverlast

Referentie: BJ5787-RHD-XX-XX-RP-X-0003

Uw kenmerk

Status: S0/P03.01

Datum: 3 juni 2024

Projectnaam: Verkenning Geulmonding

Projectnummer: BJ5787

Auteur(s): Peter van de Kreeke, Emile van der Wiel, Don de Bake, Nils van der Vliet, David Heikens

Opgesteld door: [Click here to enter text.](#)

Gecontroleerd door: David Heikens

Datum: 8 april t/m 30 mei 2024

Goedgekeurd door: David Heikens

Datum: 3 juni 2024

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veelevoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.



Inhoud

1	Inleiding	1
2	Uitgangspunten	4
3	Aanpak van de Verkenning	6
4	Maatregel 1: stroomlijning instroom sifon	10
4.1	Inleiding	10
4.2	Verkenning effectiviteit stroomlijningsmaatregelen	10
4.3	Ontwerp stroomlijningsmaatregelen	11
4.4	Kostenraming	14
5	Maatregel 2: verhogen waterdruk op de sifon	15
5.1	Inleiding	15
5.2	Opzet van het onderzoek	16
5.3	Resultaten	16
5.3.1	Benodigde dijkhoogte bij Geulafvoeren tot 75 m ³ /s	16
5.3.2	Verkenning situatie bij Geulafvoeren tot 110 m ³ /s	19
5.4	Conclusies	20
5.5	Kostenraming bedijking	20
6	Maatregel 3: afvoeren op het Julianakanaal	22
6.1	Inleiding	22
6.2	Waterstanden en andere basisinformatie Julianakanaal	23
6.3	Eventuele fysieke beperkingen en mitigerende maatregelen	23
6.4	Afwateren en wervelingen in het kanaal	25
6.5	Overstorten en consequenties voor scheepvaart	25
6.6	Mogelijkheden voor afvoeren op het kanaal bij verschillende situaties	26
6.6.1	A: hoogwater op Geul, keersluis Limmel open, scheepvaart in bedrijf	26
6.6.2	B: Limmel dicht, scheepvaart en schutsluizen Born en Maasbracht in bedrijf	28
6.6.3	C: sluizen Limmel dicht, scheepvaart niet in bedrijf	28
6.7	Afmetingen overlaat voor verschillende capaciteiten	29
6.8	Relatie met afvoercapaciteit sifon	29
6.9	Voorkeurslocatie constructie	30
6.10	Schetsontwerp maatregel en kostenraming	31
7	Aanvullende maatregelen	34
7.1	Uitbreiden sifon	34
7.2	Afvoeren naar de Beatrixhaven	34

7.3	Verbeteren houtvang	35
8	Conclusies en aanbevelingen	37

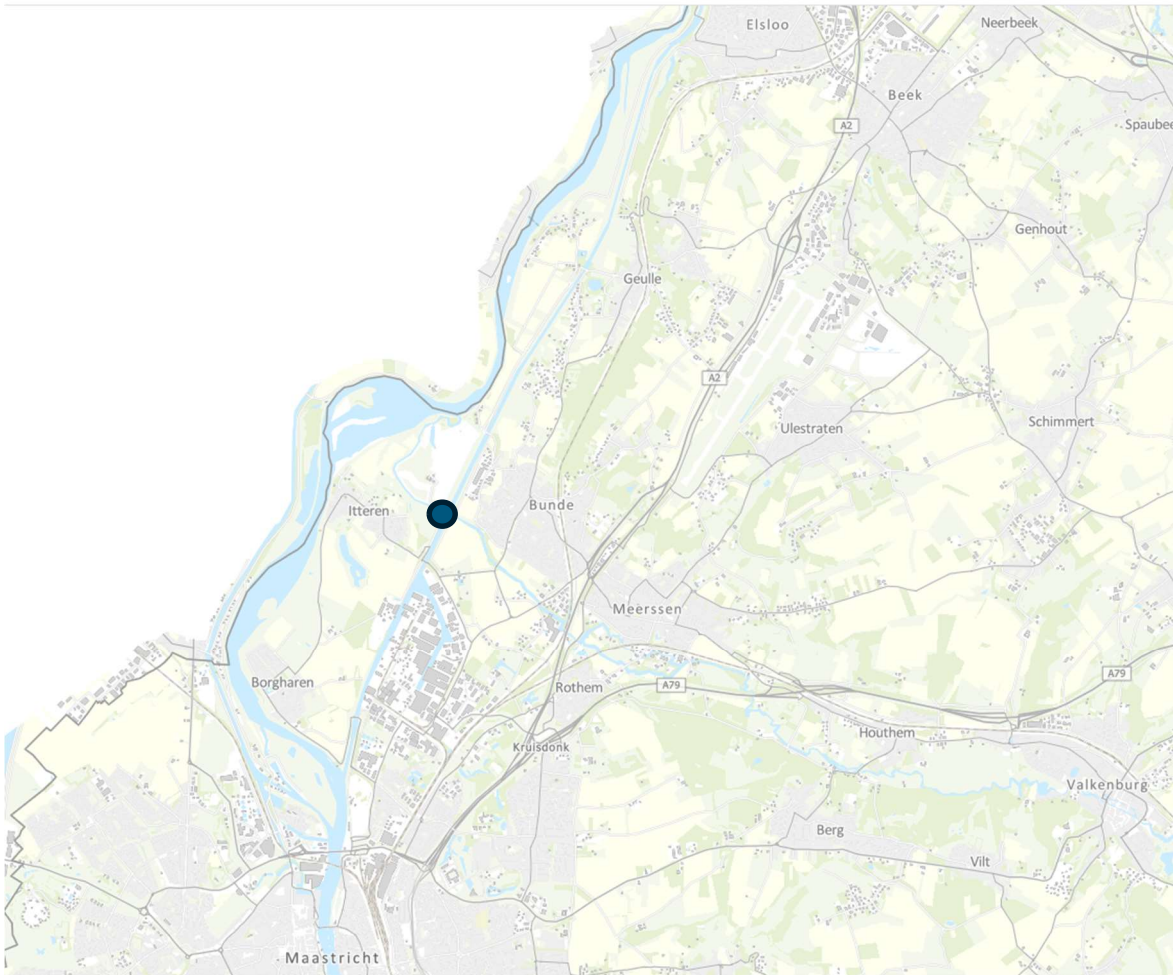
Bijlagen

1	Resultaten werkatelier
2	Resultaten modelberekeningen maatregel 1 (stroomlijning instroom sifon)
3	Vaktechnische modelinformatie maatregel 2 (verhogen waterdruk op de sifon)
4	Berekeningen afvoer overlaat naar Julianakanaal
5	Kostenramingen

1 Inleiding

Het knelpunt Geulmonding

In juli 2021 is Limburg getroffen door overstromingen in de stroomgebieden die afwateren op de Maas. Een van de belangrijkste gebieden met overstromingen betrof Bunde en omgeving, rond de Geul. Aan de westzijde van dit gebied voert de Geul water af via een sifon onder het Julianakanaal door, naar de Maas (zie Figuur 1-1 en Figuur 1-2). In juli 2021 werd er meer water door de Geul aangevoerd dan de sifon kon verwerken, waardoor het water van de Geul zijn weg zocht naar de omgeving, met overstromingen en grote schade tot gevolg.

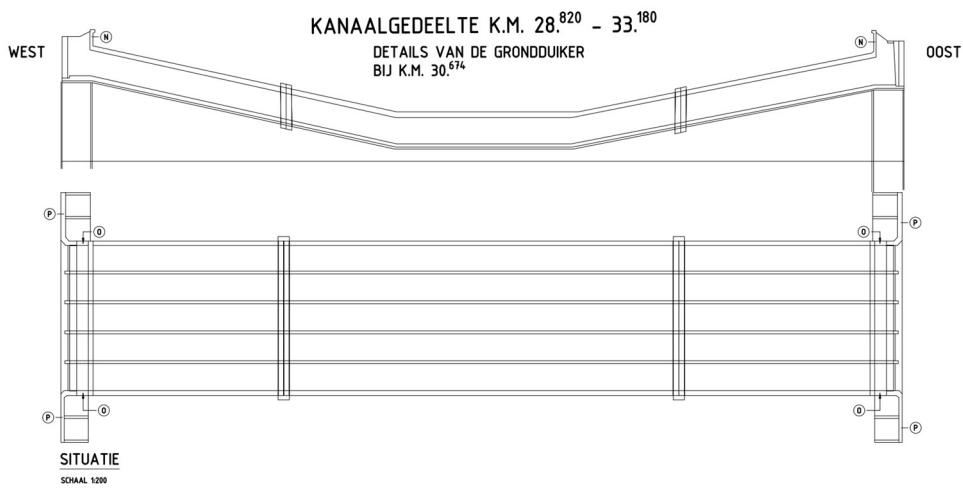


Figuur 1-1 Locatie sifon

De sifon bestaat uit een vijftal geknikte kokers die het Geulwater onder het Julianakanaal leiden (zie Figuur 1-3). Een beeld van de instroom van de sifon bij hoogwater wordt gegeven in Figuur 1-4.



Figuur 1-2 Bovenaanzicht in- en uitstroom sifon



Figuur 1-3 (boven:) Lengtedoorsnede en (onder:) bovenaanzicht sifon (bron: RWS)



Figuur 1-4 De sifon bij hoogwater

Er zijn maatregelen mogelijk die de kans op en de gevolgen van wateroverlast door het buiten de oevers treden van de Geul verkleinen. Deze maatregelen zijn verkend op effectiviteit en haalbaarheid in de Verkenning Geulmonding. Voorliggende rapportage doet verslag van deze Verkenning.

Samenwerking met de overheidspartners van WRL

De Verkenning Geulmonding is begeleid door een projectgroep bestaande uit vertegenwoordigers van Waterschap Limburg, Rijkswaterstaat en de Gemeenten Meerssen en Maastricht.

Participatie van de omgeving

Bij de uitvoering van de Verkenning zijn de belanghebbenden in de omgeving (bewoners en bedrijven) betrokken op verschillende manieren. Direct na de start is de aanpak van de Verkenning gepresenteerd aan belanghebbenden in een drukbezochte bijeenkomst in zaal De Stip in Meerssen (zie Figuur 1-5), waarin vele vragen vanuit de zaal zijn beantwoord, en relevante informatie door de aanwezigen met het projectteam is gedeeld. Vervolgens is gebruik gemaakt van de gebiedskennis en ervaringen van de bewoners in de omgeving in een werkatelier, waarin aanvullende suggesties voor maatregelen zijn opgehaald (zie hfst. 3 en 7). Na beoordeling op kansrijkheid zijn de bevindingen van het projectteam in een inloopbijeenkomst met de bewoners gedeeld en besproken.



Figuur 1-5 Impressie Startbijeenkomst met belanghebbenden 9-1-2024

Tot slot worden de bevindingen uit de voorliggende rapportage eveneens in een plenaire bijeenkomst aan de belanghebbenden in de omgeving gepresenteerd.

Het programma WRL

Na de extreme neerslag in de zomer van 2021 is het programma Waterveiligheid en Ruimte Limburg (WRL) opgestart. Het programma bestaat uit drie pijlers: 1. Vergroten van de fysieke robuustheid watersysteem, en daarmee het verlagen van de waterstand op de plekken waar overlast is geweest of kan ontstaan en/of het beter beschermen van deze locaties tegen hoge waterstanden. 2. Verankeren van water en bodem sturend als principe in de ruimtelijke ordening, om overlast in de toekomst te voorkomen. 3. Vergroten van weerbaarheid van inwoners, om de gevolgen van hoge waterstand te beperken. Het programma WRL verbindt organisaties vanuit de opgave om Limburg waterrobuust te maken, het organiseert de solidariteit als het gaat om waterveiligheid in Limburg. Er wordt gewerkt vanuit een totaalbeeld aan de opgave. Het geeft aan wat we in Limburg gaan doen en waarom, afgezet tegen normering, integrale ambities en internationale mogelijkheden. Het helpt ook bij de uitvoering, door te zorgen voor collectiviteit in de uitvoeringskracht. Dit kan door bestaande programma's te intensiveren of door partijen te ondersteunen met kennis, kunde en/of middelen. Voor het vergroten van de fysieke robuustheid van het watersysteem inventariseert WRL samen met haar partners en stakeholders potentiële maatregelen.

2 Uitgangspunten

Scope Verkenning

De Verkenning Geulmonding omvat alleen maatregelen rond de Geulmonding, en niet alle mogelijke maatregelen voor het gehele stroomgebied van de Geul (zoals het vasthouden van water bovenstrooms

(vergroten), infiltratie, natuurlijk bergen van water (verruwing, topvervlakking), civieltechnisch bergen, water beter afvoeren (hydraulische knelpunten verbeteren) en het beschermen via kades/keringen). De maatregelen voor het gehele stroomgebied van de Geul worden in later stadium onderzocht.

Studiegebied

Het studiegebied voor maatregelen in de Verkenning betreft de omgeving van de sifon (zie Figuur 2-1), begrensd door de Fregatweg in het oosten, het Julianakanaal in het westen, de Beatrixhaven in het zuiden en Elsloo in het noorden.



Figuur 2-1 Studiegebied

Diepgang

Doel van de Verkenning Geulmonding is het verkennen van maatregelen voor aanpak van de wateroverlast en het onderzoeken ervan op effectiviteit en haalbaarheid. Daarbij worden de omvang en locatie van maatregelen globaal aangegeven, bijvoorbeeld met een schetsontwerp, waarmee een indicatie van de kosten wordt verkregen. De mate van uitwerking is nog niet zodanig dat de maatregelen gerealiseerd kunnen worden of dat er vergunningen voor kunnen worden aangevraagd. Daarvoor is niet alleen nadere uitwerking nodig, maar ook een afweging van eventuele varianten voor de uitvoering of de locatie.

Doel van de maatregelen

De maatregelen hebben een duidelijk doel: aanpak van de wateroverlast. De waterhuishouding in Nederland is gebonden aan normen; voor elk gebied is bepaald welk aanbod aan water uit neerslag of afvoer door beken en watergangen veilig verwerkt moet kunnen worden, dus zonder wateroverlast en overstromingen. Voorafgaand aan de Verkenning Geulmonding is echter niet bepaald in welke mate de maatregelen in de Verkenning moeten zorgen voor bescherming tegen extreme situaties, zoals in 2021. Zoals in hoofdstuk 1 is aangegeven, zijn er drie manieren om met extreme situaties om te gaan (pijler 1, 2 en 3 van het programma WRL); de fysieke maatregelen in het watersysteem die in deze Verkenning Geulmonding worden onderzocht zijn daar slechts één van. Het beschermingsniveau tegen wateroverlast dat met fysieke maatregelen in het watersysteem moet worden bereikt, vergt een brede bestuurlijke afweging. Daarom is er voor gekozen om in de Verkenning Geulmonding de mogelijkheden voor maatregelen met hun effectiviteit in beeld te brengen, zonder toetsing aan kwantitatieve doelstellingen. Binnen het programma WRL zal daarop worden besloten over het vervolg.

3 Aanpak van de Verkenning

Het programma WRL heeft vooraf drie potentiële effectieve maatregelen gedefinieerd die in de Verkenning onderzocht moesten worden. Deze worden hieronder toegelicht. Vervolgens worden enkele aanvullende maatregelen beschreven.

1. Stroomlijning instroom sifon

De Geul heeft een trapeziumvormig profiel met taluds aan weerszijden. De instroomopeningen van de sifon vormen tezamen een rechthoek. Deze sluiten niet op elkaar aan; de stroming langs de taluds van de Geul 'botst' op een rechte wand naast de instroomopeningen van de sifon (aangegeven in onderstaande foto's in Figuur 3-1). In een eerder onderzoek (Ronckers, 2022) zijn reeds maatregelen verkend om de instroom te stroomlijnen; de verwachting is dat daarmee de afvoer door de sifon kan worden vergroot. Het onderzoek naar deze maatregel wordt beschreven in hoofdstuk 4.



Figuur 3-1 De aansluiting van de taluds van de geul op de instroom van de sifon

2. Verhogen waterdruk op de sifon

De afvoer van water door de sifon wordt mede bepaald door het waterstandsverschil over de sifon. Aan de bovenstroomse zijde kan het waterpeil stijgen tot aan maaiveld (zie Figuur 3-2); daarboven komt het gebied onder water te staan. Aan de benedenstroomse kant is vooral de Maas bepalend. Bij hoogwater op de Maas wordt de afvoer door de sifon beperkt.

Indien er langs de Geul bovenstrooms van de sifon kades zouden worden gemaakt (op een nader te bepalen afstand van de Geul), dan zou het waterpeil in de Geul verder kunnen stijgen zonder dat het gebied ernaast onder water zou lopen. Een hoger waterpeil zorgt voor meer druk op de sifon, en daarmee voor een hogere afvoer door de sifon. Het onderzoek naar deze maatregel wordt beschreven in hoofdstuk 5.



Figuur 3-2 De situatie direct bovenstrooms van de sifon

3. Afvoeren op het Julianakanaal

Tijdens het hoogwater van juli 2021 steeg het waterpeil van de Geul (mede door de beperkte afvoer door de sifon) tot een hoogte boven het waterpeil van het Julianakanaal. Dit gaf aanleiding tot de vraag of het mogelijk zou zijn om water van de Geul direct op het Julianakanaal af te voeren, met een duiker (in het gebied ook wel 'brievenbus' genoemd) door de dijk van het kanaal, die alleen tijdens hoogwater functioneert (een terugslagklep moet voorkomen dat er water uit het Julianakanaal naar de Geul gaat stromen). Het onderzoek naar deze maatregel wordt beschreven in hoofdstuk 6.

4. Aanvullende maatregelen

Bij de presentatie van de aanpak van het Verkenning aan de belanghebbenden uit de omgeving, is een oproep gedaan om mee te denken over eventuele aanvullende maatregelen om het knelpunt van de Geulmonding aan te pakken. Hiervoor is op 25 januari 2024 een werkatelier georganiseerd, waaraan ruim 30 bewoners hebben deelgenomen (zie Figuur 3-3). Alle suggesties zijn genoteerd en gerubriceerd. Vervolgens heeft de projectgroep die de Verkenning begeleidde de suggesties beoordeeld op kansrijkheid. De bevindingen van de projectgroep (zie Bijlage 1) zijn vervolgens in een inloopbijeenkomst (op 14 maart 2024) weer voorgelegd aan de deelnemers van het werkatelier (zie Figuur 3-4), waarin zij vragen konden stellen of opmerkingen maken over deze bevindingen.



Figuur 3-3 Impressie werkatelier 25-1-2024



Figuur 3-4 Impressie inloopbijeenkomst 14-3-2024

Op grond van de resultaten van het werkatelier met de belanghebbenden zijn twee maatregelen nader onderzocht: uitbreiden van de sifon met een extra koker en afvoeren van Geulwater naar de Beatrixhaven. Deze maatregelen worden beschreven in par. 7.1 en 7.2.

Direct bovenstrooms van de sifon is een houtvang aanwezig (zie Figuur 3-5). De houtvang bestaat uit een palenrij, haaks op de stroming van de Geul. Met het Waterschap Limburg is overlegd over maatregelen om deze houtvang qua effectiviteit verder te verbeteren; de bevindingen zijn opgenomen in par. 7.3



Figuur 3-5 Houtvang direct bovenstrooms van de sifon.

4 Maatregel 1: stroomlijning instroom sifon

4.1 Inleiding

Het stroomlijnen van instroom van de sifon zou een bijdrage kunnen leveren aan de afvoer van water door de sifon, en daarmee het verkleinen van de kans op wateroverlast bovenstrooms. Bij hoge waterstanden in de Geul is het trapeziumvormige profiel van de Geul geheel gevuld. De toevoer van water van de Geul naar de kokers van de sifon is niet gestroomlijnd; het water dat langs de oevers van de Geul stroomt, 'botst' tegen de verticale wanden aanstromen links en rechts en boven de kokers van de sifon, dit levert een zogenaamd. 'instroomverlies' op.

In een afstudeeronderzoek is bepaald hoe met maatregelen deze instroomverliezen kunnen worden beperkt. Uit deze analyse bleek dat de afvoercapaciteit van de sifon door stroomlijning van de instroom wel met orde 10% zou kunnen toenemen. Om dit te verifiëren is nader onderzoek uitgevoerd met een 3-dimensionaal stromingsmodel, waarin het effect van stroomlijning meer in detail wordt onderzocht, zowel aan de zijkanten als aan de bovenkant. Uitgangspunt is wel dat de sifon voor onderhoud afsluitbaar moet blijven.

De onderzoeksvragen worden in par. 4.2 behandeld. Vervolgens volgt in par. 4.3 een schetsontwerp van de maatregel met een kostenraming. In bijlage 2 zijn de resultaten van de modelberekeningen opgenomen.

4.2 Verkenning effectiviteit stroomlijningsmaatregelen

De instroom van de sifon is gemodelleerd met een zogenaamd CFD-model, waarin de vorm en eigenschappen van de sifon gedetailleerd kunnen worden opgegeven. De instroom levert een weerstand op de afvoer van water, o.a. omdat het water vanuit een trapeziumvormig profiel van de Geul zich door 5 rechthoekige kokers moet persen. Die instroomweerstand wordt in het model uitgedrukt in een factor ("Kin"). Hoe lager de instroomweerstand, hoe makkelijker het water de sifon in kan stromen (stroomlijning zorgt dus voor een lagere weerstand). In de huidige situatie is deze instroomweerstand bepaald op 0,51 (zie voor technische achtergrondinformatie bijlage 2). Deze waarde komt overeen met de waarde die wordt gebruikt in het bestaande stromingsmodel van de Geul van Waterschap Limburg, gebouwd met het programma D-Hydro¹.

Vervolgens zijn aanvullende maatregelen in het model ingevoerd, die ertoe leiden dat de instroomweerstand kleiner wordt en er dus (bij eenzelfde waterstandsverschil over de sifon) meer water door de sifon kan worden afgevoerd. De maatregelen betreffen: geleideschotten aan de zijkanten, geleideschotten boven de kokers van de sifon en een combinatie van deze beide aanpassingen. De resultaten voor de instroomweerstand en de mogelijke toename van de afvoer bij eenzelfde verval zijn in Tabel 4-1 samengevat.

¹ Het CFD-model staat los van het D-Hydro-model van Waterschap Limburg. Met het CFD-model wordt alleen berekend wat het effect is van stroomlijning van de instroom van de sifon. Het CFD-model is niet bedoeld om waterstanden in de Geul mee uit te rekenen. De waterstanden die in dit onderzoek zijn gebruikt bij het CFD-model en het D-Hydro-model kunnen dus van elkaar verschillen.

Tabel 4-1 Berekende instroomweerstand

situatie	instroom- weerstand	toename afvoer t.o.v. huidige situatie
Huidige situatie	0,51	0 %
Geleideschotten aan zijkanten	0,48	1,4 %
Geleideschotten aan bovenzijde	0,36	7,0 %
Geleideschotten aan zijkanten en aan bovenzijde	0,35	7,5 %

Uit de berekeningen blijkt verder dat de waarden voor instroomweerstand niet sterk worden beïnvloed door de hoogte van de afvoer. Het is duidelijk dat het grootste effect gehaald wordt met toepassing van de bovenschotten op de deur. De zijschotten hebben minder invloed.

In bijlage 2 is de onderbouwing van de CFD-berekening gegeven en hoe tot de varianten is gekomen.

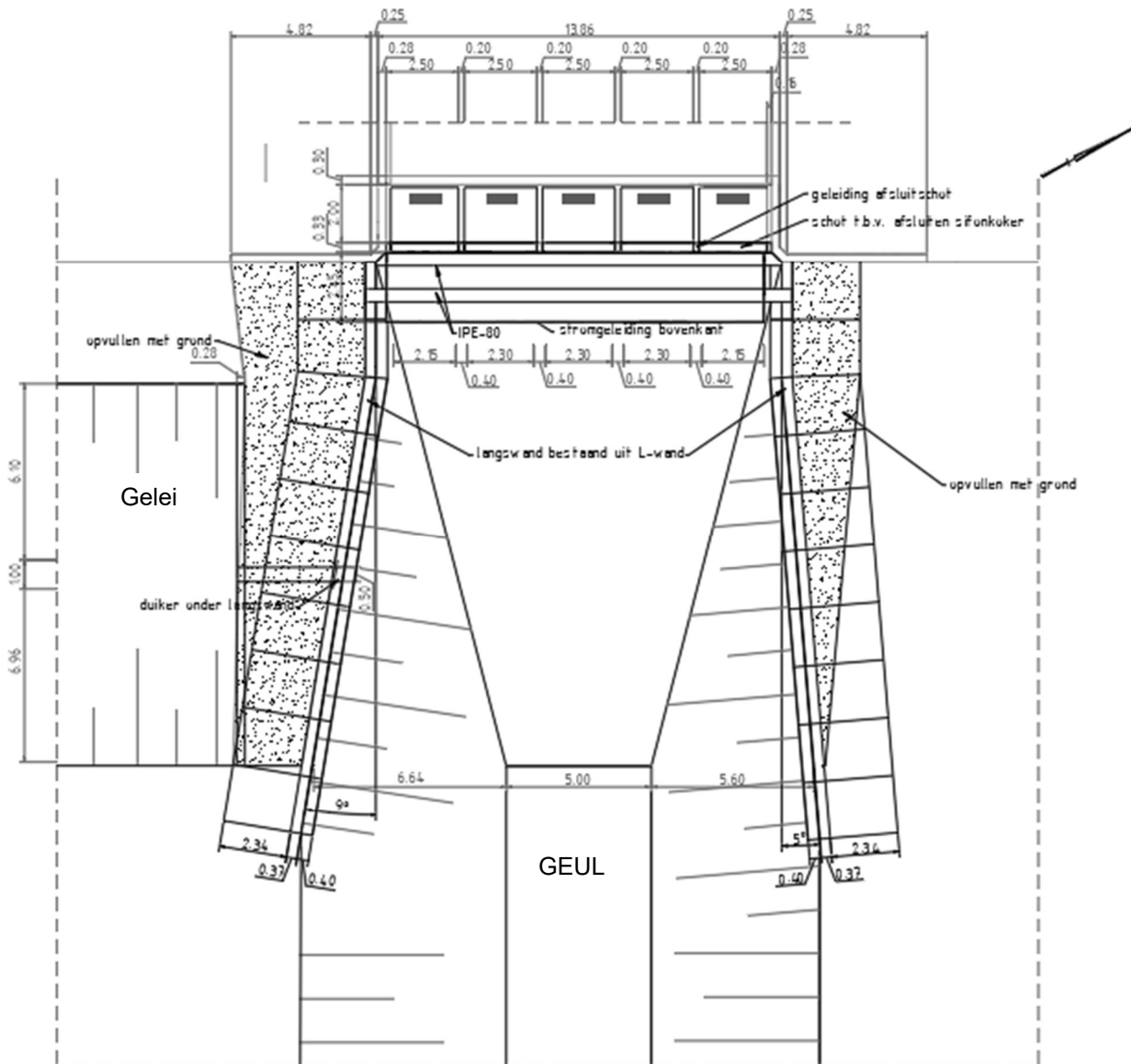
4.3 Ontwerp stroomlijningsmaatregelen

Van de stroomlijningsmaatregelen is een ontwerp gemaakt waarmee de kosten kunnen worden ingeschat.

Zijkanten

Als stroomlijningsmaatregel aan de zijkanten is uitgegaan van een verticale wand nabij de sifon, die als een fuik de overgang maakt van de oevers van de Geul (in grond) naar de kokers van de sifon. De wanden zijn hierbij verticaal gehouden met behoud van het onderwatertalud van de Geul. Een verticale wand vraagt om een grondkerende constructie die uit verschillende materialen kan bestaan. Voorstel is om de wand uit te voeren in betonnen L-wanden (lange levensduur en geen onderhoud). De ruimte achter de L-wanden wordt opgevuld met grond. De Gelei, een watergang die vanaf de zuidzijde net voor de sifon op de Geul aansluit, wordt via een duiker onder de L-wanden door geleid (dit kan effect hebben op de afstroming van deze watergang naar de Geul).

In totaal wordt er 40 strekkende meter L-wand gebruikt om de taluds te ondersteunen. In Figuur 4-1 is in een bovenaanzicht een ontwerp van de maatregelen aangegeven.

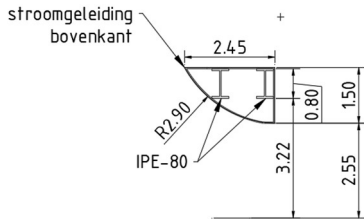


Figuur 4-1 Bovenaanzicht stroomlijningsmaatregelen zijkant

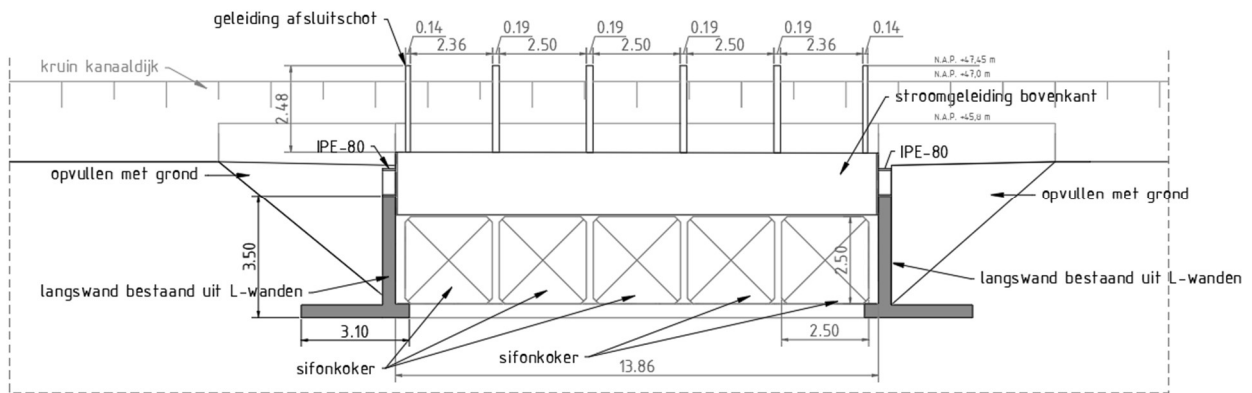
Bovenkant

Voor de stroomlijning aan de bovenzijde van de sifon wordt een rond gevormde stalen koker-constructie voorgesteld die voor de afsluitschotten van de sifon wordt aangebracht. In Figuur 4-2 is de voorzijde van de sifon te zien met de positie van de maatregelen. De geleidingsconstructie is als het ware een stalen koker, die rondom 2 dragende stalen (IPE-80) balken is geconstrueerd. Deze balken steken uit de constructie en worden opgelegd aan weerszijden van de sifon op 2 L-wanden. De koker kan geschikt gemaakt worden voor betreding zodat de afsluitschotten ook vanaf de voorkant bereikbaar zijn voor inspectie en eventueel onderhoud. In Figuur 4-3 en Figuur 4-4 zijn een vooraanzicht en zij aanzicht te zien. De stroomlijning aan de bovenzijde van de sifon is uit te voeren zonder invloed op de onderhoudbaarheid of afsluitbaarheid van de sifon. Uit de berekeningen met het CFD-model blijkt dat de open ruimte achter

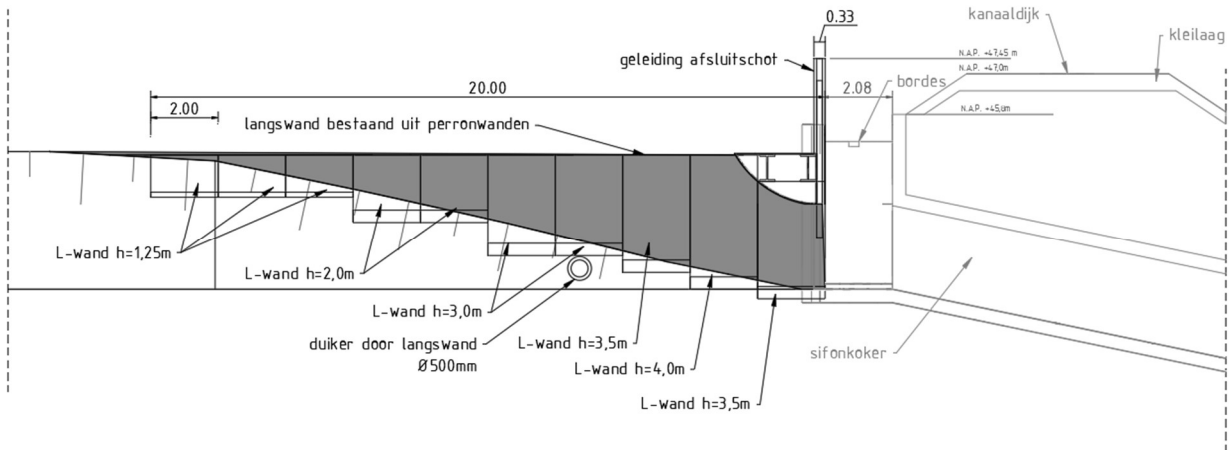
afsluitschotten weinig invloed heeft op de doorstroming omdat de stroming op dat punt al richting de kokers gestuurd is.



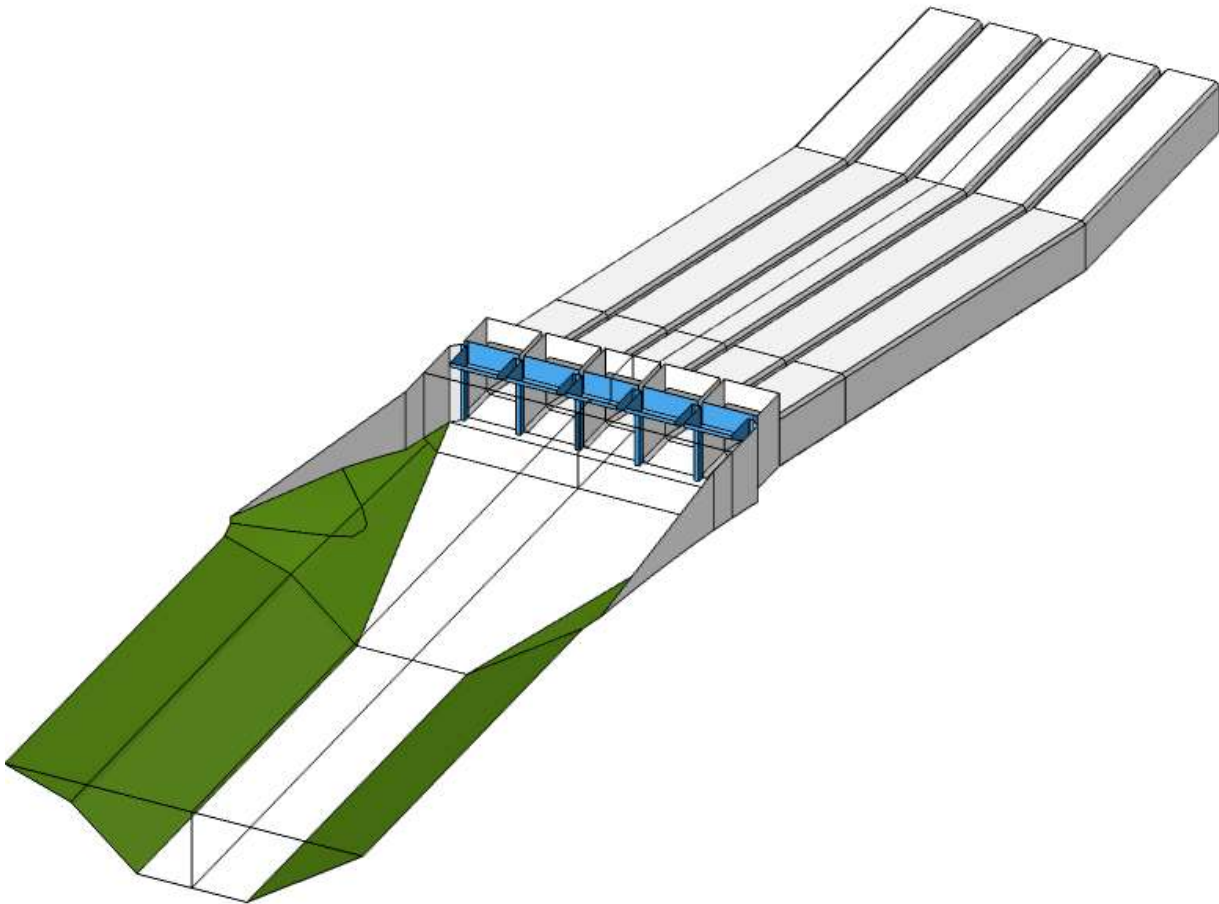
Figuur 4-2 Detail zijaanzicht stroomgeleiding bovenkant



Figuur 4-3 Vooraanzicht stroomgeleiding bovenkant



Figuur 4-4 Zijaanzicht stroomgeleiding met L-wanden



Figuur 4-5 3D-visualisatie sifon incl. stroomgeleidingswanden zijkanten (grijs ingekleurd)

4.4 Kostenraming

Op basis van het ontwerp is een kostenraming opgesteld conform SSK-systematiek die in de waterbouw gebruikelijk is. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen:

- directe 'benoemde' bouwkosten, van de posten die expliciet in de raming zijn uitgewerkt;
- nader te detailleren kosten (posten die pas bij uitwerking van het ontwerp naar voren komen; standaard een percentage van de directe benoemde bouwkosten);
- indirecte bouwkosten (bijv. algemene bouwplaatskosten, managementkosten, opslagen die elke aannemer rekent);
- risicoreservering.

Daarmee wordt gekomen tot zgn. Investeringskosten. Deze bedragen voor de stroomgeleiding van de zijkanten en bovenkant van de sifon € 439.842,= (excl BTW). De raming is opgenomen in bijlage 5.

Uit de kostenraming blijkt dat de zijschotten een aandeel van ongeveer 65% hebben in de bouwkosten en het bovenschot ongeveer 35%. De vergelijking gaat niet helemaal op, omdat het bovenschot steunt op de constructie van de zijschotten. Desondanks blijven de zijschotten relatief duur gezien hun effect op de afvoer. Mocht er gekozen worden om alleen stroomgeleiding aan de bovenkant toe te passen dan dient het ontwerp aangepast te worden omdat de bovenschotten dan anders bevestigd moeten worden; hiertoe kan besloten worden bij het vervolg van dit onderzoek.

5 Maatregel 2: verhogen waterdruk op de sifon

5.1 Inleiding

De waterafvoer door de sifon wordt mede gestuurd door de waterstanden aan de boven- en benedenstroomse zijde; het verschil daartussen wordt 'verval' genoemd. Bij hoogwater op de Geul stijgt de waterstand op de sifon en neemt de druk op de sifon toe en daarmee ook de afvoer door de sifon. In 2021 leidden de hoge waterstanden tot overstromingen. Maatregel 2 van deze Verkenning richt zich op het gecontroleerd op laten lopen van de waterstand aan de bovenstroomse kant van het sifon om de afvoer door de sifon te verhogen, maar dan zonder overstroming van de bebouwing in de omgeving. Dit kan mogelijk worden gemaakt door het realiseren van bedijking langs de Geul bovenstrooms van het sifon.

In deze Verkenning wordt niet ingegaan op de locatie van de bedijking; dit vergt nadere overweging. Bedijking dicht bij de Geul is niet wenselijk omdat de Geul vrij moet kunnen meanderen. Bedijking verder van de Geul af zorgt er voor dat het gebied tussen de dijken zich eerst vult (water wordt geborgen) en daarna pas geleidelijk stijgt. In de modelberekeningen is nog eenvoudigweg uitgegaan van bedijking direct langs de Geul omdat er gerekend is met een constante afvoer door de Geul; dan maakt de precieze ligging van de bedijking niet uit. Voor de kosten maakt de ligging van de bedijking wel uit (zie par. 5.5).

Het tracé waar bedijking in eerste instantie wordt overwogen is het deel van de Geul vanaf het sifon tot de Maastrichterlaan, ca. 1 km. bovenstrooms. De Maastrichterlaan kruist de Geul met een brug (zie Figuur 5-1).



Figuur 5-1 Brug bij Maastrichterlaan (foto Waterschap Limburg)

Wanneer de waterstand in de Geul stijgt gaat deze brug op een gegeven moment een belemmering vormen; het water komt tegen de onderkant van de brug, en bij verdere stijging komt ook de Maastrichterlaan onder water te staan. De onderkant van de brug, ofwel het hoogste punt van de boog aan de onderzijde ligt op 45,88 m+NAP. De hoogte van het brugdek is op basis van openbare hoogtegegevens (AHN4) geschat op 46,7 m+NAP.

Het op laten lopen van de waterstand tot een niveau boven de brug zonder schade in de omgeving vergt dan meer maatregelen dan alleen bedijking, bijv. het ophogen van de brug, of het afsluiten van de Maastrichterlaan en aanbrengen van nood-waterkeringen op en rond deze weg; dergelijke maatregelen zijn in deze studie alleen globaal verkend (zie par. 5.3.2) maar niet verder ontworpen.

Aandachtspunt bij bedijking is de watergang die direct bovenstrooms van de sifon vanaf de zuidkant op de Geul aansluit, het Gelei; bij bedijking zou deze watergang ook worden afgesloten. Hier wordt later in dit hoofdstuk op ingegaan.

5.2 Opzet van het onderzoek

Om de meerwaarde van bedijking te onderzoeken, zijn enkele waterhuishoudkundige situaties verkend, met verschillende waterstanden in de Maas, benedenstrooms van de sifon, en verschillende afvoeren door de Geul.

Met het rekenmodel D-Hydro van Waterschap Limburg (versie 2022.03, zie nadere informatie in bijlage 3) is voor al deze situaties het verloop van de Geulwaterstand berekend en is bepaald hoe hoog de bedijking langs de Geul zou moeten zijn om het Geulwater bij deze waterstanden binnen de dijken te houden, en geen wateroverlast in de omgeving te laten veroorzaken. Daarbij is gebruik gemaakt van openbare informatie over de maaiveldhoogte rond de Geul (AHN4). De grens voor deze peilopzet wordt voornamelijk gevormd door de brug van de Maastrichterlaan (zie par. 5.1). Door de 'gecontroleerde' verhoging van de waterstanden in de Geul neemt de waterdruk op de sifon toe, wat zorgt voor een hogere afvoer door de sifon. Die hogere afvoer is het primaire doel.

De varianten voor de Maaswaterstanden zijn opgenomen in Tabel 5-1.

Tabel 5-1 Gehanteerde Maaswaterstanden

Variant voor Maaswaterstand	Kans van voorkomen	Maaswaterstand [m+NAP]
Laag	1x/jaar (T1)	40,44
Midden	1x/10 jaar (T10)	42,86
Hoog	1x/100 jaar (T100)	44,13

In het model is een afvoer van de Geul ingevoerd ter hoogte van Meerssen. Deze afvoer is stapsgewijs verhoogd van 20 m³/s tot 160 m³/s (eerst in stappen van 10 m³/s, en vanaf 70 m³/s in kleinere stappen van 5 m³/s).

5.3 Resultaten

5.3.1 Benodigde dijkhoogte bij Geulafvoeren tot 75 m³/s

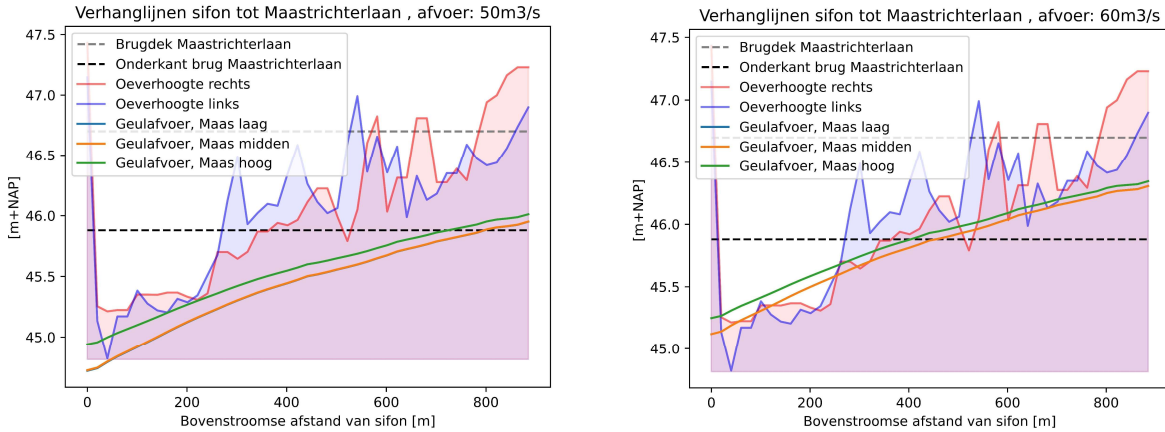
De resultaten van de berekeningen kunnen worden afgelezen in figuren van het waterstandsverloop langs de Geul (zgn. verhanglijnen); zie Figuur 5-2 en de toelichting hierna.

Op de horizontale as is de afstand tot de sifon afgebeeld, met de sifon aan de linkerzijde (0m). De brug bij de Maastrichterlaan bevindt zich op 950 m afstand, dus vrijwel geheel rechts in de figuur.

De hoogten van beide oevers van de Geul zijn afgebeeld met de 'gepiekte' lijnen. Het laagste punt aan de linkeroever, vlakbij de sifon, is de kruising met de Gelei (44,5m +NAP).

Onder normale omstandigheden werkt de Gelei als afwateringssloot voor het gebied van de Beatrixhaven. De inlaten van de Kanjel en de Gelei worden gesloten bij hoogwater in de Geul. Water uit de Geul kan dan wél de Gelei instromen. Een dijk langs de Geul zou de afwatering van Gelei naar de Geul belemmeren, ook in normale situaties. Indien de Gelei ook bij hoge afvoeren van de Geul op de Geul moet blijven afwateren, zijn aanvullende maatregelen nodig. Het alternatief is alleen een afsluiter (Geul

blokkeren om richting Gelei te stromen) en de Gelei af te laten wateren richting de Beatrixhaven, óf het Gelei-water tijdelijk bergen op het maaiveld in de Geulmonding.

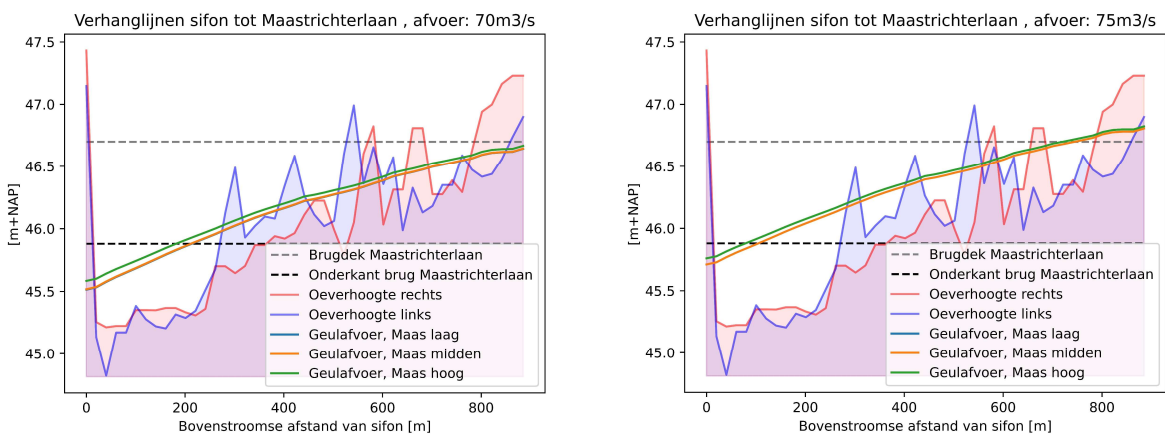


Figuur 5-2 Verhanglijn bij afvoer Geul van 50 en 60 m³/s

Het waterstandsverloop van de Geul bij hoge en midden Maaswaterstand (zie Tabel 5-1) zijn onderin de figuur te zien, respectievelijk de oranje en de groene lijn. Vanaf de 50 m³/s en hoger zijn een lage en een midden Maaswaterstand niet onderscheidend. De verhanglijnen bovenstrooms van het sifon liggen dan min of meer op elkaar; de oranje verhanglijn (midden Maas) ligt op de blauwe verhanglijn (lage Maas). In de figuur zijn tevens de hoogte van de onderkant van de brug (de bovenkant van de 'boog', te zien in Figuur 5-1) en de geschatte hoogte van het brugdek aangegeven met streeplijnen.

De waterstanden in de Geul bevinden zich bij de combinatie van een hoge Maaswaterstand en 50 m³/s Geulafvoer nog net onder het laagste maaiveldniveau bij de kruising met de Gelei. Bij deze afvoer van 50 m³/s komt de waterstand ter hoogte van de Maastrichterlaan net boven de bovenzijde van de boog van de brug (zwarte stippellijn). Bij 60 m³/s komen de waterstanden op verschillende plekken langs de Geul al boven het naastgelegen maaiveld uit. De boog van de brug bij de Maastrichterlaan ligt dan volledig onder water en fungeert dan feitelijk als duiker.

De verhanglijnen die zich instellen bij 70 m³/s en 75 m³/s zijn weergegeven in Figuur 5-3. Te zien is dat de waterstanden net bovenstrooms van de sifon stijgen om de toenemende afvoer door het sifon heen te krijgen.



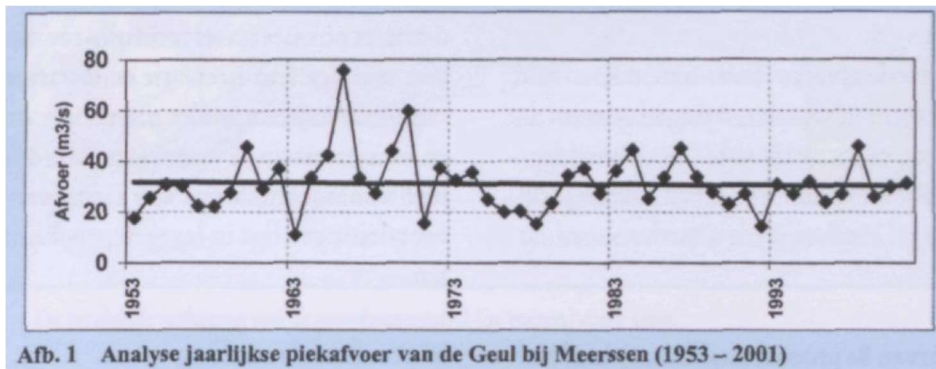
Figuur 5-3 Verhanglijnen bij afvoer Geul van 70 en 75 m³/s

Bij een afvoer van 70 à 75 m³/s bevindt de waterstand zich **gemiddeld ca. 0,4 m boven maaiveld** (de hoogte van de oevers langs de Geul)². Ook bovenstrooms van de Maastrichterlaan komt de waterstand boven maaiveld, met name aan de noordzijde van de Geul, omdat het maaiveld daar enkele laagtes kent. Dat betekent dat er bij een dergelijke afvoer, om overstromingen te voorkómen, niet alleen bedijking nodig is tussen sifon en Maastrichterlaan, maar ook tussen de Maastrichterlaan en de Fregatweg. Hiermee is rekening gehouden (al zijn deze hoogteverschillen niet in de figuren in dit hoofdstuk opgenomen).

Indien er dus kades (al dan niet op enige afstand) langs de Geul worden gemaakt met een hoogte van minimaal 0,4 m (exclusief de extra 'waakhoogte' die bij waterkeringen gebruikelijk is), dan kan de waterstand direct bovenstrooms van de sifon 0,4 m stijgen zonder overstromingen op dit traject van de Geul. Zonder kades overstroomt het gebied rond dit traject van de Geul al vanaf orde 60 m³/s. Oftewel, door deze bedijking kan er kan **10 tot 15 m³/s** extra Geulwater door de sifon worden gevoerd zonder lokale overstromingen op dit traject van de Geul.

Afvoeren in perspectief

Om de afvoeren die hierboven genoemd worden in perspectief te plaatsen even het volgende. In 2003 is een tijdreeks van afvoeren van de Geul gepubliceerd, in het artikel 'Geen toename van de piekafvoer van de Geul' uit het vakblad H2O. Figuur 5-4 (uit dit artikel) toont de historische piekafvoeren bij Meerssen tussen 1953 en 2001. In die periode is de 50 m³/s tweemaal overschreden. In 1966 moet het een piekafvoer van ongeveer 75 m³/s zijn geweest en in 1970 ongeveer 60 m³/s.



Figuur 5-4 Analyse piekafvoeren Geul bij Meerssen [De Laat & Librada Chu Agor (IHE), H2O nr. 9, 2003]

In december 1966 is de Geul op verschillende plekken buiten zijn oevers getreden, zoals een foto van het ANP laat zien (Figuur 5-5).

² De hoogte van het maaiveld langs de Geul varieert, en daarmee ook de benodigde hoogte van bedijking. Hiermee is rekening gehouden in het onderzoek. De 0,4 meter is een gemiddelde.

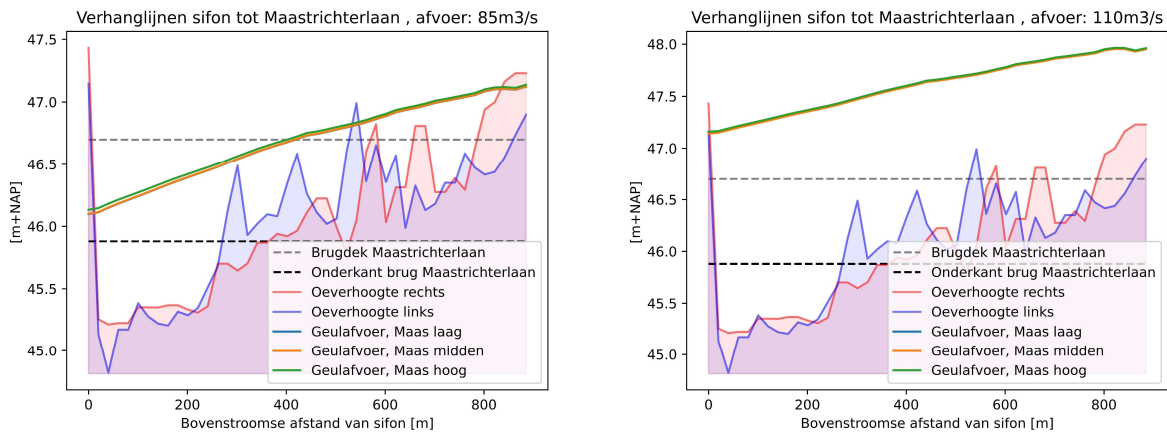


Figuur 5-5 Overstromingen Valkenburg 1966 [13389505, ANP Historisch Archief, ANP]

5.3.2 Verkenning situatie bij Geulafvoeren tot 110 m³/s

Neemt de Geulafvoer nog verder toe, dan overstroomt de Maastrichterlaan, en stuwt het water ook bovenstrooms daarvan steeds verder op. Om het water in dat geval binnen het profiel van de Geul te houden, zijn extra maatregelen nodig, zoals tijdelijke keringen dwars op de Maastrichterlaan en verhoging van de kades langs de Geul bovenstrooms van de Maastrichterlaan, al dan niet in combinatie met (als permanente maatregel) verhoging van de brug bij de Maastrichterlaan.

Tijdens de extreme gebeurtenis van juli 2021 was de afvoer van de Geul groter dan de sifon op dat moment kon verwerken. Tijdens deze gebeurtenis zijn de meeste meetstations helaas ‘verdronken’ waardoor er geen precieze getallen zijn voor de piekafvoer bij de Geulmonding. Er zijn schattingen van onder andere het waterschap dat deze tussen de 85 en 110 m³/s moet zijn geweest [I&W 2021, Evaluatie hoogwater 2021]. De onzekerheid in de maximale afvoer van juli 2021 geeft een grote spreiding in het beschouwen van de benodigde dijkhoogte om deze afvoer zonder overstroming in de Geulmonding af te kunnen voeren. De Geuloevers net bovenstrooms van het sifon liggen rond de 45,00m +NAP. Bij 85 m³/s zou de waterstand net bovenstrooms van het sifon komen tot 46,25m +NAP, zoals te zien is in Figuur 5-6. Dit zou kades vergen met een hoogte van meer dan één meter. Bij 110 m³/s zou de waterstand voor het sifon komen tot 47,4m +NAP. Dit zou een verhoging van de oevers betekenen van ruim twee meter én een kunstwerk ter plaatse van de kruising met de Gelei.



Figuur 5-6 Verhanglijnen bij afvoer Geul van 85 en 110 m³/s

5.4 Conclusies

- Wanneer 75 m³/s door de Geul en het sifon stroomt zijn dijken nodig tussen de sifon en de Maastrichterlaan van orde 0,4 m hoog (exclusief de extra ‘waakhoogte’ die bij waterkeringen gebruikelijk is) om deze afvoer zonder overstromingen te laten verlopen. Bij deze afvoer is de onderdoorgang (boog) van de brug verdrongen en komt de weg over de brug mogelijk net onder water te staan. Bovenstrooms van de brug zijn de maaiveldhoogtes direct langs de Geul eveneens niet hoog genoeg; daar is nu ook bedijking naast de Geul voorzien. Kanttekening daarbij is dat het opstuwende effect van de brug nog niet goed in de berekeningen is opgenomen.
- Bij de conclusies met betrekking tot deze maatregel moet nadrukkelijk worden gesteld dat er (nog) niet gezocht is naar een optimaal tracé voor de bedijking omdat het primaire doel was om te bepalen in welke mate opstuwing leidt tot een hogere afvoer door de sifon. Er is daarom nog eenvoudigweg uitgegaan van kades direct naast de Geul. Een andere ligging kan leiden tot hogere kosten vanwege de grotere lengte, en mogelijk ook deels voor lagere kosten wanneer een tracé over hoog gelegen maaiveld wordt gekozen. De tracékeuze is een onderwerp voor nadere uitwerking van deze maatregel.
- Hogere afvoeren dan 75 m³/s mogelijk maken met bedijking lijkt niet zinvol. De brug bij de Maastrichterlaan wordt dan namelijk echt een knelpunt en aanvullende maatregelen aan, op of rond de brug of weg zijn dan nodig.
- Wanneer bedijking wordt toegepast tussen de Maastrichterlaan en het sifon, is het Gelei het enige (hydraulische) knelpunt dat moet worden opgelost. Indien de Gelei ook bij hoge afvoeren van de Geul op de Geul moet blijven afwateren, zijn aanvullende maatregelen nodig. Het alternatief is alleen een afsluiter (Geul blokkeren om richting Gelei te stromen) en de Gelei af te laten wateren richting de Beatrixhaven, óf het Gelei-water tijdelijk bergen op het maaiveld in de Geulmonding.

5.5 Kostenraming bedijking

Voor de bedijking is een kostenraming opgesteld conform SSK-systematiek (zie par. 4.2.2). Daarbij is uitgegaan van een variant voor de waterkeringen van orde 0,4 m hoog plus de waakhoogte die bij de waterkeringen gebruikelijk is, horend bij een afvoer van 75 m³/s (zie Conclusies hierboven). Aanvullende maatregelen bij de Gelei zijn nog niet in de raming opgenomen.



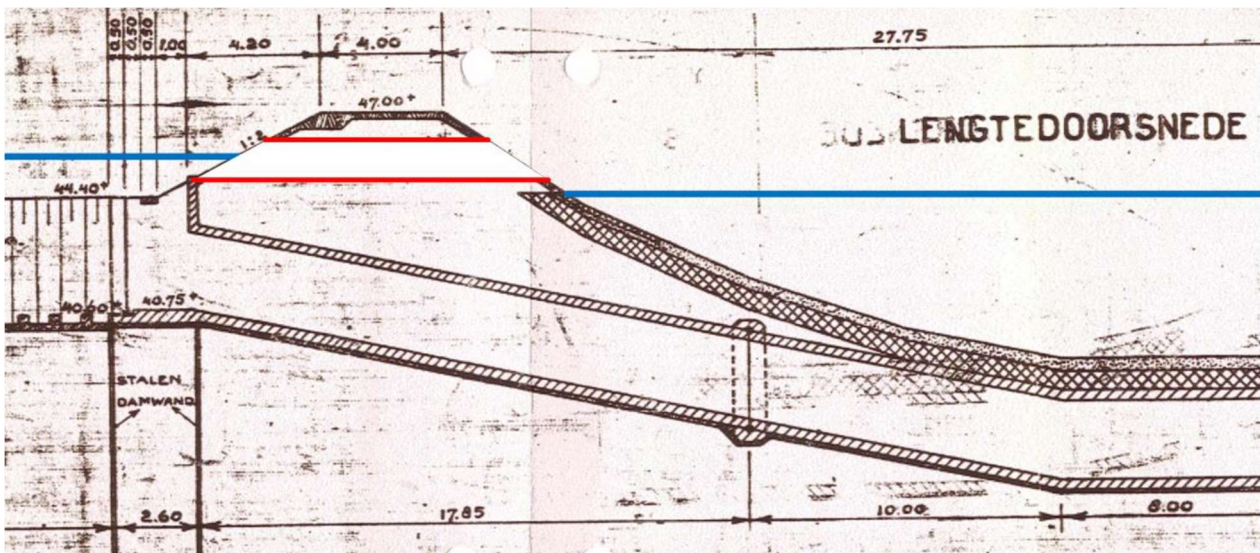
Daarmee wordt gekomen tot een bedrag aan Investeringskosten van € 1.663.249,= (excl BTW). De raming is opgenomen in bijlage 5.

Er is uitgegaan van kades direct naast de Geul. Een andere ligging kan leiden tot hogere kosten vanwege de grotere lengte, en mogelijk ook deels voor lagere kosten wanneer een tracé over hoog gelegen maaiveld wordt gekozen.

6 Maatregel 3: afvoeren op het Julianakanaal

6.1 Inleiding

Tijdens het hoogwater in juli 2021 heeft het water in de Geul aan bovenstroomse zijde van de sifon hoger gestaan dan het (normale) peil in het Julianakanaal. Dit betekent dat er een mogelijkheid is dat water vanuit de Geul onder vrij verval naar het Julianakanaal afgevoerd zou kunnen worden. Hiervoor wordt een overlaat door de kanaaldijk voorgesteld, bij of boven de sifon. Vooralsnog is voorzien in een overlaat met een terugslagklep, waardoor er alleen water op het Julianakanaal kan worden afgevoerd en geen water van het kanaal naar de Geul kan stromen. Voorwaarde is uiteraard dat de terugslagklep gegarandeerd goed sluit. Zou dit riskant worden gevonden (zie ook voetnoot in par. 6.10), dan kan een alternatief een overlaat zijn waarvan de onderdrempel zich boven het peil van het Julianakanaal bevindt; dit beperkt echter wel de afvoercapaciteit of vraagt om een bredere overlaat.



Figuur 6-1 voorstel overlaat door kanaaldijk langs Julianakanaal

Deze maatregel is nader onderzocht. Daarbij is aandacht besteed aan de volgende aspecten:

- waterstand op het Julianakanaal;
- eventuele fysieke beperkingen voor afvoeren op het kanaal vanwege stabiliteit van de kanaalbodem, ongewenste wervelingen of consequenties voor de scheepvaart;
- mogelijkheden voor afvoeren op het Julianakanaal bij verschillende waterhuishoudkundige situaties:
 - alleen hoogwater op de Geul, scheepvaartverkeer op Julianakanaal normaal in bedrijf;
 - hoogwater Geul, hoogwater Maas, Keersluis Limmel dicht, maar sluiscomplex Born en Maasbracht nog in bedrijf (nog geen hoogwater in Maas bij Maasbracht);
 - hoogwater Geul, Hoogwater Maas, Limmel dicht en bij Maasbracht geen scheepvaart meer mogelijk;
- gewenste afmetingen van de overlaat;
- voorkeurslocatie voor de overlaat.

Deze aspecten komen hieronder achtereenvolgens aan de orde, waarna een voorstel wordt gepresenteerd voor de overlaat en een schatting van de kosten wordt gegeven.

6.2 Waterstanden en andere basisinformatie Julianakanaal

Het Julianakanaal is aan de boven- en benedenstroomse zijde aangesloten op de Maas. Er zijn geen zijrivieren of beken op het kanaal aangesloten. Het kanaal kent 3 sluisen: een keersluis bij Limmel (naast de stuw van Borgharen, waar het kanaal zich afsplitst van de Maas), een bij Born en een bij Maasbracht, waar het kanaal weer uitmondt in de Maas. De Geul kruist het kanaal tussen Limmel en Born.

Het streefpeil voor Limmel-Born is NAP +44,05 m, en tussen Born-Maasbracht: NAP +33,65 m (Rijkswaterstaat, 2024). De breedte van het kanaal op deze hoogte is 42 meter. Het kanaal tussen de keersluis bij Limmel en de schutsluis bij Born is ca. 22 km lang, en de lengte tussen de keersluis Born en de schutsluis Maasbracht bedraagt ongeveer 14 km.

Tijdens het hoogwater in juli 2021 was de keersluis bij Limmel gesloten en was ook het kanaal gesloten voor scheepvaart en zijn de schutsluizen bij Born en Maasbracht niet in bedrijf. In het beheer wordt de keersluis Limmel gesloten opdat de waterstand niet hoger wordt dan NAP+44,15m (HKV, 2015). Tijdens hoog water wordt het kanaalpeil dus (met normale variaties) gehandhaafd.

6.3 Eventuele fysieke beperkingen en mitigerende maatregelen

De bodem van het Julianakanaal is afgedekt met klei en de oevers van het kanaal zijn beschermd met klei en stortsteen. Een goed verdichte kleibodem is bestand tegen een stroomsnelheid van orde 0,9 m/s, waarmee hoge afvoeren (ver boven de 40 m³/s) mogelijk zijn. De stabiliteit van de kleibodem is daarmee niet bepalend voor de afvoer naar het kanaal.

Dit maximale debiet kan worden afgevoerd naar de Maas door de schutsluizen bij Born en Maasbracht als spuisluis te gebruiken. Dit zou in een uitzonderlijke situatie kunnen worden toegepast door maximaal gebruik te maken van het nivelleersysteem (omloopriolen, schuif heffen) of door een van de sluisgangen open te zetten. Dit past alleen in het scenario dat er geen scheepvaart meer op het kanaal plaatsvindt. Een aantal zaken zal hiervoor nader onderzocht moeten worden; onder meer de effecten van de hoge stroomsnelheden die in de sluisen kunnen optreden. Vooralsnog wordt ingeschat dat bij de sluisen de bodem voldoende beschermd is tegen stroomaanval omdat deze ook bestand moet zijn tegen schroefstralen van manoeuvrerende schepen, die veel hogere snelheden aan de bodem veroorzaken.

Door Rijkswaterstaat is het afvoeren van water met een nieuwe overlaat in de dijk van het Julianakanaal op een aantal aspecten beoordeeld. Hieruit volgen mogelijk negatieve effecten die met nader onderzoek en maatregelen kunnen worden beperkt of ongedaan gemaakt ('gemitigeerd') waardoor de extra afvoer op het Julianakanaal mogelijk wordt. Hieronder worden de issues en mitigerende maatregelen samengevat. NB: de mitigerende maatregelen zijn nog niet opgenomen in deze Verkenning.

Waterhuishoudkundige effecten en sluisbeheer

Als de scheepvaart nog in bedrijf is kan maximaal 40 m³/s door het kanaalpand stromen; dit wordt in par. 6.6.1 beschreven. De vraag is of in deze situatie (met de scheepvaart nog in bedrijf) het water kan worden afgevoerd naar de Maas. Voornaamste obstakels zijn de sluisobjecten Born en Maasbracht die ontworpen zijn om te schutten en niet om te spuien, in ieder geval niet grote hoeveelheden. In Born wordt bij normaal schutbedrijf Born en Maasbracht slechts 3 m³/s tot 4 m³/s gespuid, omdat sluis Maasbracht meer schutwater verbruikt dan sluis Born. Het spuidebiet verhogen zonder technische ingreep en bij normaal schutbedrijf is volgens Rijkswaterstaat technisch niet haalbaar.

Een alternatief voor extra spuien kan zijn het intensief "omzetten" van sluisgolken. Dat wil zeggen in doorlopend hoger tempo sluisgolken laten vollopen en meteen weer ledigen. De inschatting is dat hiermee de gewenste afvoer kan worden verwerkt, maar nader onderzoek naar deze maatregel is wel noodzakelijk. Gezien de huidige ouderdom en gevoeligheid van de objecten zullen er aanvullende

maatregelen genomen moeten worden om werkbaarheid te kunnen garanderen. Op dit moment is het risico te groot dat een of meerdere kolken in storing vallen en sluiskolken dan niet meer beschikbaar zijn. Bovendien moet in deze situatie het scheepvaartverkeer worden stilgelegd wat onderhevig is aan een besluit door het Ministerie van IenW.

Mitigerende maatregel:

Nader onderzoek extra spuien/schutten met sluis Born en Maasbracht en uitwerking noodzakelijke maatregelen. Te denken valt aan extra verdediging van bodem en oevers nabij de sluiscomplexen, verbeteringen aan bewegingswerken schutsluizen.

Waterkwaliteit

Het water van de Geul in een situatie van hoogwater is extreem rijk aan sediment (net als de Maas bij hoogwater). Op foto's en luchtbeelden is te zien dat de Geul in die situatie een donkerbruine stroom is. Het is ook logisch dat bij zulke hoge afvoeren veel meer sediment wordt meegevoerd dan normaal. De impact van de overstort op de kwaliteit van het kanaalwater moet onderzocht worden. Voor (riool)overstorten op rijkswater gelden normen die hier ook van toepassing zullen zijn (overigens wordt tijdens hoogwater ook overstortwater vanuit Maastricht naar het kanaal gepompt). Mogelijk is het inbrengen van Geulwater in het Julianakanaal zelfs MER-plichtig (water brengen van een waterlichaam in een ander waterlichaam).

Verder is er in de zin van waterkwaliteit nog een bijzondere situatie. Chemelot neemt water in vanuit het Julianakanaal (ongeveer 1,4 m³/s). Dit water zuivert zij middels een flocculator in de haven van Stein. Een deel van dit water wordt gezuiverd tot demiwater voor processen, een deel van het water wordt gebruikt voor koelwater. De flocculator kan niet onbeperkt sediment uit het water filteren; dat geldt ook voor sediment dat vanuit de Maas wordt aangevoerd. In het verleden bleek het water van het kanaal te troebel door activiteiten in het verwerkingsbekken van Consortium Grensmaas. Zij hebben toen hun activiteiten moeten aanpassen om de vertroebeling van het water te beperken. De inname van water door Chemelot is rechtstreeks gekoppeld aan de continoverlue chemische productie. Er is geen buffer en stilleggen van inname betekent stilleggen van de productie met flinke economische schade tot gevolg. Die inname moet dus altijd doorgaan. Om te controleren of er gevolgen zijn voor de inname van Chemelot dient eerst onderzocht te worden wat de vertroebeling wordt. Dit gegeven zal dan door Rijkswaterstaat overlegd moeten worden met Chemelot. Bij nadere uitwerking van de overlaat van de Geul naar het Julianakanaal zou er voor gezorgd moeten worden dat zo veel mogelijk sediment afgevangen wordt.

Mitigerende maatregel:

Nader onderzoek vertroebeling en uitwerking maatregelen om slib op te vangen.

Impact op dijk Julianakanaal

De dijk langs het Julianakanaal is aan de zijde waar de overlaat is gepland geen primaire kering, maar wel aan strenge regelgeving onderhevig. Dit gaat zelfs zo ver dat hiervoor een "nee, tenzij" beleid geldt. De procedure voorziet erin dat het ontwerp van een overlaat van Geulwater beoordeeld gaat worden door de landelijke juridische dienst. Zij gaan beoordelen of de risico-situatie niet gaat toenemen ten opzichte van de huidige situatie. Een van de risico's die kunnen ontstaan is in geval van hoogwater op de Maas en falen van de keersluis van Limmel én het falen van de terugslagklep van de overlaat, dat er via de overlaat water zou gaan stromen naar het gebied oostelijk van het kanaal. Dit risico moet worden afgedekt. Verder zal de impact van een verandering in de waterstanden door de afvoer op het kanaal dan wel een veranderde verhanglijn op de dijken onderzocht moeten worden. De dijken zijn inmiddels ook bijna 100 jaar oud en gevoelig voor verweking. De waterremmende laag in het kanaal heeft een beperkte hoogte en ook hier geldt dus dat geen nieuwe risico's geïntroduceerd mogen worden. En tenslotte zal ook gekeken

moeten worden naar de effecten van stroming door de overlaat naar de tegenovergelegen oever van het Julianakanaal.

Mitigerende maatregel:

Het ontwerp van de inlaat zo maken dat de geschetste risico's voor de dijk langs het Julianakanaal niet optreden. In het ontwerp is voorzien in terugslagkleppen waardoor het risico van stroming van Julianakanaal naar de Geul wordt voorkomen. Ook de verhanglijen en waterstanden op het kanaal blijven binnen de variaties zoals deze in de huidige situatie optreden. Het exacte beheer bij inlaten van water op het Julianakanaal moet in een verder ontwerp nader worden uitgewerkt.

6.4 Afwateren en wervelingen in het kanaal

Afvoeren van water vanuit de Geul op het kanaal leidt tot wervelingen ter plaatse van het afvoerpunt, en erosie veroorzaken die ongewenst is vanwege de stabiliteit van de kanaalbodem en de kanaaldijk. Deze wervelingen en turbulentie kunnen worden beperkt door maatregelen te treffen, waarmee de energie van het water benedenstreams van de overlaat wordt beperkt. Daartoe wordt een zgn. woelbak bij de uitstroom voorgesteld, waardoor het talud van het kanaal wordt beschermd. Om zeker te zijn dat er geen erosie benedenstreams van de woelbak optreedt kan de aanwezige breuksteen op het talud worden gepenetreerd met colloïdaal beton (geschikt voor toepassing onder water), voor zover dat al niet aanwezig is.

6.5 Overstorten en consequenties voor scheepvaart

De kans is groot dat hoogwater op de Geul samenvalt met hoge waterstanden op de Maas; beide zijn regen-rivieren. Tijdens hoogwater op de Maas (een waterstand van 44,20m+NAP of hoger bij Limmel) is er praktisch geen scheepvaart op het kanaal³.

Bij lagere waterstanden en scheepvaart op het kanaal zal afvoer van Geulwater op het kanaal dwarsstroming veroorzaken, die nadelig is voor de scheepvaart; de schepen zouden dan langzamer moeten varen. Het water van de Geul zou bij afvoer op het Julianakanaal bij voorkeur in langsrichting van het kanaal moeten worden verdeeld of geleid; een aandachtspunt bij nadere uitwerking (zie ook par. 6.10).

Voor beroepsvaart is een dwarsstroming met een snelheid van 0,3 m/s bij een uitstroomdebiet van minder dan 50 m³/s acceptabel (Rijkswaterstaat, 2020). Als het dwarsstroomveld een geringe breedte heeft (<0,2*lengte van het schip) kan een hogere dwarstroomsnelheid worden toegestaan. De toelaatbare snelheid bedraagt volgens (Rijkswaterstaat, 2020):

$$V_c = (1,5 - 6 * W_u / L), \text{ waarin}$$

- V_c = dwarstroomsnelheid [m/s]
- W_u = breedte van de uitstroomopening [m]
- L = lengte van het schip [m].

Voor een maatgevend klasse Va schip ($L=135\text{m}$) en een breedte van de uitstroomopening van 15 m geldt daarmee een toelaatbare dwarstroomsnelheid van 0,7m/s. Voor kleinere schepen is de toelaatbare stroomsnelheid kleiner. (NB: vanaf 2027, na de verruiming van het kanaal, wordt de maatgevende scheepvaartklasse Vb, lengte 190 m en diepte 3,5 m).

³ De sluisen blijven beschikbaar voor lokaal verkeer en voor schippers die het wel veilig vinden om te varen. Opgemerkt zij dat Rijkswaterstaat geen bevoegdheid heeft om scheepvaartverkeer stil te leggen. De schippers bepalen zelf of het voldoende veilig is om te varen of niet (en of ze bij hoog water nog onder de bruggen door kunnen). Die verantwoordelijkheid ligt dus bij de schipper.

Voor recreatievaart is de dwarsstroomsnelheid kritischer: het dwars-stroomveld mag niet langer zijn dan een halve scheepslengte en niet hoger zijn dan 0,3 m/s.

Geringe overschrijdingen van bovenstaande grenzen kunnen worden geaccepteerd als de scheepvaart op de hoogte wordt gesteld door waarschuwingsborden.

6.6 Mogelijkheden voor afvoeren op het kanaal bij verschillende situaties

In samenspraak met Rijkswaterstaat zijn de mogelijkheden voor afvoeren van Geulwater op het kanaal beschouwd in drie verschillende waterhuishoudkundige situaties. Deze worden hieronder achtereenvolgens behandeld.

Het water dat wordt afgevoerd op het kanaal wordt in eerste instantie geborgen in het kanaalpand, en vervolgens afgevoerd. Zowel de berging als de afvoer worden apart beschouwd.

6.6.1 A: hoogwater op Geul, keersluis Limmel open, scheepvaart in bedrijf

Berging op kanaalpand Limmel - Born

Berging van water op het kanaal zorgt voor stijging van het kanaalpeil. Wanneer er scheepvaart plaatsvindt, moet er minimaal 7 meter doorvaarhoogte zijn voor schepen onder alle bruggen en constructies. Hieruit volgt de maximale waterstand op het kanaalpand. In Tabel 6-1 zijn de hoogtes van de onderkant van alle bruggen op het sluispand tussen Limmel en Born te zien. De hoogste waterstand die scheepsvaart nog steeds mogelijk maakt is NAP+44,24 m (Scharbergbrug is bepalend).

Tabel 6-1 Hoogtes onderkant bruggen op kanaalpand Limmel - Born

brug	hoogte (m+NAP)
Brug Itteren	52,41
Brug Bunde	51,28
Brug Geulle	51,32
Brug Elsloo	51,71
Scharbergbrug	51,24
Brug Stein	51,50
Brug Urmond	51,89
Brug Berg	51,64
Brug Obbicht	51,46

Het streefpeil van het water in het kanaal tussen Limmel en Born is NAP+44,05 m en in de zomer NAP+44,10 m (Kanen-Verlinden, 2014, (Rijkswaterstaat, 2024), en keersluis Limmel wordt gesloten bij NAP+44,15m (HKV, 2015).

Er van uit gaande dat het peil op het kanaal tijdens hoogwater opgehoogd kan worden van het streefpeil tot het hoogste peil dat nog steeds scheepvaart toelaat, kan in theorie de volgende hoeveelheid water op het kanaalpand Limmel-Born geborgen worden: lengte 22.000 m * breedte 42 m * peilverhoging (44,24 - 44,05 m) = 175.560 m³. Bij een afvoer van bijv. 10 m³/s wordt dit volume in ca. 5 uur bereikt (aanzienlijk

korter dan de duur van de hoogwatergolf in 2021). Het geborgen water wordt deels afgevoerd door het schutten van schepen. Op het kanaalpand Born-Maasbracht kan naar schatting 115.000 m³ water worden geborgen.

Afvoer naar de Maas

Na het bereiken van de bergingscapaciteit kan er slechts nog evenveel water op het kanaal afgevoerd worden als er ook uit gaat. Rijkswaterstaat streeft ernaar dat de afvoer op het kanaal slechts af en toe hoger is dan 25 m³/s en maximaal 40 m³/s in verband met de scheepvaart. Bij een hoger debiet dan 40 m³/s zouden de schepen moeilijk tot niet tegen de stroming op kunnen varen (Kanen-Verlinden, 2014).

Dit zou ook aangehouden kunnen worden als de maximale afvoer door het kanaal. Gegeven het feit dat er momenteel geen watergangen water afvoeren op het kanaal, zou deze maximale afvoer door het kanaal ook gelden als maximum voor de afvoer van water uit de Geul op het kanaal. Om dit water veilig af te voeren moeten de schutsluizen bij Born en Maasbracht dan als spuisluis functioneren. De scheepvaart kan parallel in bedrijf worden gehouden door te spuien via één van de sluisgolken en te schutten door de andere sluisgolken.

De afvoer door het kanaal zorgt natuurlijk wel voor een waterstandsverloop ('verhang'), waar rekening mee gehouden moet worden. Bij een gemiddelde stroomsnelheid van 0,5 m/s bedraagt het verhang orde $2 \cdot 10^{-5}$ ⁽⁴⁾. Over 22 km kanaalpand is het verhang dan ongeveer 0,44 m, wat nog binnen de normale fluctuaties op het kanaal lijkt te passen (+/- 20cm). Aan de benedenstroomse zijde kan het waterpeil evt. lager zijn dan gemiddeld wanneer er water wordt gespuid, en aan de bovenstroomse zijde zou het waterpeil ondanks het verhang nog onder de bovenkant van de zijafdichting van het kanaal moeten vallen en acceptabel moeten zijn voor de scheepvaart. Dit is een aandachtspunt bij nadere uitwerking.



Figuur 6-2 Beeld sluis Maasbracht

Verlagen waterstand kanaal?

Bij een lagere waterstand op het Julianakanaal zou er meer water geborgen kunnen worden, eerder water vanuit de Geul op het kanaal afgevoerd kunnen worden (bij een lagere stand op de Geul) of sneller afgevoerd kunnen worden (een groter waterstandsverschil leidt tot een hogere afvoer). Het actief verlagen van de waterstand in het Julianakanaal is echter niet wenselijk voor de diepgang van de schepen (zo lang de scheepvaart doorgang vindt op het kanaal). Bovendien neemt bij een verlaging

⁴ ingeschat met de rekenformule van Chézy

onder NAP+43,0m de stabiliteit van de kanaaldijken af en bestaat de kans op openbarsten van de kanaalbodem bij hoogwater in de Maas ((RWS), 2024). Het verlagen van het kanaalpeil is daarom in dit onderzoek niet beschouwd.

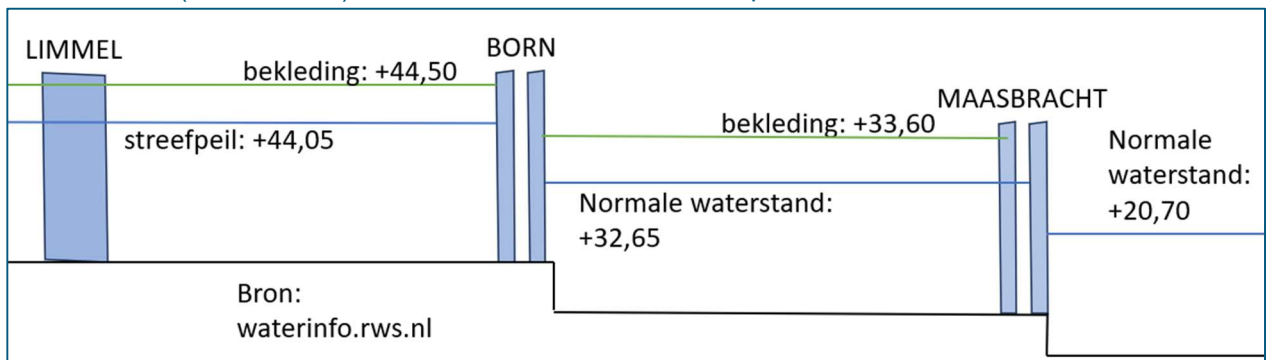
6.6.2 B: Limmel dicht, scheepvaart en schutsluizen Born en Maasbracht in bedrijf

Bij deze situatie gelden dezelfde beperkingen als in situatie A (par. 6.6.1) doordat de scheepvaart nog in bedrijf is en de maatgevende beperking geeft voor afvoer en berging.

6.6.3 C: sluizen Limmel dicht, scheepvaart niet in bedrijf

Berging op kanaalpand Limmel-Born

In deze situatie is er geen scheepvaart en geldt de beperking van de doorvaarthoogte dus niet meer. Wel geldt dat de waterstand niet boven de waterdichte bekleding van de oevers van het kanaal uit mag komen, anders lekt er water uit het kanaal, met mogelijk negatieve effecten op de stabiliteit van de kanaaldijk en de grondwaterstanden in de omgeving. De bovenzijde van de waterdichte bekleding bevindt zich op kanaalpand Limmel-Born op NAP+44,50 m (bron: As-buit tekeningen grondduiker kanaalgedeelte km 28.820-33.190 (Mourik, 2014), en tussen Born en Maasbracht op NAP+33,65 m.



Figuur 6-3 Waterstanden en hoogtes bekleding

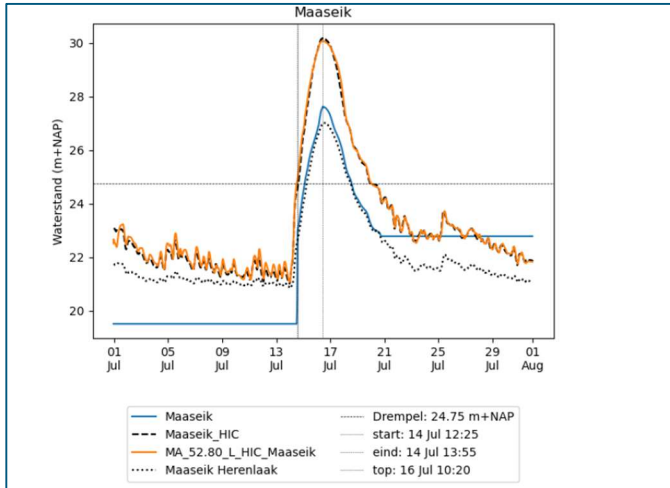
Hiermee kan er in theorie de volgende hoeveelheid water worden geborgen op kanaalpand Limmel-Born: lengte 22.000 m * breedte 42 m * peilverhoging (44,5-44,05) = 415.800m³. Bij een afvoer van bijv. 10 m³/s wordt dit volume in ca. 11,5 uur bereikt. Tussen Born en Maasbracht kan er 14.000 * 42 * (33,65-32,65) = 588.000 m³ geborgen worden. De totale hoeveelheid die geborgen kan worden is daarmee orde 1 miljoen m³.

Afvoer naar de Maas

Bij afwezigheid van scheepvaart kan de afvoer door en uit het kanaal groter zijn dan met scheepvaart. Gezien vanuit de kleibekleding op de bodem kan de maximale stroomsnelheid op het kanaal maximaal 0,9 m/s zijn, waarmee hoge afvoeren (ver boven de 40 m³/s) mogelijk zijn. De stabiliteit van de kleibodem is daarmee niet bepalend voor de afvoer naar het kanaal.

Of er daadwerkelijk gespuid kan worden bij Maasbracht ligt aan of de waterstand in het kanaal hoger is dan de waterstand op de Maas bij Maasbracht. Het water kan maximaal tot NAP + 33,65 m in het kanaal staan. De Maas heeft bij Maaseik (net bovenstrooms van Maasbracht) tijdens de hoogwatergolf 2021 een waterstand van ten hoogste NAP+30,0 m bereikt (Deijl, 2021). Hieruit kan worden geconcludeerd dat

vanuit het kanaalpand Born – Maasbracht zelfs tijdens een dergelijk hoogwater onder vrij verval op de Maas kan worden gespuid.



Figuur 6-4 Waterstanden volgens het model en metingen (onderbroken lijnen) bij Maaseik

6.7 Afmetingen overlaat voor verschillende capaciteiten

Voor de bepaling van de afmetingen van de overlaat zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- de waterstand in de Geul: maximaal NAP+45 m ;
- de waterstand op het Julianakanaal is NAP+44,1 m (dit is de maximale waterstand op het kanaal, zonder waterpeilverhoging door berging);
- de drempelhoogte van de overlaat: NAP+43,4 m (voorlopig aangehouden; de laagst mogelijke drempelhoogte voor het geval dat de overlaat boven de huidige sifon wordt geplaatst) (zie voetnoot in par. 6.10)
- hoogte overlaat 2,1 m.

Voor de afmeting van de overlaat is voorlopig als maximale afvoer 40 m³/s aangehouden (het maximum als de scheepvaart nog in bedrijf is).

De netto benodigde breedtes van de overlaat zijn in onderstaande tabel samengevat. De berekening van de afvoer is opgenomen in bijlage 4.

Capaciteit [m ³ /s]	Bovenwaterstand [m+NAP]	Debiet per meter breedte [m ² /s]	Netto benodigde breedte [m]
40	45	2,75	14,5
40	45,2	3,28	12,2
40	45,5	3,84	10,3




6.8 Relatie met afvoercapaciteit sifon

De afvoer door de sifon bij de hoogwatergolf 2021 bedroeg tussen de 85 en 110 m³/s (Asselman, 2022). De exacte afvoer destijds kan worden bepaald met de waterstand boven- en benedenstrooms van de sifon, maar deze zijn niet uit metingen bekend. Opstuwung in de sifon beïnvloedt de afvoercapaciteit, maar zorgt ook voor wateroverlast. Hoe meer water door de geul wordt aangevoerd hoe hoger het verval over de sifon en hoe hoger de kans op wateroverlast bovenstrooms van de sifon. Als bij hetzelfde verval

meer water kan worden afgevoerd door een inlaat op het Julianakanaal is er minder kans op wateroverlast. Hiervoor kan de extra afvoermogelijkheid naar het Julianakanaal in voorzien. Een afvoer van orde 40 m³/s door de overlaat kan hierin voorzien. Met een nadere verkenning van de afvoer in het gehele Geulstelsel en de daarbij optredende waterstanden boven en benedenstrooms van de sifon kan de capaciteitsvraag nauwkeuriger worden afgeleid.

6.9 Voorkeurslocatie constructie

Bij aanvang van dit onderzoek zijn enkele mogelijke locaties voor de overlaat genoemd. Deze worden hieronder beschouwd.

Locatie	(lucht)foto	Beschouwing
Brug bij Itteren		<p>De brug bij Itteren ligt ver ten zuiden van de sifon. Om het water onder vrij verval af te voeren naar deze locatie moet worden voorzien in een watergang met voldoende afvoercapaciteit. Dit vraagt aanpassingen van bestaande watergangen of het realiseren van nieuwe verbindingen, waarmee extra kosten zijn gemoeid. Een alternatief is om water (deels) via maaiveld af te voeren.</p>
Locatie oude inlaat-duiker		<p>Net ten zuiden van de sifon bevindt zich een duiker is ooit gebruikt voor het vullen van het Julianakanaal (Van der Hoek en Erkenbosch, 2022). Gesuggereerd is om deze inlaatduiker te gebruiken voor de afvoer naar het Julianakanaal. De watergang tussen de Geul en deze locatie zou dan moeten worden verruimd om het water onder vrij verval hiernaar toe te leiden, maar ook de inlaatduiker zelf is te klein (1 m hoog en 1,25 m breed) om tijdens hoogwater een significante hoeveelheid Geulwater door te voeren (vgl. informatie in par. 6.7 van dit rapport).</p>
Locatie sifon		<p>De overlaat zou ook direct boven de sifon kunnen worden gemaakt, tussen de huidige inlaat-kokers en de bovenkant van de kanaaldijk. De overlaat ligt dan in lijn met de Geul. De sifon blijft goed bereikbaar voor beheer en onderhoud.</p>

6.10 Schetsontwerp maatregel en kostenraming

Locatie en afmetingen

Vooralsnog is voor de overlaat een locatie aangehouden direct boven de huidige sifon, om meerdere redenen: toegankelijkheid, zo efficiënt mogelijk afvoeren door afwezigheid van bochten, beperkt ruimtegebruik, hoogste waterstand dus grootste effectiviteit⁵. Enige nadeel: een overlaat boven de sifon kan niet worden gecombineerd met stroomlijning bovenzijde (zie par. 4.2.1).

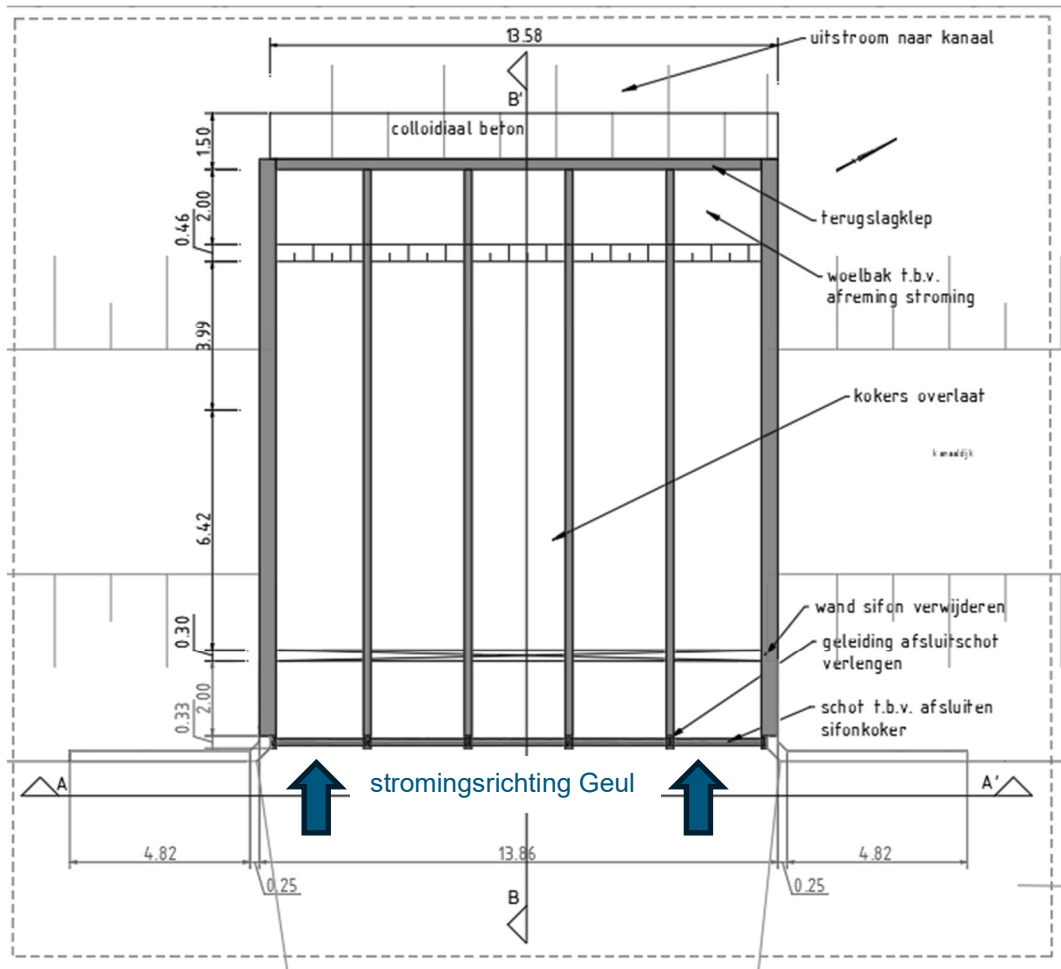
Qua afmetingen van de overlaat is gekozen om aan te sluiten op de kokers van de sifon, dus een netto breedte van 12,5 m. De drempel is gekozen op NAP+43,4m en de bovenkant van de inlaat van de overlaat wordt gelegd op NAP+45,2 m⁴. De afmetingen zijn niet ruimer gekozen, omdat dit niet noodzakelijk lijkt en een hoge afvoer niet in alle situaties past (zie paragraaf 6.7 en 6.8).

Ontwerp

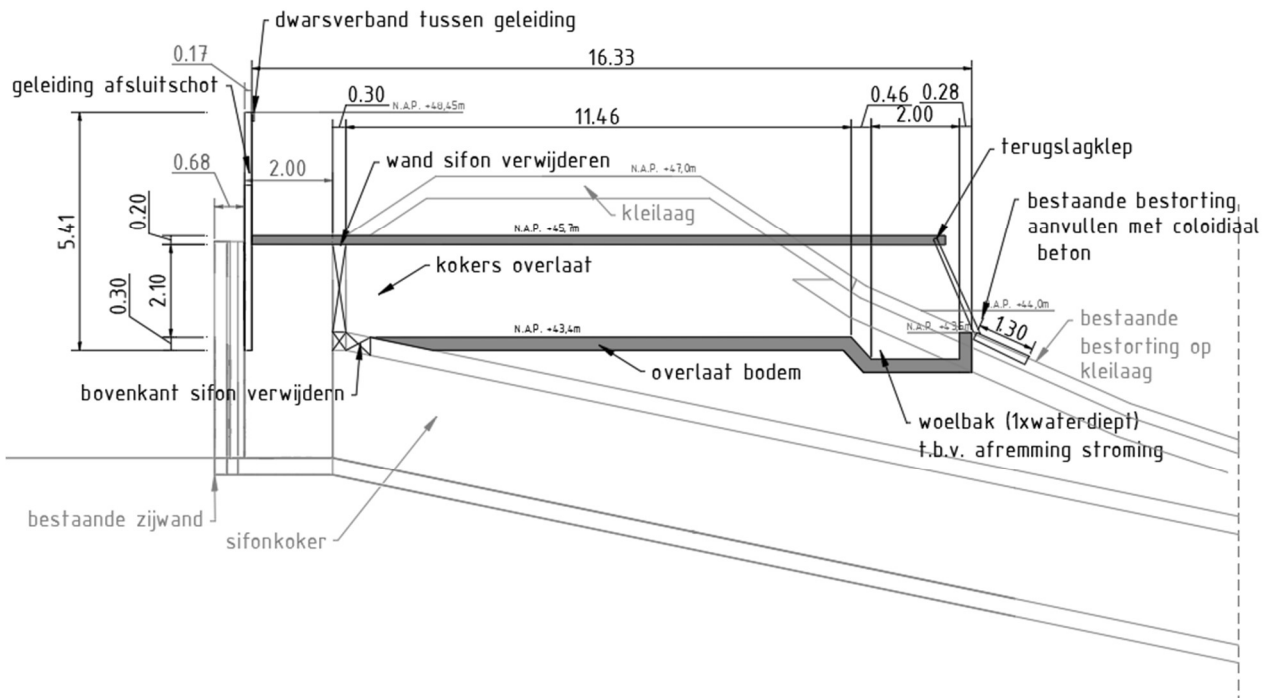
Voorstel is om de overlaat op te delen in meerdere afsluitbare kokers, waardoor de afvoer kan worden gereguleerd. Per koker van ca. 2,5 meter breedte kan er circa 7 tot 10 m³/s water het kanaal in stromen. Met 5 kokers gelijk aan de kokers van de sifon is de totale doorstroombreedte 12,5 meter. Afsluiting van de kokers kan worden gerealiseerd met de bestaande afsluitschotten die voor de sifon staan. De constructie van de afsluitschotten en de aansluiting op de koker moet hiervoor enigszins worden aangepast. Dit is in dit stadium van het ontwerp niet uitgewerkt en valt in de kostenraming onder de post 'nader te detailleren'. De kokers zijn tevens voorzien van terugslagkleppen, zodat geen water vanuit het Julianakanaal kan stromen. Voor de kokers is gewapend beton als materiaal aangehouden met een dikte van 0,3 m. De stalen geleidingen van de afsluitschotten worden verlengd om de schotten tot boven de overlaat te kunnen heffen.

De afvoer over de overlaat komt niet boven de 40 m³/s tenzij de waterstand in de Geul boven NAP+45,2m komt. Aan het einde van de overlaat is een woelbak gedimensioneerd die de stroming af zal remmen vlak voordat het water in het Julianakanaal komt. Door de woelbak wordt een te grote dwarsstroming voorkomen die de scheepsvaart kan belemmeren. In Figuur 6-5 t/m Figuur 6-7 zijn schetsen opgenomen van de overlaat.

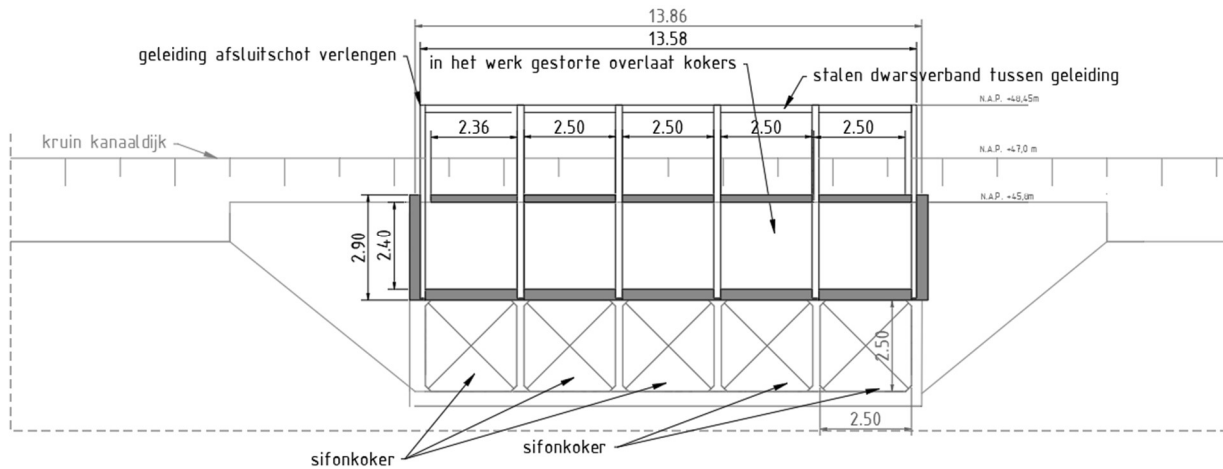
⁵ Waterschap Limburg en RWS hebben aangegeven voorkeur te hebben voor een andere locatie en een drempel boven kanaalpeil, om het risico dat kanaalwater terugstroomt naar de Geul bij een falende terugslagklep uit te sluiten. Bij nadere uitwerking van deze maatregel dient daarom een brede locatie-afweging te worden uitgevoerd, en een afweging van de drempelhoogte. Een hogere drempel vergt een bredere overlaat om dezelfde afvoercapaciteit te bereiken.



Figuur 6-5 Bovenaanzicht overlaat



Figuur 6-6 Dwarsdoorsnede overlaat (B-B' in Figuur 6-5)



Figuur 6-7 Vooraanzicht overlaat (A-A' in Figuur 6-5)

Kostenraming

Ook voor de overlaat is een kostenraming opgesteld conform SSK-systematiek (zie par. 4.2.2). Eventuele maatregelen aan de sluiskolken van Born en Maasbracht en de kosten van mitigerende maatregelen zoals beschreven in par. 6.3 zijn daarbij nog niet meegenomen. Daarmee wordt gekomen tot een bedrag aan Investeringskosten van € 640.863,= (excl BTW). De raming is opgenomen in bijlage 5.

7 Aanvullende maatregelen

7.1 Uitbreiden sifon

Naar aanleiding van de beperkte afvoer door het sifon tijdens het hoogwater van 2021 is een van de maatregelen die is gesuggereerd (onder meer in het werkatelier met de belanghebbenden) het uitbreiden van het sifon, om zo een grotere afvoercapaciteit te verkrijgen. Op verzoek van WRL is hiervoor een globale kostenindicatie opgesteld.

Uitbreiding van de sifon met eenzelfde koker in de huidige situatie met het Julianakanaal is zeer complex en wordt daarom niet geadviseerd. Ook het droogzetten van het kanaal (zoals voorzien vanaf oktober 2024 tussen Berg aan de Maas en Born) wordt niet geadviseerd, vanwege de hoge kosten en de grote risico's dit deze methode oplevert voor de bodemafdichting van het kanaal.

Deze risico's kunnen worden vermeden door afvoerleidingen te realiseren door middel van een gestuurde boringen. Uitgegaan is van 2 buizen van glasvezelversterkte kunststof van elk 1,5 m doorsnede, die tezamen een oppervlak hebben vergelijkbaar met 1 koker van de huidige sifon. Het betreft dan een uitbreiding van het doorstroomoppervlak van de huidige sifon met 1/5, dus 20%. De gestuurde boring kan alleen met een flauwe boog onder het kanaal worden gerealiseerd, waarbij vooralsnog wordt uitgegaan van een diepte van 1 meter onder de (klei)bodem van het kanaal. Daarmee wordt de afstand tussen in- en uitstroom ca. 115 m. De buizen zouden op enige afstand van de sifon moeten worden gelegd, om geen invloed te hebben op de constructie van de sifon. Van de Geul naar de instroom, en van de uitstroom naar de Geul zouden nieuwe watergangen moeten worden gemaakt (deze zijn nog niet in de kostenindicatie opgenomen). Een eerste inschatting van de Investeringskosten (conform SSK-systematiek zie par. 4.2.2) van de twee buizen is ca. € 2.250.000,= (excl. BTW); daarmee zou de afvoercapaciteit in principe met 20% kunnen toenemen. Peilopzet door bedijking (zie hfst. 5) en stroomlijning van de instroom (zie hfst. 4) kunnen van invloed zijn op de afvoercapaciteit, net als bij de huidige sifon. Nadeel van deze oplossing blijft dat de afvoer kan worden beperkt door hoge waterstanden op de Maas.

7.2 Afvoeren naar de Beatrixhaven

Een alternatief voor afvoeren op het Julianakanaal met een overlaat bij de sifon, is het afvoeren van het water op de Beatrixhaven ten zuiden van de Geul. Bijna alle overwegingen en aandachtspunten van afvoeren op het Julianakanaal, zoals besproken in hoofdstuk 6, gelden ook in dit geval, alleen de kanaaldijk wordt niet doorstoken met de overlaat, en er is geen dwarsstroming op het kanaal zelf. Verder gelden dezelfde eisen als voor een doorvoer door de dijk bij de sifon. In de Beatrixhaven ligt weliswaar geen dijk maar daar neemt de kade de functie van kering over, en deze is net als de dijken langs het kanaal onderhevig aan de toets op de keringen. Hier moet dus ook aan de normen worden voldaan en mogen geen nieuwe risico's worden geïntroduceerd.

Een mogelijke korte route voor deze afvoer is afgebeeld in Figuur 7-1.



Figuur 7-1 Mogelijke route bij afvoer naar de Beatrixhaven

Het water zou vanaf de Geul in zuidelijke richting moeten worden geleid, mogelijk via verruiming van de bestaande watergang (het Gelei) en bijbehorende onderdoorgang onder de oostelijke Kanaalweg. De passage van de hoger gelegen Klipperweg, naar de brug over het kanaal, kan worden gerealiseerd met 4 buizen van elk 1,5 m doorsnede, waarmee een doorstroomopening vergelijkbaar met die van de overlaat kan worden gerealiseerd. Vanwege de weg is er van uitgegaan dat de buizen onder de weg door worden geperst, wat relatief duur is. Vanaf de Klipperweg naar de Beatrixhaven zou het water langs of over een bedrijfsterrein moeten worden geleid; voorsnog wordt daarbij uitgegaan van een open watergang. Het dichtstbijzijnde, momenteel beperkt bebouwd terrein is privaat eigendom. Er zijn plannen om hier een multi purpose waste terminal te realiseren. Uitgaande van deze ontwikkeling is het de vraag of waterafvoer via dit terrein mogelijk en wenselijk is.

Een eerste inschatting van de Investeringskosten (conform SSK-systematiek zie par. 4.2.2) van de afvoer naar de Beatrixhaven via deze route is ca. € 1.095.000,= (excl. BTW) voor alleen de waterhuishoudkundige maatregelen, dus excl. grondverwerving.

7.3 Verbeteren houtvang

Tijdens het hoogwater in juli 2021 heeft drijfhout zich opgehoopt bij de inlaat van de sifon. Dit heeft geleid tot enige mate van opstuwning/capaciteitsreductie. In 2022 zijn al enkele buizen verticaal voor de sifon geplaatst om grote stukken drijfhout op te vangen (zie Figuur 3-5), maar vanuit WRL en ook in het werkatelier met belanghebbenden in de vraag gesteld of er een beter ontwerp mogelijk is, qua vorm, locatie (direct bij de sifon of verder bovenstrooms), en beheersaspecten zoals bereikbaarheid.

Daartoe is eerst het functioneren van de huidige houtvang geëvalueerd in samenwerking met het Waterschap Limburg.

De huidige houtvang is ontworpen op basis van het uitgangspunt dat boomstammen en grote takken worden opgevangen, en fijner materiaal door moet worden gelaten. Het fijne materiaal kan immers goed worden afgevoerd door de sifon. In het huidige beheer wordt vanaf zowel de noord- als de zuidkant het opgevangen materiaal wekelijks weggehaald. Dit gebeurt met een kleine kraanwagen die over het talud tot aan de Geul reikt. De landbouwpaden aan weerszijden worden hiervoor gebruikt. Dit kan dus alleen wanneer het waterniveau in de Geul lager ligt dan de hoogte van het pad (ongeveer tussen de NAP+44,5 en NAP+45 m). Bij extreem hoog water kan de houtvang niet worden bereikt.

Om ervoor te zorgen dat fijn materiaal door wordt gevoerd en de palen zo min mogelijk opstuwung veroorzaken is er voor gekozen om de houtvang te maken met een beperkt aantal buispalen, en deze loodrecht op het dwarsprofiel te zetten. De opstuwung door de palen zelf is alleen lokaal en werkt niet bovenstrooms door.

De ervaring van het waterschap is dat het geheel goed functioneert; grote takken worden afgevangen. Bij extreem hoog water zal het water over de palen heen stromen maar dan is het waterniveau zo hoog dat de sifon ook helemaal onder water ligt.

In het beheer wordt incidenteel ook buiten de wekelijkse routine geacteerd als dat nodig is. Om de houtvang op afstand beter in de gaten te kunnen houden is voorzien in cameratoezicht (nog te realiseren).

Bij het opstellen van de kraanwagen is de stabiliteit van de oever een aandachtspunt, zeker in natte omstandigheden. Hier is verbetering mogelijk. Achter de palen van de houtvang is enige erosie geconstateerd, door wervelingen, die ongewenst zijn omdat deze mogelijk instabiliteit opleveren van de betonnen stelconplaten die vlak voor de sifon op de bodem liggen.

Uit de evaluatie kan worden geconcludeerd dat de huidige houtvang kan worden gehandhaafd en functioneert. Een andere, meer bovenstroomse, locatie ligt niet voor de hand omdat dit deel van de Geul vrij moet kunnen meanderen en geen vaste harde constructies langs de Geul mogen worden toegepast.

In samenspraak met Waterschap Limburg is gekomen tot de volgende verbetermaatregelen:

- Stabiliseren van de oever door verdediging aan te leggen. Voorgesteld wordt dit aan beide zijden van de Geul te doen.
- Aanvullende bodemverdediging achter de palen toepassen om erosie te voorkomen.
- Eventueel een nieuwe afrit aan de zuidkant (zie Figuur 7-2), zodat ook bij hoog water deze kant is te bereiken. Aan de noordkant ligt al een afrit waardoor hier de toegang altijd is gewaarborgd ook bij hoge waterstanden.



Figuur 7-2 Locatie extra afrit

8 Conclusies en aanbevelingen

Uit de Verkenning Geulmonding kan het volgende worden geconcludeerd.

Maatregelen individueel

1. De stroomlijning van de inlaat van de sifon lijkt een kosteneffectieve maatregel. Met name stroomlijning aan de bovenzijde van de kokers zorgt er voor dat bij eenzelfde waterstand op de Geul meer water door de sifon kan worden afgevoerd. Dit is ons inziens een kansrijke maatregel.
2. Het verhogen van de waterdruk op de sifon met bedijking langs de Geul is bij lage hoogwaters (tot een afvoer van ca. 75 m³/s door de Geul) effectief. Bij hogere afvoeren komt het water boven het niveau van het wegdek van de Maastrichterlaan, en zijn ingrijpendere maatregelen nodig om het water te geleiden; op de Maastrichterlaan en bovenstrooms ervan. Overigens zorgt een hogere waterstand bovenstrooms van de sifon altijd voor extra afvoer door het sifon; lokale bedijking kan er alleen voor zorgen dat de hogere waterstand niet gepaard gaat met schade.
3. Afvoeren van water van de Geul naar het Julianakanaal is een interessante mogelijkheid, onder meer omdat het kanaal een alternatief vormt voor afvoer rechtstreeks richting de Maas tijdens hoogwater. Het kanaal is ontworpen ten behoeve van de scheepvaart en niet voor waterafvoer; dat zou een nieuwe functie worden, met verwachtingen m.b.t. de inzetbaarheid tijdens hoogwater. Dit levert enkele aandachtspunten op, die de mogelijkheden voor afvoer kunnen beperken. Indien hier oplossingen voor gevonden worden, biedt de afvoer naar het kanaal wel mogelijkheden voor afvoer van een significante hoeveelheid water (bijv. 40 m³/s).
4. Het uitbreiden van de sifon zou het beste kunnen worden uitgevoerd met een gestuurde boring. Dit is echter ook een relatief kostbare maatregel.
5. Een alternatief voor afvoeren op het Julianakanaal is afvoeren via de Beatrixhaven. Deze maatregel heeft grotendeels dezelfde aandachtspunten als het afvoeren op het Julianakanaal en is naar verwachting bovendien duurder.
6. De huidige houtvang functioneert naar behoren. In overleg met het Waterschap Limburg is gekomen tot enkele verbetermaatregelen; dit zijn kansrijke maatregelen. De houtvang hoeft niet te worden verplaatst.

Inschatting termijnen tot realisatie

De maatregelen die zijn onderzocht verschillen in omvang en in effecten op de omgeving. De effecten moeten acceptabel zijn, met een goede inpassing in de omgeving, voordat maatregelen kunnen worden uitgevoerd. Dat vergt tijd, en bepaalt de termijn waarop maatregelen zouden kunnen worden uitgevoerd.

Maatregel 1 – stroomlijning instroom sifon - is beperkt in omvang (alleen aanpassingen aan het sifon zelf) en heeft daardoor geringe effecten op de omgeving. De tijd tot realisatie is gelegen in uitwerking van het ontwerp in nauw overleg met de twee direct betrokken waterbeheerders RWS en Waterschap Limburg. Daarbij moet ook vooruit gekeken worden naar evt. realisatie maatregel 3 (afvoeren op het Julianakanaal), als deze maatregel op termijn ook bij het sifon zou worden gerealiseerd. Voorlopige inschatting is dat dit minimaal een half jaar tijd kost.

Maatregel 2 – verhogen waterdruk op de sifon middels bedijking - heeft meer ruimtelijke consequenties. De eerste op te lossen vragen zijn:

- waar kunnen de kades het beste komen te liggen?
- dienen de kades ook direct als bescherming van de woningen in de omgeving, en zo ja, welke eisen stelt dat dan aan die kades?

Dit vergt een zorgvuldige afweging van Waterschap Limburg in samenwerking met de Gemeente Meerssen en in overleg met de bewoners en bedrijven in de omgeving, en vervolgens uitwerking van het

ontwerp en inpassing in de omgeving. Inschatting is dat hiervoor een tot anderhalf jaar tijd moet worden genomen.

Maatregel 3 – afvoeren op het Julianakanaal – kan een significante bijdrage leveren aan het afvoeren van extra water uit het Geulsysteem, maar kent ook veel haken en ogen vanuit het kanaal als ontvangend systeem (zie o.a. par. 6.3). Deze moeten eerst zorgvuldig worden onderzocht en doorgesproken met de waterbeheerders, voordat het ontwerp van de maatregel zelf nader wordt uitgewerkt. De inschatting is dat dit nader onderzoek en de afstemming erover in praktijk enkele jaren in beslag zal nemen. (Dat geldt ook voor het alternatief: afvoeren naar de Beatrixhaven).

Combinatie van maatregelen

Vanuit het programma WRL is gevraagd in hoeverre maatregelen die in deze Verkenning zijn onderzocht kunnen worden gecombineerd; versterken ze elkaar daarbij, of werken ze elkaar tegen?

Vanuit technisch oogpunt gezien kan daarover het volgende worden opgemerkt:

De stroomlijning van de sifon (maatregel 1) laat zich goed combineren met de verhoging van de waterdruk op de sifon (maatregel 2); beide zorgen voor verhoging van de afvoer door de sifon en werken elkaar niet tegen.

Het afvoeren naar het Julianakanaal is een andere afvoermogelijkheid, en verlaagt daarmee de druk op het sifon. Maatregel 3 is dus feitelijk complementair – of deels overlappend – met maatregel 1 en 2; de effecten van de maatregelen kunnen niet ‘bij elkaar worden opgeteld’. Wanneer de overlaat naar het Julianakanaal boven het sifon wordt gemaakt, is dat technisch niet te combineren met de stroomlijningsmaatregel. Echter, stroomlijning is op korte termijn uitvoerbaar terwijl de afvoer naar het Julianakanaal naar verwachting nog jaren onderzoek en overleg vergt.

Afvoeren naar de Beatrixhaven is een alternatief voor de rechtstreekse overlaat naar het kanaal (maatregel 3), en kan met maatregel 1 en 2 worden gecombineerd.

Verbetermaatregelen van de houtvang zijn altijd uitvoerbaar.

Gezien vanuit realisatietermijnen (zie kopje hierboven), is combinatie van maatregelen op korte termijn nog niet aan de orde, en is het belangrijker te sturen op tijdig realiseren van maatregelen, die naar verwachting gezien het benodigde onderzoek vanzelf een fasering zullen kennen.

Participatie

De bijeenkomsten met de belanghebbenden uit de omgeving zijn in deze Verkenning zeer waardevol gebleken. De deelnemers zijn gekomen met nuttige aanvullende informatie en suggesties en hebben constructief meegedacht met de maatregelen die zijn onderzocht. Er is een effectieve combinatie gevonden van plenaire bijeenkomsten voor het delen van informatie (bij de start en afsluiting van het onderzoek) en een kleinschaliger werkatelier en inloopbijeenkomst waarin voldoende tijd en deskundige personele bezetting was om gebiedsinformatie met elkaar te delen en maatregelen door te spreken.

AANBEVELINGEN

- Werk het ontwerp voor de stroomlijning van de sifon nader uit. Kies voor de bovenzijde een constructie die relatief eenvoudig verwijderd kan worden als in de toekomst gekozen wordt om daar een overlaat naar het Julianakanaal te realiseren.
- Voer de verbetermaatregelen rond de houtvang uit, in nauw overleg met de beheerders van Waterschap Limburg.
- Treed met Rijkswaterstaat in overleg over afvoeren naar het Julianakanaal, zowel ambtelijk (over de oplossingen voor technische beperkingen) als bestuurlijk. Afvoeren van water uit de Geul via het Julianakanaal betekent immers ook een extra taak en verantwoordelijkheid, en mogelijk een afweging met andere belangen (scheepvaart, waterkwaliteit).
- Bepaal de effecten van stroomlijningsmaatregelen en afvoer naar het Julianakanaal op de waterstanden in de Geul bij hoge afvoeren. Ga na bij tot welke hoogte de afvoer door de Geul kan stijgen zonder overstromingen, en vergelijk deze met de huidige situatie: dat is geeft de effectiviteit van de maatregelen aan.
- Maak aan de belanghebbenden duidelijk welke maatregelen binnen afzienbare termijn kunnen worden gerealiseerd.
- Gebruik de ervaringen op gebied van participatie van belanghebbenden voor het vervolg van het programma Waterveiligheid en Ruimte Limburg. Bewoners en bedrijven beschikken over gebiedskennis die waardevol is juist bij de lokale maatregelen die in het programma nodig zijn. Een combinatie van plenaire bijeenkomsten en kleinschaliger werkateliers of inloopbijeenkomsten wordt aanbevolen. Belangrijk is dat daarbij voldoende deskundige personele bezetting aanwezig is om gebiedsinformatie met elkaar te delen en maatregelen door te spreken.

Bronnen

Asselman, J. d. (2022). Analyse overstromingen Geulmonding: Watersysteemevaluatie Waterschap Limburg. Deltares.

Deijl, E. v. (2021). Validatie hoogwater Maas juli 2021. Deltares.

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. (1994). Hydrologische systeembeschrijving Maas.

HKV. (2015). Hydraulische randvoorwaarden voor regionale keringen in beheer bij het Rijk. Rijkswaterstaat WVL.

Kanen-Verlinden, I. A. (2014). Watermanagementplan Eijsden-Linne. RHDHV.

Mourik. (2014, oktober 29). As-built tekeningen grondduiker.

Nortier, i. I. (1996). Toegepaste vloeistofmechanica. Stam Techniek.

Rijkswaterstaat. (2020). Richtlijnen Vaarwegen 2020.

Rijkswaterstaat. (2024). waterinfo.rws.nl.

Van der Hoek, R. en F. Erkenbosch (2022). Waar de Geul het Julianakanaal kruist. Artikel in De Gerbergabode, Heemkunde Vereniging Meerssen.



Bijlage 1

Resultaten werkatelier

met beoordeling op kansrijkheid



Waterveiligheid en Ruimte Limburg - Verkenning Geulmonding
Resultaten werkatelier 25 januari 2024

Legenda kolom 'Kansrijkheid':

1. Kansrijk geacht.
2. Nader te onderzoeken
3. Niet kansrijk geacht.

Bij informatieve vragen, of voorstellen die buiten de scope van WRL vallen is geen nummering aangebracht.

Betreft	Omschrijving	Kansrijkheid
vergroten sifon	<p>De afvoer door de sifon kan vergroot worden als de sifon wordt uitgebreid met extra kokers/buizen.</p> <p>Aandachtspunten daarbij:</p> <ul style="list-style-type: none"> bij hoge Maaswaterstand moet het Maaswater niet terugstromen via de sifon mogelijk is bij vergroting van de sifon ook verruiming van de Geul benedenstrooms nodig om het water af te voeren. Er is ook ruimte in het Maasdal rond de Geul voor opvang van Geulwater. de wateroverlast in het benedenstroomse deel van de Geul (bijv. bij kasteelhoeve Hartelstein) moet niet worden vergroot door de verruiming van de sifon 	<p>2. De effectiviteit van deze maatregel is evident, de kosten in vergelijking met alternatieve maatregelen zijn bepalend voor de keuze. Daarom wordt in de Verkenning Geulmonding [zie hfst. 7] ook een schatting gemaakt van de kosten voor uitbreiding van de sifon. Ook bij uitgebreider sifon blijft wel het nadeel dat een hoge Maaswaterstand de afvoer door de sifon kan beperken.</p> <p>Dit is naar verwachting geen issue; hoge Maaswaterstanden zorgen voor belemmering van de doorstroming en verhoging van de waterstand van de Geul. Maaswater zou in theorie terug kunnen stromen als de afvoer van de Geul minimaal is en er hoogwater is op de Maas, maar de kans dat deze situatie zich in de praktijk voordoet, is nagenoeg nihil. In 2021 was dit zeker niet het geval.</p> <p>3. Verruiming van de Geul benedenstrooms heeft ons inziens beperkt effect. Bij normale afvoeren is er een flinke verruiming nodig om een significant effect te behalen. Bij hoogwater inundeert de Geul, en is de maaiveldhoogte bepalend voor de waterstand. Daarna wordt de Maaswaterstand bepalend, en die is niet meer afhankelijk van het profiel van de Geul.</p> <p>Dank voor dit aandachtspunt, hiermee wordt rekening gehouden in de verdere uitwerking.</p>
sifon	<p>Kan het zijn dat Maaswater teruggestroomd is door de sifon naar de oostzijde?</p>	<p>Dit is naar verwachting geen issue; hoge Maaswaterstanden zorgen voor belemmering van de doorstroming en verhoging van de waterstand van de Geul. Maaswater zou in theorie terug kunnen stromen als de afvoer van de Geul minimaal is en er hoogwater is op de Maas, maar de kans dat deze situatie zich in de praktijk voordoet, is nagenoeg nihil. In 2021 was dit zeker niet het geval.</p>
conditie sifon	<p>Wat is de algehele (onderhouds)toestand van de sifon als kunstwerk? Is deze nog voldoende sterk en stabiel?</p>	<p>De staat van onderhoud van de sifon is goed; de sifon is constructief veilig.</p>

Betreft	Omschrijving	Kansrijkheid
sifon	De sifon bestaat momenteel uit 5 kokers. Houd onder normale omstandigheden (dus niet bij hoge Geulafvoeren) afwisselend een of meer van de kokers gesloten, zodat de andere goed worden doorgespoeld en slib daarmee wordt verwijderd.	3. Bij het doorspoelen van de sifon (nu 2x/jaar) worden de kokers voor onderhoud tijdelijk een voor een open gezet en de andere dicht. Permanent afsluiten van kokers en alleen openen bij hoogwater is niet nodig en vormt een risico: wat als een schuif vast blijkt te zitten en tijdens hoogwater niet open kan? Daarom houden we de schuiven normaliter altijd open.
sifon	Ooggetuigen geven aan dat de middelste koker op dit moment verstopt is. Wat is de huidige frequentie van onderhoud? Kan deze frequentie omhoog? Kan RWS tot onderhoud verplicht worden? Kan RWS gecontroleerd worden door omwonenden? Of door camera's?	Rijkswaterstaat is onderhoudsplichtige voor de sifon. Voorheen werd de duiker eens per 3 jaar doorgespoeld wat voldoende bleek om de sifon goed te laten functioneren bij normale hogere afvoeren van de Geul. Naar aanleiding van het extreme hoge water van juli 2021 is afgesproken het doorspoelen te intensiveren naar 2x per jaar. Naar verwachting is dat een voldoende effectieve maatregel. Daarnaast geldt dat de duikers en sifons onder het Julianakanaal regelmatig geschouwd en geïnspecteerd worden door Rijkswaterstaat. Wanneer er aanleiding is om deze schoon te maken wordt dat in gang gezet.
faalkans sifon	Is de faalkans van de sifon (kans dat sifon minder afvoert dan nodig) meegenomen bij de toetsing van het regionale watersysteem aan de normen? Als er bij toetsing van uit wordt gegaan dat de sifon altijd maximaal functioneert, dan worden de risico's op schade onderschat.	Bij toetsing gaan we uit van schone situatie. Het is wel duidelijk dat verstopping een risico vormt. Daarom is de onderhoudsfrequentie ook verhoogd, vinden regelmatig inspecties plaats en wordt een nieuwe, effectievere houtvang ontworpen.
sifon	Kan de kruising van de Jeker onder het Albertkanaal niet als voorbeeld dienen? Deze is in 1970 vernieuwd.	Dank voor deze suggestie. De sifon onder het Albertkanaal is bekend bij Rijkswaterstaat. Het principe van deze sifon is vergelijkbaar met die onder het Julianakanaal.
peilschaal bij sifon	Graag peilschalen aanbrengen aan weerszijden van de sifon, die ook voor omwonenden af te lezen zijn.	De meetgegevens van het bestaande meetpunt bovenstrooms van de sifon zijn middels een app van WL vrij beschikbaar voor eenieder. Een peilschaal biedt daarop volgens ons geen meerwaarde en heeft de beperking dat deze moeilijk toegankelijk zijn bij hoogwater. Ontsluiting in de app van het meetpunt benedenstrooms wil Waterschap Limburg overwegen.

Betreft	Omschrijving	Kansrijkheid
houtvang	<p>Door WRL wordt een ontwerp gemaakt voor een verbeterde houtvang bovenstrooms van de sifon. Daarbij kan de houtvang in de Dommel als voorbeeld dienen.</p> <p>1^e suggestie is om een houtvang in 2 of 3 delen te maken, waarbij hout van grof naar fijn wordt gevangen.</p> <p>2^e suggestie is om een automatische houtvang te installeren, mogelijk in combinatie met cameratoezicht zodat beheerder real-time toezicht kan houden.</p> <p>Om te voorkómen dat hout in de Geul terecht komt, zouden losliggende takken op de oevers van de Geul regelmatig weggehaald moeten worden. Kan er gekeken worden of drijf hout verder bovenstrooms dan de huidige locatie afgevangen kan worden?</p>	<p>2. Hoe fijner de doorlaatopeningen van de houtvang, hoe groter de kans dat deze (ongewenste) opstuwing geeft stroomopwaarts van de houtvang; het is dus niet zeker of dit leidt tot een positief effect. Een locatie verder bovenstrooms kan een goede suggestie zijn, ook voor de bereikbaarheid voor beheer en onderhoud. Cameratoezicht kan worden overwogen.</p> <p><i>Naschrift: het functioneren van de houtvang is geëvalueerd met Waterschap Limburg. De ervaring van het waterschap is dat de houtvang goed functioneert; grote takken worden afgevangen. Voor de bereikbaarheid voor beheer en onderhoud is het juist handig de houtvang dicht bij de sifon te houden.</i></p> <p>3. Losliggende takken op de oevers van de Geul weghalen strookt niet met de natuurdoelstellingen van de Geul vanuit de Kaderrichtlijn Water (dood hout is belangrijk voor de ecologische kwaliteit). Daarnaast is het zeer arbeidsintensief (de takken komen van een lang traject af). De houtvang moet er voor zorgen dat takken niet in de sifon komen.</p>
zandvang	<p>De afvoer door de sifon wordt beperkt door aanslibbing, waardoor onderhoud nodig is. Maak een zandvang bovenstrooms om de aanslibbing te beperken (zie bijv. het voorbeeld in de Dommel).</p>	<p>3. Voorheen werd de duiker eens per 3 jaar doorgespoeld wat voldoende bleek om de sifon goed te laten functioneren bij normale hogere afvoeren van de Geul. Naar aanleiding van het extreme hoge water van juli 2021 is afgesproken het doorspoelen te intensiveren naar 2x per jaar. Naar verwachting is dat een voldoende effectieve maatregel. Een zandvang is daarmee niet nodig. Daarnaast geldt dat de duikers en sifons onder het Julianakanaal regelmatig geschouwd en geïnspecteerd worden door Rijkswaterstaat. Wanneer er aanleiding is om deze schoon te maken wordt dat in gang gezet.</p>
brug Maastrichterlaan aanpassen	<p>Door WRL wordt onderzocht of het waterpeil in de Geul bovenstrooms van de sifon zonder schade kan stijgen (om daarmee meer water door de sifon te 'duwen'), door aanleg van lage waterkeringen langs de Geul. De brug van de Maastrichterlaan kan daarbij een bottleneck vormen; het waterniveau komt op een gegeven moment tegen de brug aan. Suggestie is om daarom de brug en de aansluitende weg te verhogen, en de brug op de hoogte van de nieuwe waterkeringen te brengen.</p>	<p>2. Dit is inderdaad het onderzoeken waard (en wordt aanbevolen mee te nemen in een vervolgstudie) als de brug een beperking vormt (en dan voor opstuwing van het water bovenstrooms zou zorgen). Vraag daarbij is ook wat er gebeurt met water dat over de brug loopt als deze niet zou worden opgehoogd.</p>

Betreft	Omschrijving	Kansrijkheid
locatie nieuwe waterkeringen langs de Geul	<p>Door WRL wordt onderzocht of het waterpeil in de Geul bovenstrooms van de sifon zonder schade kan stijgen (om daarmee meer water door de sifon te 'duwen'), door aanleg van lage waterkeringen langs de Geul. Deze waterkeringen zouden ofwel dicht langs de Geul aangebracht kunnen worden, of juist op afstand (bijv. langs de rand van de bebouwing aan de noordzijde). In dat laatste geval moet er niet op de waterkering gefietst (of gewandeld) kunnen worden, ivm. privacy van bewoners.</p> <p>Aan een waterkering kan ook gedacht worden als maatregel om overstromingen van Bunde te voorkomen (zonder het doel van peilverhoging).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Het effect van nieuwe waterkeringen op de afvoer wordt momenteel onderzocht [zie hfst. 5 van dit rapport]. 2. De locatie van waterkeringen ter bescherming van het bebouwd gebied in geval van uitreden van Geulwater zou t.z.t. in een vervolgstudie inderdaad nader moeten worden onderzocht. Bijvoorbeeld bij het bepalen van maatregelen voor het volledige stroomgebied van de Geul.
aandachtspunten	<p>De oude papierfabriek bij Weert ligt in overstromingsgebied. Op deze locatie worden nieuwe woningen gepland; een aandachtspunt.</p> <p>De Gemeente is van plan een nieuw fietspad aan te leggen langs de Geul; als er waterkeringen worden aangelegd zou zo'n fietspad op de kering gelegd kunnen worden.</p>	Dank voor het aandachtspunt. Fietspad kan meekoppelkans zijn. Dit is doorgegeven aan de Gemeente Meerssen.

Betreft	Omschrijving	Kansrijkheid
gebruik maken van oude inlaat Julianakanaal	In de dijk van het Julianakanaal, nabij de sifon, is een oud inlaatwerk aanwezig uit de tijd dat het kanaal werd aangelegd. Via dit kunstwerk zou naar schatting max. 4 tot 5 m ³ /s vanuit de Geul naar het Julianakanaal afgevoerd kunnen worden. Het kunstwerk is beschreven in een artikel, dat bij WRL bekend is.	2. In het kader van deze Verkenning onderzoeken we momenteel de mogelijkheden van afvoer op het Julianakanaal (zie hfst. 6). Daarbij is ook gekeken naar dit bestaande kunstwerk. De inlaatduiker is klein en de afvoercapaciteit van 4 tot 5 m ³ /s is klein. Bovendien gaat het om een voorziening van bijna 100 jaar oud gaat en zit er geen sturing op.
pompen op kanaal	Kunnen we met mobiele pompen water op het Julianakanaal lozen, bijv. vanuit de kwelsloot langs het kanaal?	3. Dit is geen realistische optie. Grote pompen hebben een capaciteit van circa 2000 tot 3000 m ³ /uur (=0,55 – 0,83 m ³ /seconde) en staat dus niet in verhouding tot afvoer van de Geul.
pompen	Kan het water of het kanaal op of parallel aan de sifon over het kanaal gepompt worden?	3. Dit is geen realistische optie. Grote pompen hebben een capaciteit van circa 2.000 tot 3.000 m ³ /uur (=0,55 – 0,83 m ³ /seconde) en staat dus niet in verhouding tot afvoer van de Geul (bij een afvoer van 50 m ³ /seconde begint code rood. Dan is er nog geen sprake van overstroming).
kanaalpeil	Door een constructie te maken in de kanaaldijk kan er water op het Julianakanaal afgevoerd worden. Door bijvoorbeeld een brievenbus of overlaat constructie. Door de sluis bij Limmel dicht te zetten en de sluizen bij Born en Maasbracht open te zetten kan er veel water via het Julianakanaal afgevoerd worden. Er moet gekeken worden naar wat het beleid is over het sluiten van de sluizen. Wanneer gaat de sluis bij Limmel dicht? Kan de scheepsvaart eerder stilgelegd worden? Dan zou er eerder begonnen kunnen worden met het afvoeren via het kanaal. Initiële peilverlaging op het Julianakanaal kan ook als maatregel gebruikt worden om de effectiviteit van de overlaat/brievenbus te vergroten.	1. Dit idee wordt momenteel reeds onderzocht (zie hfst. 6). Dank voor de suggesties. 3. Verlaging heeft grote consequenties (risico dat schepen de kanaalbodem raken en daarmee beschadigen, beperking voor waterinlaat industrie langs het kanaal, risico opbarsten kleibodem kanaal bij hoog Maaspeil en daarmee lekkage) en is daardoor niet reëel.

Betreft	Omschrijving	Kansrijkheid
afvoeren naar het noorden	Als noodmaatregel zou de kwelsloot langs het Julianakanaal hersteld/verruimd kunnen worden, om water wat met andere maatregelen niet bij/rond de sifon afgevoerd of geborgen kan worden af te voeren naar bijv. het 2 ^e sifon in de Oude Broekgraaf bij Geulle (bij de brug over het Julianakanaal) of het gemaal op de Hemelbeek bij Elsloo. Ook kan gebruik worden gemaakt van natuurlijke laagtes tussen Bunde en Elsloo. Let wel op de waterscheiding tussen Geulle en Broekhoven en de loop van de Zandbeek en let op tegengaan van verstopping van duikers in deze regionen. Duikers en sifon dienen hiervoor goed opgehouden en onderhouden te worden.	3. Zo'n maatregel heeft behoorlijke ruimtelijke en technische consequenties, een watergang dicht bij de kanaaldijk is niet wenselijk vanwege de stabiliteit van de dijk. Bij voorkeur laten we het water bij hoogwater niet naar het noorden stromen en onderzoeken we eerst de maatregelen dicht bij de sifon, die minder consequenties hebben en het probleem ter plekke oplossen.
neren bij duikers	Bewoners namen tijdens het hoogwater neren (ronddraaiend water) waar bij duikers in het gebied: is dit een teken dat deze duikers niet goed functioneren?	Dit soort verschijnselen komen vaker voor bij duikers bij hoge afvoeren. Het kan veroorzaakt worden door niet-optimale instroom, maar is vooralsnog geen reden tot zorg.
Geen nieuwe sifon tussen Geulle en Elsloo nodig	De Oude Broekgraaf gaat via de kleine sifon, ook bij de brug van Geulle, onder het Julianakanaal door. Hij komt uit in binnendijks land, maar ook aan die kant van het kanaal loopt een kwelgoot, helemaal door tot het natuurgebied ten noorden van Geulle aan de Maas: de Saint, dat nu ook al als inundatiegebied geldt. Een nieuwe sifon ter hoogte van het natuurgebied (tussen Geulle en Elsloo) is dus niet nodig als de afvoer in noodsituaties (en bij Maas-hoogwater) goed geregeld wordt.	3. Bij voorkeur laten we het water bij hoogwater niet naar het noorden stromen en onderzoeken we eerst de maatregelen dicht bij de sifon, die minder consequenties hebben en het probleem ter plekke oplossen.
Beken omleiden	Er zijn verschillende beken die water vanaf het plateau afvoeren richting het kanaal. Dat water zou afgevoerd moeten worden richting Elsloo. Hiervoor is het wellicht nodig om enkele beken of waterlopen met elkaar te verbinden. Of maak een apart sifon voor afvoer van dit water onder het Julianakanaal door.	3. Onze voorkeur gaat uit naar aanpak bij de belangrijkste bron; de Geul. Als het water vanuit de Geul dit gebied niet kan bereiken dan spelen deze beken voor zover wij kunnen inschatten geen grote rol in de wateroverlast in situaties zoals 2021.

Betreft	Omschrijving	Kansrijkheid
verwijderen obstakels	<p>Oprit zorgt voor opstuwung doordat oprit te hoog ligt en geen (werkende) buizen/sifon bevat. Dit is het geval voor alle opritten aan de Oostzijde van het kanaal.</p> 	<p>3. Zo'n maatregel heeft behoorlijke ruimtelijke en technische consequenties, een watergang dicht bij de kanaaldijk is niet wenselijk vanwege de stabiliteit van de dijk. Bij voorkeur laten we het water bij hoogwater niet naar het noorden stromen en onderzoeken we eerst de maatregelen dicht bij de sifon, die minder consequenties hebben en het probleem ter plekke oplossen. Dan is deze oprit geen issue.</p>

Betreft	Omschrijving	Kansrijkheid
<p>afvoeren naar het zuiden</p>	<p>Het water dat door de sifon niet verwerkt kan worden, kan ook via het Gelei naar het zuiden afgevoerd worden (evt. met verruiming van het Gelei), en dan via een zo kort mogelijk route op de Beatrixhaven worden geloosd, onder de Klipperweg door en met een nieuwe watergang ca. 100 m over huidig bedrijfsterrein (zie figuren hieronder).</p> <p>Alternatief: water vanuit Meerssen direct via de Kanjelbeek afvoeren en op de Beatrixhaven lozen.</p>  <p><i>Links: hoogtekaart. Rechts: vereenvoudigde topografische kaart</i></p>	<p>2. Interessant idee om nader te onderzoeken als alternatief indien directe afvoer op het Julianakanaal lastig(er) zou blijken te zijn. Een quick scan van de haalbaarheid van dit voorstel is daarom opgenomen in de Verkenning Geulmonding. (NB: voor afvoer is overigens het Gelei niet nodig; water kan ook met kades over het maaiveld gestuurd worden, onder de weg door en dan via het bedrijfsterrein naar de Beatrixhaven).</p> <p>3. Alternatief via de Kanjelbeek is geen optie. Beide watergangen van de Kanjel en Gelei zijn daarvoor te klein.</p>
<p>Oorzaken overstrooming</p>	<p>Zou de overstrooming niet alleen vanuit de Geul maar ook verder in het zuiden vanaf de Kanjel kunnen zijn begonnen? Water vanuit die kant is waargenomen op donderdagochtend rond 10.30, 11.00. Het water liep vanuit Klipperweg, Beatrixhaven toen tot Meerssenhoven en dus niet vanaf de Maastrichterlaan.</p>	<p>Deze watergangen worden gevoed door inlaat vanuit de Geul. Normaliter komt hier niet veel water door. In 2021 is Geulwater deze watergangen ingestroomd en verder benedenstrooms weer teruggestroomd naar de Geul. De watergangen liggen ten zuiden van de Geul, terwijl de wateroverlast voornamelijk aan de noordzijde optrad.</p>

LOCATIE: **BENEDENSTROOMS VAN SIFON**

Betreft	Omschrijving	Kansrijkheid
benedenloop Geul	<p>Kunnen we voorkómen dat de Geul aan de westzijde van het kanaal een belemmering vormt voor de afvoer van water door de sifon, door dit stuk van de Geul te verruimen?</p> <p>En kan het helpen om de Geul benedenstrooms van het kanaal te bedijken, waardoor deze nog onder verhang naar de Maas kan stromen?</p>	<p>3. Verruiming van de Geul benedenstrooms heeft ons inziens beperkt effect. Bij normale afvoeren is er een flinke verruiming nodig om een significant effect te behalen. Bij hoogwater treedt de Geul buiten z'n oevers, en is de maaiveldhoogte bepalend voor de waterstand. Daarna wordt de Maaswaterstand bepalend, en die is niet meer afhankelijk van het profiel van de Geul.</p> <p>3. Dit is naar verwachting niet effectief en zelfs negatief. Bij het lozingspunt in de Maas is de Geulwaterstand gelijk aan de Maaswaterstand. Bedijking zorgt waarschijnlijk voor een groter waterstandsverschil dan over dat traject dan in de huidige situatie. Daarmee wordt de Geulwaterstand direct benedenstrooms van het Julianakanaal hoger door bedijking en daarmee remmend voor de afvoer door de sifon.</p>
Afvoer sifon	De afvoer van de sifon maakte volgens ooggetuigen tijdens hoogwater 2021 een haakse hoek na het kanaal. Onderzoeken of dit de afvoer beperkt.	3. Ons inziens is dit niet beperkend voor de afvoer. Het kan destijds ook stroming over maaiveld zijn geweest als de Geul daar inundeert, of invloed van de stroming van de Maas.
raakvlak Zuidelijk Maasdal	In het kader van het Zuidelijk Maasdal worden ook maatregelen voorzien. Let op dat deze maatregelen de wateroverlast rond de Geulmonding niet vergroten.	Dank voor dit aandachtspunt; is opgenomen in toetsing van de projecten; er mag geen verslechtering optreden. Er vindt afstemming plaats tussen WRL en het project Zuidelijk Maasdal.

OVERIGE SUGGESTIES

Betreft	Omschrijving	Kansrijkheid
preventie	Kan er per woning/wijk gekeken worden naar de schade? Hierdoor kunnen er preventieve maatregelen bedacht worden (per woning/wijk).	De Verkenning Geulmonding richt zich op voorkómen van schade; deze vraag valt daarmee buiten de scope van dit onderzoek. Vanuit WRL start er dit voorjaar een pilot met Adviesteams Water in o.a. de gemeente Meerssen, die hier wel naar gaan kijken.
kwelwater	Onderzoeken hoeveel invloed kwelwater had op de waterstanden en schade. Hoge afvoer Geul komt bovenop hoog grondwater en water dat vanaf het plateau naar beneden stroomt.	Overlast vanuit grondwater valt buiten de scope van het programma WRL, dat zich hier richt op waterveiligheidskwesties door extreme neerslag en hoge afvoeren in de Geul.
grondwateroverlast	Er is momenteel grondwateroverlast in huizen aan de zuidzijde van Bunde, de oorzaak wordt gezocht bij de vergraving en dekgrondberging van de Grensmaas. Er zijn pompen geplaatst die de grondwateroverlast tegen gaan, maar die lijken onvoldoende te werken. Onderzocht zou moeten worden bij welk peil de pompen aanslaan, of ze wel voldoende capaciteit hebben en effectief genoeg zijn geweest in de afgelopen periode. Maatregelen tegen overstroming moeten de grondwateroverlast niet vergroten.	Het programma WRL richt zich op waterveiligheidskwesties door extreme neerslag en hoge afvoeren in de Geul. Overlast vanuit grondwater valt buiten de scope van het programma.
oorzaken overstroming	Net ten noorden van de brug van Geulle is een rioolpompstation (van de Gemeente), dat het water naar de rioolzuivering in Maastricht (bij Keersluis Limmel/Borgharen) pompt. Er liggen dus buizen langs de hele lengte van de kwelgoot langs het kanaal naar Maastricht. Kunnen die nog invloed hebben gehad op de overstroming?	Dit gemaal is van het Waterbedrijf Limburg (WBL) en pompt naar Bunde. Ons inziens kan dit geen invloed hebben gehad op de wateroverlast.
bergingsgebied	Er is een waterwingebied met landbouwkundige functie dat nu er nat / moerassig is. Kan daar niet een waterbergingsgebied van worden gemaakt?	Vanuit de stroomgebiedsbrede aanpak wordt gekeken waar er bovenstrooms mogelijkheden zijn voor berging. De omvang en het moment van inzetten bepalen de effectiviteit. We richten ons bij de Geulmonding vooralsnog op het kunnen afvoeren van water.

Betreft	Omschrijving	Kansrijkheid
oude loop Geul	Zijn er geen oude meanders of tracés van de Geul waar gebruik van kan worden gemaakt om de Geul meer ruimte te geven?	3. Dit levert geen oplossing op voor dit knelpunt bij hoogwater; nabij de sifon willen we juist water snel afvoeren in plaats van vasthouden of vertragen van de waterafvoer. Verder bovenstrooms (bijv. bovenstrooms van Meerssen bij Valkenburg of verder stroomopwaarts) kan deze maatregel wel effectief zijn.
debietmeting	Kan de afvoer van de Geul bij Valkenburg worden gemeten?	Een afvoermeetpunt realiseren is technisch lastig en duur. Het bestaande meetpunt Meerssen is qua afvoer representatief voor Valkenburg. Een extra meetpunt heeft inhoudelijke weinig meerwaarde.
maatregelen voor korte termijn	Ga na welke maatregelen er al op korte termijn kunnen worden uitgevoerd (bijv. onderhoud sifon, weghalen losliggende takken langs Geul, opschonen kwelsloot langs Julianakanaal, onderhoud van de duikers in die kwelsloot)	Dit gaan we na door middel van het huidige onderzoek; de resultaten vindt u terug in het eindrapport van deze Verkenning.
natuurlijke maatregelen	Aandacht wordt gevraagd voor natuurlijke maatregelen bovenstrooms; zie bijv. het rapport "Water vasthouden en vertragen in het Geuldal" van vijf natuurorganisaties (oktober 2023).	Dank voor de suggestie, deze maatregelen vallen buiten de scope van dit specifieke onderzoek, maar worden wel meegenomen in de stroomgebiedsbrede aanpak.
regie	Aandacht wordt gevraagd voor de regie op aanpak van de wateroverlast in de samenwerking tussen Waterschap, Gemeente en Rijkswaterstaat. Organisaties moeten niet naar elkaar wijzen.	Dank voor dit aandachtspunt. Dit onderzoek en zo ook het stroomgebiedsplan van bron tot monding van de Geul wordt opgepakt door WRL samen met de partners, zijnde het waterschap en de gemeenten. Deze verkenning naar de Geulmonding wordt ook uitgevoerd met Rijkswaterstaat.
afwenteling	WRL gaat waarschijnlijk onderzoeken of water via een tunnel onder Valkenburg afgevoerd kan worden. Die afvoer moet niet zorgen voor extra wateroverlast in Bunde (voorkómen afwenteling).	Dank voor dit aandachtspunt, dit valt buiten de scope van dit onderzoek, maar wordt wel een criterium bij het onderzoek naar deze tunnel of bypass.
maatregelen bovenstrooms	Maatregelen bovenstrooms kunnen veel tijd vergen. Voer daarom bij voorkeur eerst technische maatregelen rond de Geulmonding uit, waarvan de effectiviteit vast staat en snel verkregen wordt.	Dank voor dit aandachtspunt; maatregelen boven- en benedenstrooms worden in samenhang met elkaar bekeken. Waar mogelijk en wenselijk kunnen no regret maatregelen worden genomen vooruitlopend op het stroomgebiedsplan

Bijlage 2

Resultaten modelberekeningen maatregel 1 (stroomlijning instroom sifon)



CFD beoordeling Duiker Geulmonding

Duiker onder Julianakanaal

BJ5787-RHD-PP-0001

Project related

Frank van Gool

27 mei 2024

Document title: CFD beoordeling Duiker Geulmonding

Reference: BJ5787-RHD-PP-0001

Revision: Draft 0.4

Date: 27 mei 2024

Client:

Project number: BJ5787

Contributors: Frank van Gool

Checked by: Peter van de Kreeke

Date / initials: 27 mei 2024 / pwk

Approved by: David Heikens

Date / initials: 27 mei 2024

Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The quality management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001.

Samenvatting

- Deze studie is uitgevoerd om het stroomgedrag te beoordelen van de geulduiker onder het Julianakanaal bij een geheel gevulde sifon en afvoer die niet door de benedenstroomse waterstand wordt beïnvloed. Door middel van een analyse met een CFD (Computational Fluid Dynamics) model is een zogenaamde verlies factor K_{in} voor de entree van de sifon bepaald. Deze heeft invloed op het stroomdebiet door de duiker bij een bepaald verval. Een lagere waarde zorgt voor minder verliezen, dus een hoger debiet. De K_{in} levert naast andere verliesfactoren als uittreeverlies, wrijvingsverlies en bochtverliezen een relatief grote bijdrage aan het stromingsverlies van de sifon. De relatie tussen verval over de sifon (ΔH), verliesfactor (K) en stroomsnelheid u is als volgt te schrijven:
 - $\Delta H = K \frac{u^2}{2g}$, waarin g staat voor de zwaartekracht versnelling.
- Er zijn 4 situaties beoordeelt waarbij de entreeverliezen voor de duiker zijn bepaald:
 - A: Huidige situatie
 - B: Geleideschotten aan zijkanten
 - C: Geleideschotten bij entree aan bovenzijde
 - D: Combinatie van beide aanpassingen (B+C)
- Resultaten tonen dat in de huidige situatie de K waarde van de entreeverliezen neerkomen op 0,51.
 - Dit kan verlaagd worden met toevoegen van geleiding boven de kokers (bovenschot) en geleide wanden aan de zijkant (zijschot) naar een waarde van 0,35.
 - Bij een gelijkblijvend verval zorgt dit voor een debiettoename tot +7,6% bij het toepassen van alle maatregelen.

ID	Model	K_{in}
A	Huidig	0,51
B	Zijschotten	0,48
C	Bovenschot	0,36
D	Beide schotten	0,35

Inhoud

- Samenvatting
- Introductie
- Uitgangspunten en modelopzet
- Bepaling modelvarianten
- Resultaten CFD modelberekeningen
 - A: Huidige situatie geulduiker
 - B: Geleideschotten zijkant
 - C: Geleideschot deur
 - D: Beide geleideschotten
- Conclusie
- Appendix
 - Geometriedetails
 - Opzet model B
 - Opzet model C
 - Opzet model D

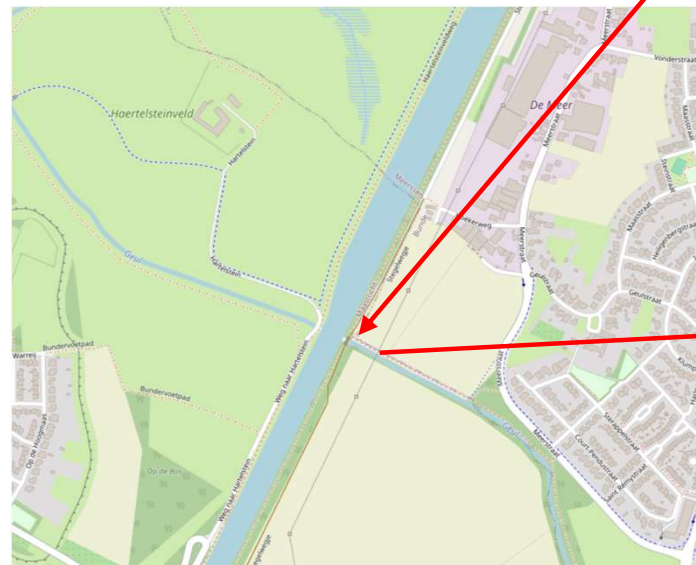
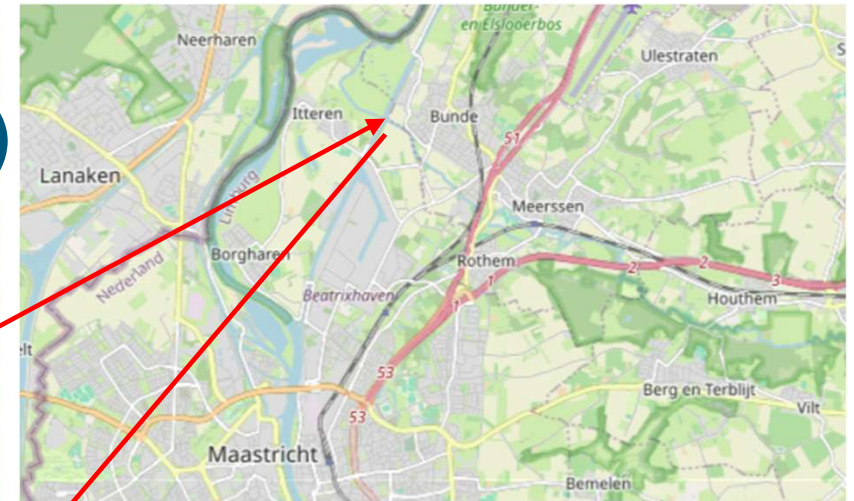
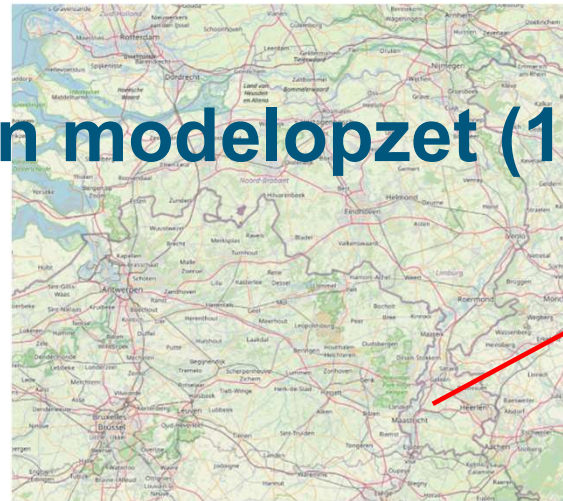
Introductie

- Dit document bevat de uitgangspunten en resultaten van een CFD-studie (Computational Fluid Dynamics) naar het gedrag van de stroming rondom de geulduiker onder het Julianakanaal.
- Het doel van deze studie is het beoordelen van de entreeverliezen van de duiker in de huidige situatie en het ontwikkelen van ingrepen om het intreeverlies te beperken. Een lager entreeverlies geeft een hoger debiet bij een gelijk verval, en is zo voordelig voor de totale afvoercapaciteit van de duiker.
- Referentie: “additional master thesis” van Dennis Ronckers:
 - *Hydraulic behaviour of the Geul inverted siphon: energy losses, debris accumulation and applicability of a Minimum Energy Loss culvert (2022)*

Uitgangspunten en modelopzet (1)

Locatie

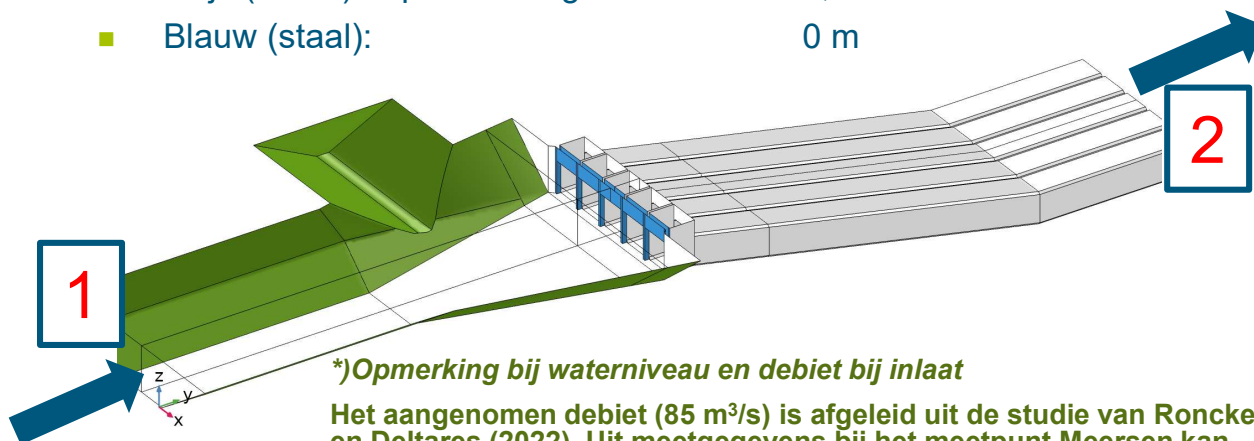
- Geulduiker Julianakanaal
- RD: 178265; 323060
- GPS: 50.89688, 5.71791



Uitgangspunten en modelopzet (2)

- Er is een CFD model gemaakt op basis van aangeleverde tekeningen en openbare gegevens
- Detail van de geometrie is opgenomen in de appendix
- Het kanaal voor de duiker is gemodelleerd naar tekeningen en informatie uit AHN4
- Hierbij is afgeweken van de originele tekeningen door conflicten met de AHN4
- ! Het kanaal is smaller dan op tekening

- Waterniveau bovenstrooms: 44,5 m NAP
- Debiet bij inlaat (1): 85 m³/s *)
- Randvoorwaarde bij uitlaat (2): 0 Pa druk (= referentie)
- Oppervlakteruwheden:
 - Groen (begroeid): eq. sand roughness: 0,1 m
 - Grijs (beton): eq. sand roughness: 0,002 m
 - Blauw (staal): 0 m

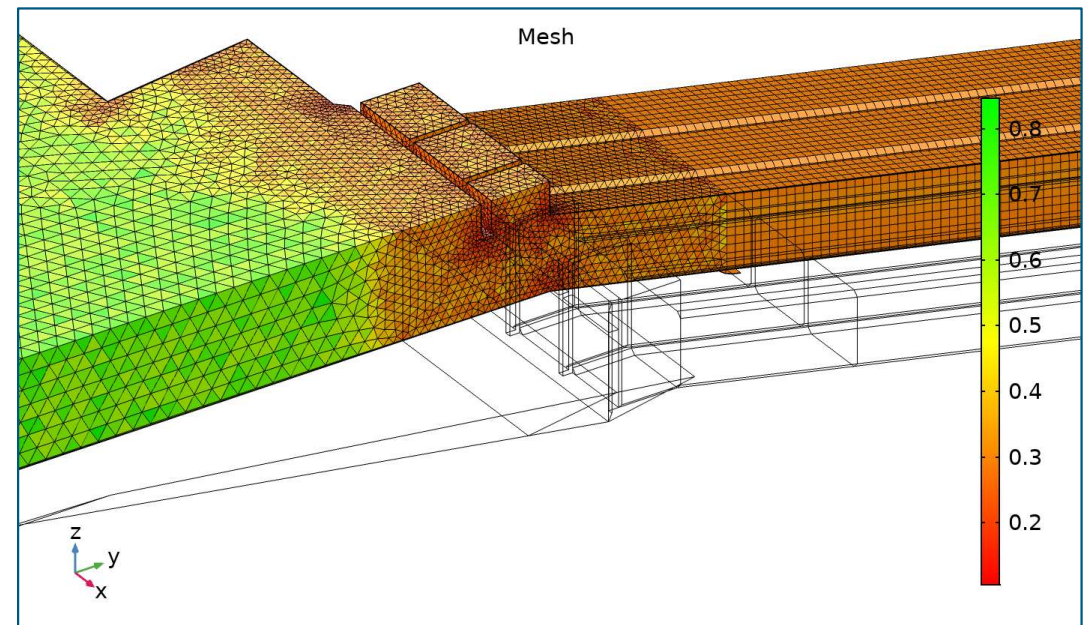


*)Opmerking bij waterniveau en debiet bij inlaat

Het aangenomen debiet (85 m³/s) is afgeleid uit de studie van Ronckers en Deltares (2022). Uit meetgegevens bij het meetpunt Meersen kan worden afgeleid dat net voordat bij Bunde in 2021 overstromingen plaatsvonden er een debiet van orde 50 tot 60 m³/s door de Geul stroomde. Er is derhalve ook een controle berekening uitgevoerd voor 60 m³/s door de sifon voor het instroomverlies.

Uitgangspunten en modelopzet (3): CFD model

- CFD turbulentie model: RANS **realizable k-epsilon**
 - Geeft een tijdsgemiddeld beeld van de stroming
- “Incompressible flow”, water heeft een vaste dichtheid
- Geen zwaartekracht
- Vast waterniveau
 - Zie appendix over opstuwing rondom de inlaat
- Vloeistofeigenschappen water @ 10 °C
 - Dichtheid: 1000 kg/m³
 - Viscositeit: 1.32e-5 Pa.s



Uitgangspunten en modelopzet (4): Drukverlies over duiker

- Het rapport: Additional thesis Ronckers (2022) beschrijft in hoofdstuk 4 de berekening van het debiet door de duiker (gem. watersnelheid in de duiker) ten opzichte van het verval ΔH als:

- $$\Delta H = \left(K_{in} + K_{out} + K_s + K_b + f \frac{L_t}{D_h} \right) \frac{u^2}{2g}$$

- Het totale debiet is gegeven door

- $$Q = A_{duiker} \times u \quad (\text{met } A = 31 \text{ m}^2)$$

- ΔH is verlies energiehogte van het water

(dit is drukhoogte+snelheidshogte),

piëzometrische druk (p) wordt omgerekend in drukhoogte = $\frac{p}{g \cdot \rho_{water}}$

- Waterniveau benedenstrooms:

- Scenario 1: 43,65 +NAP

- Totaal verval van 0,85 m

- Scenario 2: 44,20 +NAP

- Totaal verval van 0,3 m

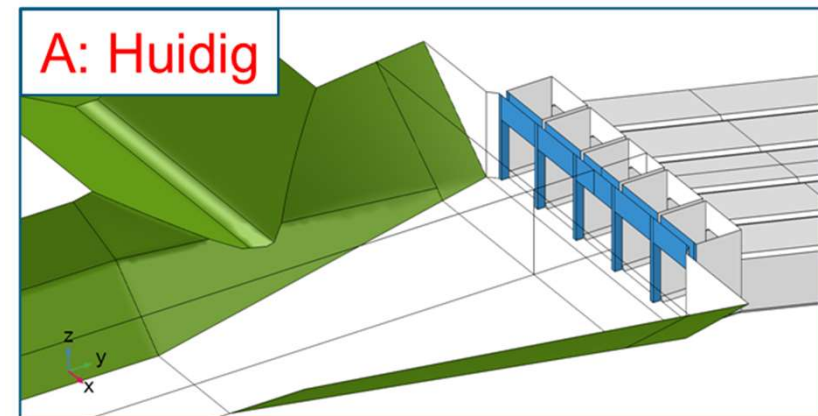
- Intreeverlies wordt bepaald door verschil in energiehogte voor en achter de ingang van de sifon

Term	Waarde	betekenis	eenheid
K_{in}	Ter bep.	Intreeverlies	-
K_{out}	0,14 - 0,24	Uittreeverlies	-
K_s	0	Debris losses	-
K_b	0 (nihil)	Bochtverliezen duiker	-
$f \cdot L_t / D_h$	0,529	Frictieverliezen duiker	-
u	Ter bep.	Gem. Watersnelheid	m/s
g	9,81	Valversnelling	m/s ²

1: Hydraulic behaviour of the Geul inverted siphon: energy losses, debris accumulation and applicability of a Minimum Energy Loss culvert. Additional Master Thesis: Dennis Roncker (2022)

Bepaling modelvarianten (1)

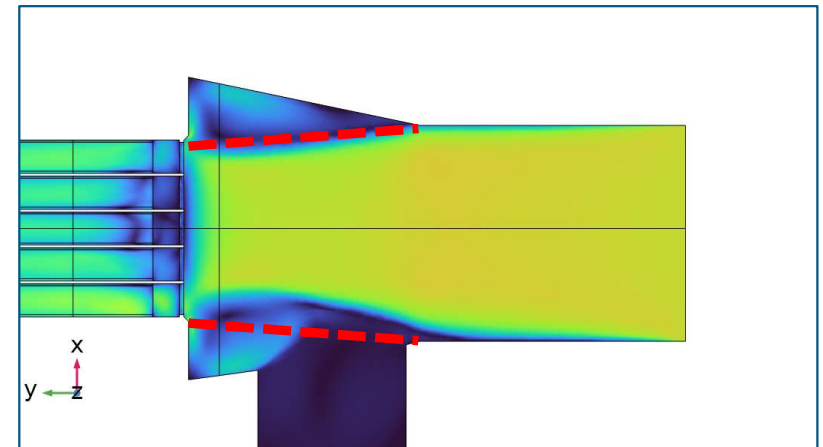
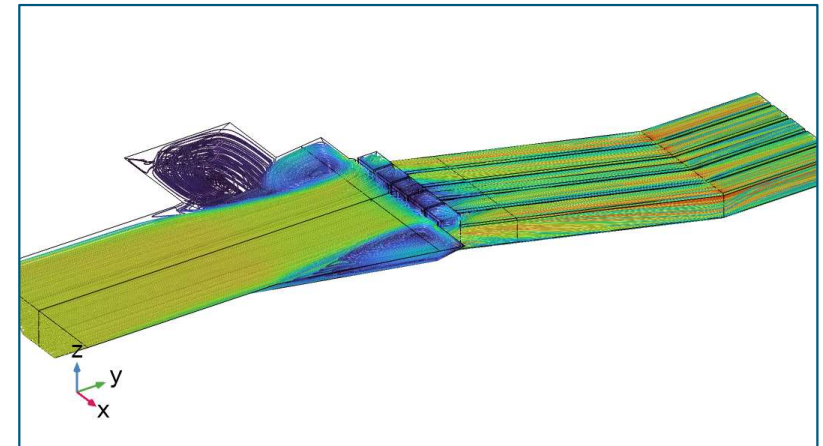
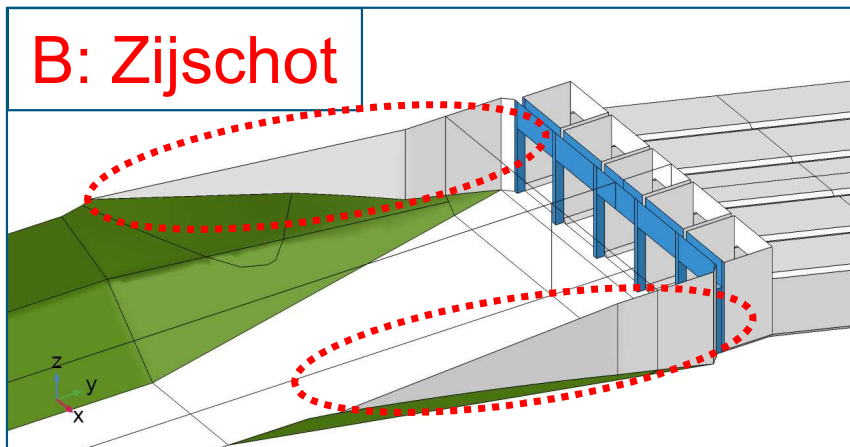
- Allereerst is de huidige situatie doorgerekend, MODEL A
- Hieruit blijkt dat het intreeverlies veroorzaakt wordt door
 - Vortices boven de taluds van de Geul voor de sifon.
 - Minder geleiding instroom van boven de instroomopening.
- Dit heeft geleid tot 2 modelvarianten B en C, zie volgende sheets.
- Tenslotte is een model D doorgerekend waarin alle maatregelen zijn opgenomen



Bepaling modelvarianten (2)

MODEL B

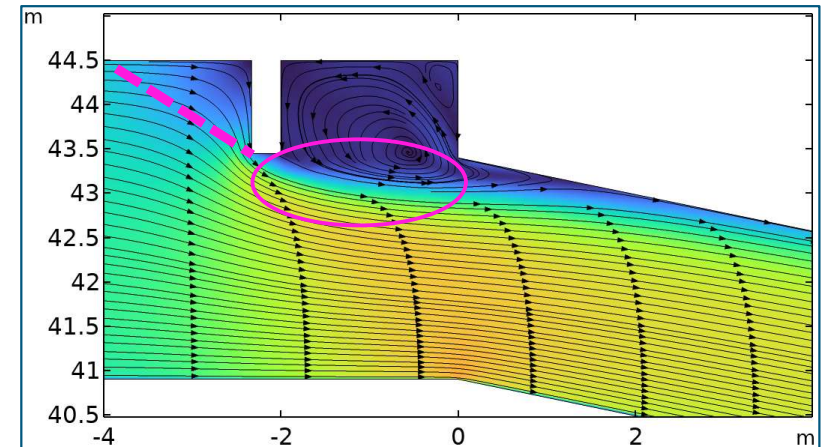
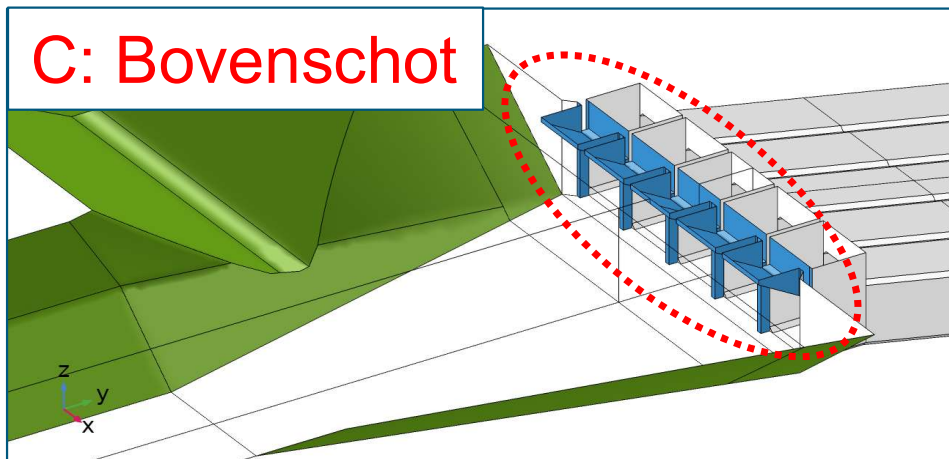
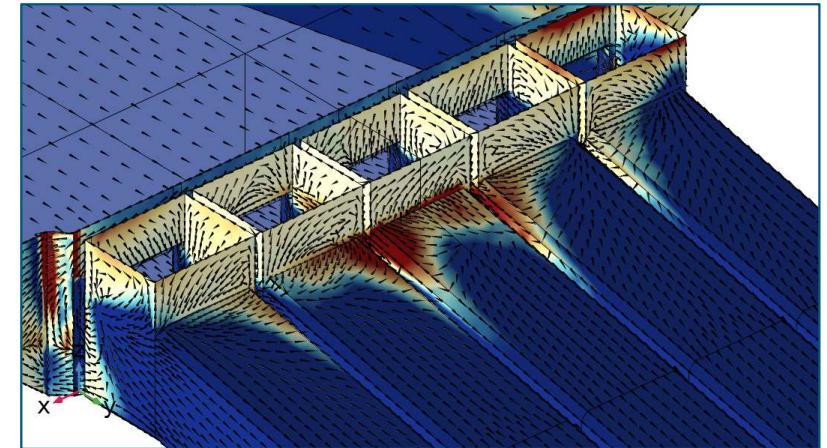
- Zorgen voor een constante snelheid richting entree, verminderen zij vortices
 - Zijwanden die stroming geleiden
 - Vorm moet geleidelijk variëren van geul bovenstrooms naar doorstroombaar oppervlakte van de duiker (31 m²)



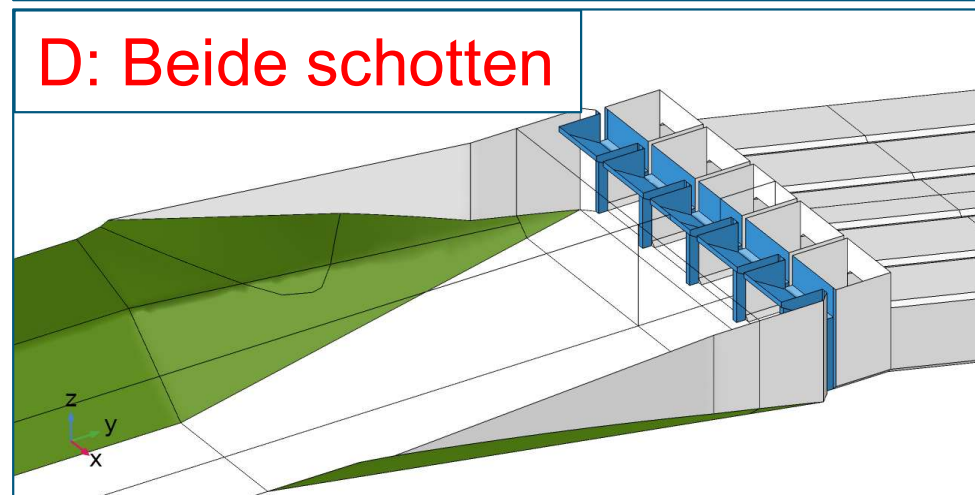
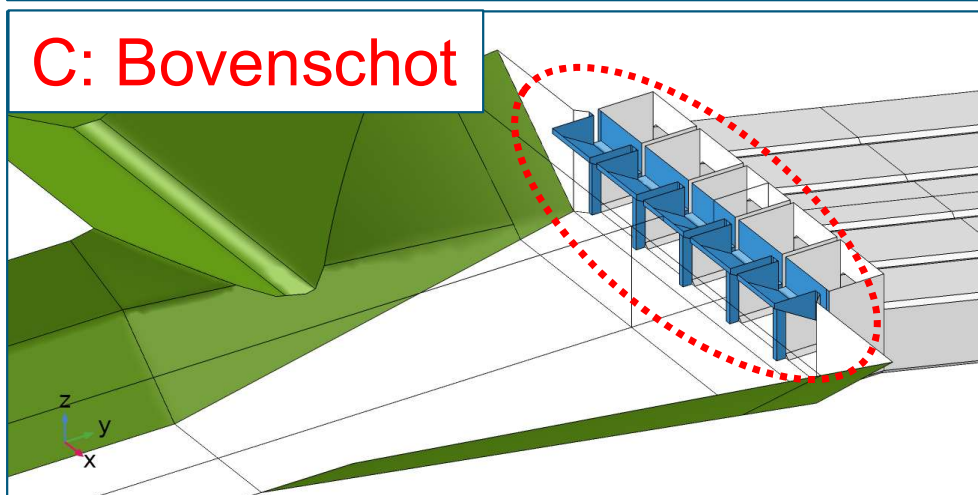
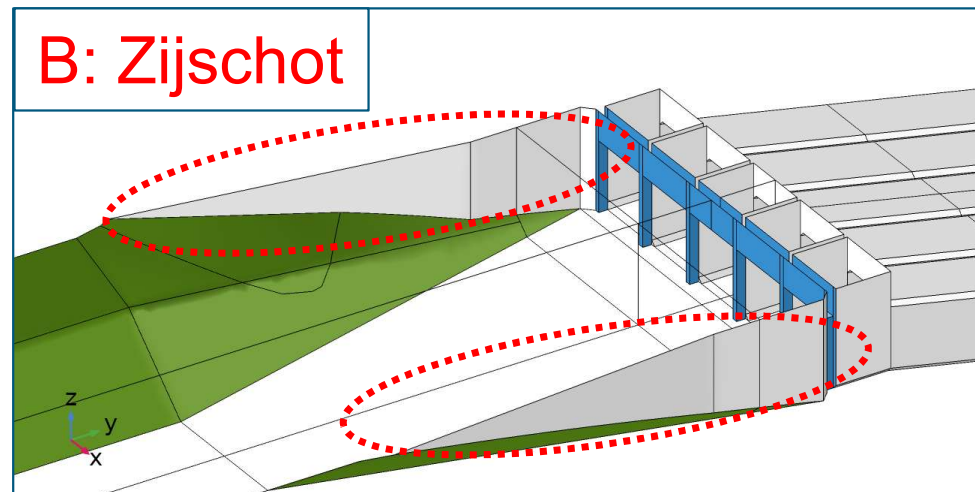
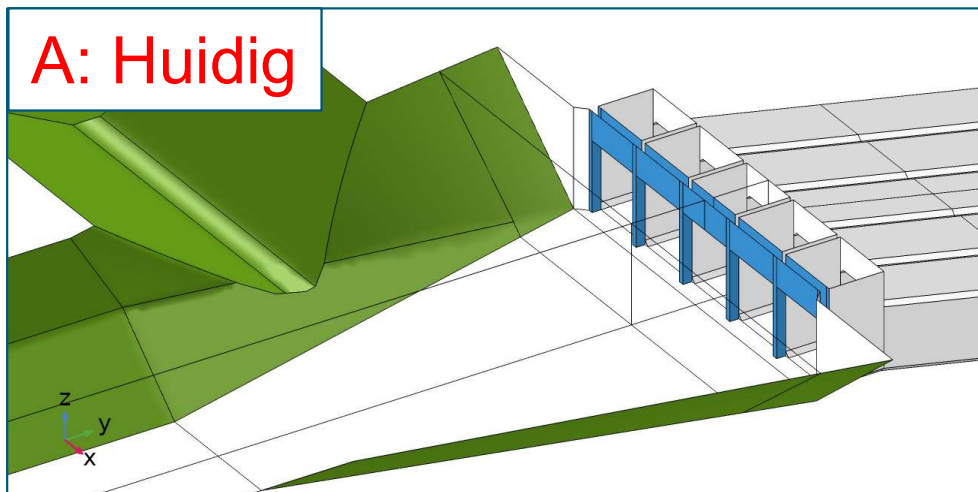
Bepaling modelvarianten (3)

MODEL C

- Verminderen stromingsloslating aan voor- en bovenzijde duikerentree door stroomgeleiding
- Toepassen schotten achter schuif (omcirkeld deel), lijkt minder effectief (uit resultaten blijkt dat met alleen geleiding voor de schuif al een goede stroomgeleiding optreedt)
- Geleiding vóór de schuif (roze stippellijn), lijkt meest effectief



Bepaling modelvarianten (4) *Weergave geometrievarianten (details in appendix)*



Resultaten CFD modelberekeningen

- Resultaatberekening geeft aan dat de verliesfactor K voor de entree verlaagd kunnen worden van 0,51 naar 0,35 met toepassing van alle maatregelen.
- De volgende slides tonen in meer detail alle resultaten

- A: Huidige model

- Stroomlijnen
- Snelheid
- Drukval

- B: Zijschot

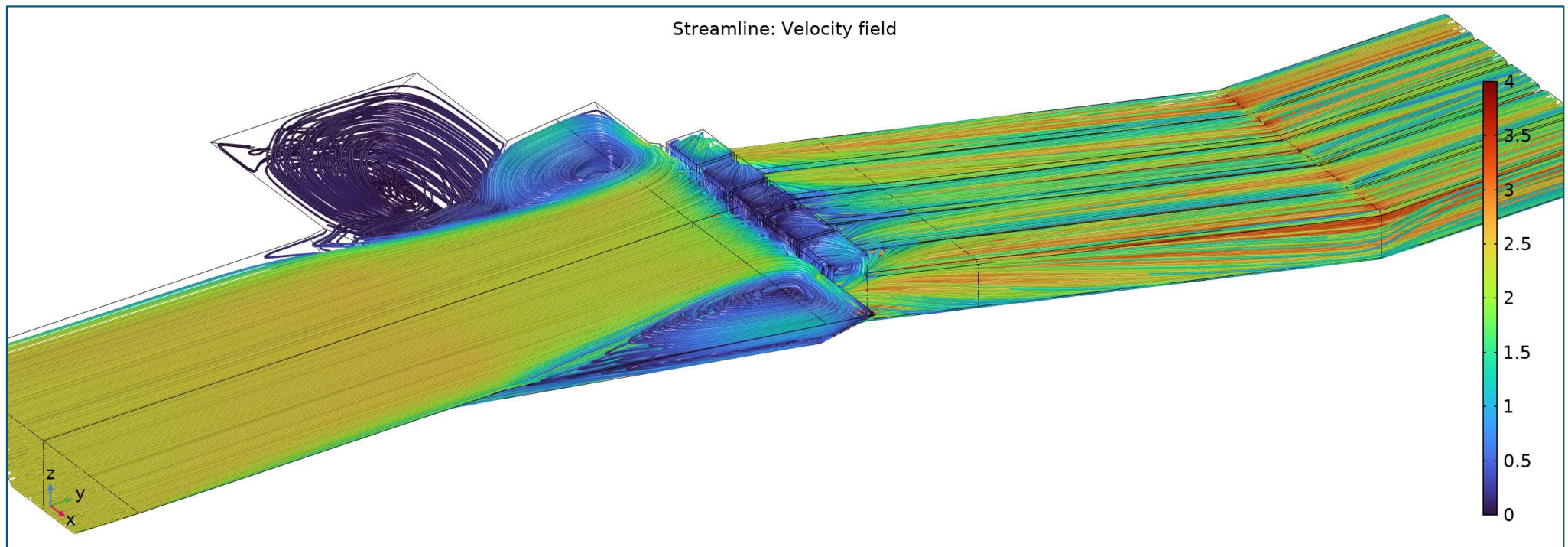
- C: Bovenschot

- D: Beide schotten

ID	Model	K in
A	Huidig	0,51
B	Zijschotten	0,48
C	Bovenschot	0,36
D	Beide schotten	0,35

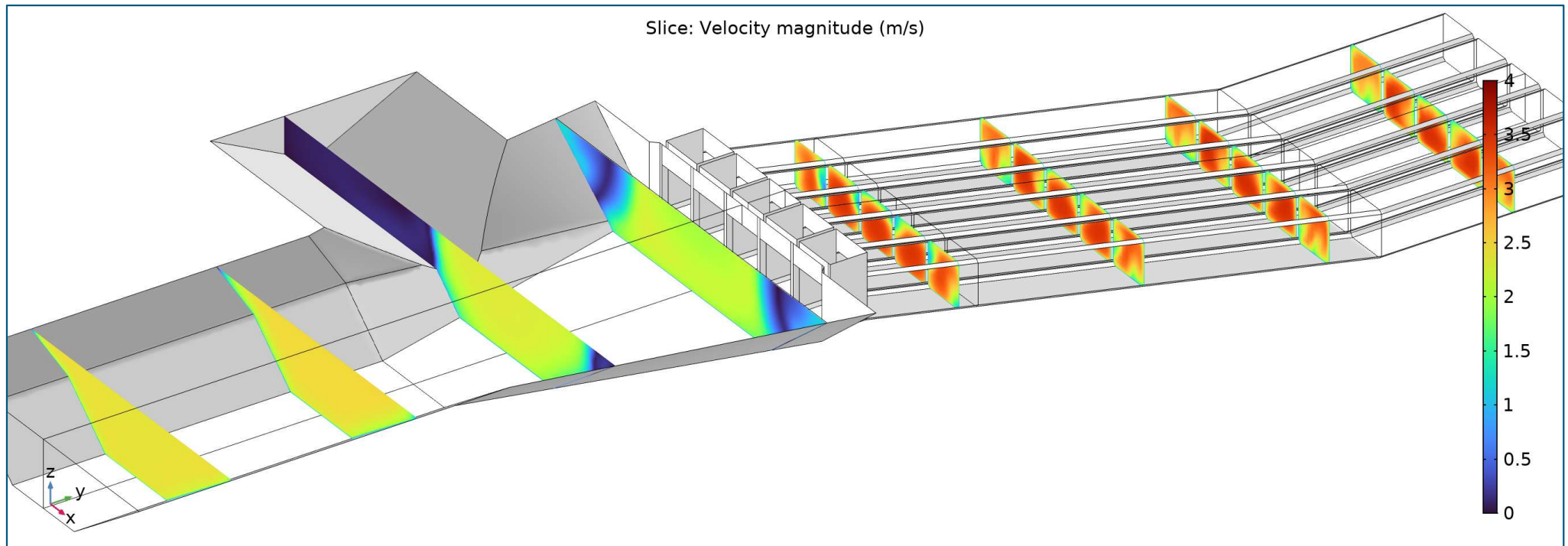
A: Stroomlijnen

- Stroomlijnen door het model
 - Zichtbaar zijn de wervels aan de zijkanten rond de duikerentree
 - De snelheid gaat licht naar beneden voor het water de duiker instroomt door de vergroting van het doorstroombaar oppervlak



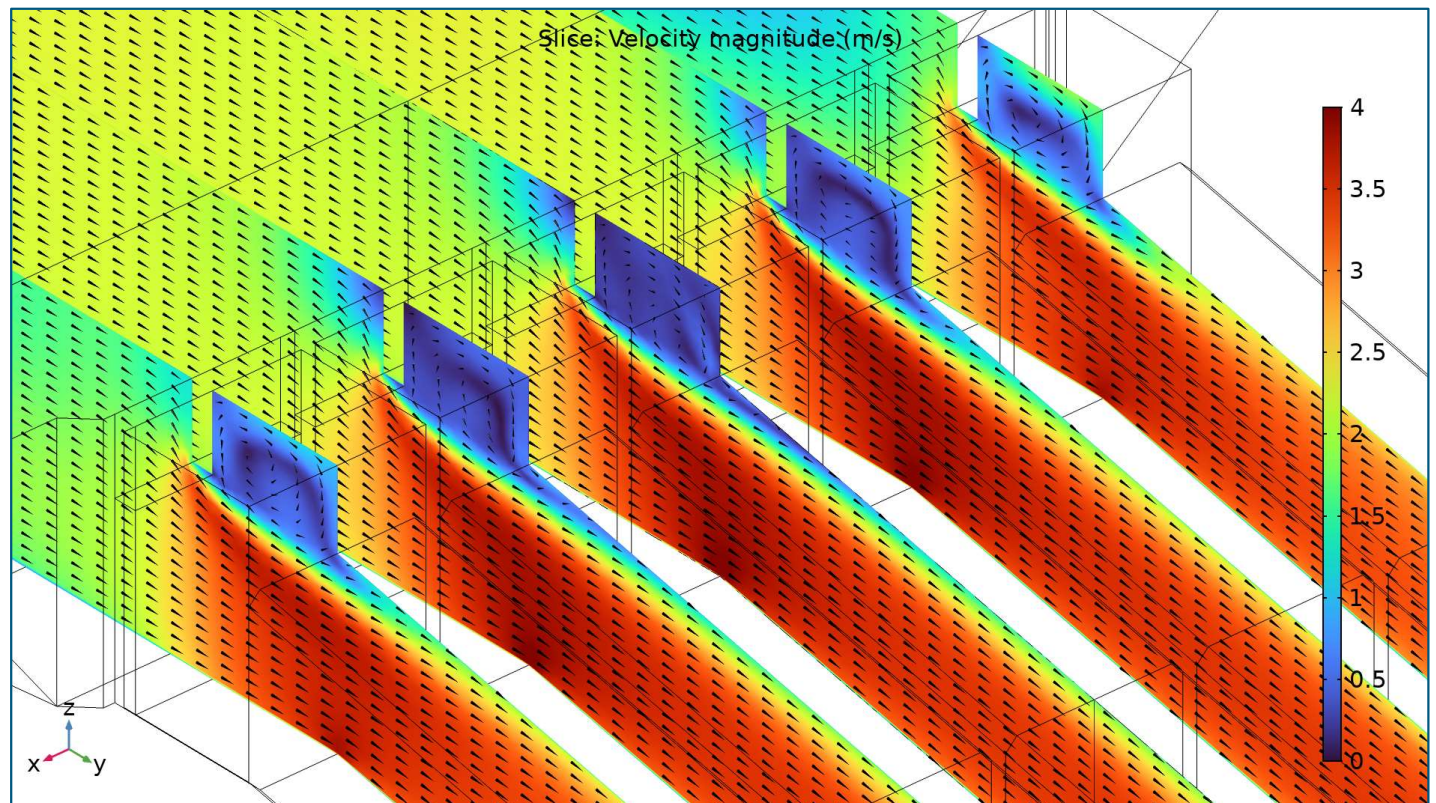
A: Dwarsdoorsnedes

- Doorsnedes van de absolute snelheid
 - Hier is de snelheidsverlaging goed te zien, doordat de bodem breder wordt.



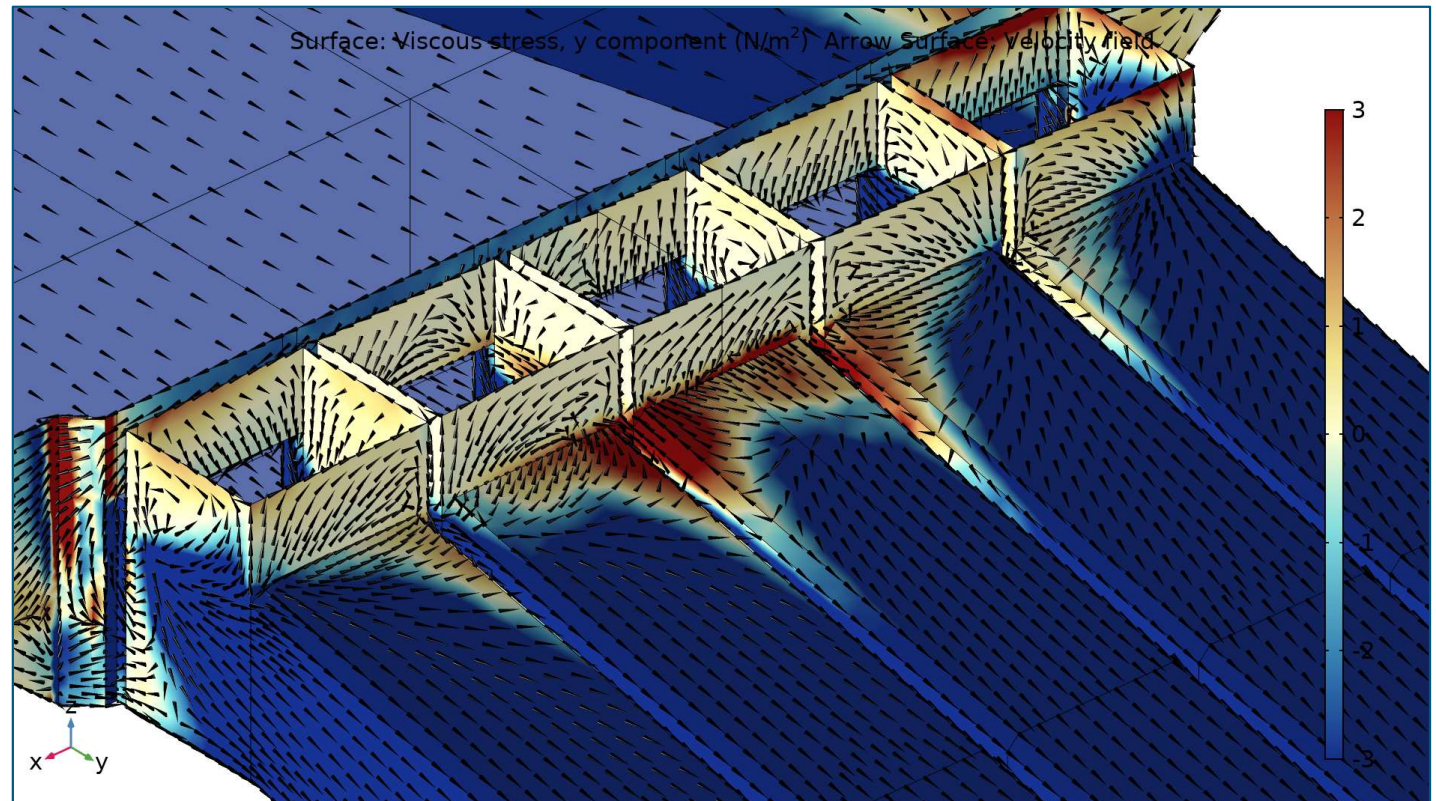
A: Lengtedoorsnedes

- Doorsnedes van absolute snelheid
- Toont loslating van de stroming aan de bovenzijde rondom de entree



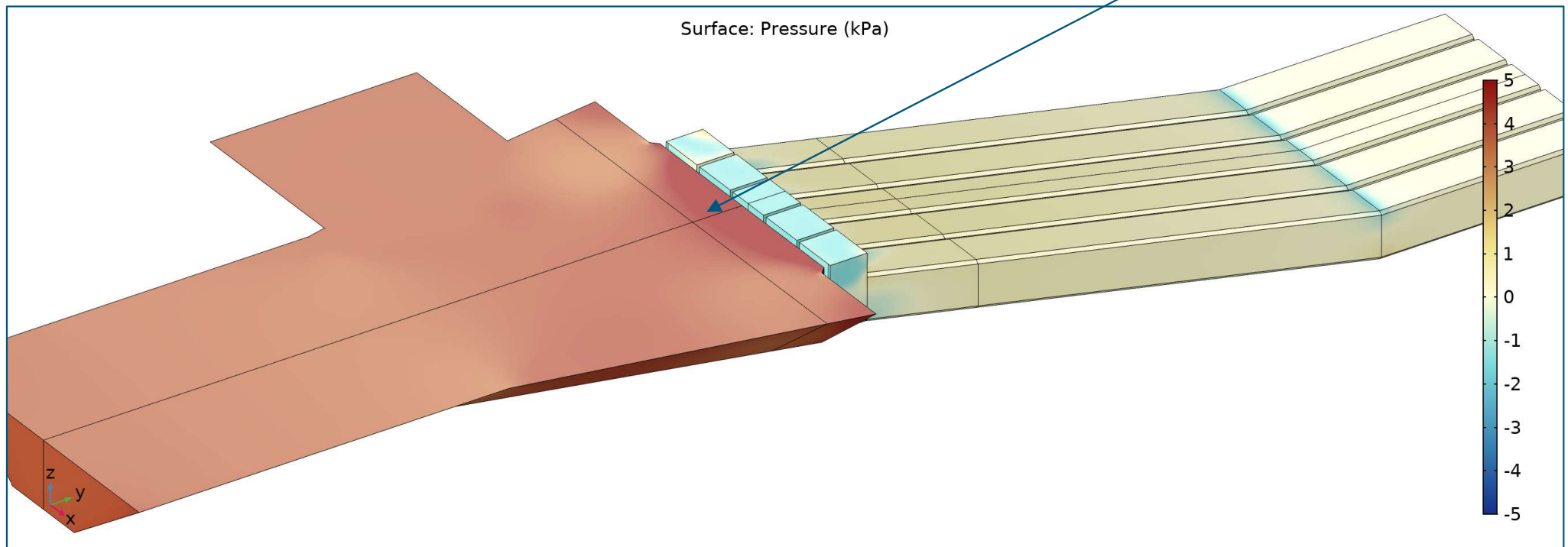
A: Detail stroming rond inlaat

- Schuifspanning op de wand (in stroomrichting)
- Positieve waarde (rood) geeft stromingsomkering weer, dit komt overeen met loslating van de wand
- Stroming laat licht los vooral aan de bovenzijde van de middelste duikerbuizen



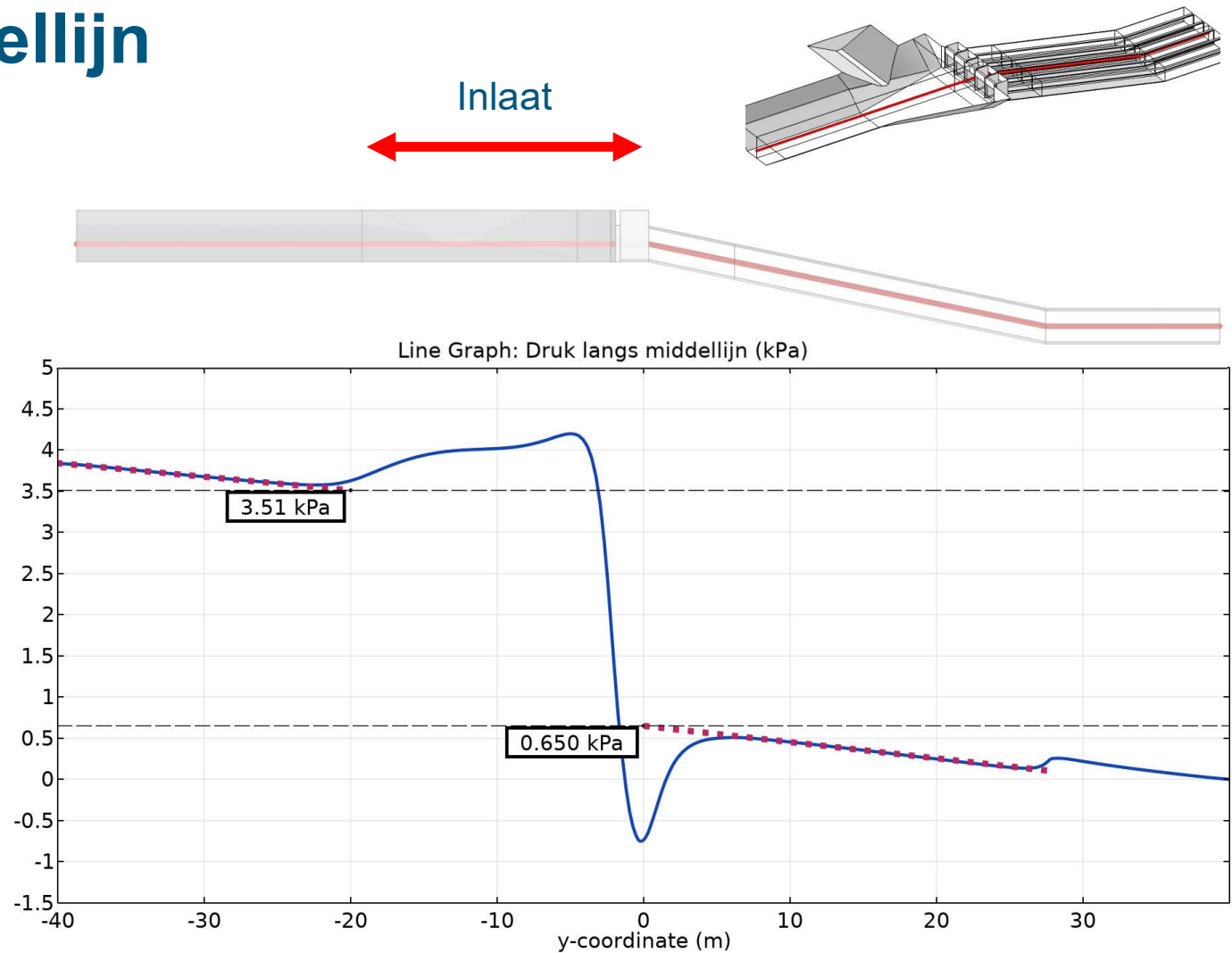
A: Druk

- Genormaliseerde waterdruk op buitenvlakken
 - Let op, geen zwaartekracht, dus geen toename met diepte
 - Uitstroom vastgezet op 0 kPa



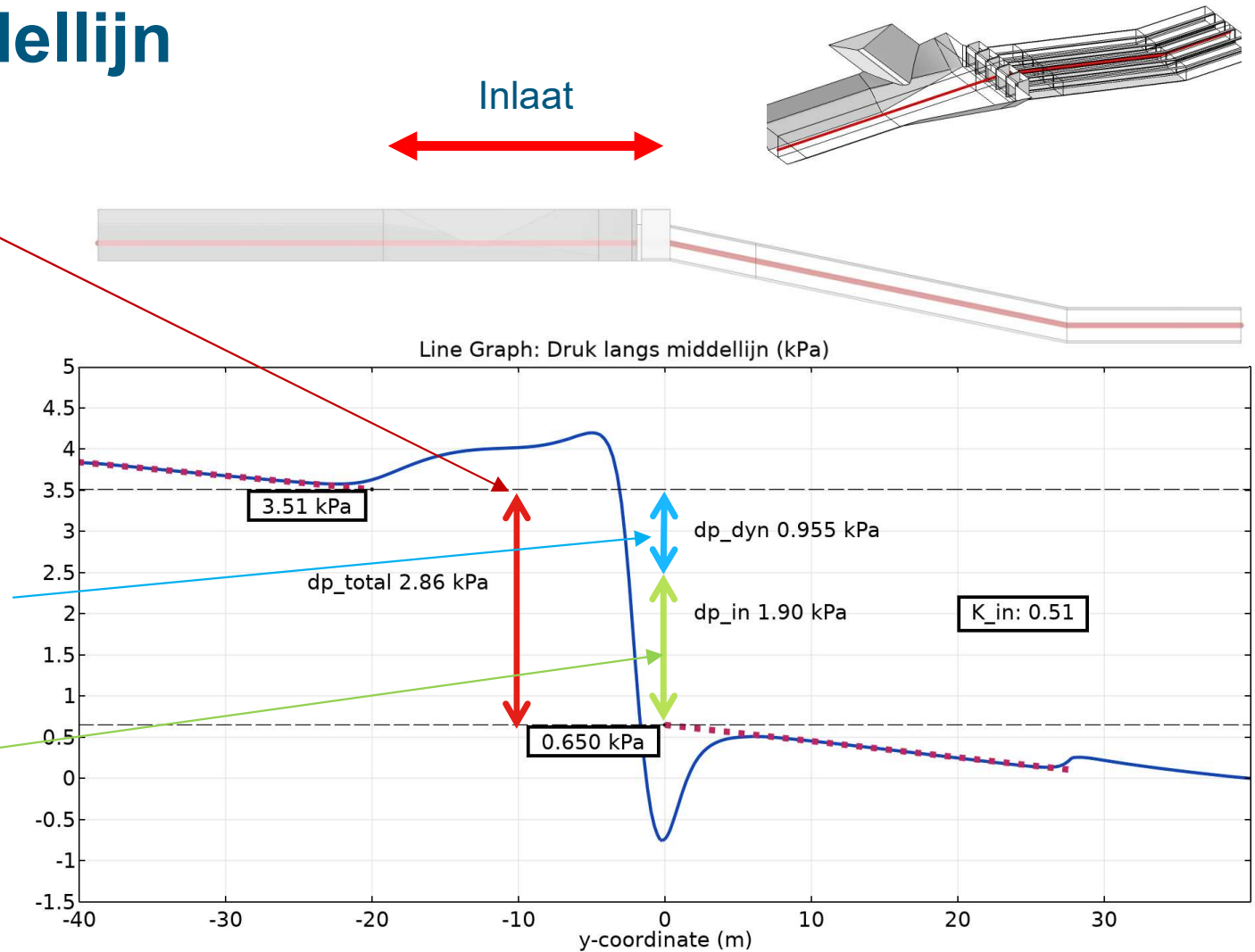
A: Druk over middellijn

- De druk over de lijn midden door het middelste kanaal
- Geeft aan hoe de drukval verloopt
- (Rode) helling is drukval per meter door wrijving aan de wand



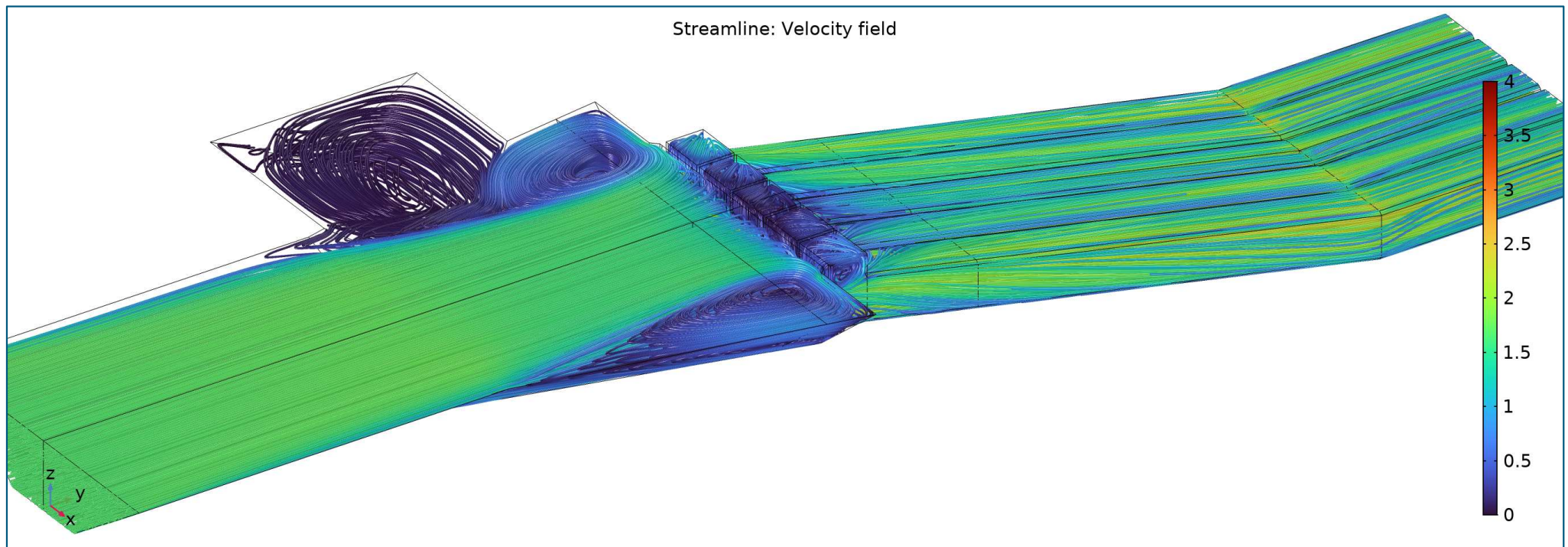
A: Druk over middellijn

- Drukafname totaal: $3.51 - 0.65 = 2.86 \text{ kPa}$
- V_{ave} kanaal: 2.37 m/s
 - $P_{\text{dyn_up}}$: 2.80 kPa
($0.5 \cdot \rho \cdot v^2$)
- V_{ave} duiker: 2.74 m/s
 - P_{dyn} : 3.76 kPa
- Drukafname door verschil in P_{dyn} 0.96 kPa ($3.76 - 2.80$)
- Drukafname door verlies inlaat:
 $2.86 - 0.96 = 1.90 \text{ kPa}$
- Verliesfactor inlaat:
 - $K = 0.51$ ($1.90 / 3.76$)



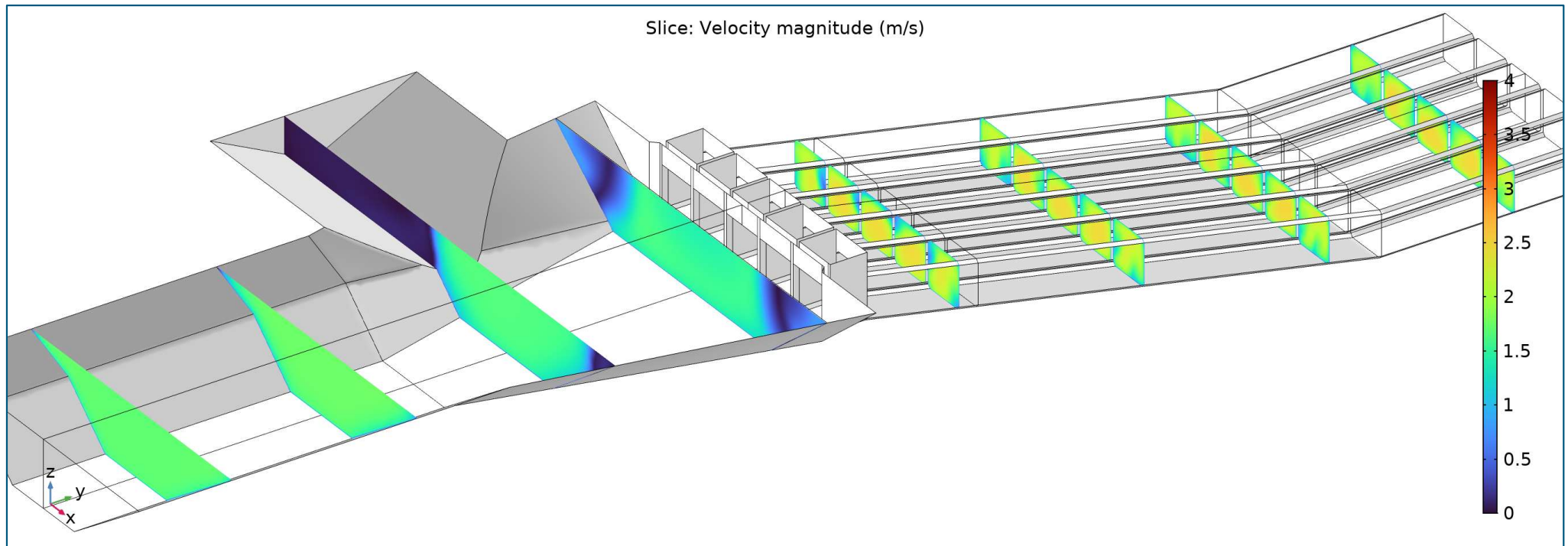
Controle berekening A (60 m³/s): Stroomlijnen

- Stroomlijnen door het model
 - Zichtbaar zijn de wervels aan de zijkanten rond de duikerentree
 - De snelheid gaat licht naar beneden voor het water de duiker instroomt door de vergroting van het doorstroombaar oppervlak



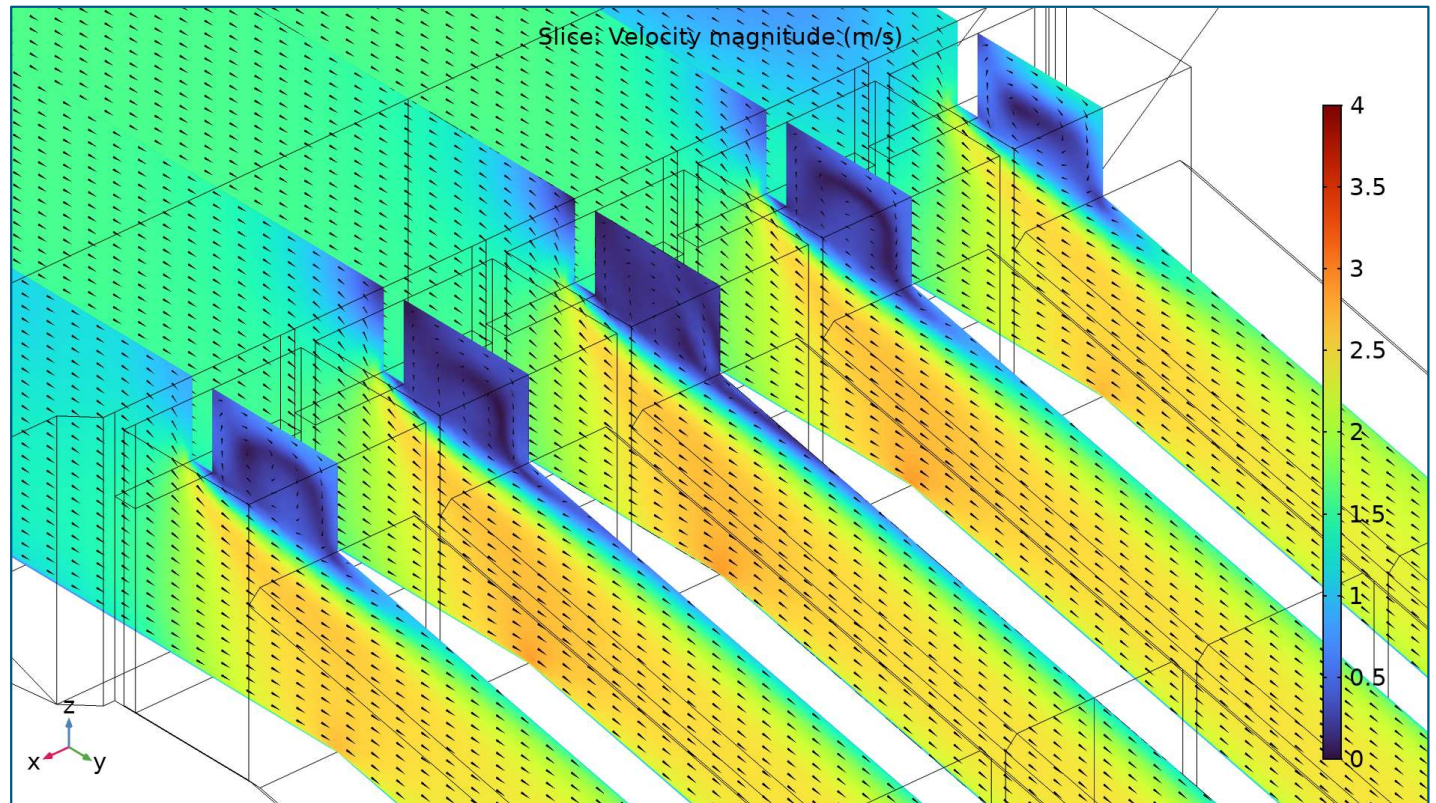
Controleberekening A (60 m³/s): Dwarsdoorsnedes

- Doorsnedes van de absolute snelheid
 - Hier is de snelheidsverlaging goed te zien, doordat de bodem breder wordt.



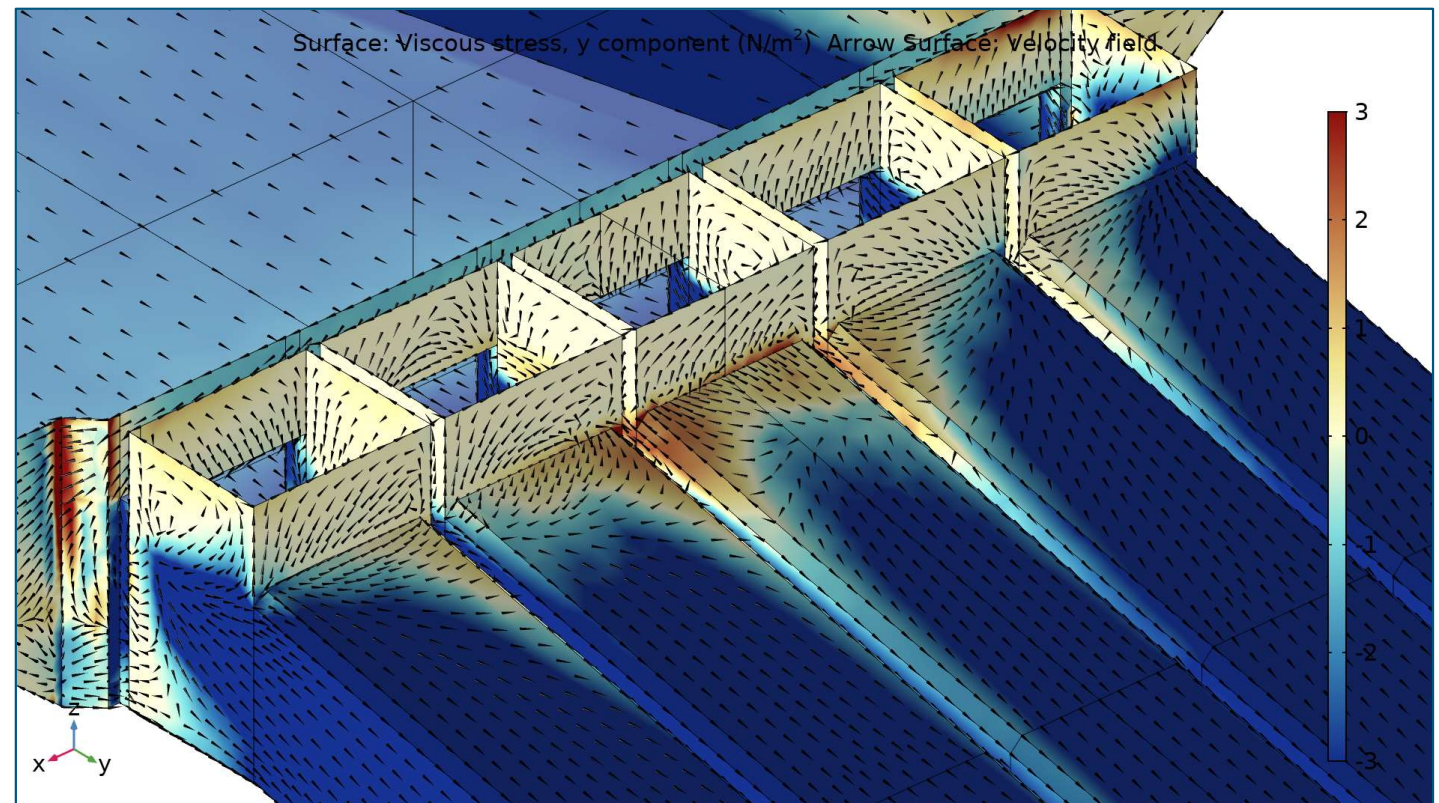
Controleberekening A: Lengtedoorsneden

- Doorsneden van absolute snelheid
- Toont loslating van de stroming aan de bovenzijde rondom de entree



Controleberkening A: Detail stroming rond inlaat

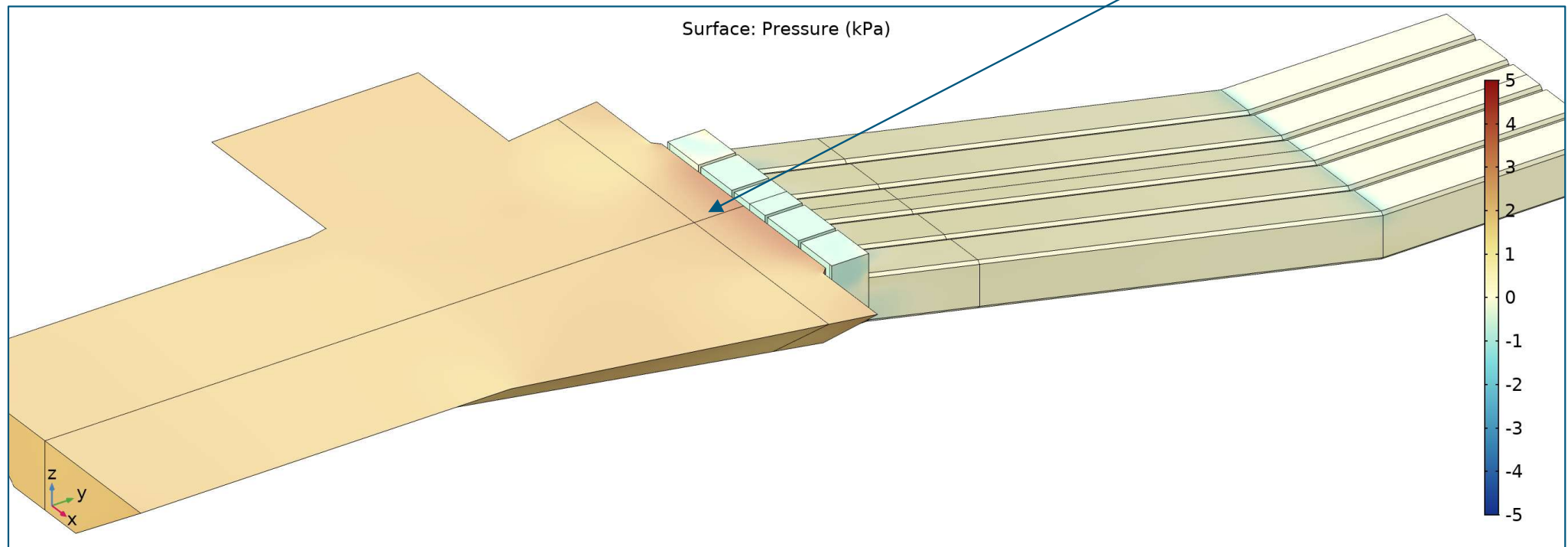
- Schuifspanning op de wand (in stroomrichting)
- Positieve waarde (rood) geeft stromingsomkering weer, dit komt overeen met loslating van de wand
- Stroming laat licht los vooral aan de bovenzijde van de middelste duikerbuizen



Controleberkening A: Druk

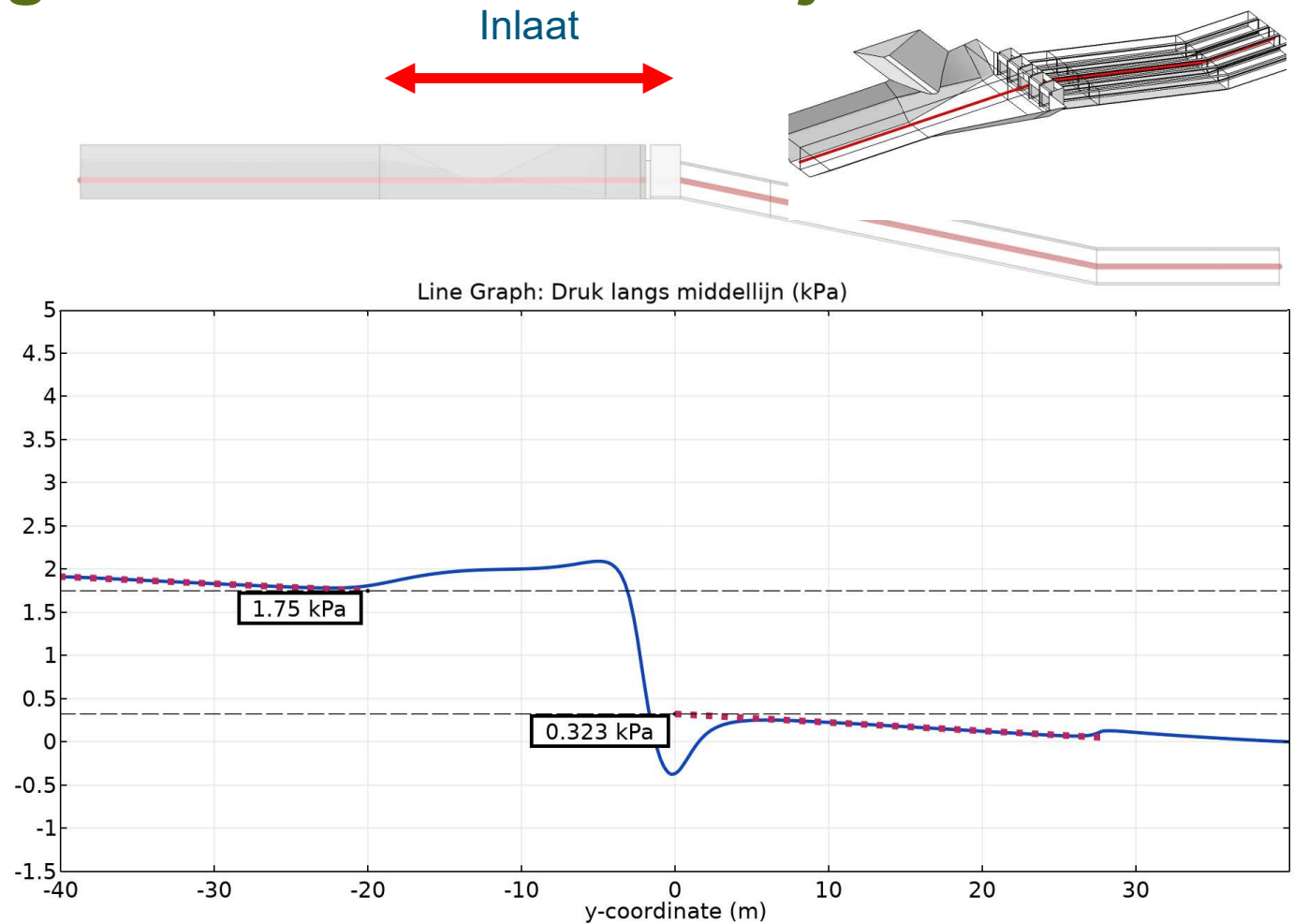
- Genormaliseerde waterdruk op buitenvlakken
 - Let op, geen zwaartekracht, dus geen toename met diepte
 - Uitstroom vastgezet op 0 kPa

Opstuwing
vóór duiker



Controleberekening A: Druk over middellijn

- De druk over de lijn midden door het middelste kanaal
- Geeft aan hoe de drukval verloopt
- (Rode) helling is drukval per meter door wrijving aan de wand

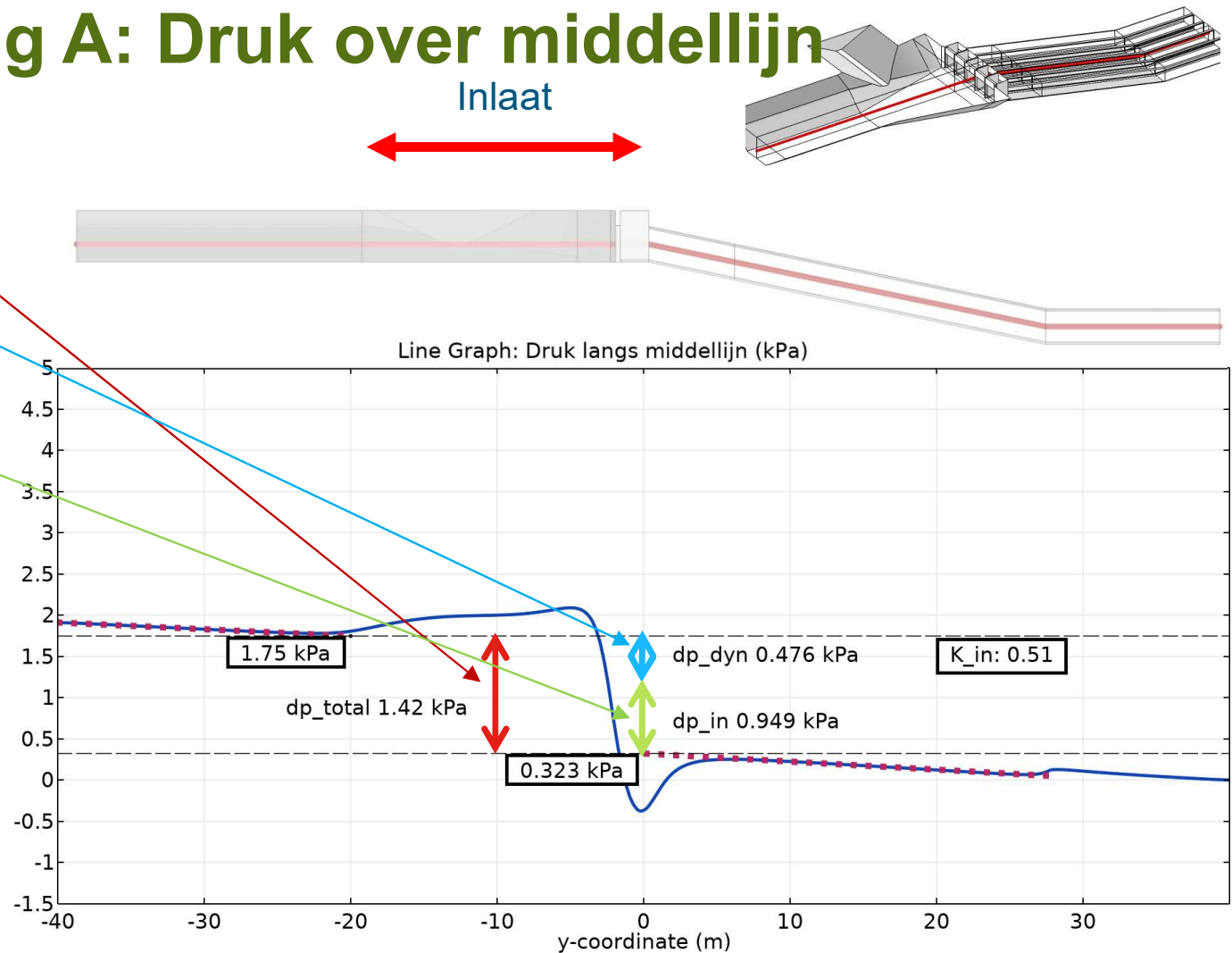


Controleberekening A: Druk over middellijn

- Drukafname totaal: $1.75 - 0.32 = 1.42 \text{ kPa}$
- Drukafname door verschil in P_{dyn} 0.48 kPa
- Drukafname door verlies inlaat:
 $1.42 - 0.48 = 0.95 \text{ kPa}$
- Verliesfactor inlaat:
 - $K = 0.51$ ($0.95 / 1.87$)

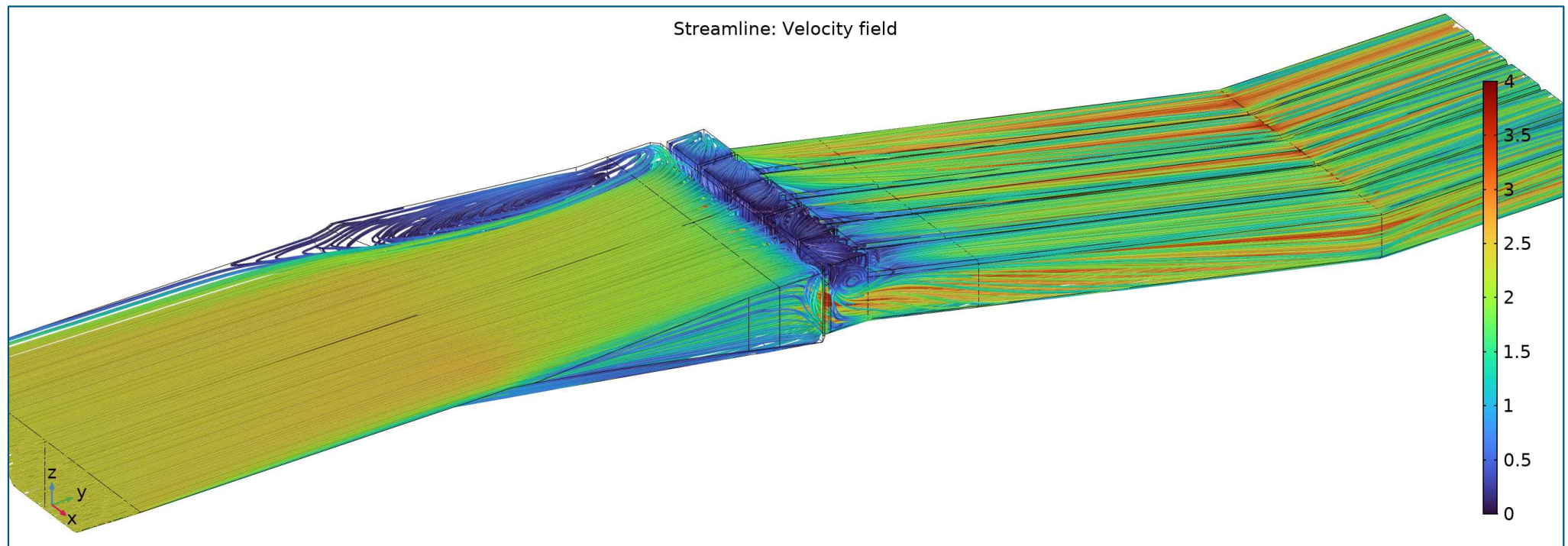
Conclusie controleberekening:

De verliesfactor bij $60 \text{ m}^3/\text{s}$ is hetzelfde als bij $85 \text{ m}^3/\text{s}$. De doorrekeningen van de modellen B t/m D zijn uitgevoerd bij $85 \text{ m}^3/\text{s}$.



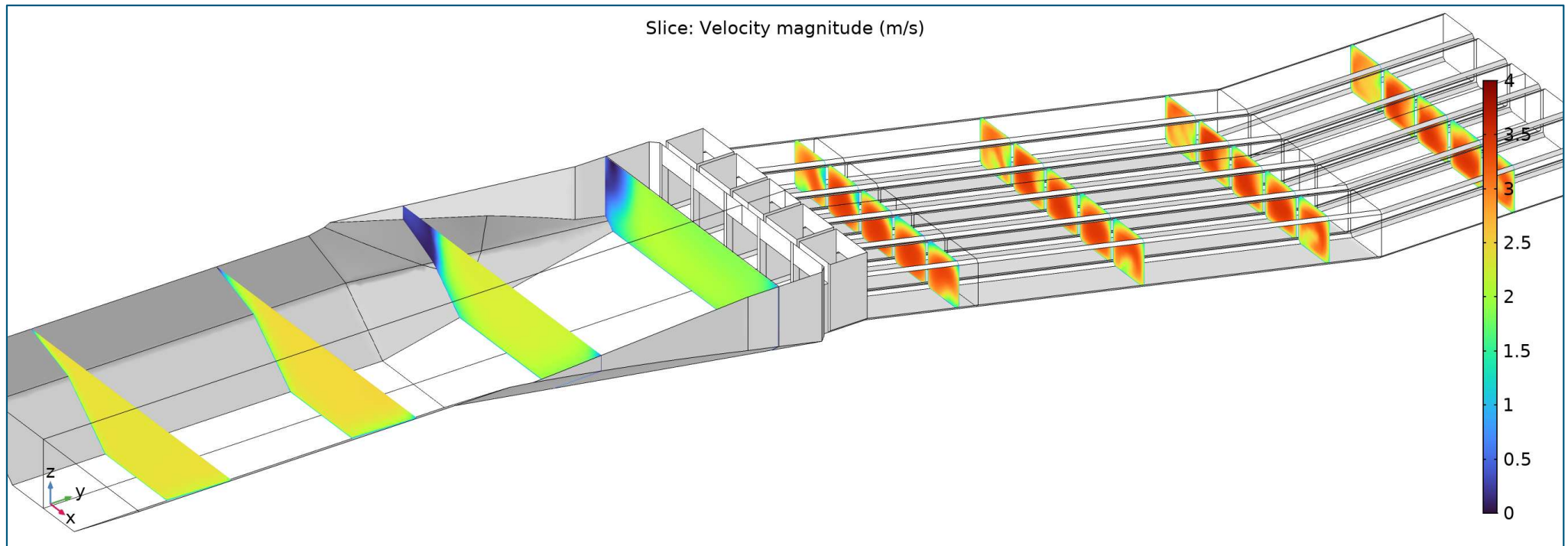
B: Stroomlijnen

- Stroomlijnen door het model
 - Wervels aan de zijkanten nog slechts aan 1 zijde
 - Snelheid gaat naar beneden voor het water de duiker instroomt door groter oppervlak



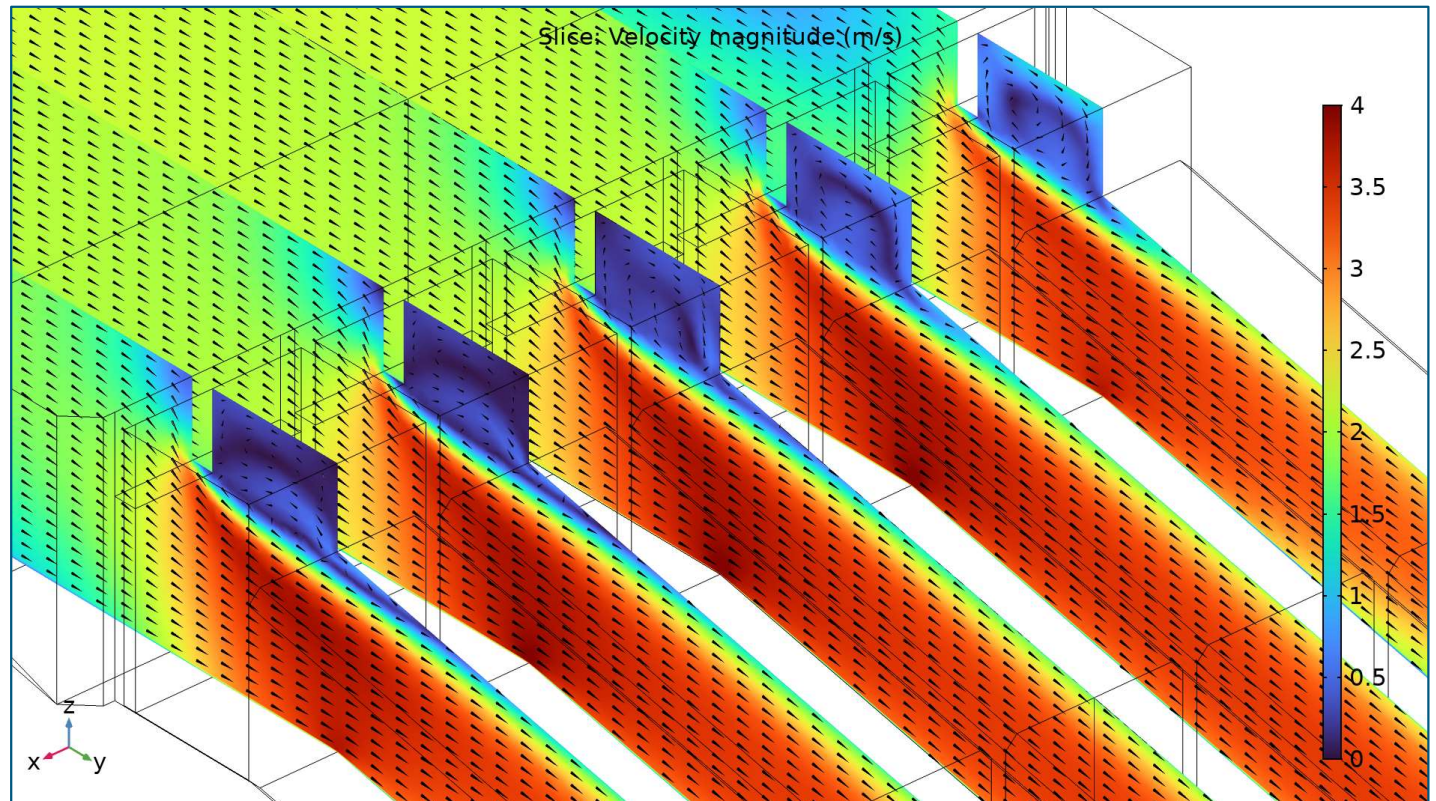
B: Dwarsdoorsnedes

- Doorsnedes van absolute snelheid
 - Hier is de snelheidsverlaging goed te zien, doordat de bodem breder wordt.



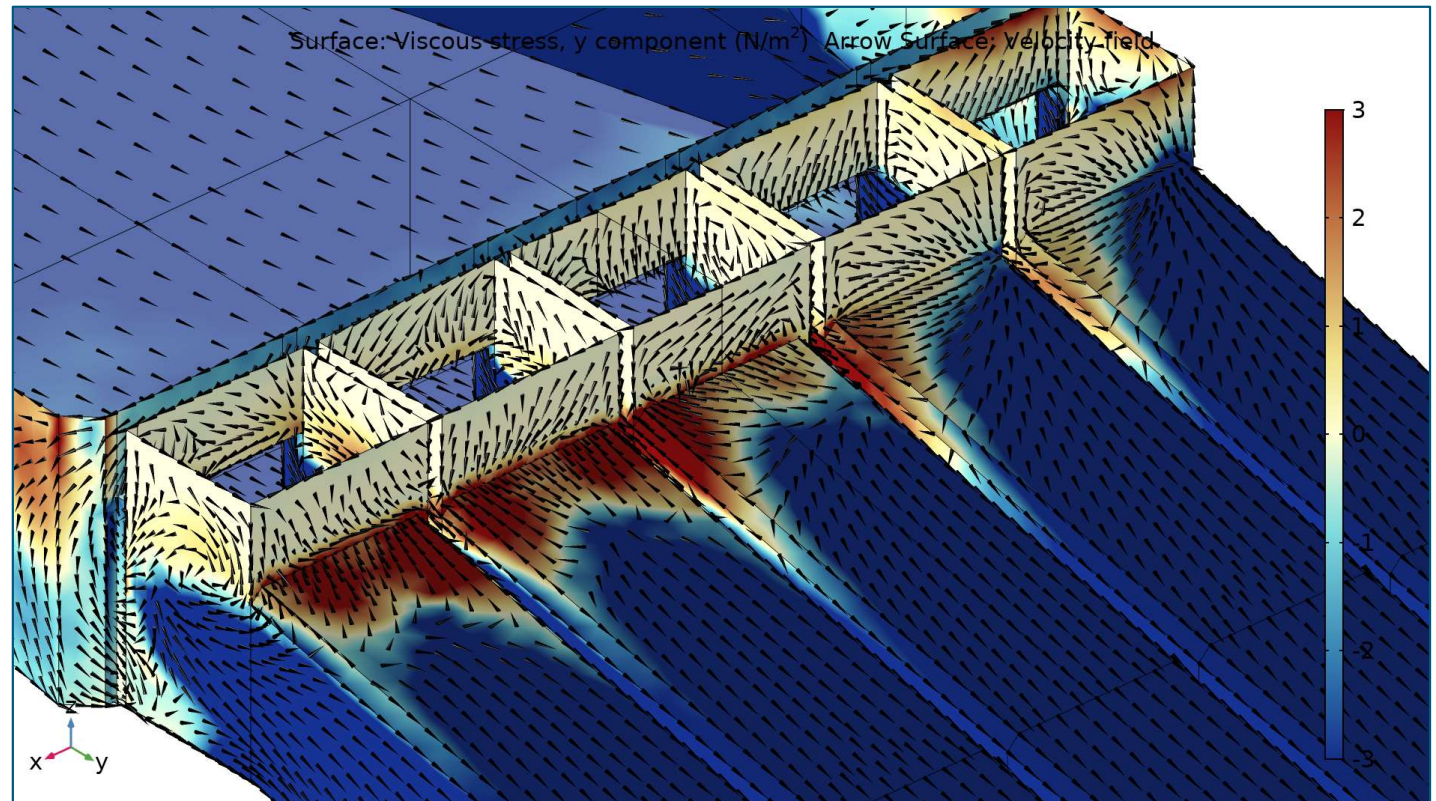
B: Lengtedoorsnedes

- Doorsnedes van absolute snelheid
- Toont loslating van de stroming aan de bovenzijde rondom de entree



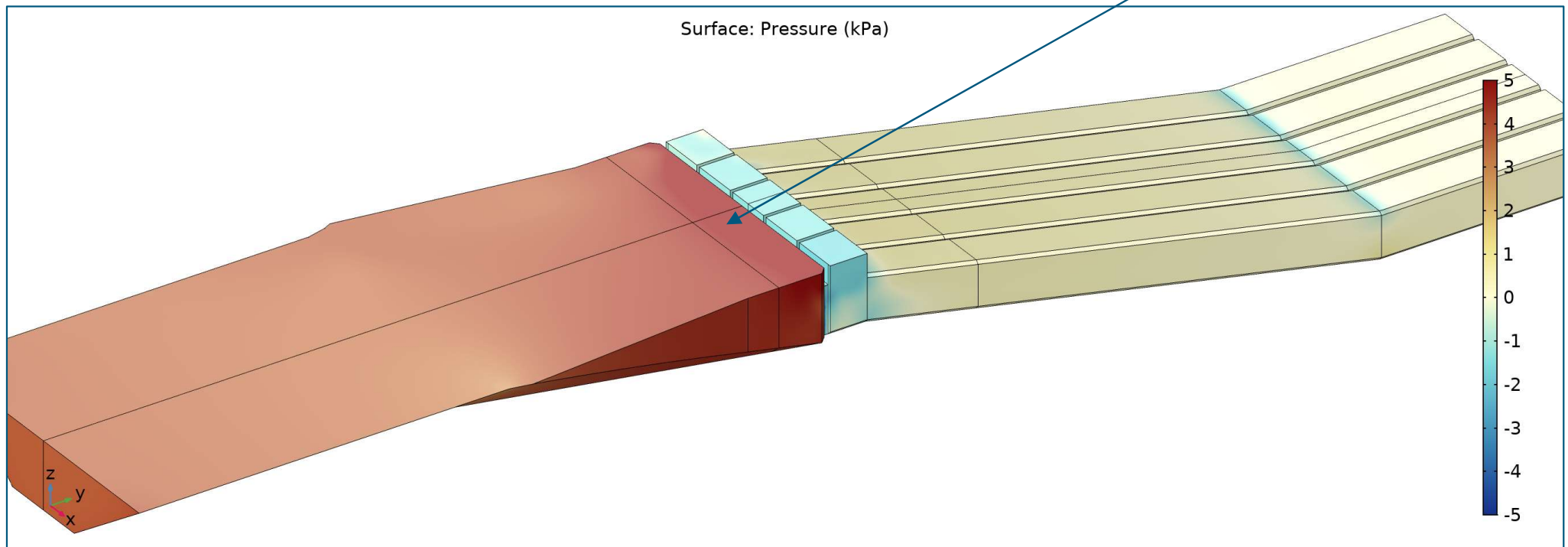
B: Detail stroming rond inlaat

- Schuifspanning op de wand (in stroomrichting)
- Positieve waarde (rood) geeft stromingsomkering weer, dit komt overeen met loslating van de wand
- Stroming laat licht los vooral aan de bovenzijde van de middelste duikerbuizen



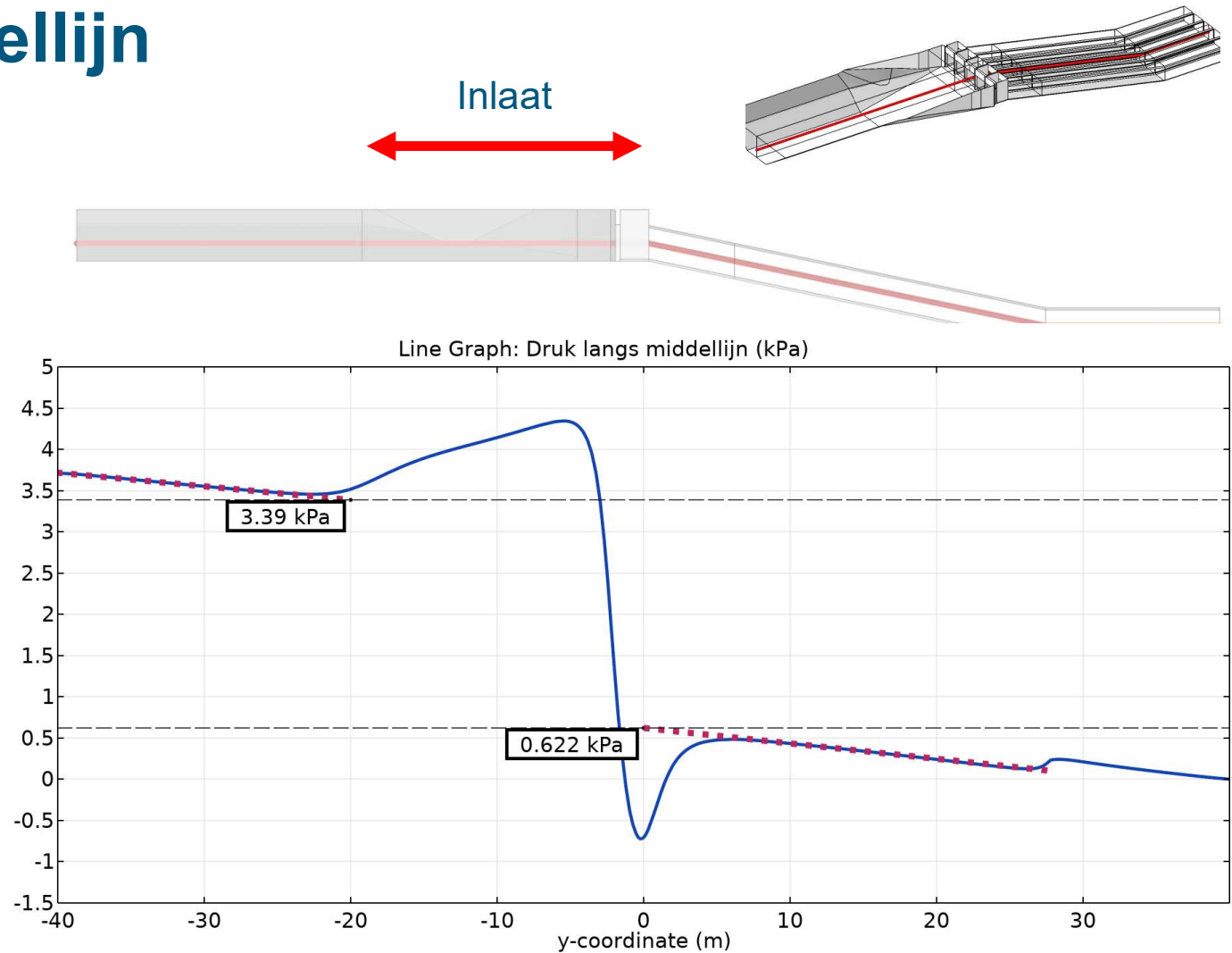
B: Druk

- Genormaliseerde waterdruk op buitenvlakken
 - Let op, geen zwaartekracht, dus geen toename met diepte
 - Uitstroom vastgezet op 0 kPa



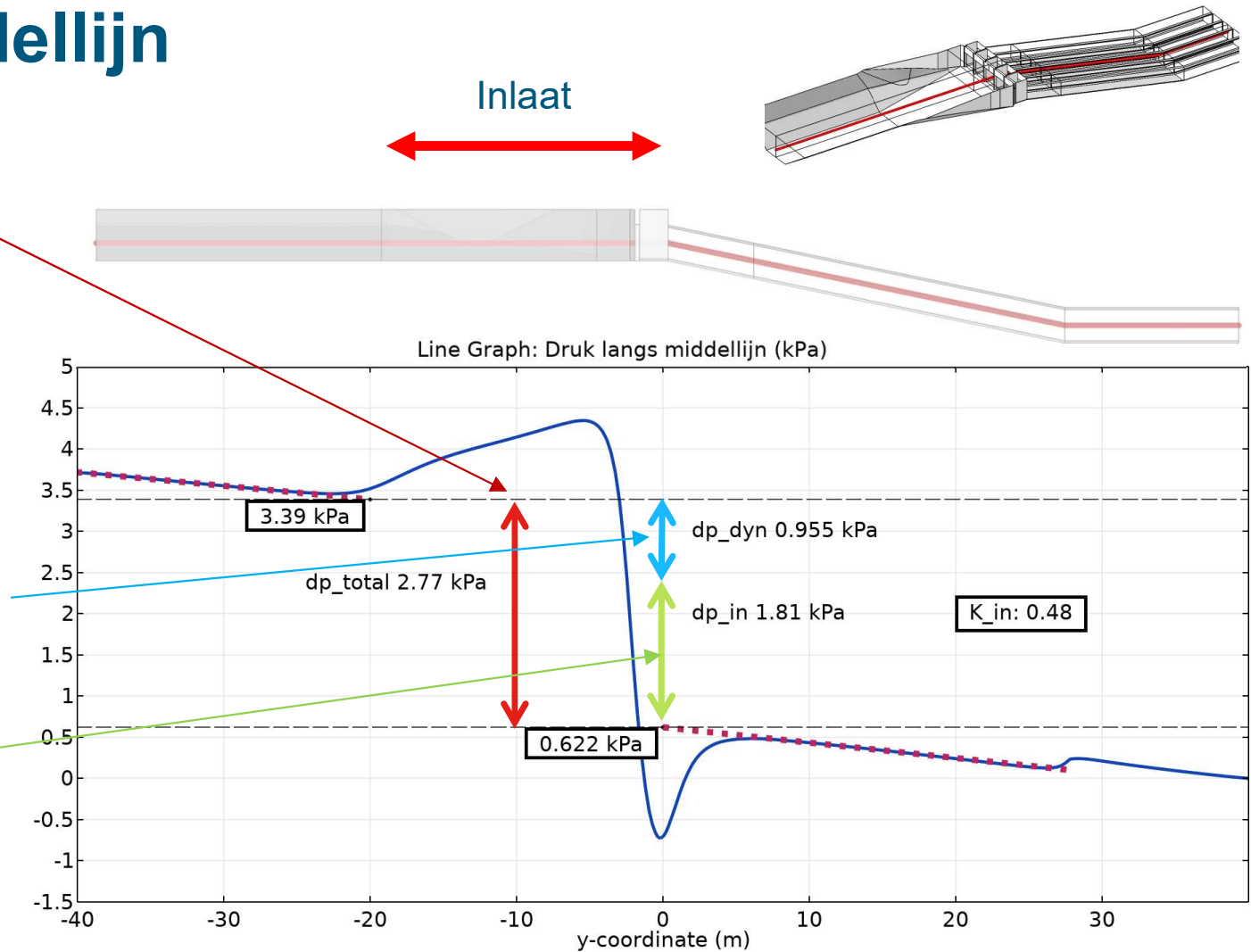
B: Druk over middellijn

- De druk over de lijn midden door het middelste kanaal
- Geeft aan hoe de drukval verloopt
- (Rode) helling is drukval per meter door wrijving aan de wand



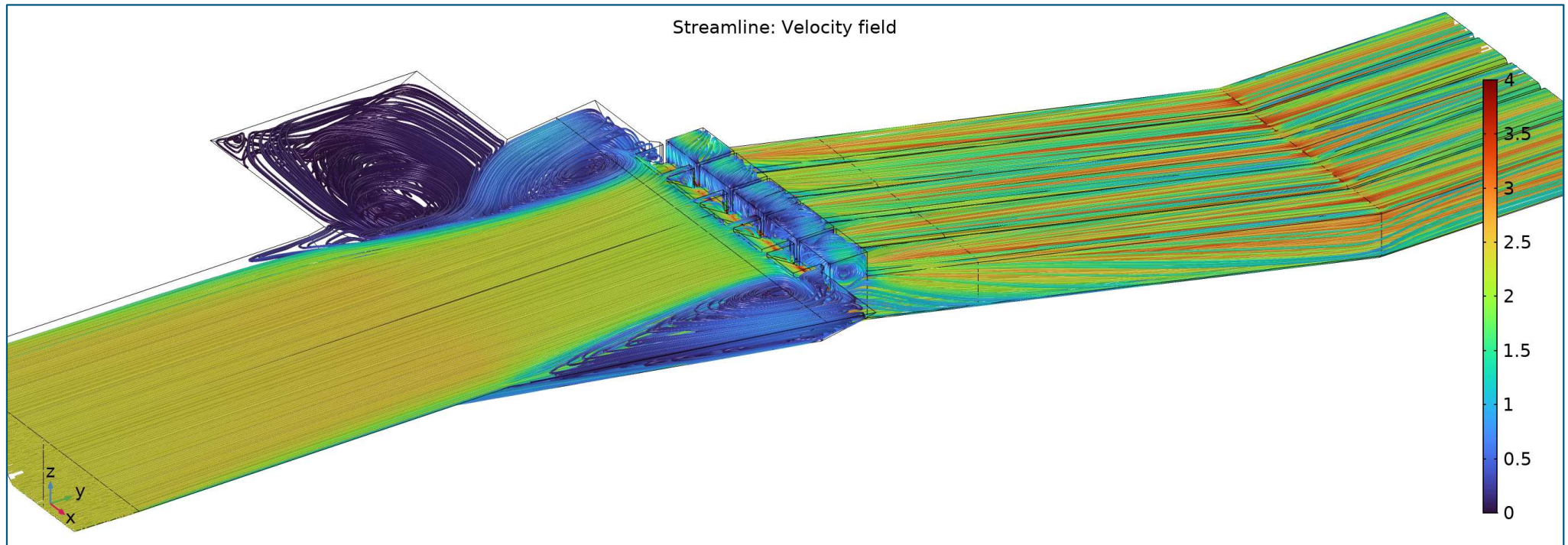
B: Druk over middellijn

- Drukafname totaal: $3.39 - 0.62 = 2.77 \text{ kPa}$
- V_{ave} kanaal: 2.37 m/s
 - $P_{\text{dyn_up}}$: 2.80 kPa
($0.5 \cdot \rho \cdot v^2$)
- V_{ave} duiker: 2.74 m/s
 - P_{dyn} : 3.76 kPa
- Drukafname door verschil P_{dyn} : 0.96 kPa ($3.76 - 2.80$)
- Netto afname door verlies inlaat:
 $2.77 - 0.96 = 1.81 \text{ kPa}$
- Verliesfactor inlaat:
 - $K = 0.48$ ($1.81 / 3.76$)



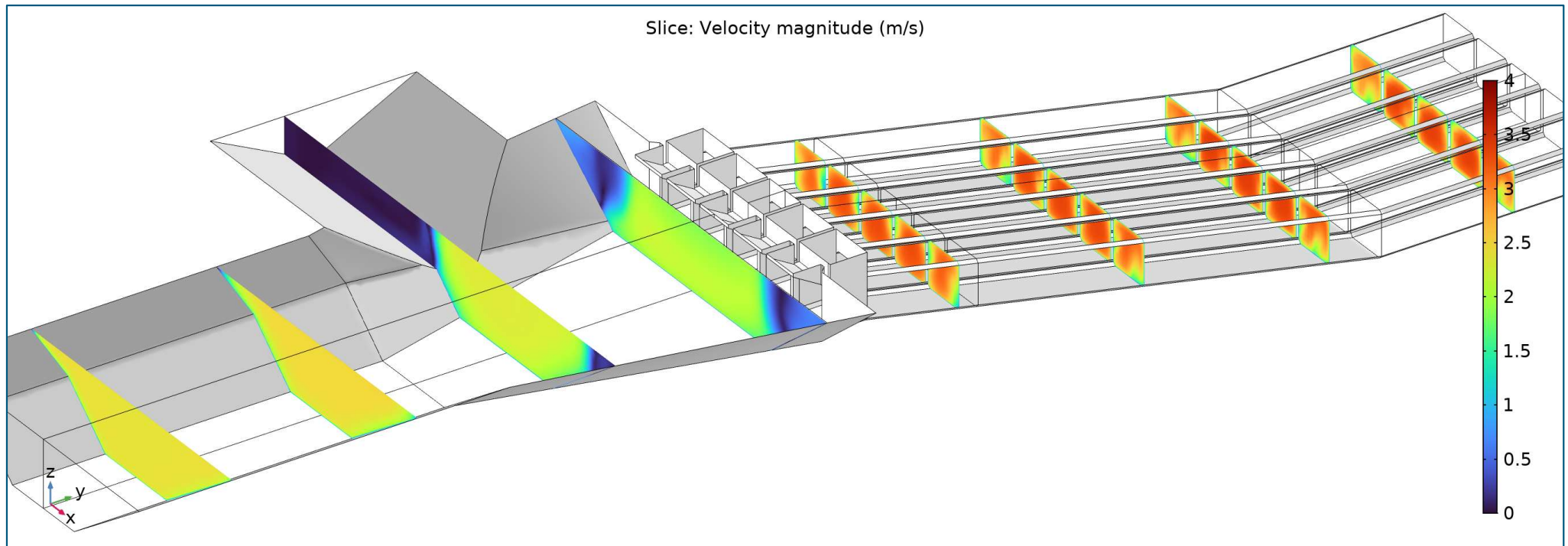
C: Stroomlijnen

- Stroomlijnen door het model
 - Wervels aan beide zijanten
 - Snelheid gaat naar beneden voor het water de duiker instroomt door groter oppervlak



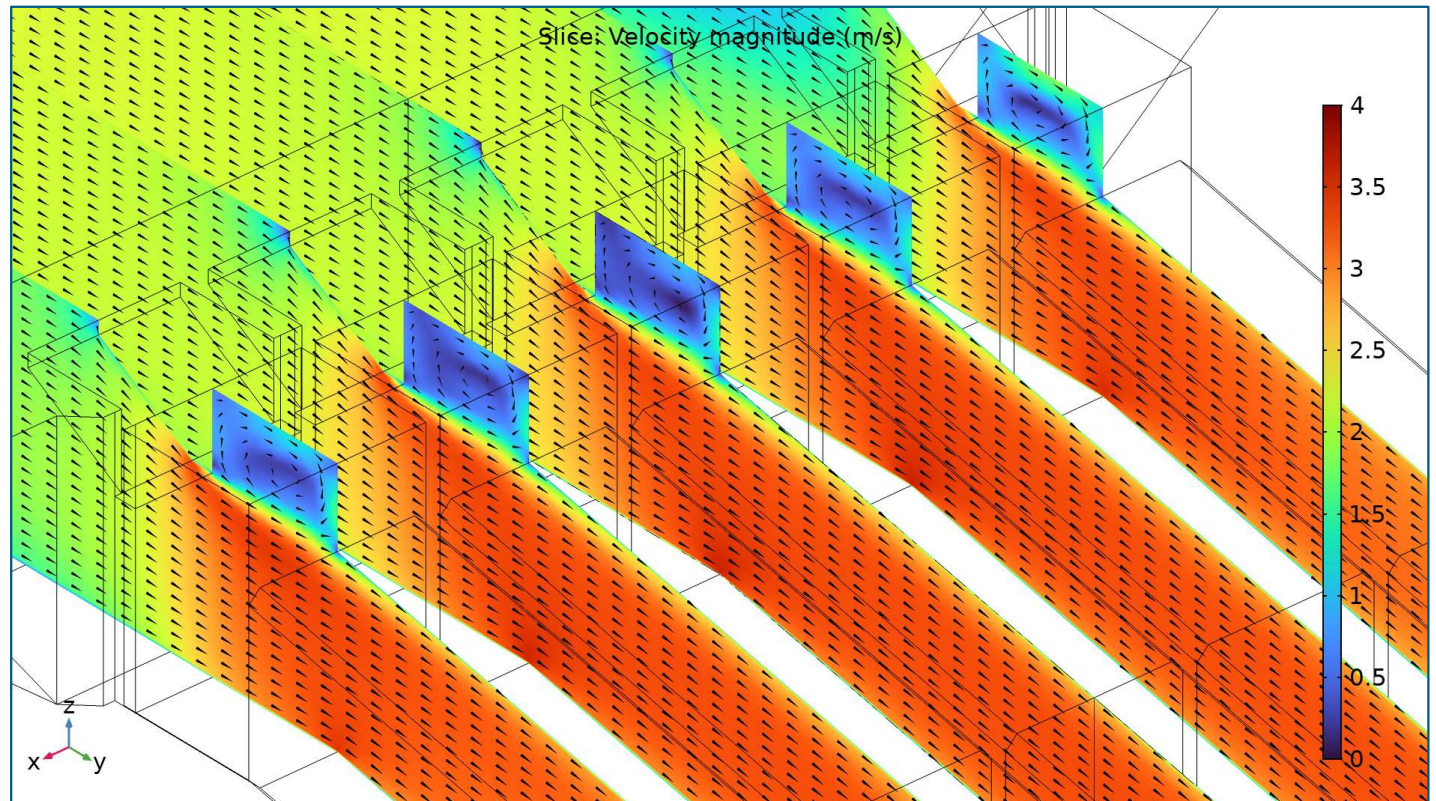
C: Dwarsdoorsnedes

- Doorsnedes van absolute snelheid
 - Hier is de snelheidsverlaging goed te zien, doordat de bodem breder wordt.



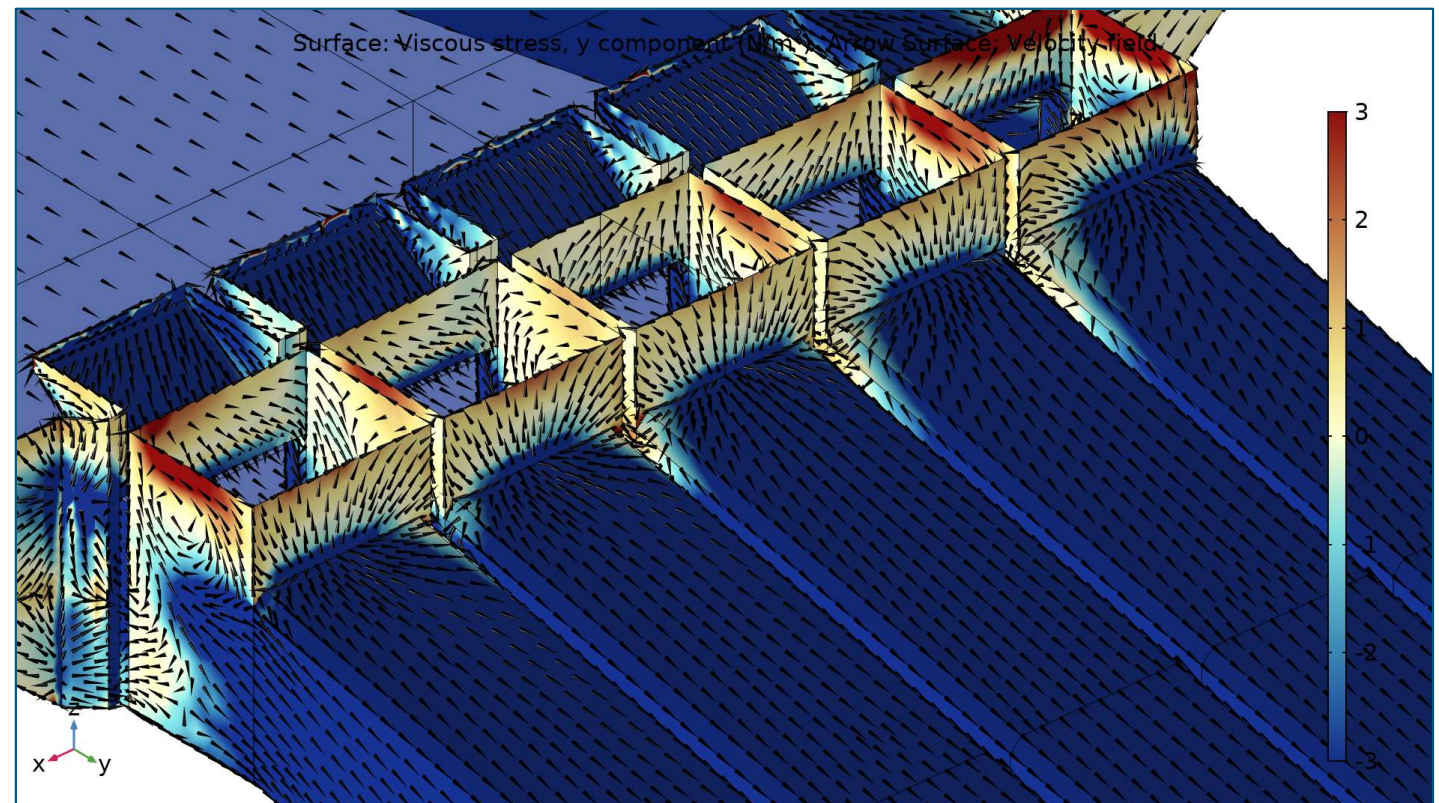
C: Lengtedoorsnedes

- Doorsnedes van absolute snelheid
- Toont dat loslating amper aanwezig is



C: Detail stroming rond inlaat

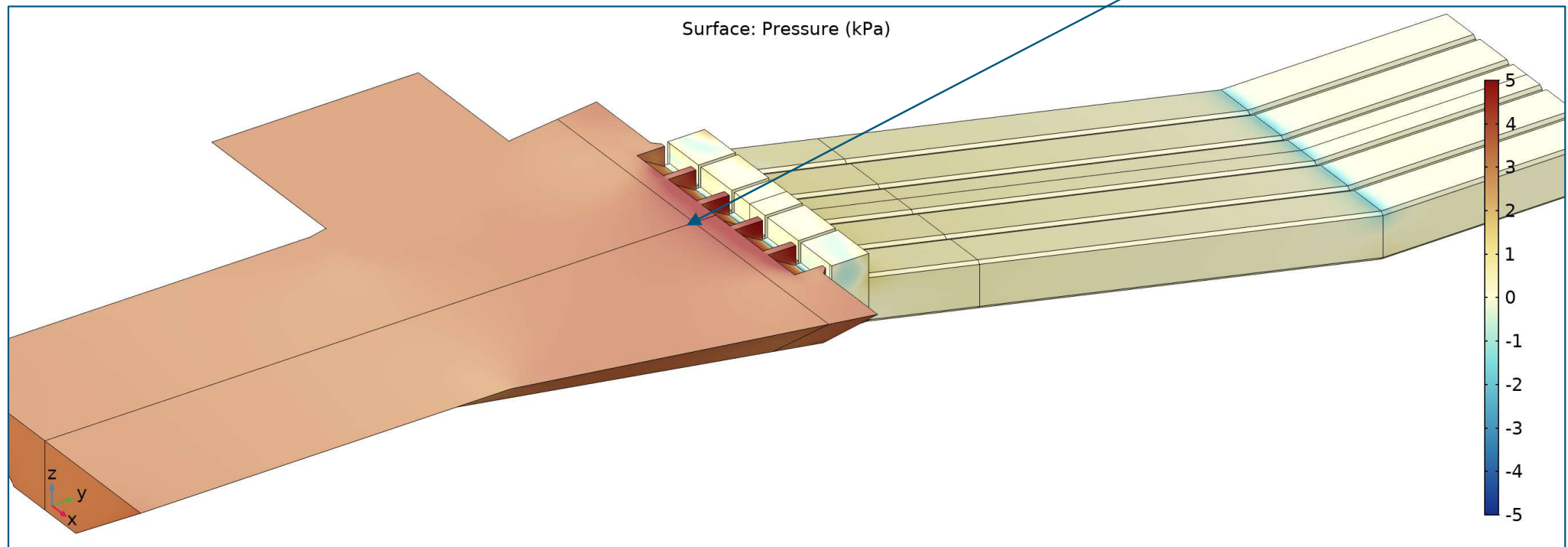
- Schuifspanning op de wand (in stroomrichting)
- Positieve waarde (rood) geeft stromingsomkering weer, dit komt overeen met loslating van de wand
- Stroming laat amper los



C: Druk

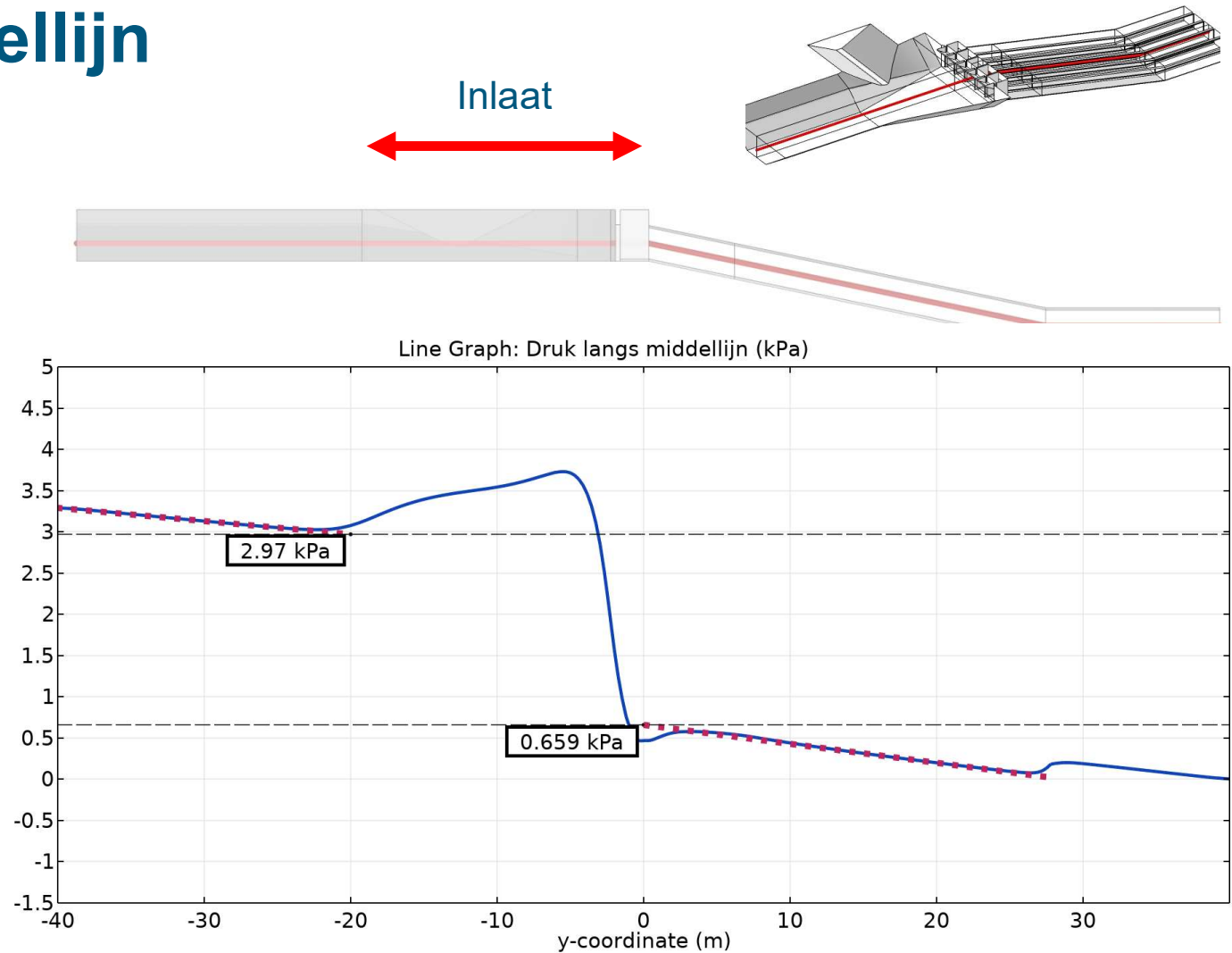
- Genormaliseerde waterdruk op buitenvlakken
 - Let op, geen zwaartekracht, dus geen toename met diepte
 - Uitstroom vastgezet op 0 kPa

Opstuwing
vóór duiker



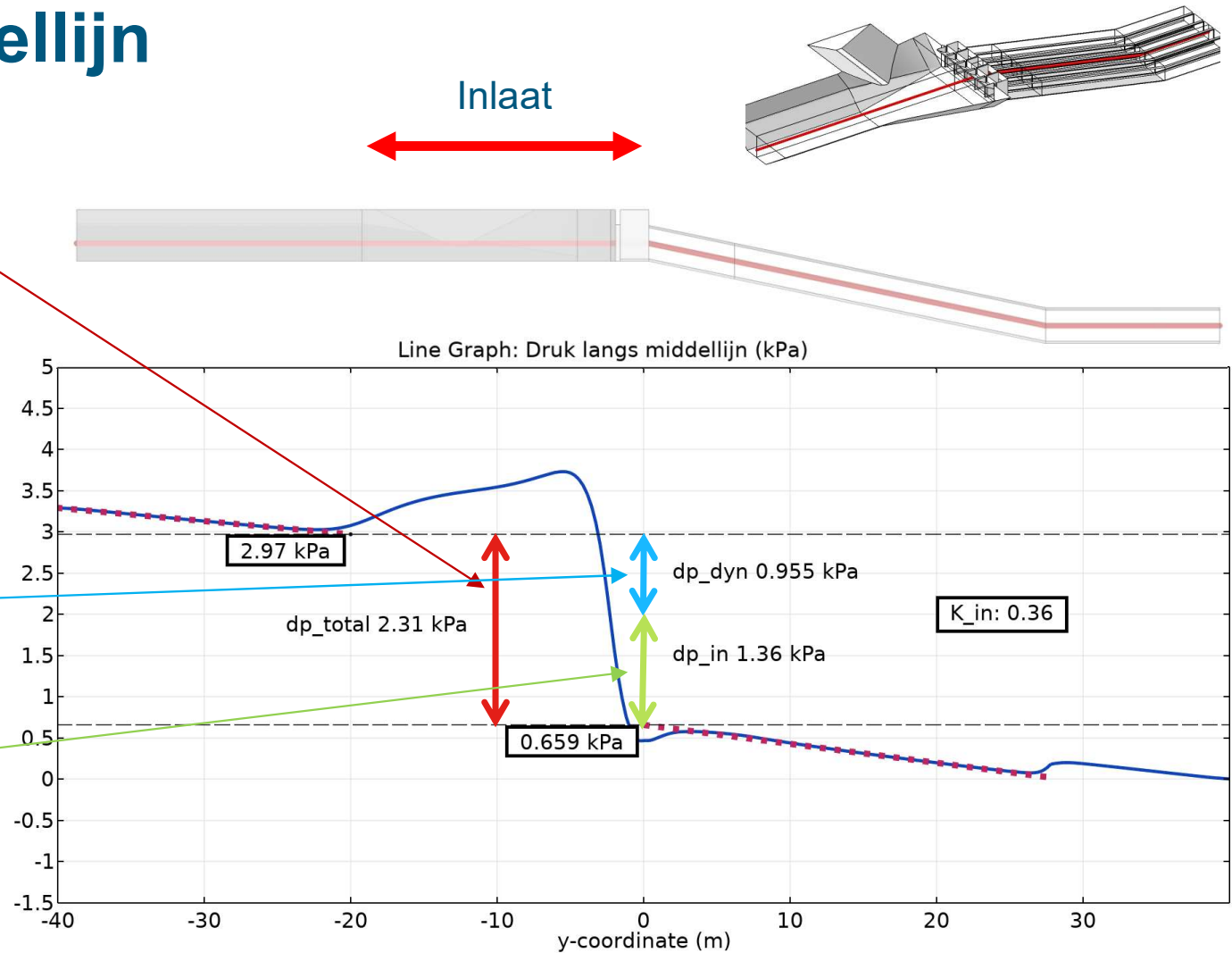
B: Druk over middellijn

- De druk over de lijn midden door het middelste kanaal
- Geeft aan hoe de drukval verloopt
- (Rode) helling is drukval per meter door wrijving aan de wand



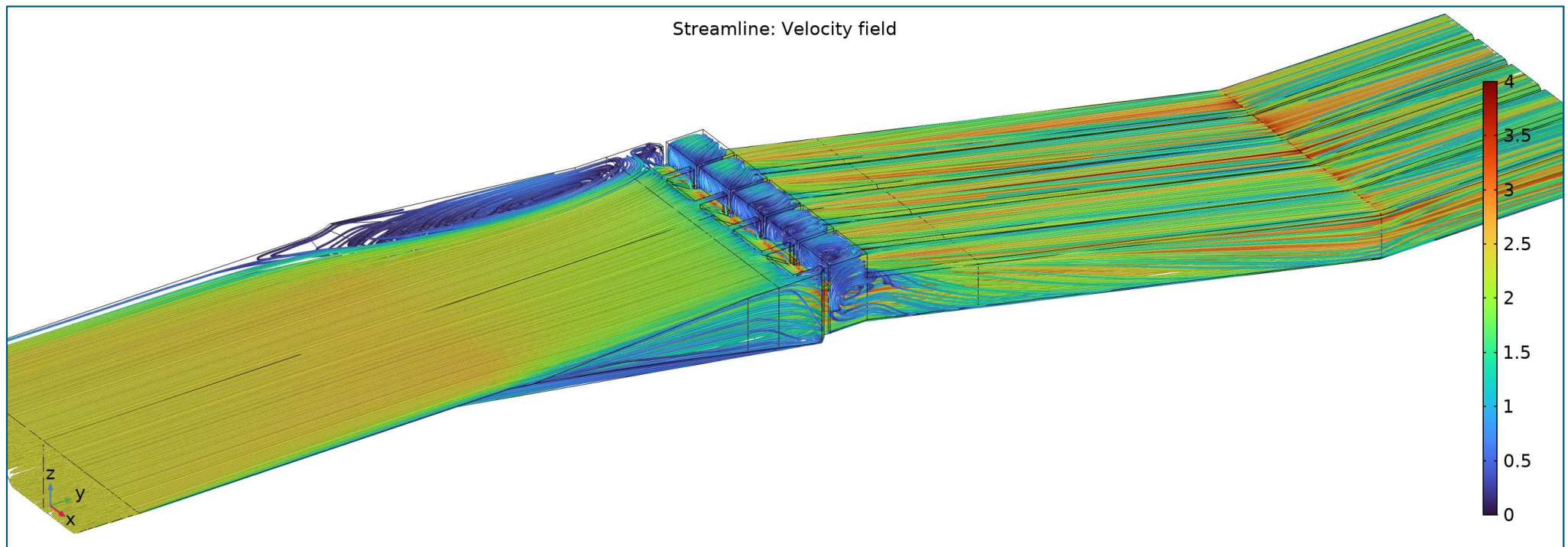
B: Druk over middellijn

- Drukafname totaal: $2.97 - 0.66 = 2.31 \text{ kPa}$
- V_{ave} kanaal: 2.37 m/s
 - $P_{\text{dyn_up}}$: 2.80 kPa
($0.5 \cdot \rho \cdot v^2$)
- V_{ave} duiker: 2.74 m/s
 - P_{dyn} : 3.76 kPa
- Drukafname door verschil in P_{Dyn} : 0.96 kPa ($3.76 - 2.80$)
- Netto afname inlaat door verlies: $2.31 - 0.96 = 1.36 \text{ kPa}$
- Verliesfactor inlaat:
 - **$K = 0.36$** ($1.36 / 3.76$)



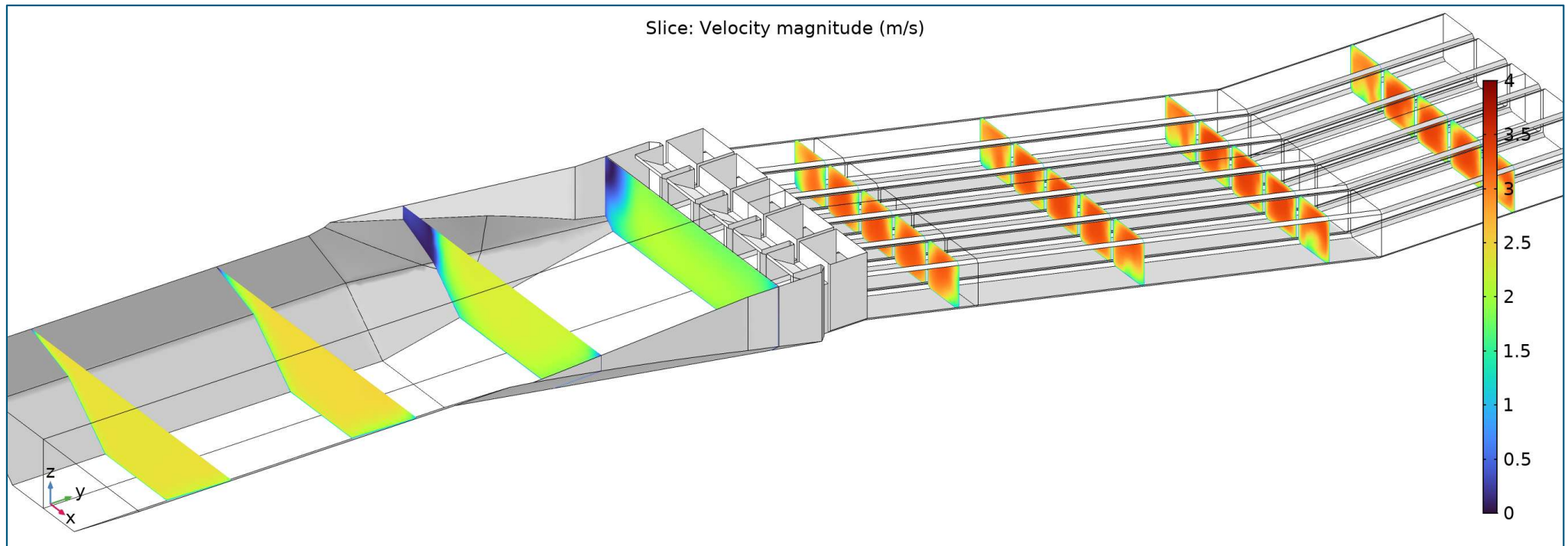
D: Stroomlijnen

- Stroomlijnen door het model
 - Wervels aan de zijkanten nog slechts aan 1 zijde
 - Snelheid gaat naar beneden voor het water de duiker instroomt door groter oppervlak



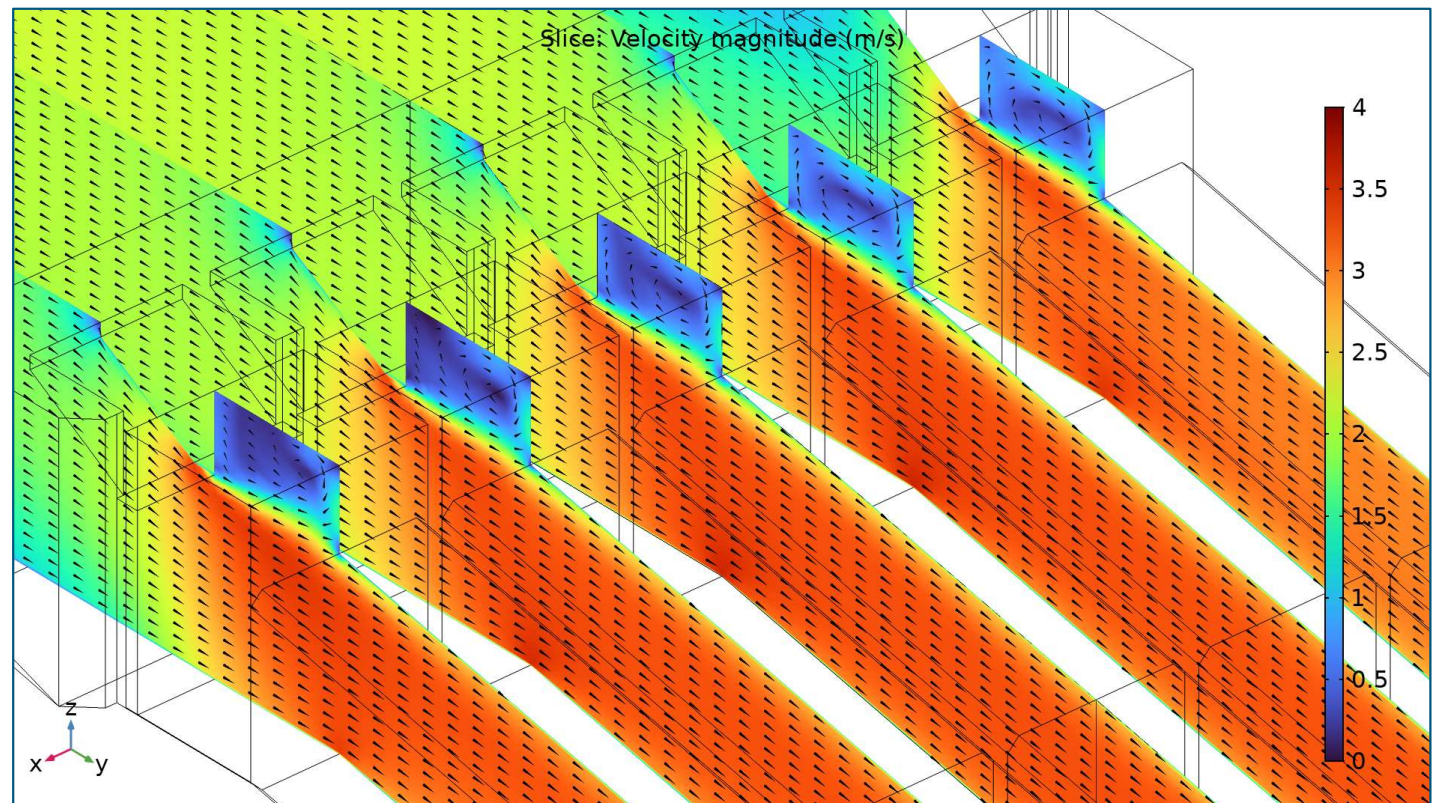
D: Dwarsdoorsnedes

- Doorsnedes van absolute snelheid
 - Hier is de snelheidsverlaging goed te zien, doordat de bodem breder wordt.



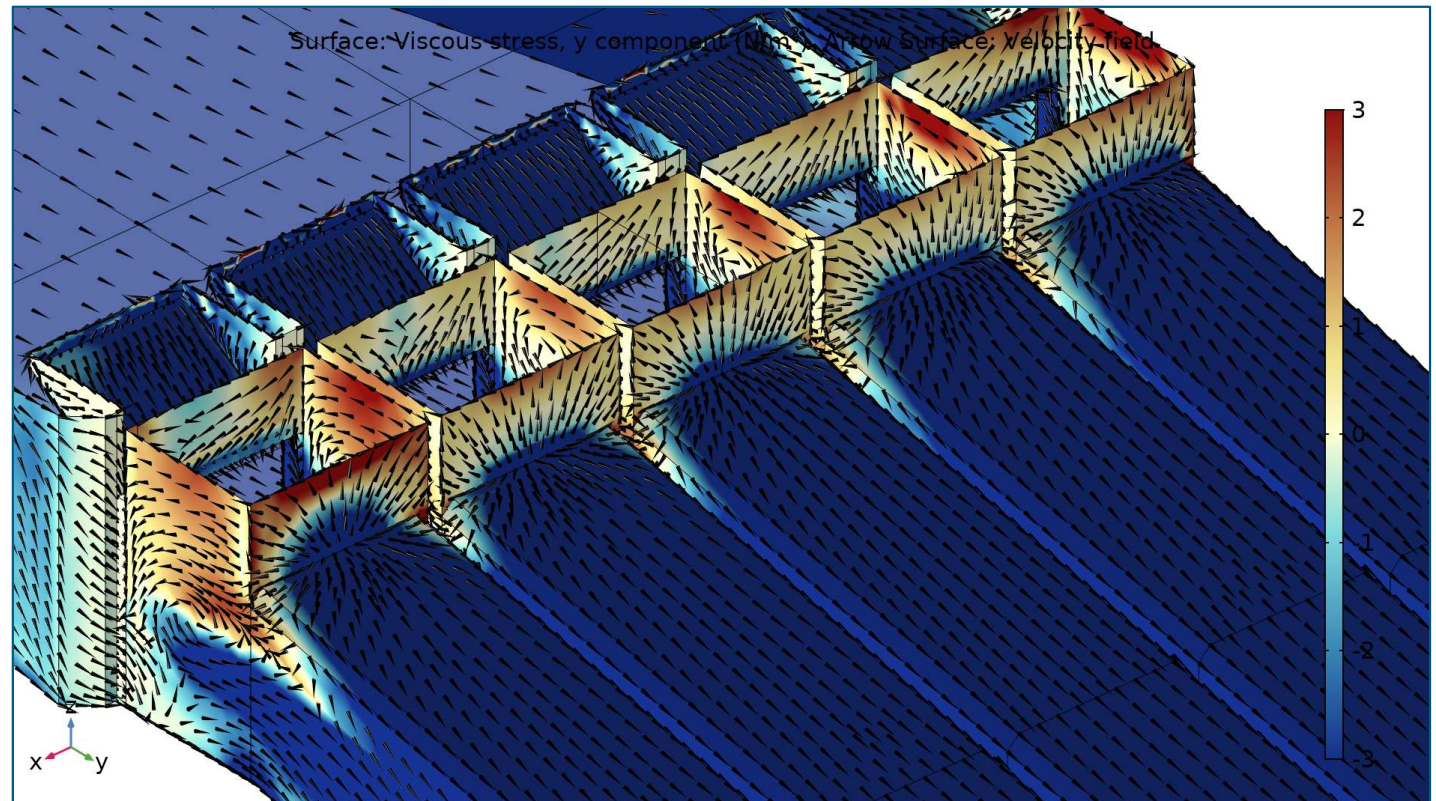
D: Lengtedoorsnedes

- Doorsnedes van absolute snelheid
- Toont dat loslating amper aanwezig is



D: Detail stroming rond inlaat

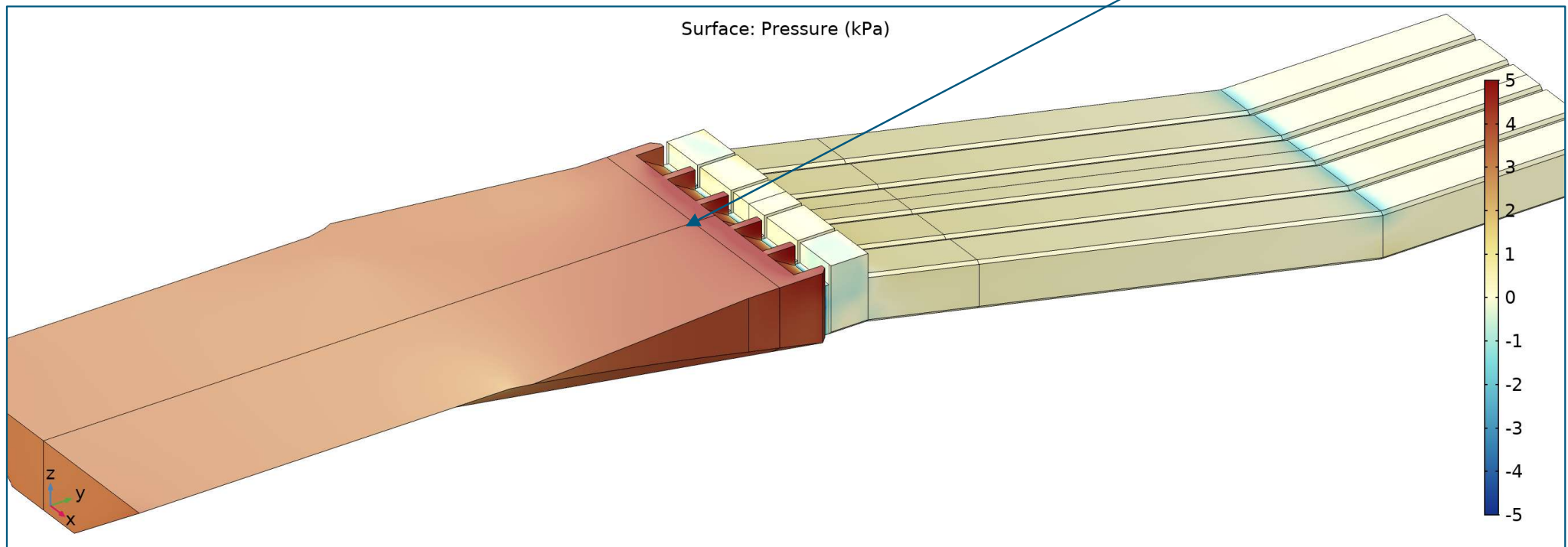
- Schuifspanning op de wand (in stroomrichting)
- Positieve waarde (rood) geeft stromingsomkering weer, dit komt overeen met loslating van de wand
- Stroming amper los aan bovenzijde



D: Druk

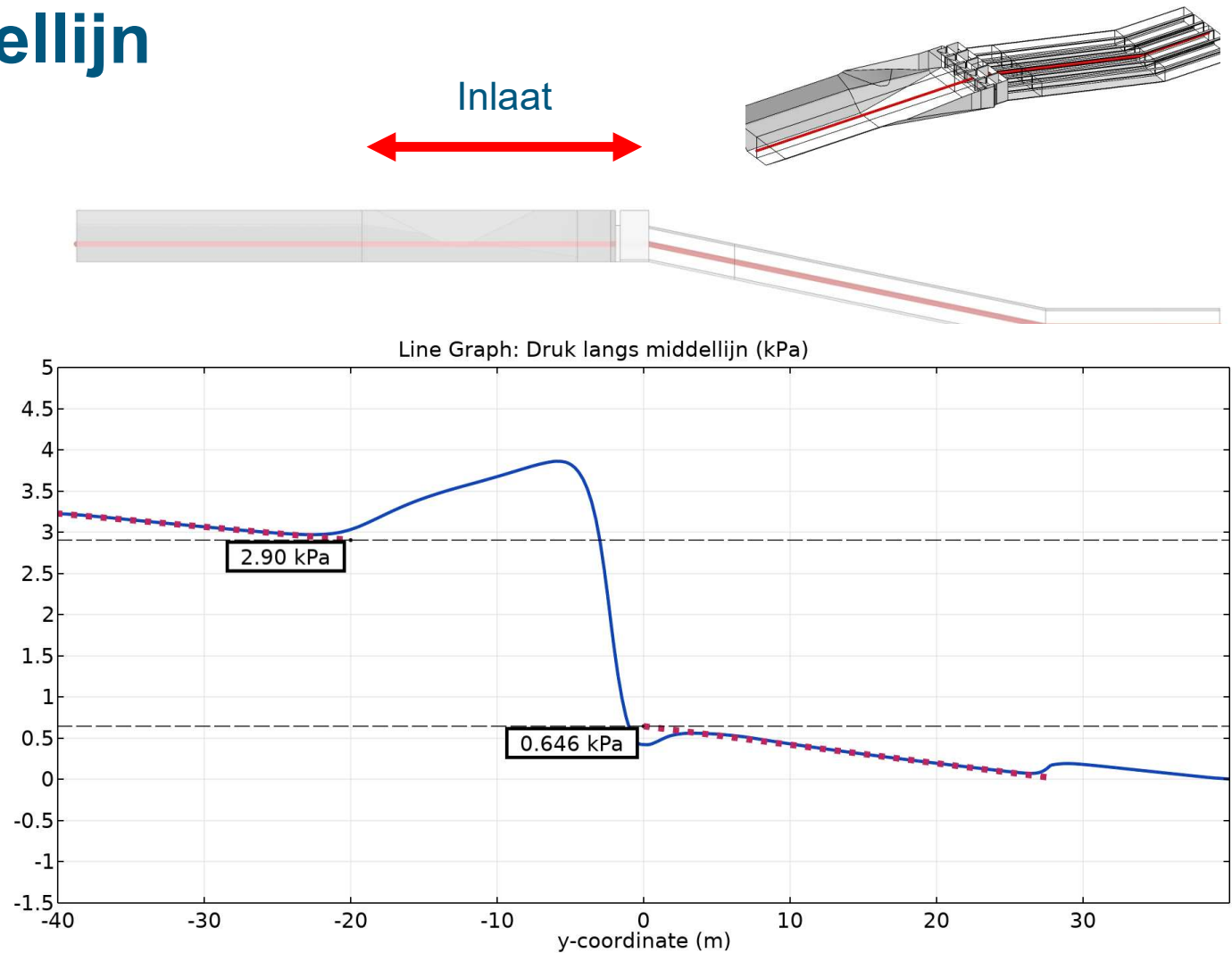
- Genormaliseerde waterdruk op buitenvlakken
 - Let op, geen zwaartekracht, dus geen toename met diepte
 - Uitstroom vastgezet op 0 kPa

Opstuwing
vóór duiker



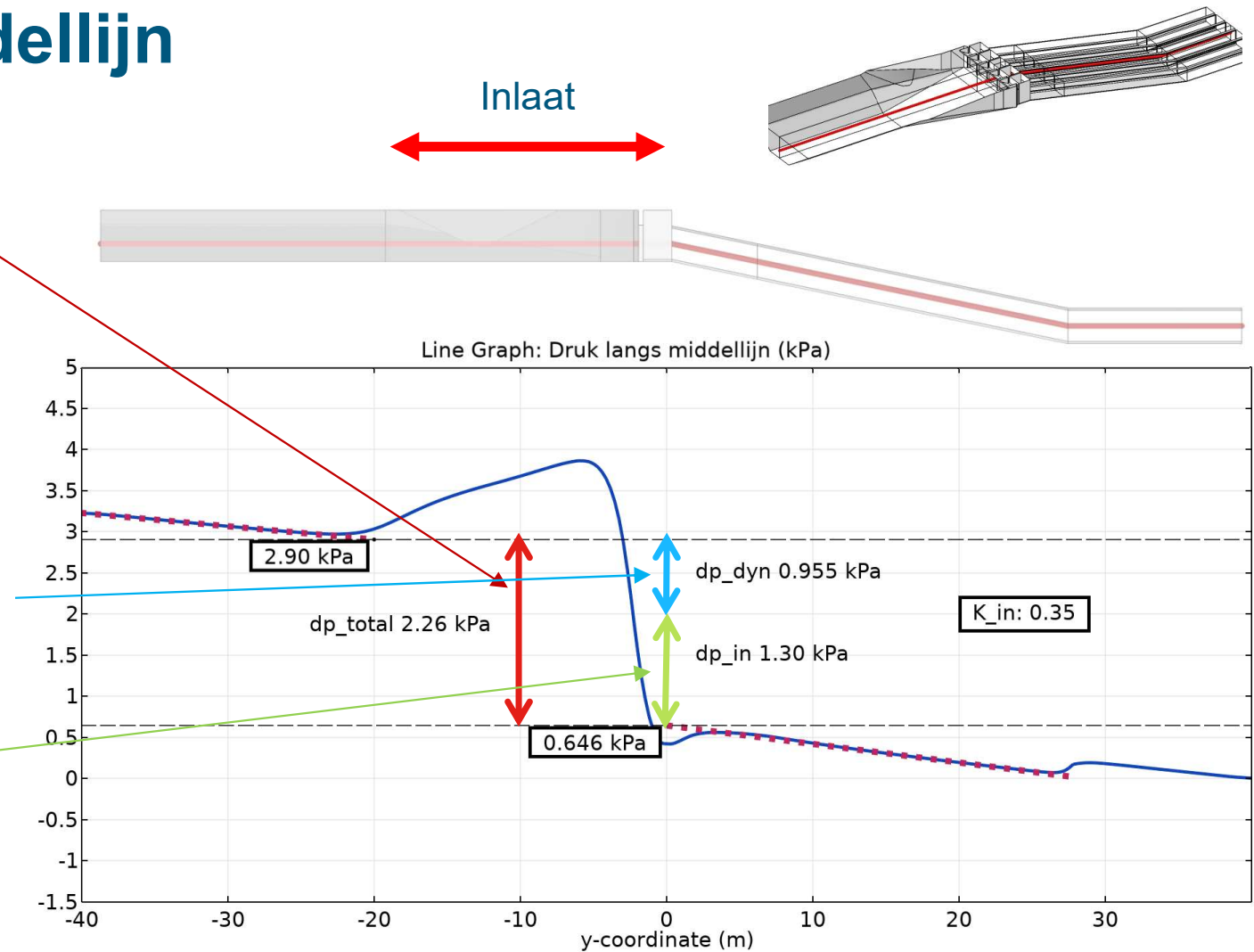
B: Druk over middellijn

- De druk over de lijn midden door het middelste kanaal
- Geeft aan hoe de drukval verloopt
- (Rode) helling is drukval per meter door wrijving aan de wand



B: Druk over middellijn

- Drukafname totaal: $2.90 - 0.65 = 2.26 \text{ kPa}$
- V_{ave} kanaal: 2.37 m/s
 - $P_{\text{dyn_up}}$: 2.80 kPa
($0.5 \cdot \rho \cdot v^2$)
- V_{ave} duiker: 2.74 m/s
 - P_{dyn} : 3.76 kPa
- Drukafname door verschil in P_{dyn} : 0.96 kPa ($3.76 - 2.80$)
- Drukafname inlaat: $2.26 - 0.96 = 1.30 \text{ kPa}$
- Verliesfactor inlaat:
 - $K = 0.35$ ($1.30 / 3.76$)



Beschouwing capaciteit sifon

- De resultaten tonen dat de K_{in} inlaat verlaagd kan worden van 0,51 naar 0,35 met toevoeging van de beide schotten.
- Bij het toepassen van: $\Delta H = \left(K_{in} + K_{out} + K_s + K_b + f \frac{L_t}{D_h} \right) \frac{u^2}{2g}$; $Q = A_{duiker} \times u$ ($A = 31 \text{ m}^2$)
- Voor scenario 1 en 2 zijn de volgende verwachte debieten berekend:

ID	Model	K_{in}	$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$ Basis
A	Huidig	0,51	85,0
B	Zijschotten	0,48	86,2
C	Bovenshot	0,36	91,0
D	Beide schotten	0,35	91,4

Term	Waarde	betekenis	eenheid
K_{in}	0,51 – 0,35	Intreeverlies	-
K_{out}	0,18	Uitreeverlies (scenario 1 / 2)	-
K_s	0	Debris losses	-
K_b	0 (nihil)	Bochtverliezen duiker	-
$f \cdot L_t / D_h$	0,53	Frictieverliezen duiker	-
u	Ter bep.	Gem. Watersnelheid	m/s
g	9,81	Valversnelling	m/s ²

- Resultaten tonen aan dat het debiet het meest vergroot wordt door toepassen van de bovenschotten. Dit geeft een toename van 7 - 6.4% (afh. van scenario) van het debiet met gelijkblijvend verval.

Conclusie

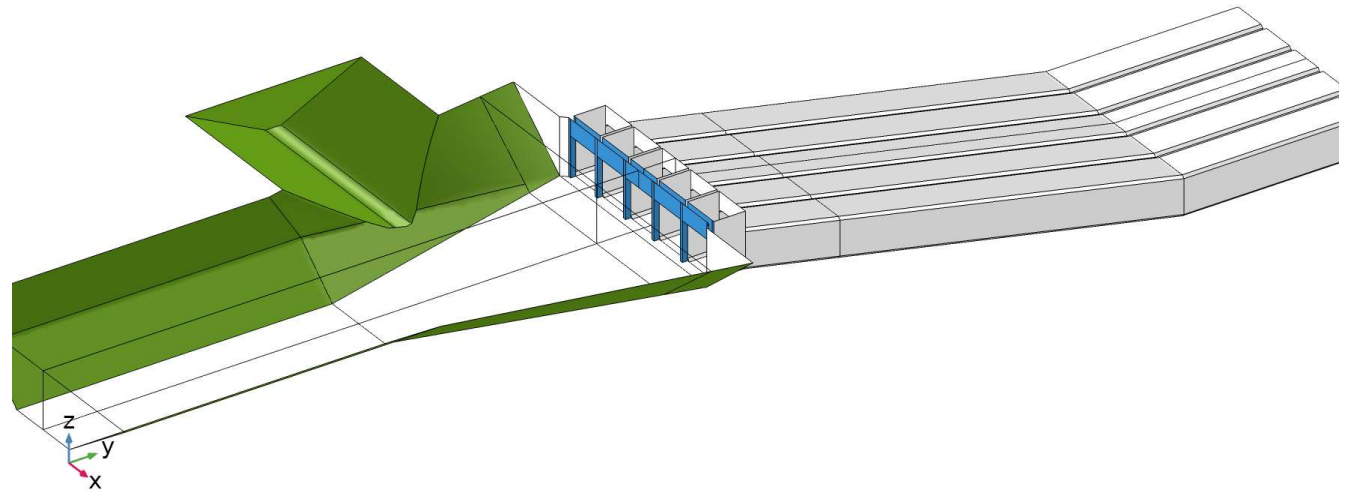
- CFD is uitgevoerd ter beoordeling van het stromingsgedrag rondom de entree van de Geul duiker onder het Julianakanaal.
- Hierbij is gekeken naar het stromingsverlies van de entree in een situatie waarbij de sifon geheel onder water staat en de benedenstroomse waterstand geen belemmering oplevert voor de afvoer. De verliesfactor K_{in} heeft een waarde van 0,51 en is onafhankelijk voor de preciese afvoer door de sifon.
- Uit de berekening blijkt dat door toepassing van stoomgeleidingsschotten aan de bovenkant en aan de zijkant van de instroom de verliesfactor kan worden verkleind. De verliesfactor kan worden gereduceerd tot 0,35, wat een toename van 7,6 % oplevert van de afvoer bij eenzelfde verval over de sifon.
- Het is ook duidelijk dat het grootste effect behaald wordt met toepassing van de geleideschotten aan de bovenkant van de sifon. De zijschotten hebben minder invloed.

Appendix

- Geometrie huidig, model A
- Zijschotten, model B
- Geleideschot deuren, model C
- Combinatie, model D
- Opstuwing waterniveau rond Duiker

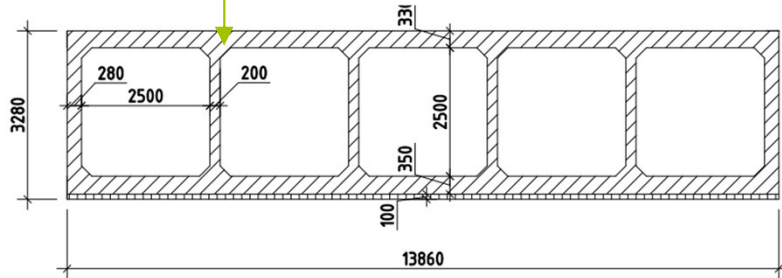
Geometrie

- Komende sheets tonen hoe het ontwerp meegenomen is voor verschillende onderdelen van het model
- Geometrie opgebouwd op basis van:
 - ontvangen tekeningen (as-built duiker / 8-1-2024)
 - AHN4
 - Google Streetview



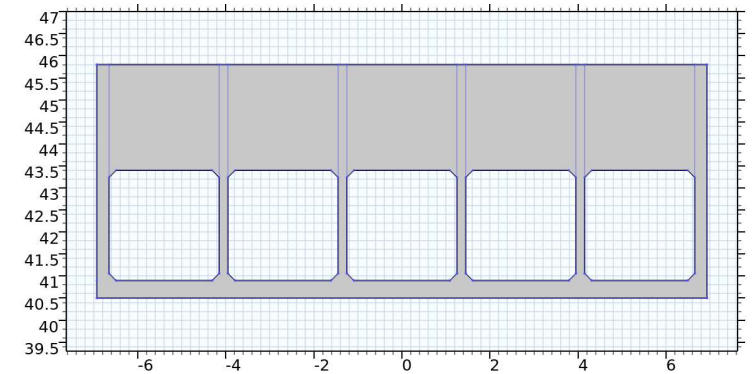
Geometrie: Kanaaldoorsnede

- Gebaseerd op RWSZN-2020-069514.pdf
- Doorsnede: 2500 mm
- Tussenafstand: 200 mm
- Chamfer (afhoeking): 160 mm (gemeten uit tekening)

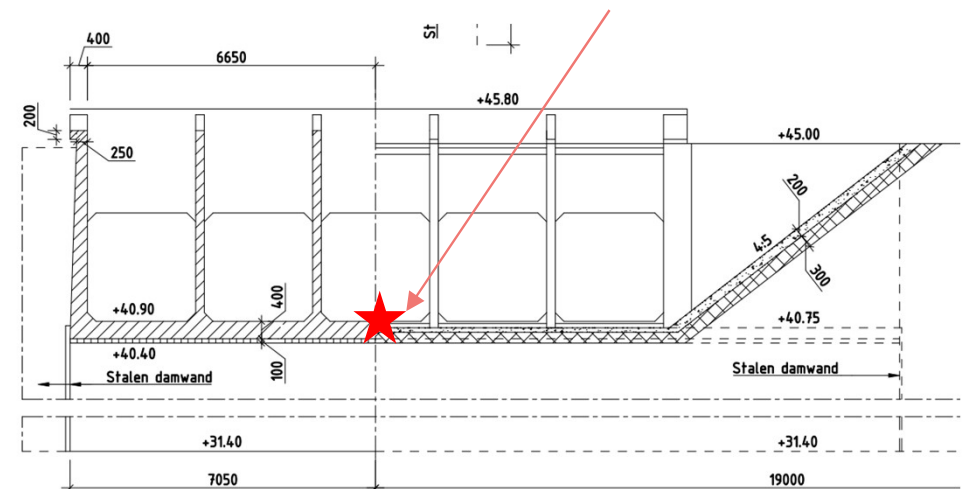


DOORSNEDE C-C

SCHAAL 1:100



(0;0;40.75) punt in model

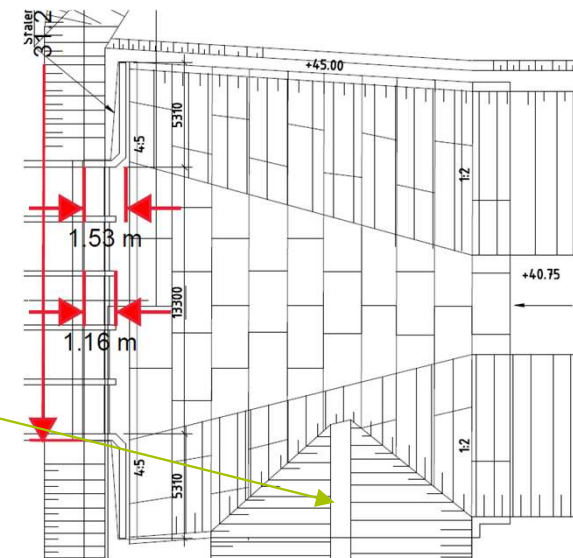


DOORSNEDE A-A

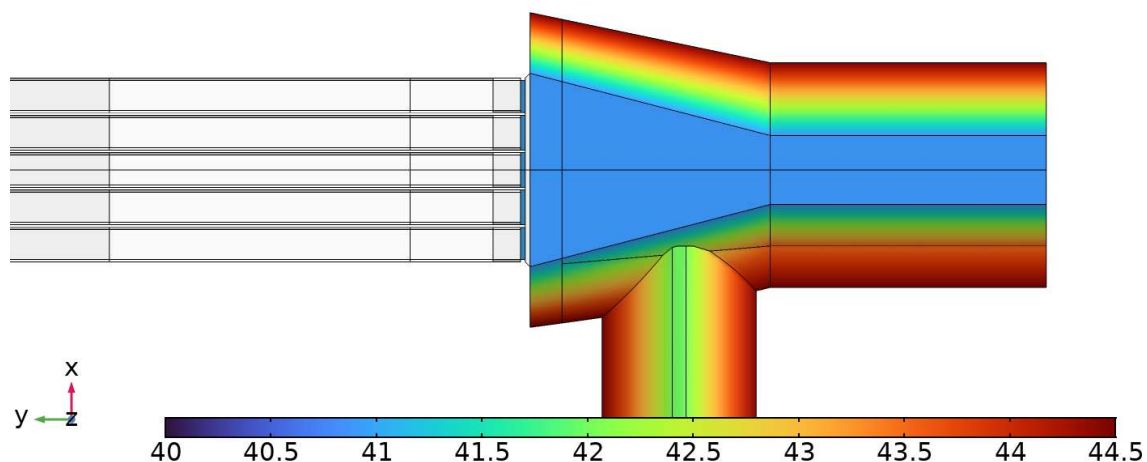
SCHAAL 1:100

Geometrie: aanloop duiker

- Tekening: RWSZN-2020-069514.pdf
- Zijkanaal meegenomen als dode arm

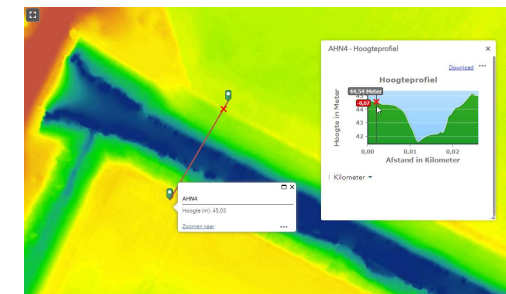
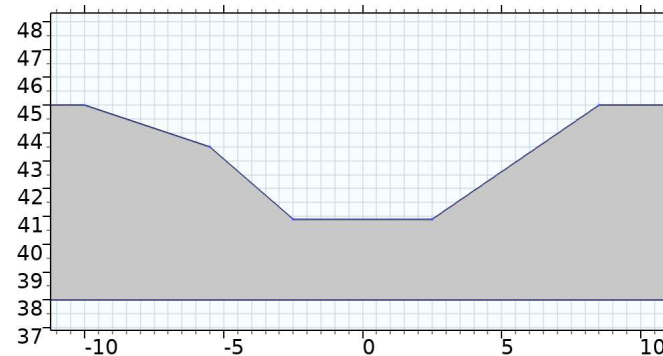
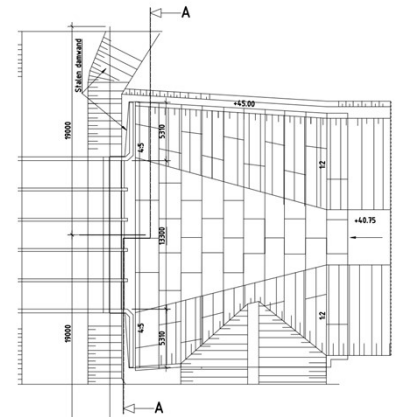


Surface: z-coordinate (NAP) (m)



Geometrie: aanstroom geultalud

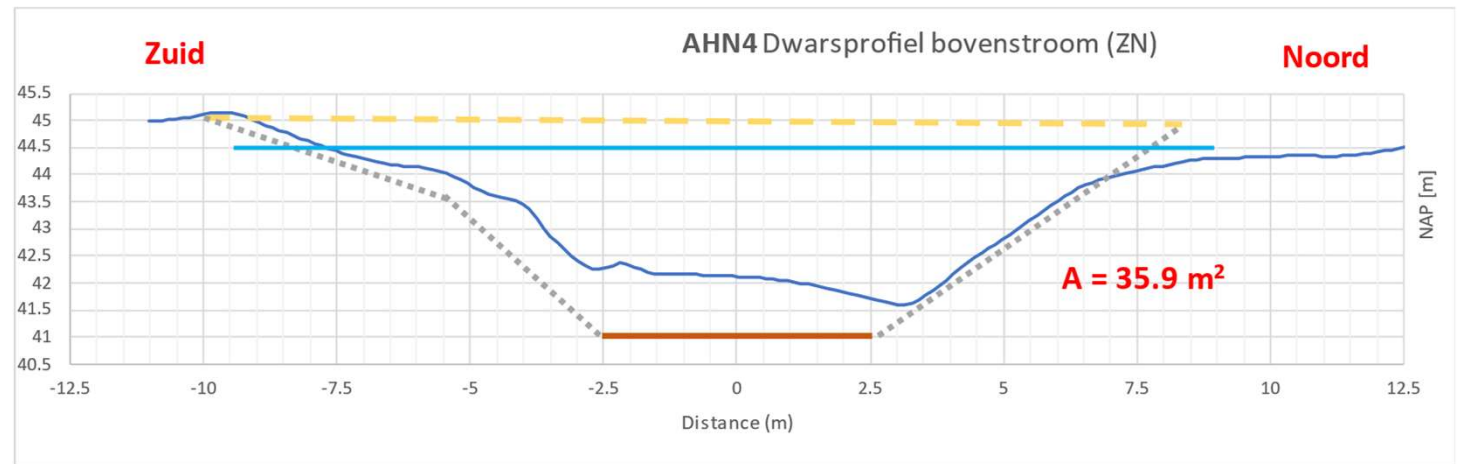
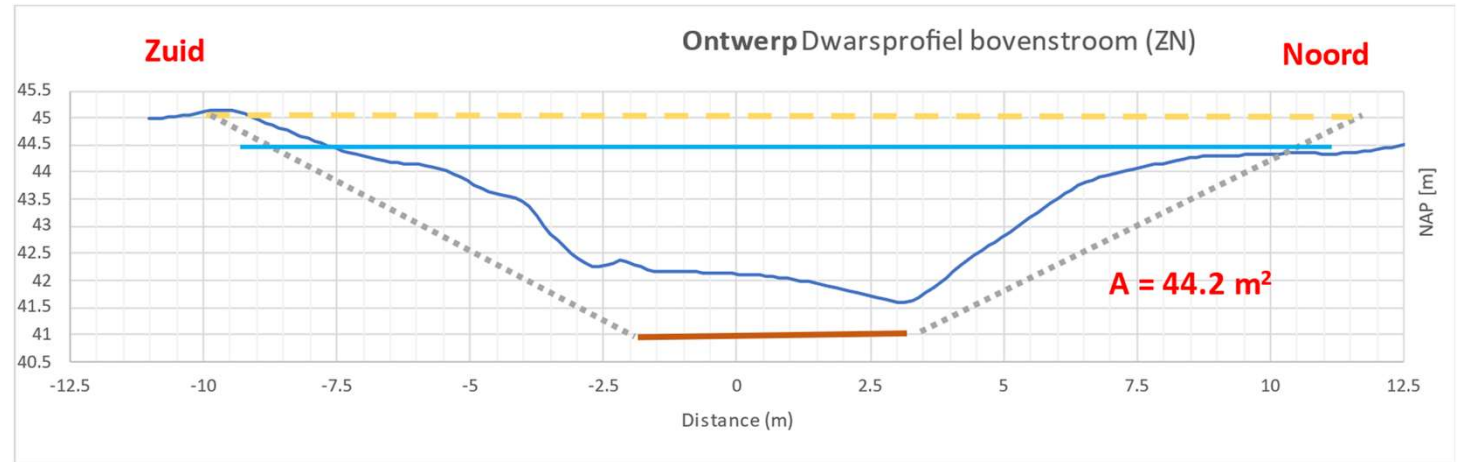
- Tekening: RWSZN-2020-069514.pdf
 - Volgens bron: talud 1:2 (bodem op 40.75)
- Streetview lijkt steiler aan noordzijde
- <https://www.google.nl/maps/@50.8968543,5.7177806,3a,27.2y,121h,84.19t/data=!3m6!1e1!3m4!1sPi3fPigZs-jxzIHuaUxi0Q!2e0!7i16384!8i8192?hl=nl&entry=ttu>
- AHN4 afbeelding geeft ook steiler aan
 - Voorstel: vorm naar AHN4 aangepast



Geometrie: aanstroom geultalud

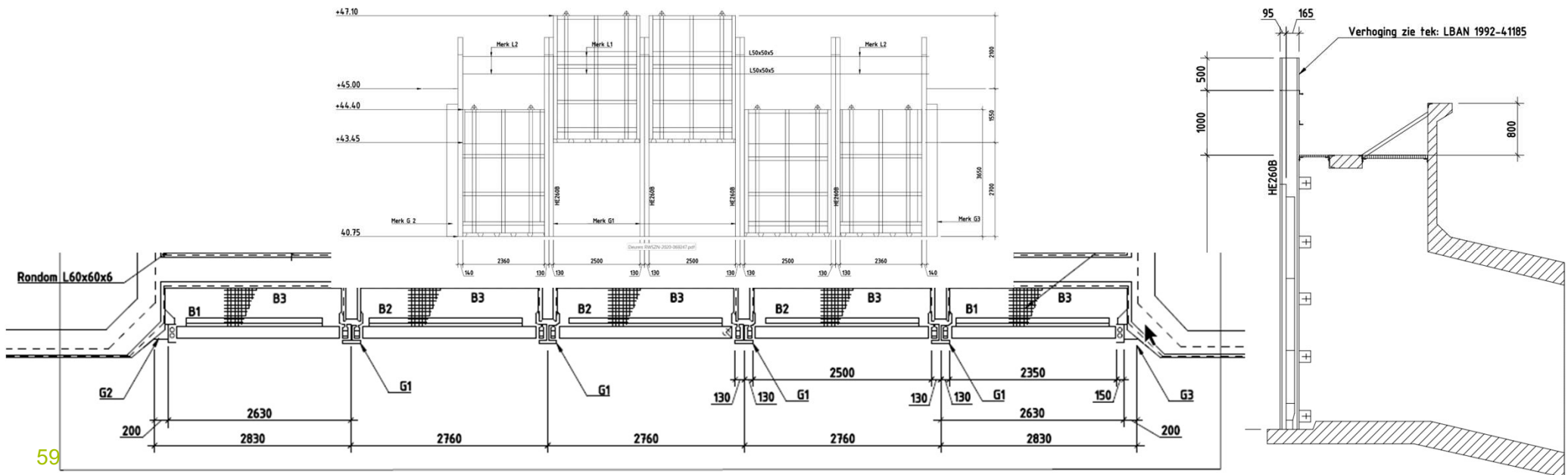
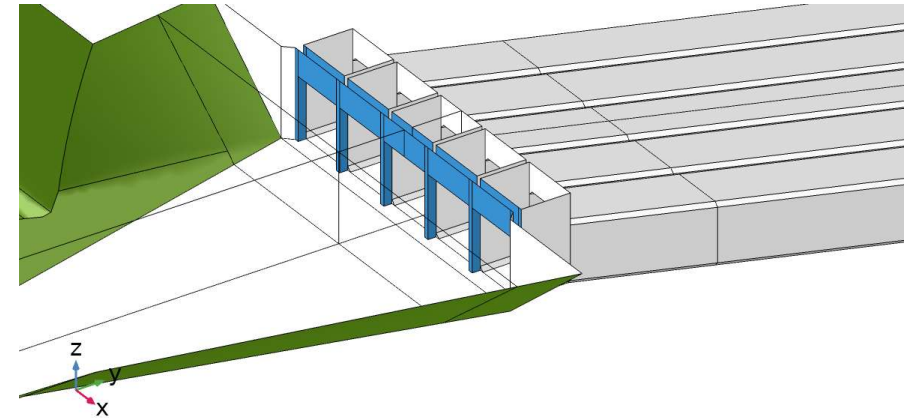
- Blauwe lijn: AHN4
 - (! Water is niet nauwkeurig)
- Licht blauw: waterniveau in model
- Geel: Max level
- Bruin: geulbodem
- Grijs: talud

- Boven: profiel volgens tekening
- Onder: profiel in model



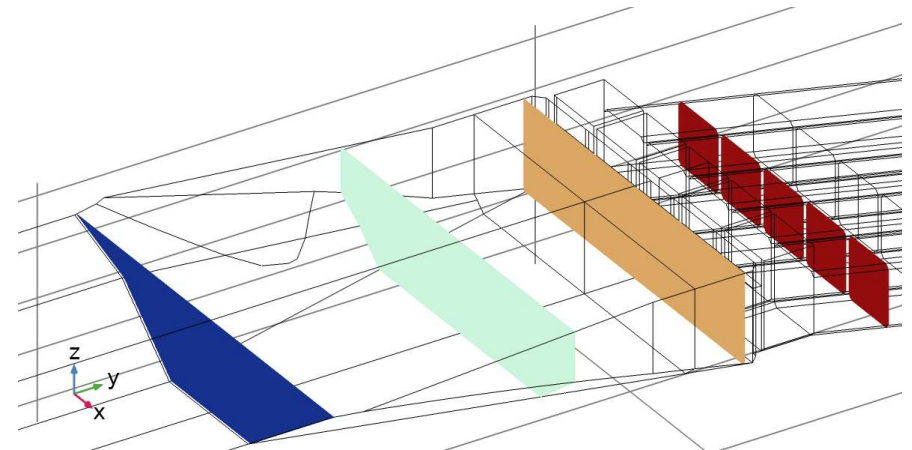
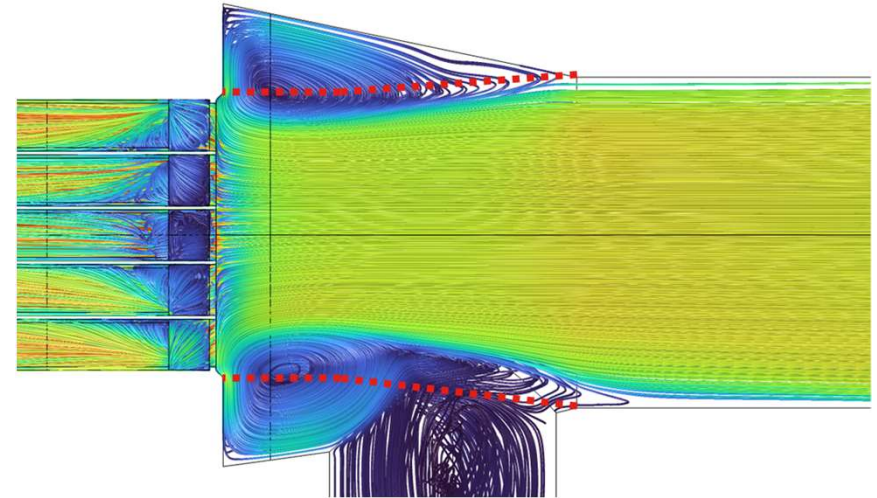
Geometrie: droogzetschotten

- Tekening: RWSZN-2020-069247.pdf
- Detaillering aangepast om goed aan te sluiten op het bestaande model
- Breedte van de I profielen iets lager (200 ipv 260)



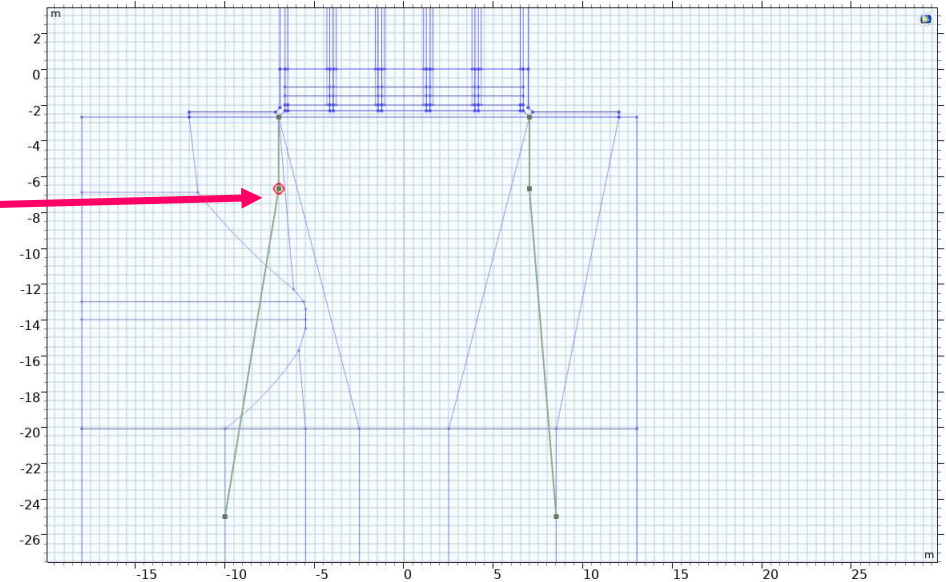
Zijschotten, model B

- Voor het model met zijschotten wordt een wand toegevoegd aan de zijkant die de vortices aan de zijkanten minimaliseert
- De wand wordt aangezet tegen de entr ee en loopt tot het rechte deel van het kanaal
- Tevens is het zijkanaal opgevuld tot het talud weer recht loopt
- Doorstroombaaroppervlak (bij 44,5 m NAP)
 - in kanaal bovenstreams: 36 m²
 - In sifon: 31 m²
 - Vlak voor sifon: 50.4 m²
 - Halverwegen: 49.1 m²

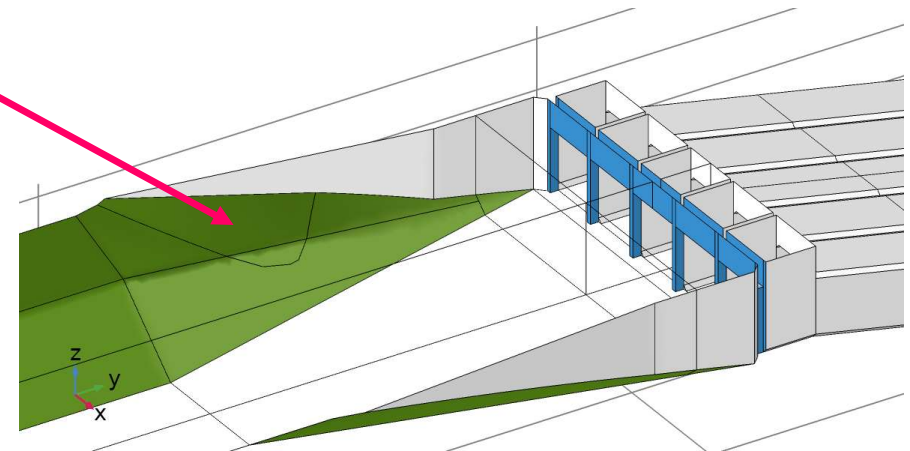
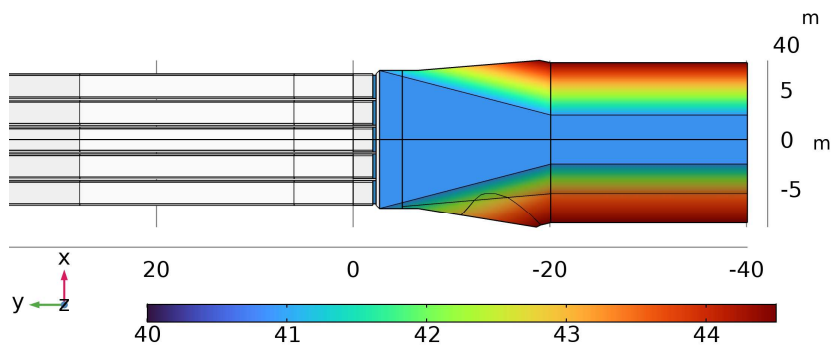


Zijschotten, model B

- Schotten starten bij entree
- Lopen 4m recht
- Daarna 18.3m naar de zijkant van het talud
- Zijkanaal is opgevuld met 8.9 m³ grond en glad afgewerkt

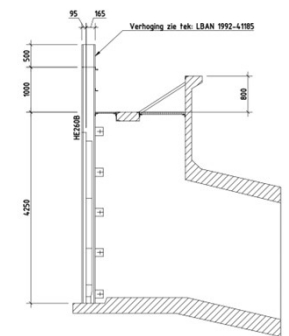
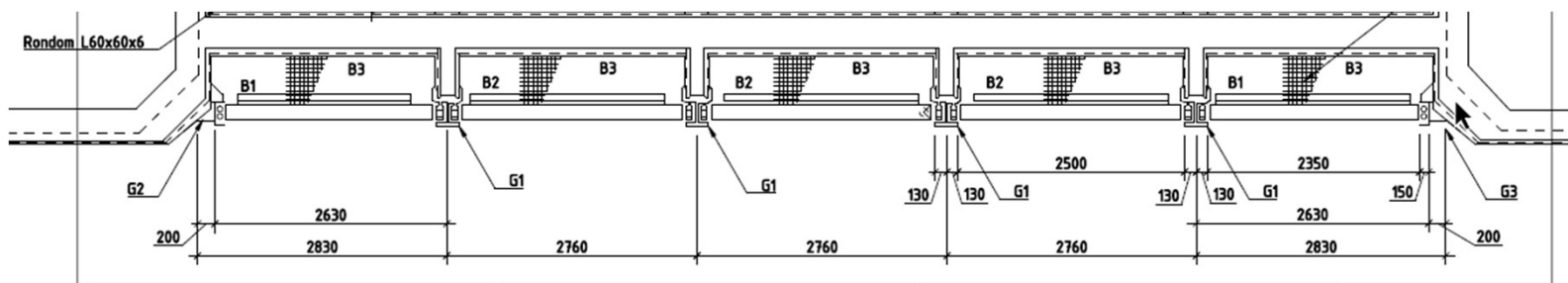
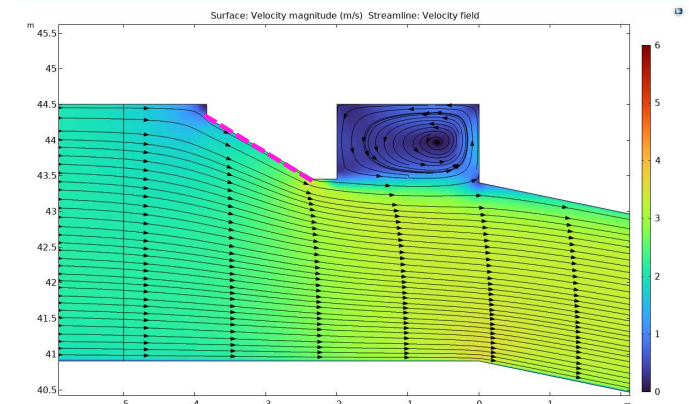
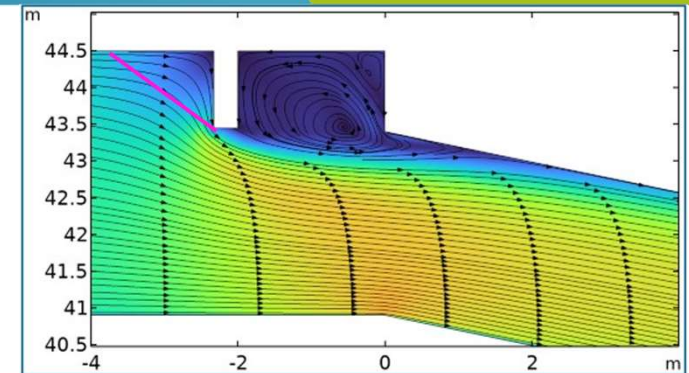


Surface: z-coordinate (NAP) (m)



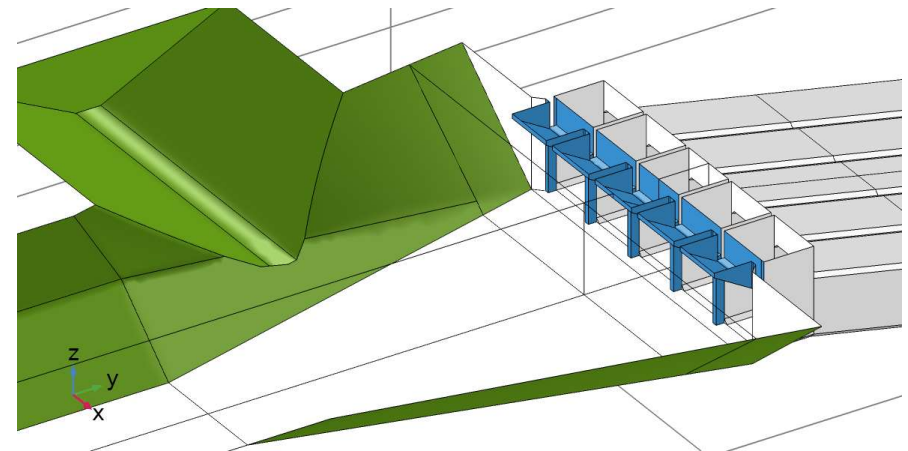
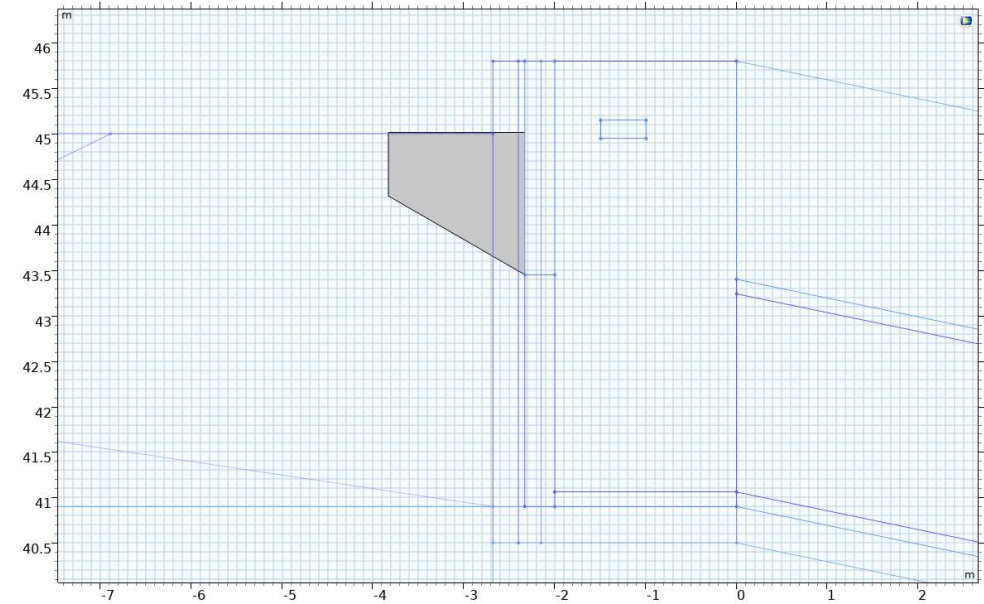
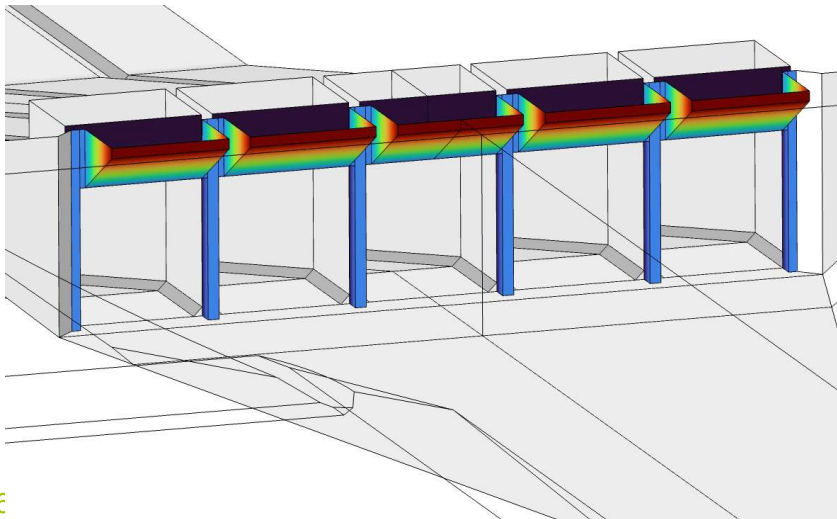
Bovenschotten, model C

- Voor het model met bovenschotten wordt een geleideschot toegevoegd aan de deuren die de contractie bij de inlaat vermindert
- De hoek van het schot is 30°
- De lengte aan voorzijde is 1.5 m



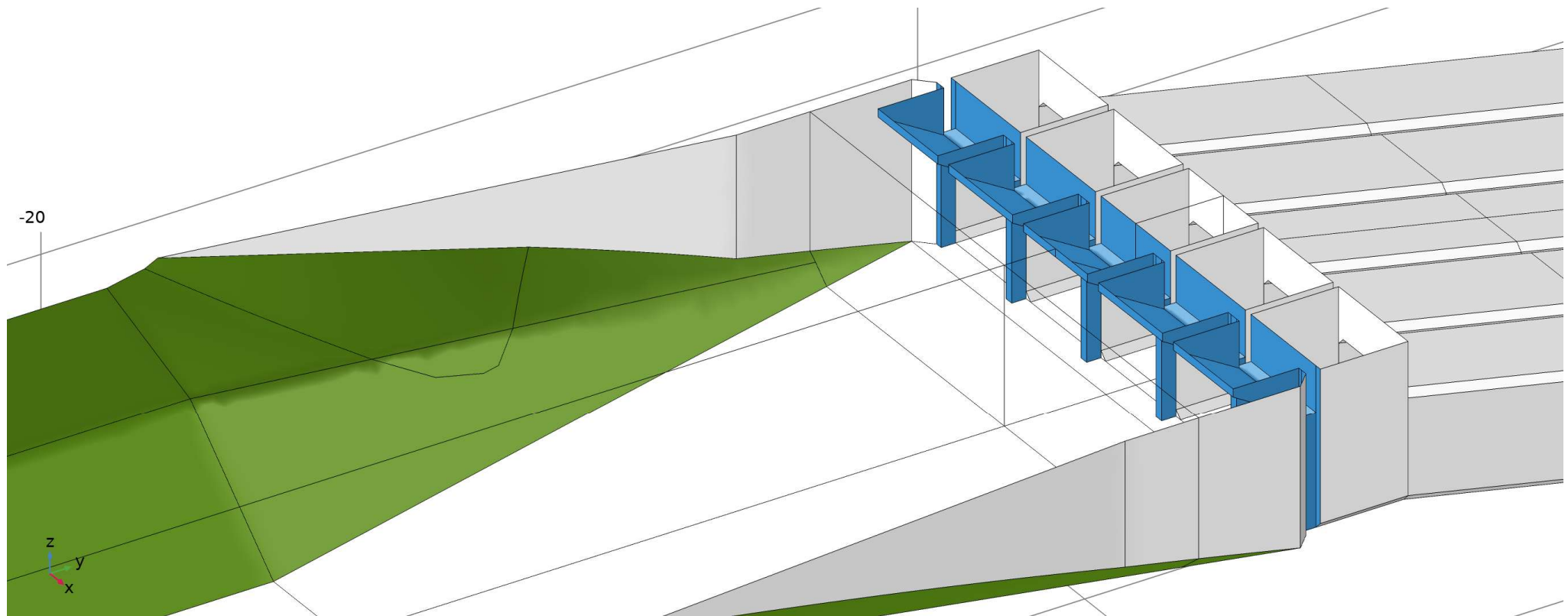
Bovenschotten, model C

- Schot loop een stuk recht tot boven het waterniveau
- Schot loopt tot 100mm van zijkant deur
 - Breedte van schotten:
 - Middelste 3: 2300 mm
 - Zijkanten 2: 2150 mm



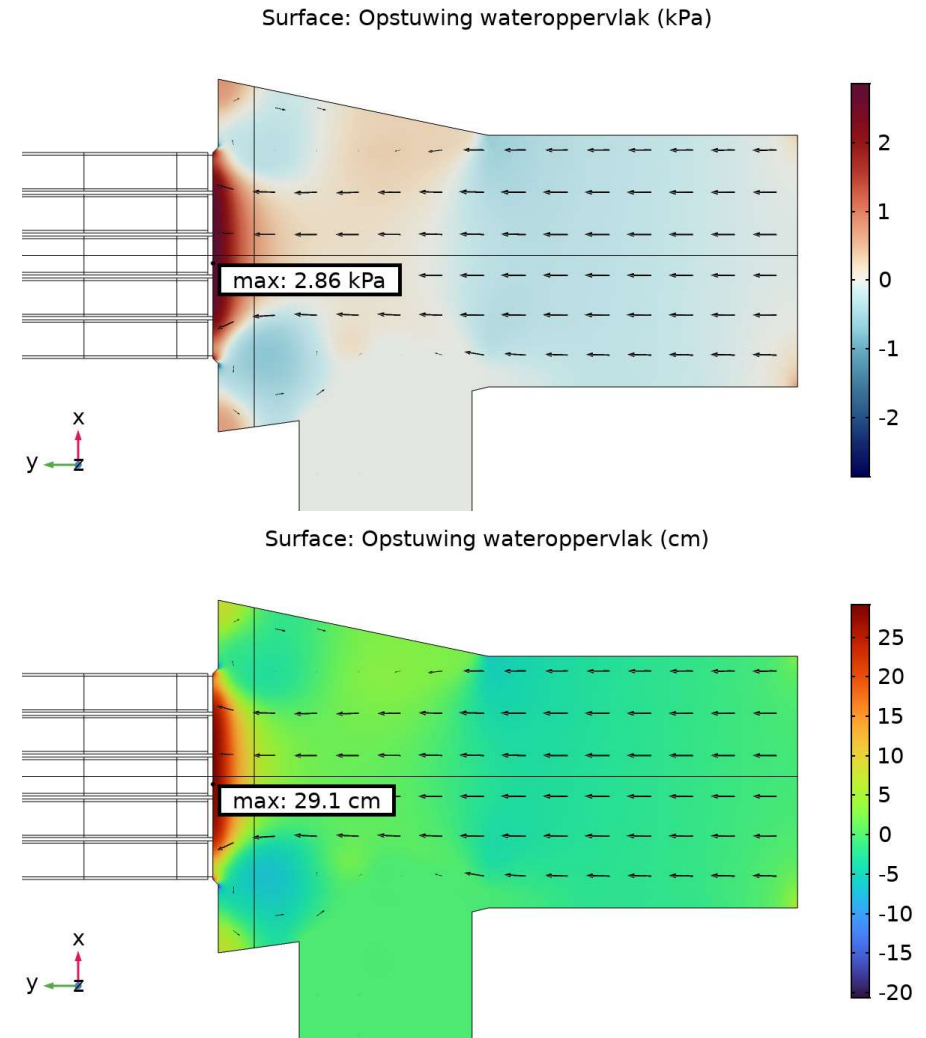
Combinatie Model D

- In model D zijn beide maatregelen van model B en C toegepast



Opstuwing waterniveau

- Terwijl het water afremt bij de duiker, wordt het water opgestuwd. Omdat dit opstuwen niet in het CFD-model zit geeft dit een afwijking ten opzichte van de werkelijkheid
- De resultaten uit model A (afbeeldingen hiernaast) tonen dat de druktoename rond de duiker rond de 2.9 kPa uitkomt
- 1 kPa komt overeen met ± 10 cm waterkolom, dus de opstuwing komt overeen met 29 cm direct voor de deuren (tot ± 3 m voor de deur)
- Deze afwijking van de geometrie van het CFD-model ten opzichte van de werkelijkheid zal naar verwachting een zeer klein effect hebben op de totale drukval van de duikerinlaat, en is daarom niet meegenomen.



Bijlage 3

**Vaktechnische modelinformatie
maatregel 2 (verhogen waterdruk op
de sifon)**

Bijlage Vaktechnische modelinformatie maatregel 2

In onderstaande paragraaf 1 t/m 3 wordt technische informatie gegeven over de opbouw van het model dat gebruikt is bij het onderzoek naar maatregel 2. Daarna wordt in paragraaf 4 een korte aanvullende uitleg gegeven bij de resultaten van het onderzoek.

1. Opbouw model algemeen

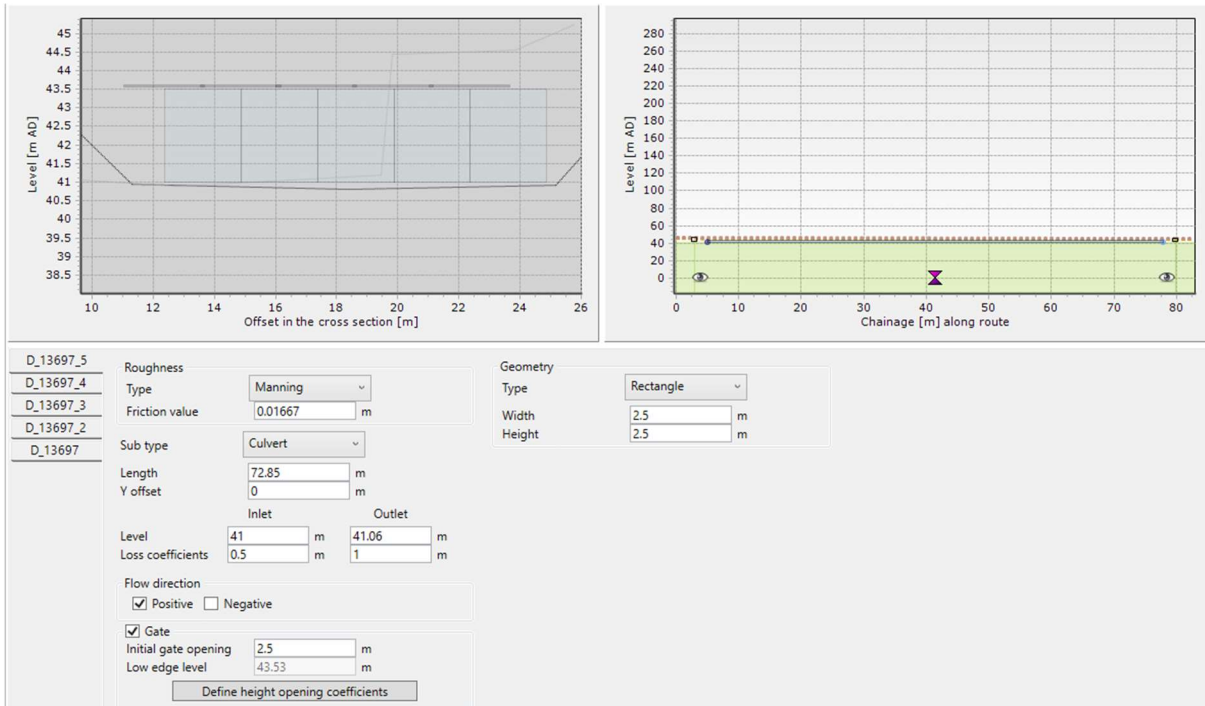
De randvoorwaarden, waterlopen (Hydro-objecten) en kunstwerken in het gebied van interesse zijn te zien in onderstaande figuur 3-1.



Figuur 3-1 Opbouw model

Het sifon is in D-Hydro geschematiseerd als 5 losse kokers van elk 2,5mx2,5m, waarmee het totale doorstroomoppervlakte komt op 31,25 m². De overige eigenschappen van het sifon zoals die zijn opgenomen in het D-Hydro model zijn weergegeven in Figuur 3-2.

In het kader van het onderzoek naar maatregel 2 is de onderzoeksvraag in hoeverre bedijking kan helpen bij het verhogen van de afvoer door het sifon. Daartoe zijn in het D-Hydro model bovenstreams van de sifon oneindig hoge randen langs de Geul aangebracht d.m.v. hoge lijnelementen, zodat de waterstand kan stijgen zonder dat de gebieden langs de Geul in het model overstromen. Zo kan uit de modelresultaten worden afgelezen hoe hoog de bedijking zou moeten worden bij hoge afvoeren door de Geul.



Figuur 3-2 Instellingen sifon in het model

De instroomweerstand staat in het model op 0,5, wat overeen komt met de uitgangspunten van maatregel 1 (zie hfst. 4). De onderzijde van het sifon ligt op 41m + NAP en de bovenzijde daarmee op 43,5m + NAP.

2. Aanpassingen aan het model

Door HKV zijn binnen deze opdracht een aantal onderdelen van de modelschematisatie aangepast/verbeterd, aangezien bleek dat het model niet één op één geschikt was om de vragen binnen dit onderzoek te beantwoorden. Daarnaast bleken enkele onderdelen ook niet goed te werken. Het betreft de volgende aanpassingen:

- De benedenstroomse randvoorwaarden (Maaswaterstanden) zijn toegevoegd (zie voor nadere toelichting paragraaf 2 hieronder)
- Er is een bovenstroomse afvoerrandvoorwaarde (instroomrand van de Geul) toegevoegd aan het D-Hydro model ter hoogte van Meerssen aan de A2 zijde. De overige bovenstrooms in het Geulmodel aanwezige afvoer-randvoorwaarden zijn op 0.1 m³/s gezet zodat er geen water door het model komt bovenstrooms van Meerssen. Op deze manier is het Geulmodel feitelijk ingekort zonder alle waterlopen bovenstrooms van Meerssen uit het model te halen (zie nadere toelichting in paragraaf 3 hieronder).
- De neerslag-afvoer relaties van het Geulmodel zijn in dit onderzoek niet gebruikt.
- De overige afvoeren (zijbeken, bovenstroomse randen in België) in het model zijn geminimaliseerd om droogval en daarmee numerieke instabiliteit (en een heel traag rekenend model) bovenstrooms te voorkomen.
- Het brugdek bij de Maastrichterlaan is verhoogd zodat deze geen invloed heeft op de resultaten; dat betekent dat de brug in verticale zin de afvoer niet belemmert.
- De 1d2d uitwisseling in het model is alleen benedenstrooms van de sifon (tussen de Geul en het buitendijks gebied van de Maas) mogelijk gemaakt. Bovenstrooms van de Geul instroomrand (ten oosten van de A2) zijn alle zogenaamde 1D2D links verwijderd uit het D-Hydro model. Dat betekent concreet dat er bovenstrooms van de A2 geen water uit de Geul het omringende gebied in kan stromen en het uit de 1D Geul naar het 2D maaiveld kan stromen. Een rivier of beek wordt in dit type

modellen 1 dimensionaal gemodelleerd (riviertakken) en zodra het water buiten de oevers van de 1D tak treedt, dan ontstaat stroming naar een tweedimensionaal rooster (maaiveld).

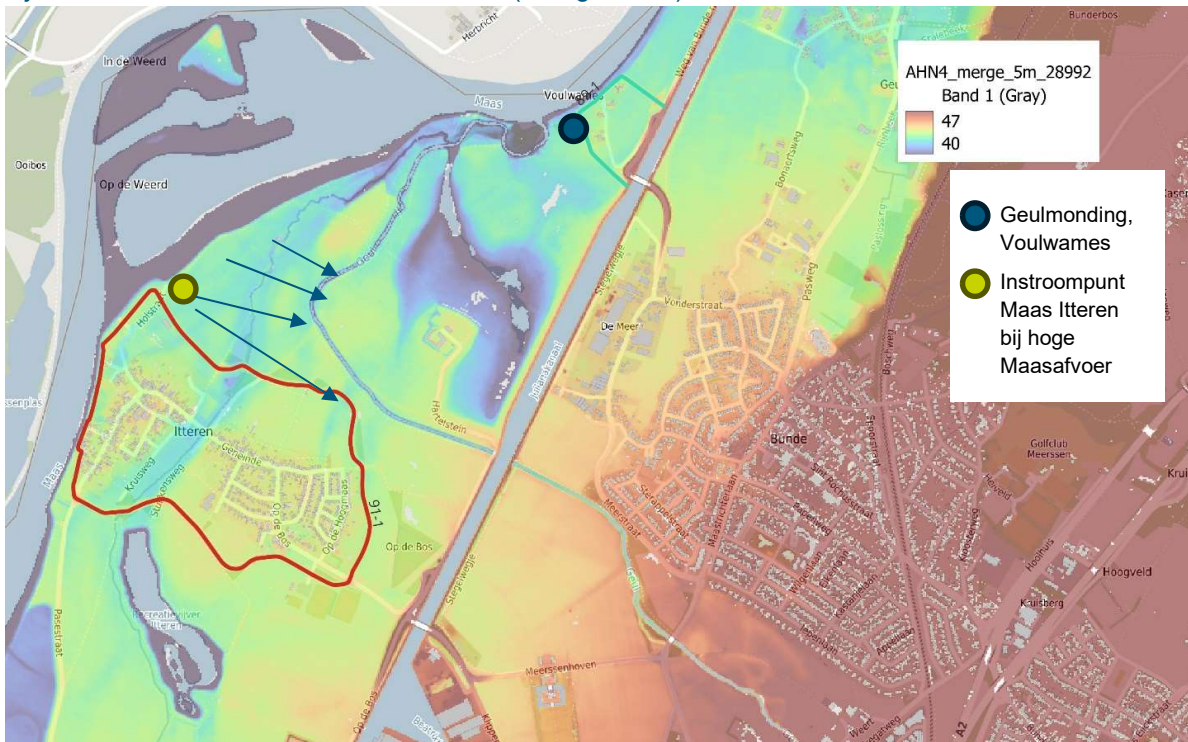
- De sifon in de aangeleverde versie van het D-Hydro model bevatte (abusievelijk) 1D2D links naar het 2D rooster van het model. Effectief betekende dit dat de afvoer niet de hele weg door de sifon hoefde af te leggen maar via een versnelde route richting het maaiveld kon stromen. Deze fout in het model is opgelost en teruggekoppeld aan het waterschap.
- De houtvang was geschematiseerd als brug en is verwijderd uit het model om de analyse zo zuiver mogelijk te houden t.a.v. de capaciteit van de sifon.

Verder zijn de model-instellingen van het sifon aangepast zodat deze correct functioneert. De user interface van D-Hydro bleek de schematisatie van het sifon aan te passen, met als gevolg dat het sifon niet meer juist functioneerde. De sifon werd feitelijk gezien als een bak met een oneindig hoog plafond. Dit resulteerde erin dat de sifon in geen van de berekeningen ging ‘knellen’ en de bijbehorende opstuwung door dit effect ook niet werd berekend. Dit issue is bij Deltares – leverancier van de D-Hydro modelsoftware – en bij het Waterschap gemeld en opgelost door de instellingen te veranderen in de dwarsdoorsnede van alle duikers met een ‘Rectangle’ (rechthoekig) profiel. Dit kon overigens alleen m.b.v. een modelbouwsript en niet via de D-Hydro User Interface.

Na vergelijking met metingen blijkt het D-Hydramodel op dit deel van de Geul wat hogere waterstanden uit te rekenen dan zijn gemeten. Bij nader onderzoek zal het verschil tussen model en metingen nader worden onderzocht.

3. Benedenstroomse randvoorwaarde, waterstand Maas

De benedenstroomse randvoorwaarde bestaat uit een vaste Maaswaterstand, opgelegd op het punt waar bij Voulwames de Geul de Maas instroomt (zie figuur 3-3).



Figuur 3–3 Maaiveldhoogten Geulmonding in [m + NAP].

De Maaswaterstanden bij de Geulmonding zijn berekend met de applicatie Hydra-NL⁶ versie 2.8.2, gebruik makend van beschikbare hydraulische databases (Rijkswaterstaat). Deze databases zijn gevuld met de resultaten van door Rijkswaterstaat uitgevoerde waterstandsberekeningen voor de Maas. Hydra-NL berekent de waterstand op een gekozen locatie, gegeven de gevraagde terugkeertijd. Binnen dit onderzoek zijn Maaswaterstanden bepaald bij de terugkeertijden T1, T10 en T100 (jaren).

Er zijn berekeningen gemaakt met twee databases:

1. *WBI2017_Bovenmaas_hoge_keringen_83-1_85-1_86-1_87-1_88-1_89-1_91-1_92-1_93-1_v03.sqlite*
Deze database is de formele database die is gebruikt voor de beoordelingen van de primaire keringen van onder meer Itteren (91-1) en Voulwames (89-1).
2. *HOB2020-Maas-as.sqlite*
Deze database is iets recenter. Het effect van een aantal rivierverruimende watersysteemmaatregelen in Limburg is hierin verdisconteerd. Ook de afvoerstatistiek bij Eijsden is iets anders dan bij WBI2017, hetgeen de verschillen verklaart (zie tabel 3-1).

Tabel 3-1 Maaswaterstanden Geulmonding bij Voulwames

Variant voor Maaswaterstand	Kans van voorkomen	Maaswaterstand [m+NAP] WBI2017 database	Maaswaterstand [m+NAP] HOB2020 database
Laag	1x/jaar (T1)	40,48	40,42
Midden	1x/10 jaar (T10)	42,71	42,83
Hoog	1x/100 jaar (T100)	43,67	43,88

Wanneer de Maas hoog staat stroomt het Maaswater richting de sifon. Hierdoor belemmert het Maaswater het vrij afstromen van het Geulwater van de sifon naar de Maas. Daarom zijn ook voor een locatie op de Maas bij Itteren waterstanden berekend bij de drie terugkeertijden (zie tabel 3-2)

Tabel 3-2 Maaswaterstanden Itteren, van belang bij hogere Maasafvoeren waarbij uiterwaarden overstromen

Variant voor Maaswaterstand	Kans van voorkomen	Maaswaterstand [m+NAP] WBI2017 database	Maaswaterstand [m+NAP] HOB2020 database
Laag	1x/jaar (T1)	41,05	40,76
Midden	1x/10 jaar (T10)	42,98	43,14
Hoog	1x/100 jaar (T100)	43,89	44,15

De maaiveldhoogten tussen de Maas en de sifon laten zien dat de Maaswaterstand bij de toegangsweg naar Itteren (Op de Bos) minimaal 44m +NAP moet zijn, wil het Maaswater er van zuid naar noord overheen stromen. Net benedenstreams van Itteren (Holstraat) is de maaiveldhoogte ongeveer 43m +NAP, aflopend richting de Geulmonding.

Voor de analyse is uiteindelijk gekozen voor de berekende waterstanden met de meer recente HOB2020 database, waarmee ook iets hogere waarden worden berekend. Voor T1 en T10 is de Maaswaterstand in de Geulmonding bij Voulwames aan het D-Hydro model opgelegd. Voor T100 is de Maaswaterstand net benedenstreams van Itteren opgelegd. De resulterende waarden staan in tabel 3-3.

⁶ <https://iplo.nl/thema/water/applicaties-modellen/waterveiligheidsmodellen/hydra-nl/>

Tabel 3-3 Aan D-Hydro opgelegde Maaswaterstanden

Variant voor Maaswaterstand	Kans van voorkomen	Maaswaterstand [m+NAP] Analyse
Laag	1x/jaar (T1)	40,42
Midden	1x/10 jaar (T10)	42,83
Hoog	1x/100 jaar (T100)	44,15

Ter vergelijking de tabel met opgetreden waterstanden op de Maas in 2021. Itteren is rivierkilometer (RKM) 20.7. De Geulmonding bij Voulwames is rivierkilometer 23.1.

Tabel 3-4 Waterstanden op verschillende locaties op de Maas en vergelijking met het hoogwater van 1993 en 1995 (tabel B.1.3.1 uit ENW 2021)

RKM	Naam	HW1993	HW1995	HW2021
2.6	Eijsden grens	50.45	50.16	50.64
10.8	Sint Pieter Noord	47.72	47.66	48.12
15.2	Borgharen Julianakanaal	46.42	46.27	46.09
16.0	Borgharen Dorp	45.90	45.71	45.23
18.3	Lanaken	44.97	44.79	44.56
24.8	Uikhoven			42.61
29.3 ²	Elsloo	40.50	40.23	40.95
34.8	Eisden Mazenhove			37.77
38.9	Meeswijk veer			34.05

Lineair interpoleren van de waarden uit

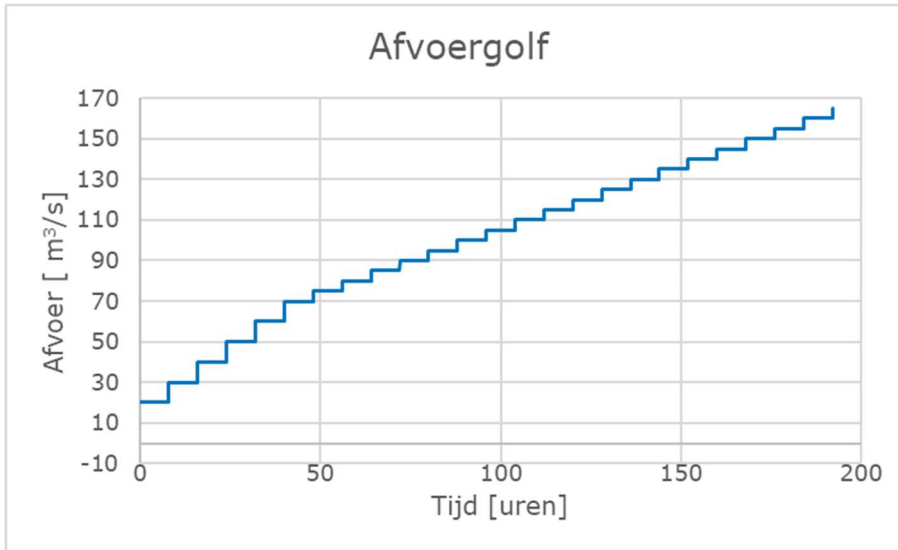
Tabel 3-4 leidt tot de volgende waterstanden in 2021 bij Voulwames en Itteren:

Tabel 3-5 Maaswaterstanden Hoogwater 2021 Itteren en Voulwames

Locatie	Waterstand HW2021 (m + NAP)
Itteren (rkm 20.7)	43.84
Voulwames (rkm 23.1)	43.12

3. Bovenstroomse randvoorwaarde, afvoer Geul bij Meerssen

De opgelegde Geulafvoeren bij Meerssen zijn stationair (constant). Er is dus géén afvoergolf zoals in 2021 doorgerekend, aangezien het doel van deze analyse is de extra capaciteit door de sifon als gevolg van een peilopzet bovenstrooms van de sifon te bepalen. Met één berekening is een hele reeks aaneengeschakelde constante afvoeren doorgerekend. Dit is gedaan door een trapsgewijze afvoergolf te gebruiken, waarbij elke stap lang genoeg duurt om tot een stationaire situatie te leiden. De afvoergolf begint met 20 m³/s en wordt telkens na 8 uur simulatietijd verhoogd met 10 m³/s. Bij het bereiken van 70 m³/s, waarbij (orde grootte) de Geul zonder dijken buiten haar oevers treedt, wordt de afvoer telkens met 5 m³/s verhoogd tot het bereiken van 160 m³/s (zie figuur 3-4).



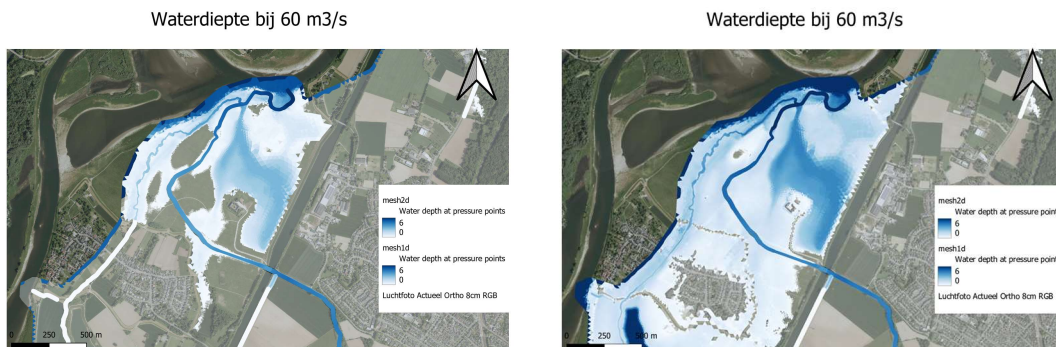
Figuur 3-4 Constante Geulafvoeren zoals opgelegd aan het D-Hydro model.

Het rekenen met *constante afvoeren* leidt tot hogere waterstanden dan wanneer met een *afvoergolf* wordt gerekend, bijvoorbeeld de 2021 afvoergolf. Dit komt doordat met het opleggen van een constante afvoer en daarbij wachten tot een stationaire situatie ontstaat, eigenlijk wordt gesimuleerd dat telkens het hele gebied, zowel in als langs de Geul onder water staat. Alle bergingsruimte zit dan vol. Als er daarna meer afvoer wordt opgelegd, resulteert dat direct in een waterstandsverhoging. Bij een afvoergolf wordt de piekwaterstand 'afgevlakt' omdat de bergingsgebieden langs de Geul eerst volstromen.

4. Nadere toelichting resultaten hoofdstuk 2 hoofrapport

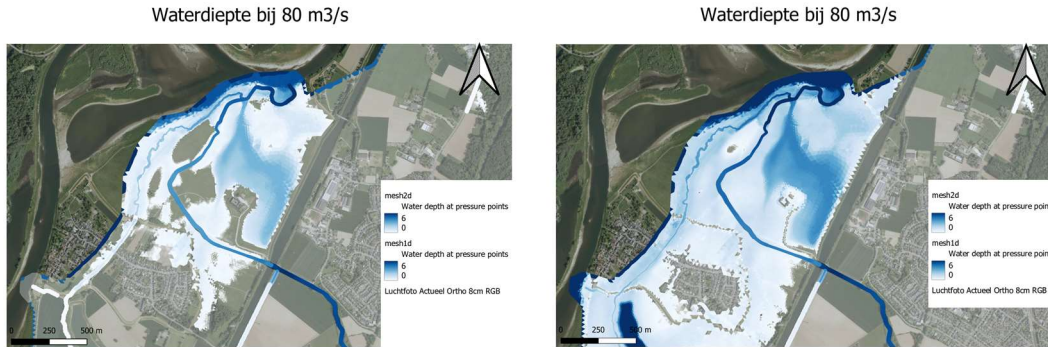
Waterstanden in de Geul

In figuur 3-5 is de waterdiepte weergegeven zoals berekend met het D-Hydro model. Te zien is dat bovenstrooms van de sifon geen water vanuit de Geul het maaiveld op loopt vanwege de schematisatie met oneindig hoge dijken langs de Geul. Benedenstrooms van de sifon stroomt de Geul het winterbed van de Maas in. Ter plekke van de uitstroombijde van de sifon is de maaiveldhoogte ongeveer 45m + NAP. Maaswater stroomt in beide scenario's (midden en hoge Maaswaterstand) over het winterbed van de Maas, richting de Geul. Bij een hoge Maas is er sprake van meer opstuwung bij de sifon, hetgeen ook terug is te zien in de verhanglijnen van de Geul.



Figuur 3-5 overstroomd gebied bij afvoer Geul van 60 m3/s, bij Maas midden (T10, links) en Maas hoog (T100, rechts)

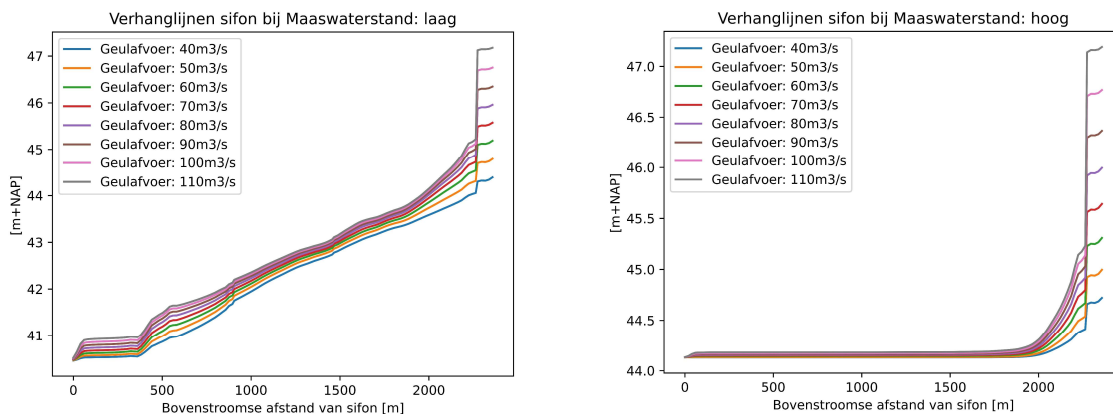
Figuur 3-6 bevat dezelfde beelden als figuur 3-5, echter nu voor een Geulafvoer van 80 m³/s. Te zien is dat bij een gemiddelde Maas het Maaswater nu verder richting de Geul en de sifon komt dan bij 60 m³/s. Bij de hoge Maas is het verschil tussen 60 m³/s en 80 m³/s benedenstrooms van de sifon niet waarneembaar.

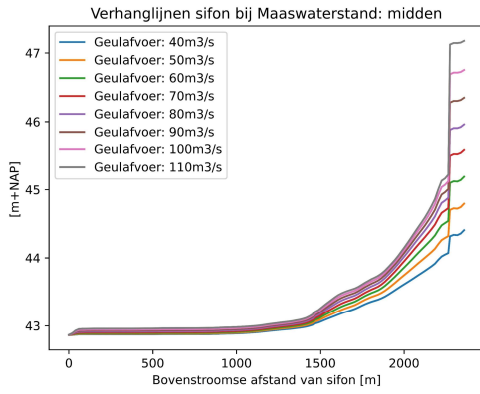


Figuur 3-6 overstroomd gebied bij afvoer Geul van 80 m³/s, bij Maas midden (T10, links) en Maas hoog (T100, rechts)

Verval over de sifon bij verschillende combinaties Maaswaterstand en Geulafvoer

Figuur 3-7 laat de verhanglijnen zien die zich instellen (stationaire situatie) bij verschillende combinaties van de benedenstrooms opgelegde Maaswaterstand en de Geulafvoer. De bovenste figuur betreft de lage Maaswaterstand (T1). De Geul kan bij een lage Maas, zonder ondergelopen uiterwaarden, vrij afstromen naar de Geulmonding bij Voulwames. Bij een gemiddeld hoge Maas (T10) staan de uiterwaarden van de Maas al deels onder water en mondt de Geul daardoor al halverwege het winterbed uit in de Maas. Het opstuwende effect daarvan is echter bij de sifon niet meer merkbaar en dus wordt de afvoer door de sifon volledig door de Geul bepaald. Bij de hoge Maaswaterstand (T100) is wel een opstuwend effect van de Maas te zien tot aan de sifon. De Maaswaterstand belemmert dan dus de capaciteit van de sifon. Dit effect is echter alleen bij de lagere afvoeren (tot orde 75 m³/s) te zien.





Figuur 3-7 Verval over de sifon bij verschillende combinaties van Maaswaterstand en Geulafvoer

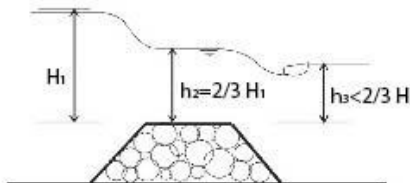
Bijlage 4

Berekeningen afvoer overlaat naar Julianakanaal



Bijlage Berekening afvoer overlaat naar Julianakanaal

De afvoer over een overlaat kan benaderd worden met de volgende formule voor de stroomsnelheid en debiet in een stationaire situatie:



$$U_0 = \sqrt{2g(H_1 - h_2)}$$

$$Q = C_{ok} * b * h_2 * U_0$$

$$h_2 = h_3 \quad \text{voor } h_3 > \frac{2}{3} H_1$$

$$h_2 = \frac{2}{3} H_1 \quad \text{voor } h_3 < \frac{2}{3} H_1$$

Symbol	Beschrijving
U_0	Snelheid over de overlaat [m/s]
g	Versnelling van de zwaartekracht [m/s^2]
H_1	Energiehoogte bovenstrooms van de overlaat ten opzichte van het drempelniveau [m]
h_2	Waterstand boven de overlaat ten opzichte van het drempelniveau [m]
h_3	Waterstand benedenstrooms van de overlaat ten opzichte van het drempelniveau [m]
d	Drempelhoogte van de overlaat [m]
C_{ok}	Afvoer coëfficiënt voor verliezen [-]
b	Breedte overlaat [m]
Q	Debiet [m^3/s]

Met een waterstand op het kanaal van NAP+44,1m is h_3 kleiner dan $\frac{2}{3} * H_1$, waardoor de overlaat volkomen zal zijn en h_2 gelijk aan $\frac{2}{3}H_1$. De snelheid in de duiker wordt 3,44 m/s.

Met een afvoer coëfficiënt van 0,8 (realistische afvoer coëfficiënt volgens Nortier, 1996) wordt de specifieke afvoer per m breedte $q=2,75m^2/s$. Deze afvoer is berekend bij een bovenwaterstand van NAP+45m op de Geul. Een iets hogere stand geeft al behoorlijk wat meer capaciteit. Een waterstand van NAP+45,5m geeft een specifieke afvoer van $q=3,84 m^2/s$.

Bijlage 5

Kostenramingen



Opmerkingen bij de specificaties van de Investeringskosten:

Investeringskosten maatregel 1: stroomlijning instroom sifon

(geen opmerkingen)

Investeringskosten maatregel 2: verhogen waterdruk op de sifon

In de raming zijn de volgende kosten opgenomen: grondverzet, afwerken/inzaaien, aankoop grond, bouw tijdelijk bouwwegen, tijdelijk gedeeltelijk weg afzetten (tijdens bouw), kap en herplant bomen.

Voor het perceel 2537 is aangenomen dat het nodig is om de gehele bos strook op te kopen.



Uitgegaan is van ligging kades direct langs de Geul. In verband met de meanderzone van de Geul zullen de kades uiteindelijk naar verwachting een ander tracé volgen. Indien dit tracé een grotere lengte heeft, nemen de kosten toe.

Investeringskosten maatregel 3: afvoeren op het Julianakanaal

In de raming zijn de kosten opgenomen van de overlaat naar het Julianakanaal. Mogelijk zijn ook aanpassingen nodig aan het Julianakanaal zelf. Deze aanpassingen moeten nog worden onderzocht; de kosten hiervan zijn nog niet in de raming opgenomen.

Indicatie Investeringskosten uitbreiden sifon

De grootste kosten betreffen een gestuurde boring van twee grote leidingen onder het Julianakanaal. Bijkomende kosten zoals watergangen van de Geul naar de instroom en van de uitstroom naar de Geul (incl. evt. bodem- of oeverbescherming) of grondverwerving zijn niet in de raming opgenomen.

Indicatie Investeringskosten afvoeren naar de Beatrixhaven

In de raming zijn de kosten van de waterhuishoudkundige maatregelen opgenomen. Grondverwerving is nog niet als kostenpost opgenomen.

Appendix 5

Kostenramingen



Opmerkingen bij de specificaties van de Investeringskosten:

Investeringskosten maatregel 1: stroomlijning instroom sifon
(geen opmerkingen)

Investeringskosten maatregel 2: verhogen waterdruk op de sifon

In de raming zijn de volgende kosten opgenomen: grondverzet, afwerken/inzaaien, aankoop grond, bouw tijdelijk bouwwegen, tijdelijk gedeeltelijk weg afzetten (tijdens bouw), kap en herplant bomen.

Voor het perceel 2537 is aangenomen dat het nodig is om de gehele bos strook op te kopen.



Uitgegaan is van ligging kades direct langs de Geul. In verband met de meanderzone van de Geul zullen de kades uiteindelijk naar verwachting een ander tracé volgen. Indien dit tracé een grotere lengte heeft, nemen de kosten toe.

Investeringskosten maatregel 3: afvoeren op het Julianakanaal

In de raming zijn de kosten opgenomen van de overlaat naar het Julianakanaal. Mogelijk zijn ook aanpassingen nodig aan het Julianakanaal zelf. Deze aanpassingen moeten nog worden onderzocht; de kosten hiervan zijn nog niet in de raming opgenomen.

Indicatie Investeringskosten uitbreiden sifon

De grootste kosten betreffen een gestuurde boring van twee grote leidingen onder het Julianakanaal. Bijkomende kosten zoals watergangen van de Geul naar de instroom en van de uitstroom naar de Geul (incl. evt. bodem- of oeverbescherming) of grondverwerving zijn niet in de raming opgenomen.

Indicatie Investeringskosten afvoeren naar de Beatrixhaven

In de raming zijn de kosten van de waterhuishoudkundige maatregelen opgenomen. Grondverwerving is nog niet als kostenpost opgenomen.

Code	Omschrijving post	Hoeveelheid	Eenheid	Prijs	Totaal
<i>TRUE</i>					
<i>Deelraming aan</i>					
<i>Prijspeil 01-01-2024</i>					
Investeringskosten:					
		13			
INV.1.00	Deelonderzoek 1 - Stroomlijnen Sifon	-	-	€ 190.211	€ -
INV.1.01	Weg afzetten, toepassen omleidingsroutes	1,00	keer	€ 5.000,00	€ 5.000
INV.1.02	Gond ontgraven uit talud t.b.v. plaatsen L-wanden, in depot zetten naast werk	640,00	m3	€ 8,00	€ 5.120
INV.1.03	Toepassen damwand ter plaatse van diepste delen L wanden	40,00	m	€ 1.250,00	€ 50.000
INV.1.04	Toepassen bronnering	1,00	euro	€ 10.000,00	€ 10.000
INV.1.05	Aanbrengen werkvloer van beton 8 cm	8,00	m3	€ 400,00	€ 3.200
INV.1.06	Element L-wand leveren en aanbrengen. L=2m lang, h=3500mm	2,00	st	€ 3.600,00	€ 7.200
INV.1.07	Element L-wand leveren en aanbrengen. L=2m lang, h=3500 vermaken, teen afsnijden	2,00	st	€ 4.000,00	€ 8.000
INV.1.08	Element L-wand leveren en aanbrengen. L=2m lang, h=4000	2,00	st	€ 4.800,00	€ 9.600
INV.1.09	Element L-wand leveren en aanbrengen. L=2m lang, h=3000	4,00	st	€ 2.800,00	€ 11.200
INV.1.10	Element L-wand leveren en aanbrengen. L=2m lang, h=2000	4,00	st	€ 2.400,00	€ 9.600
INV.1.11	Element L-wand leveren en aanbrengen. L=2m lang, h=1250	6,00	st	€ 1.400,00	€ 8.400
INV.1.12	Grond aanvullen	640,00	m3	€ 9,00	€ 5.760
INV.1.13	Afdichten voegen, grond dicht, geotextiel	320,00	m2	€ 5,00	€ 1.600
INV.1.14	IPE-80 balk L=13m vermaken, uiteindes schuin afsnijden	13,00	m	€ 600,00	€ 7.800
INV.1.15	IPE-80 balk L=14m	14,00	m	€ 600,00	€ 8.400
INV.1.16	Stalen plaat 3mm dik, 3x13m. Gebogen, straal =2,9m	918,45	kg	€ 10,00	€ 9.185
INV.1.17	Stalen plaat 3mm dik, 4x13m.	1.224,60	kg	€ 10,00	€ 12.246
INV.1.18	Conservering stroomgeleiding	96,00	m2	€ 150,00	€ 14.400
INV.1.19	Koker rond diameter=500 onder L wand door plaatsen	5,00	m	€ 200,00	€ 1.000
INV.1.20	Leveren en aanbrengen terugslagklep rond 500	1,00	st	€ 2.500,00	€ 2.500
-	-	-	-	€ -	€ -
-	-	-	-	€ -	€ -
	Benoemde directe bouwkosten				€ 190.211
INV.BK.NTD	Nader te detailleren bouwkosten (%)	20,0%	van	€ 190.210,50	€ 38.042
	Directe bouwkosten				€ 228.253
INV.BK.EK	Enmalige kosten (%)	3,0%	van	€ 228.252,60	€ 6.848
INV.BK.ABK	Algemene bouwplaatskosten (%)	2,0%	van	€ 228.252,60	€ 4.565
INV.BK.UK	Uitvoeringskosten (%)	8,0%	van	€ 228.252,60	€ 18.260
INV.BK.PM	Managementkosten ON (%)	0,0%	van	€ 228.252,60	€ -
INV.BK.AK	Algemene kosten (%)	9,0%	van	€ 257.925,44	€ 23.213
INV.BK.W	Winst (%)	3,0%	van	€ 281.138,73	€ 8.434
INV.BK.R	Risico (%)	2,0%	van	€ 281.138,73	€ 5.623
	Indirecte bouwkosten	29,3%	t.o.v. dir. bouwkosten		€ 66.943
	Voorziene bouwkosten				€ 295.196
INV.BK.NBR	Niet benoemde risico's bouwkosten (%)	5,0%	van	€ 295.195,66	€ 14.760
	Risicoreservering bouwkosten	5,0%	t.o.v. voorz. bouwkosten		€ 14.760
	Bouwkosten Deelraming 1 Stroomlijnen Sifon				€ 309.955
INV.EK.P	Engineeringkosten			- € -	€ -
INV.EK.OG	Engineering Opdrachtgever	12,0%	van	€ 295.195,66	€ 35.423
INV.EK.IB	Engineering Ingenieursbureau	12,0%	van	€ 295.195,66	€ 35.423
INV.EK.ON	Engineering Opdrachtnemer	8,0%	van	€ 295.195,66	€ 23.616
-	-	0,0%	van	€ 295.195,66	€ -
-	-	0,0%	van	€ 295.195,66	€ -
	Benoemde directe engineeringkosten				€ 94.463
	Directe engineeringkosten	32,0%	t.o.v. voorz. bouwkosten		€ 94.463
	Indirecte engineeringkosten	0,0%	t.o.v. dir. engineeringkosten		€ -
	Voorziene engineeringkosten				€ 94.463
	Risicoreservering engineeringkosten	0,0%	t.o.v. voorz. engineeringkosten		€ -
	Engineeringkosten Deelraming 1 Stroomlijnen Sifon				€ 94.463
	Directe vastgoedkosten				€ -
	Indirecte vastgoedkosten		t.o.v. dir. vastgoedkosten		€ -
	Voorziene vastgoedkosten				€ -
	Risicoreservering vastgoedkosten		t.o.v. voorz. vastgoedkosten		€ -
	Vastgoedkosten Deelraming 1 Stroomlijnen Sifon				€ -
INV.OBK.P	Overige Bijkomende Kosten			- € -	€ -
INV.OBK.OVE	Overige niet benoemde bijkomende kosten	12,0%	van	€ 295.195,66	€ 35.423
-	-	0,0%	van	€ 295.195,66	€ -
-	-	0,0%	van	€ 295.195,66	€ -
	Benoemde directe overige bijkomende kosten				€ 35.423
	Directe overige bijkomende kosten	12,0%	t.o.v. voorz. bouwkosten		€ 35.423
	Indirecte overige bijkomende kosten	0,0%	t.o.v. dir. overige bijk.kosten		€ -
	Voorziene overige bijkomende kosten				€ 35.423
INV.OBK.NBR	Niet benoemde risico's overige bijkomende kosten (%)	0,0%	van	€ 35.423,48	€ -
	Risicoreservering overige bijkomende kosten	0,0%	t.o.v. voorz. overige bijk. kosten		€ -
	Overige bijkomende kosten Deelraming 1 Stroomlijnen Sifon				€ 35.423
	Investeringskosten Deelraming 1 Stroomlijnen Sifon excl. BTW				€ 439.842

Deelraming 2 Bedijking		Rekenmodel SSK-2018 versie 2.4.001				
Code	Omschrijving post	Hoeveelheid	Eenheid	Prijs	Prijspeil 01-01-2024 Totaal	
Investeringskosten:						
		23				
INV.2.00	Deelonderzoek 2 - Lokale bedijking	€ 653.753	-	€ -	€ -	
INV.2.01	Weg gedeeltelijk afzetten, toepassen tijdelijke VRI	2,00	keer	€ 15.000,00	€ 30.000	
INV.2.02	Maaien en frezen terrein	26.013,00	m2	€ 0,15	€ 3.902	
INV.2.03	Rooien bomen	90,00	st	€ 150,00	€ 13.500	
INV.2.04	Toepassen rijplatenbaan (12m x 3,5m)	3.335,00	m	€ 20,00	€ 66.700	
INV.2.05	Opbreken en afvoeren halfverharding	825,00	m2	€ 5,00	€ 4.125	
INV.2.06	Grond ontgraven, vervoeren naar en verwerken in tijdelijk de	8.337,50	m3	€ 5,50	€ 45.856	
INV.2.07	Leveren, aanbrengen en verdichten zand tbv cunet	8.337,50	m3	€ 17,25	€ 143.822	
INV.2.08	Leveren, aanbrengen en verdichten klei catx	6.063,62	m3	€ 21,25	€ 128.852	
INV.2.09	Grond ontgraven uit en vervoeren van tijdelijk depot	1.137,12	m3	€ 3,00	€ 3.411	
INV.2.10	Aanbrengen toplaag - grond uit werk	1.137,12	m3	€ 3,50	€ 3.980	
INV.2.11	Afvoeren overtollige grond, incl. acceptatiekosten	7.200,38	m3	€ 17,00	€ 122.407	
INV.2.12	Egaliseren en inzaaien kades	11.371,15	m2	€ 0,75	€ 8.528	
INV.2.13	Compenseren bomen (locatie nader te bepalen)	90,00	st	€ 800,00	€ 72.000	
INV.2.14	Herstellen grond na verwijderen rijplatenbaan	13.340,00	m2	€ 0,50	€ 6.670	
		-	-	€ -	€ -	
	Benoemde directe bouwkosten				€ 653.753	
INV.BK.NTD	Nader te detaileren bouwkosten (%)	20,0%	van	€ 653.753,11	€ 130.751	
	Directe bouwkosten				€ 784.504	
INV.BK.EK	Eenmalige kosten (%)	3,0%	van	€ 784.503,73	€ 23.535	
INV.BK.ABK	Algemene bouwplaatskosten (%)	2,0%	van	€ 784.503,73	€ 15.690	
INV.BK.UK	Uitvoeringskosten (%)	8,0%	van	€ 784.503,73	€ 62.760	
INV.BK.PM	Managementkosten ON (%)	0,0%	van	€ 784.503,73	€ -	
INV.BK.AK	Algemene kosten (%)	9,0%	van	€ 886.489,21	€ 79.784	
INV.BK.W	Winst (%)	3,0%	van	€ 966.273,24	€ 28.988	
INV.BK.R	Risico (%)	2,0%	van	€ 966.273,24	€ 19.325	
	Indirecte bouwkosten	29,3%	t.o.v. dir. bouwkosten		€ 230.083	
	Voorziene bouwkosten				€ 1.014.587	
INV.BK.NBR	Niet benoemde risico's bouwkosten (%)	5,0%	van	€ 1.014.586,90	€ 50.729	
	Risicoreservering bouwkosten	5,0%	t.o.v. voorz. bouwkosten		€ 50.729	
	Bouwkosten Deelraming 2 Bedijking				€ 1.065.316	
INV.EK.P	Engineeringskosten			€ -	€ -	
INV.EK.OG	Engineering Opdrachtgever	8,0%	van	€ 1.014.586,90	€ 81.167	
INV.EK.IB	Engineering Ingenieursbureau	8,0%	van	€ 1.014.586,90	€ 81.167	
INV.EK.ON	Engineering Opdrachtnemer	6,0%	van	€ 1.014.586,90	€ 60.875	
	Benoemde directe engineeringkosten				€ 223.209	
	Directe engineeringkosten	22,0%	t.o.v. voorz. bouwkosten		€ 223.209	
	Indirecte engineeringkosten	0,0%	t.o.v. dir. engineeringkosten		€ -	
	Voorziene engineeringkosten				€ 223.209	
	Risicoreservering engineeringkosten	0,0%	t.o.v. voorz. engineeringkosten		€ -	
	Engineeringkosten Deelraming 2 Bedijking				€ 223.209	
INV.VG.00	Vastgoedkosten kades	-		€ -	€ -	
INV.VG.01	Huur gronden - agrarisch (5% van waarde per jaar)	13.220,00	m2	€ 0,40	€ 5.288	
INV.VG.02	Grondaankoop - agrarisch	20.335,62	m2	€ 8,00	€ 162.685	
INV.VG.03	Taxatie- en notariskosten	17,00	doss	€ 5.000,00	€ 85.000	
	Benoemde directe vastgoedkosten				€ 252.973	
	Directe vastgoedkosten				€ 252.973	
	Indirecte vastgoedkosten	0,0%	t.o.v. dir. vastgoedkosten		€ -	
	Voorziene vastgoedkosten				€ 252.973	
	Risicoreservering vastgoedkosten	0,0%	t.o.v. voorz. vastgoedkosten		€ -	
	Vastgoedkosten Deelraming 2 Bedijking				€ 252.973	
INV.OBK.P	Overige Bijkomende Kosten			€ -	€ -	
INV.OBK.OVE	Overige niet benoemde bijkomende kosten	12,0%	van	€ 1.014.586,90	€ 121.750	
	Benoemde directe overige bijkomende kosten				€ 121.750	
	Directe overige bijkomende kosten	12,0%	t.o.v. voorz. bouwkosten		€ 121.750	
	Indirecte overige bijkomende kosten	0,0%	t.o.v. dir. overige bijk.kosten		€ -	
	Voorziene overige bijkomende kosten				€ 121.750	
INV.OBK.NBR	Niet benoemde risico's overige bijkomende kosten (%)	0,0%	van	€ 121.750,43	€ -	
	Risicoreservering overige bijkomende kosten	0,0%	t.o.v. voorz. overige bijk. kosten		€ -	
	Overige bijkomende kosten Deelraming 2 Bedijking				€ 121.750	
	Investeringskosten Deelraming 2 Bedijking excl. BTW				€ 1.663.249	

TRUE Code	Omschrijving post	Deelraming aan	Hoeveelheid	Eenheid	Prijs	Prijspeil 01-01-2024 Totaal	
Investeringskosten:							
-			33				
INV.3.00	Deelonderzoek 3 - Afwateren naar Julianakanaal		-	-	€ 277.143	€ -	
INV.3.01	Weg afzetten, toepassen omleidingsroutes		1,00	keer	€ 5.000,00	€ 5.000	
INV.3.02	Bestaande weg opbreken, afvoeren materialen		80,00	m2	€ 20,00	€ 1.600	
INV.3.03	Ontgraven grond boven sifon		260,00	m3	€ 5,00	€ 1.300	
INV.3.04	Maken openingen in sifon-wand		5,00	st	€ 500,00	€ 2.500	
INV.3.05	Bekisting maken, 5 kokers 2,5m x 1,5m		1.300,00	m2	€ 100,00	€ 130.000	
INV.3.06	In het werk kokers storten, gewapend beton, ~9m3/m beton, ~ 18m lang.		158,37	m3	€ 400,00	€ 63.347	
INV.3.07	Grond terugplaatsen en verdichten		400,00	m3	€ 6,00	€ 2.400	
INV.3.08	Leveren en aanbrengen terugslagklep afmeting 2,5 x 2,5m		5,00	st	€ 12.500,00	€ 62.500	
INV.3.09	Weg aanleggen: asfalt op steenfundering		80,00	m2	€ 55,00	€ 4.400	
INV.3.10	U-profiel aanpassen, geleiding voor afsluitschuiven 2,45m verlengen. 6 geleidingen verlengen		6,00	m	€ 250,00	€ 1.500	
INV.3.11	Bestaande bestorting aanvullen met colloïdaal beton		5,17	m3	€ 200,00	€ 1.034	
INV.3.12	Stalen dwarsverband aanbrengen boven aan geleiding t.b.v. stevigheid		104,09	kg	€ 15,00	€ 1.561	
-			-	-	€ -	€ -	
-			-	-	€ -	€ -	
	Benoemde directe bouwkosten					€ 277.143	
INV.BK.NTD	Nader te detailleren bouwkosten (%)		20,0%	van	€ 277.142,85	€ 55.429	
	Directe bouwkosten					€ 332.571	
INV.BK.EK	Eenmalige kosten (%)		3,0%	van	€ 332.571,41	€ 9.977	
INV.BK.ABK	Algemene bouwplaatskosten (%)		2,0%	van	€ 332.571,41	€ 6.651	
INV.BK.UK	Uitvoeringskosten (%)		8,0%	van	€ 332.571,41	€ 26.606	
INV.BK.PM	Managementkosten ON (%)		0,0%	van	€ 332.571,41	€ -	
INV.BK.AK	Algemene kosten (%)		9,0%	van	€ 375.805,70	€ 33.823	
INV.BK.W	Winst (%)		3,0%	van	€ 409.628,21	€ 12.289	
INV.BK.R	Risico (%)		2,0%	van	€ 409.628,21	€ 8.193	
	Indirecte bouwkosten		29,3%	t.o.v. dir. bouwkosten		€ 97.538	
	Voorziene bouwkosten					€ 430.110	
INV.BK.NBR	Niet benoemde risico's bouwkosten (%)		5,0%	van	€ 430.109,62	€ 21.505	
	Risicoreservering bouwkosten		5,0%	t.o.v. voorz. bouwkosten		€ 21.505	
	Bouwkosten Deelraming 3 Afwateren Julianakanaal					€ 451.615	
INV.EK.P	Engineeringskosten				- € -	€ -	
INV.EK.OG	Engineering Opdrachtgever		12,0%	van	€ 430.109,62	€ 51.613	
INV.EK.IB	Engineering Ingenieursbureau		12,0%	van	€ 430.109,62	€ 51.613	
INV.EK.ON	Engineering Opdrachtnemer		8,0%	van	€ 430.109,62	€ 34.409	
			-	0,0%	van	€ 430.109,62	€ -
			-	0,0%	van	€ 430.109,62	€ -
	Benoemde directe engineeringkosten					€ 137.635	
	Directe engineeringkosten		32,0%	t.o.v. voorz. bouwkosten		€ 137.635	
	Indirecte engineeringkosten		0,0%	t.o.v. dir. engineeringkosten		€ -	
	Voorziene engineeringkosten					€ 137.635	
	Risicoreservering engineeringkosten		0,0%	t.o.v. voorz. engineeringkosten		€ -	
	Engineeringskosten Deelraming 3 Afwateren Julianakanaal					€ 137.635	
	Directe vastgoedkosten					€ -	
	Indirecte vastgoedkosten			t.o.v. dir. vastgoedkosten		€ -	
	Voorziene vastgoedkosten					€ -	
INV.VK.NBR	Niet benoemde risico's vastgoedkosten (%)		0,0%	van	€ -	€ -	
	Risicoreservering vastgoedkosten			t.o.v. voorz. vastgoedkosten		€ -	
	Vastgoedkosten Deelraming 3 Afwateren Julianakanaal					€ -	
INV.OBK.P	Overige Bijkomende Kosten				- € -	€ -	
INV.OBK.OV	Overige niet benoemde bijkomende kosten		12,0%	van	€ 430.109,62	€ 51.613	
			-	0,0%	van	€ 430.109,62	€ -
			-	0,0%	van	€ 430.109,62	€ -
	Benoemde directe overige bijkomende kosten					€ 51.613	
	Directe overige bijkomende kosten		12,0%	t.o.v. voorz. bouwkosten		€ 51.613	
	Indirecte overige bijkomende kosten		0,0%	t.o.v. dir. overige bijk.kosten		€ -	
	Voorziene overige bijkomende kosten					€ 51.613	
INV.OBK.NBI	Niet benoemde risico's overige bijkomende kosten (%)		0,0%	van	€ 51.613,15	€ -	
	Risicoreservering overige bijkomende kosten		0,0%	t.o.v. voorz. overige bijk. kosten		€ -	
	Overige bijkomende kosten Deelraming 3 Afwateren Julianakanaal					€ 51.613	
	Investeringskosten Deelraming 3 Afwateren Julianakanaal excl. BTW					€ 640.863	
INV.BTW	BTW (%)		0,0%	van	€ 640.863,34	€ -	
	Investeringskosten Deelraming 3 Afwateren Julianakanaal excl. BTW					€ 640.863	

Uitbreiden sifon (gestuurde boring onder Julianakanaal)

Inrichten werkterrein	1 euro	€	20.000,00	€	20.000,00
Perskuip - tijdelijke bouwkuip	1 st	€	60.000,00	€	60.000,00
Ontvangstput - tijdelijke bouwkuip	1 st	€	60.000,00	€	60.000,00
Boorstelling, drukstation, etc.	232 m	€	1.600,00	€	371.200,00
2 Leidingen 1.500 mm - GVK-boorbuis	232 m	€	2.000,00	€	464.000,00
Maken betonconstructie instroom	1 st	€	75.000,00	€	75.000,00
Maken betonconstructie uitstroom	1 st	€	75.000,00	€	75.000,00
Grondwerk geul	2 x	€	10.000,00	€	20.000,00
Bodembescherming instroom	200 m2	€	50,00	€	10.000,00
Bodembescherming uitstroom	200 m2	€	50,00	€	10.000,00
Directe kosten				€ 1.165.200,00	
Indirecte kosten + nader te detailleren	40%	€	1.165.200,00	€	466.080,00
Engineering	15%	€	1.631.280,00	€	244.692,00
Overige kosten	5%	€	1.631.280,00	€	81.564,00
Risicoreservering	15%	€	1.957.536,00	€	293.630,40
Investeringskosten excl. BTW				€ 2.251.166,40	
BTW	21%	€	2.251.166,40	€	472.744,94
Investeringskosten incl. BTW				€ 2.723.911,34	

diam 1499 uitwendig, wanddikte ca 56 mm SN 50.000 perskracht 4376 kN	€	1.250,00	prijspeil 2011
CBS index voor civieltechnische werken vloeistoffen		1,63	index
index is grove aanname: want werkt in praktijk mogelijk niet zo rechtlijnig	€	2.039,47	prijspeil 2024

2 leidingen naast elkaar van elk 116 m
minimaal 2m onder kanaalbodem, kanaalbodem op NAP 39
straal boring 300m
geen ontwerp dus bandbreedte
onderkant opening buis tot nap 41 zodat het water kan instromen

Afvoeren naar Beatrixhaven

Inrichten werkterrein	1 euro	€ 20.000,00	€ 20.000,00
Grondwerk	1000 m3	€ 10,00	€ 10.000,00
Perskuip	1 stk	€ 30.000,00	€ 30.000,00
4x betonnen buis rond 1,5m 50m onder weg doorpersen	200 m	€ 2.000,00	€ 400.000,00
Aanbrengen taludbuis	8 stk	€ 3.000,00	€ 24.000,00
Aanbrengen talud en bodem bescherming	300 m2	€ 60,00	€ 18.000,00
Gelei verbreden en verdiepen 145m lang * 10m2/m ontgraven	1450 m3	€ 15,00	€ 21.750,00
Geul over erfgrens. 140m lang 20m2.m ontgraven	2800 m3	€ 15,00	€ 42.000,00
<hr/>			
Directe kosten			€ 565.750,00
<hr/>			
Indirecte kosten + nader te detailleren	40%	€ 565.750	€ 226.300,00
Engineering	15%	€ 792.050	€ 118.807,50
Overige kosten	5%	€ 792.050	€ 39.602,50
Risicoreservering	15%	€ 950.460	€ 142.569,00
<hr/>			
Investeringskosten excl. BTW			€ 1.093.029,00
<hr/>			
BTW	21%	€ 1.093.029	€ 229.536,09
<hr/>			
Investeringskosten incl. BTW			€ 1.322.565,09

doorstroomprofiel 20 m2 voldoende voor ca. 40m3
huidig doostroom profiel Gelei ca. 10 m2, dus 10 m2 verruimen
stroomsnelheid ca. 0,5 m2/s in Gelei en watergang