

RAPPORT

Herinrichting Geleenbeek

CORIO GLANA 20 FASE 1 VAN MIDDENWEG TOT AGRICOLA STRAAT TE SITTARD

Siebe Bosch



hydroconsult
siebe bosch

specialists in water management

RAPPORT

Herinrichting Geleenbeek

CORIO GLANA 20 FASE 1 VAN MIDDENWEG TOT AGRICOLA STRAAT TE SITTARD

Siebe Bosch

Vervaardigd in opdracht van ViForis ten behoeve van Waterschap Limburg
versie 6.1 (definitief concept variant "ontvlochten")

Datum: 5 juni 2018



Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
2	Leeswijzer.....	7
3	Ontwerpcriteria	8
3.1	Inleiding	8
3.2	Criteria	8
3.3	Toetsingsgebeurtenis	10
4	Actualiseren modelschematisatie	12
4.1	Interpolatie tussen takken.....	12
4.2	Extra dwarsprofiel bovenstrooms Middenweg	12
4.3	Profiel benedenstrooms vernauwing meetgoot	14
4.4	Afkappen dwarsprofiel	14
4.5	Kokers Molenweg	15
4.6	Sturing molenstuw	17
4.7	Profielhoogte hoogwatergeul Molenweg	17
4.8	Ontbreken Oude Steenen Sluis	18
4.9	Profielen rond de Oude Steenen Sluis.....	19
4.10	Bodemhoogte Keutelbeek.....	20
4.11	Dwarsprofielen langs de tennisvelden	21
4.12	Onderlaat in de stadsbeek	21
4.13	Schotbalkstuw aftakking stadsbeek	21
4.14	Deelselectie modelschematisatie.....	22
5	Ontwerp	24
5.1	Tracé langs de tennisvelden	24
5.2	Tracé tussen molenvijver en tennisvelden	24
5.3	Overstromingsdrempel tussen de molenvijver en tennisvelden	25
5.4	Vertical slot Keutelbeek.....	27
5.5	Maaiveldhoogte rond Oude Steenen Sluis	27
5.6	Nieuwe brug Keutelbeek	28
5.7	Passage Molenweg	28
5.8	Brug onder de Molenweg.....	30
5.9	Hoogwaterstuw	30
5.10	Tracé tussen de Middenweg en Molenweg	31
6	Resultaten	33

6.1	Langsprofielen	33
6.2	Toetsing aan de ontwerpcriteria	35
7	Conclusies	44
7.1	Geschiktheid modelschematisatie.....	44
7.2	Implementatie ontwerp	44
7.3	Uitkomsten	45
8	Aanbevelingen	46
8.1	Overstromingsdrempel.....	46
8.2	Molenbrug	46
	BIJLAGEN	47
	BIJLAGE A	49

1 Inleiding

Via de heer Wim Droessen van het adviesbureau ViForis zijn wij benaderd om de hydraulische toetsing uit te voeren van het ontwerp van fase 1 van Highlight 20 van het project Corio Glana van waterschap Limburg.

Het te analyseren tracé betreft de Geleenbeek vanaf de Middenweg in Sittard tot de Agricolastraat.

Langs dit tracé wordt speciale aandacht gevraagd voor:

- Het verondiepen en versmallen van de beek tussen de Middenweg en de Molenweg
- De aanleg van een vispasseerbare beek, parallel aan de hoofdbeek tussen Middenweg en Molenweg met een dwarsverbinding via een overstroombaar fietspad
- Het (her)ontwerp van de hoogwatervoorziening met vispassage onder de Molenweg
- Het beschermen en functioneel houden van het bestaande historische monument de Ophovener Molen.
- Het inpassen van een vispassage langs de hoogwatervoorziening tussen Molenweg en molenvijver
- Het minimum en maximum peil in de molenvijver
- Het verwijderen van de hoogwaterstuw benedenstrooms van de molenvijver
- Het ontwerpen en vispasseerbaar maken van een hoogwaterdrempel in de Keutelbeek ter vervanging van de aanwezige moderne hoogwaterstuw
- Het herdimensioneren van Keutelbeek tussen de molenvijver en de Agricolastraat, met in achtneming van de eisen die het andere historisch monument, de Steenen Sluis, stelt aan de waterhoogtes
- Algemeen: hydraulische ruwheid van de verschillende ontwerpprofielen in relatie tot het nieuwe onderhoudsplan.

Bij de hydraulische toetsing kijken we naar verschillende afvoerclassen onder het huidige klimaat. We toetsen het ontwerp met het simulatiemodel SOBEK, versie 2.14.001, van kennisinstituut Deltares (met als patch *parsen.exe* versie 2.6.56.38912 ten behoeve van de interpolatie tussen takken) en baseren ons op de modelschematisatie van de Geleenbeek zoals die in de zomer van 2016 aan het waterschap is opgeleverd.

Daar waar het ontwerp van ViForis hydraulisch nog niet voldoet aan de ontwerpisen, wordt het ontwerp iteratief aangepast en opnieuw doorgerekend.

2 Leeswijzer

Hoofdstuk 3 beschrijft alle aanpassingen die we hebben doorgevoerd om de aangeleverde modelschematisatie van de regio geschikt te maken voor deze studie. In hoofdstuk 4 beschrijven we de afvoergebeurtenis die we hebben samengesteld om het ontwerp te kunnen toetsen en in hoofdstuk 5 volgt de implementatie van het ontwerp in de modelschematisatie. Hoofdstuk 6 bespreekt de uitkomsten.

Om praktische redenen hanteren wij in dit rapport de Angelsaksische schrijfwijze voor getallen. De aanleiding is dat we voornamelijk werken met internationaal gebruikte software. Dit betekent dat de decimaalscheider een punt (.) is en de duizendtalscheider een komma (,).

3 Ontwerpcriteria

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de criteria aangaande de werking van het watersysteem beschreven. In de volgende paragraaf bespreken we die criteria. Vervolgens beschrijven we een gebeurtenis waarmee we het ontwerp hydraulisch zullen toetsen.

3.2 Criteria

Meetgoot

Ca. 650 meter bovenstrooms van de Middenweg ligt een meetgoot van het waterschap. De meetgoot functioneert in de bestaande situatie uitsluitend bij afvoeren groter dan 2.5 m³/s. Als eis heeft het waterschap gesteld dat de waterhoogtes bij die afvoer niet verhoogd mogen worden.

Molenweg

De Ophovenermolen wordt ontlast bij extreme afvoeren en mag niet meer dan ca. 20 m³/s te verwerken krijgen. Dit wordt bewerkstelligd door de brug in de Molenweg te knippen. Onder de Molenweg wordt een nieuwe koker aangelegd ten behoeve van de bypass. Een nieuw aan te leggen vispassage wordt via de bestaande hoogwaterkokers geleid. Het doel is om bij de extreme afvoer van 48 m³/s het debiet als volgt te verdelen:

- ca. 20 m³/s via de Molenbrug en molenstuw
- ca. 20 m³/s via de nieuwe hoogwatergeul en -koker
- ca. 8 m³/s via de nieuw aan te leggen vispassage.

De natuurlijke beek is bedoeld om vismigratie te faciliteren. Van ViForis hebben we de ontwerpcriteria ontvangen: de stroomsnelheden mogen maximaal 0.95 m/s bedragen en de waterdiepte moet minimaal 45 centimeter zijn.

De waterhoogte mag onder geen van de doorgerekende afvoersituaties de 47.80 m + NAP overschrijden.

Molenvijver

De streefwaterstand (stuwpeil) voor de Molenvijver bedraagt 45.15 m + NAP. Onder normale omstandigheden mag de waterhoogte niet dieper wegzakken dan stuwpeil. Het is echter zo dat bij lage afvoeren dit streefpeil niet gehaald wordt. De oorzaak ligt in twee kunstwerken die stroomafwaarts in de stadsbeek liggen en een kruinhoogte hebben die lager ligt dan molenstreefpeil. In de modelschematisatie zijn dit de kunstwerken met ID's *Schotbalkstuw* en *193*.

- voor de schotbalkstuw, die in een zijbeek van de stadsbeek ligt, heeft bureau BAT de dimensies doorgegeven. De bodem ligt op 44.80 m + NAP. Later is met ViForis overeengekomen dit kunstwerk dicht te zetten. Dit is gedaan in de laatste versie van de modelschematisatie.

Op verzoek van het waterschap hebben wij het effect hiervan in de laatste versie van de modelschematisatie gecontroleerd door een variant te maken waarbij het kunstwerk open staat. In de dichte variant zien we bij de debietsklassen $\geq 8 \text{ m}^3/\text{s}$ niet meer dan 1.5 cm peilverhoging aan de stadsbeekzijde. Bij $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ is dit 4.5 cm en bij lagere afvoeren vrijwel nihil. Aan de keutelbeekzijde zien in de dichte variant bij de debietsklasse $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ een daling met 2.5 cm. Bij de andere debietsklassen is het verschil vrijwel nihil.

- voor de schuif in de stadsbeek (ID 193) hebben we de dimensies eveneens van bureau BAT ontvangen. De sturingsregels hiervan zijn tijdens de analyses iteratief vastgesteld op basis van het criterium dat er door de stadsbeek ten minste 300 l/s moet stromen.

Bij extreme afvoeren mag het ontwerp niet tot verhoging van de waterhoogtes in de molenvijver leiden. In de huidige situatie bedraagt de waterstand 46.53 m + NAP bij een beekafvoer van $48 \text{ m}^3/\text{s}$ (ca. $T=100$). Bij $40 \text{ m}^3/\text{s}$ bedraagt de waterhoogte 46.30.

Vertical slot en Keutelbeek

Vanaf de Molenvijver wordt de Keutelbeek vispasseerbaar gemaakt door een zogenoemd 'vertical slot' aan te brengen. De stroomsnelheden ter plaatse en in de benedenloop moeten onder nominale omstandigheden kleiner zijn dan 95 cm/s en de waterdiepte groter dan 45 cm.

Oude Steenen Sluis

De Oude Steenen Sluis mag onder nominale omstandigheden niet verdrinken. Voor zover bekend ligt de kruin van de onderspuier op 43.85 m + NAP. We hanteren deze hoogte als veilige marge voor het optreden van verdrinking.

Agricolastraat

De herinrichting mag geen verhoging van de waterhoogtes tot gevolg hebben aan de benedenstroomse zijde van het projectgebied; d.w.z. ter hoogte van de Agricolastraat.

Uitstroomvoorzieningen riolering

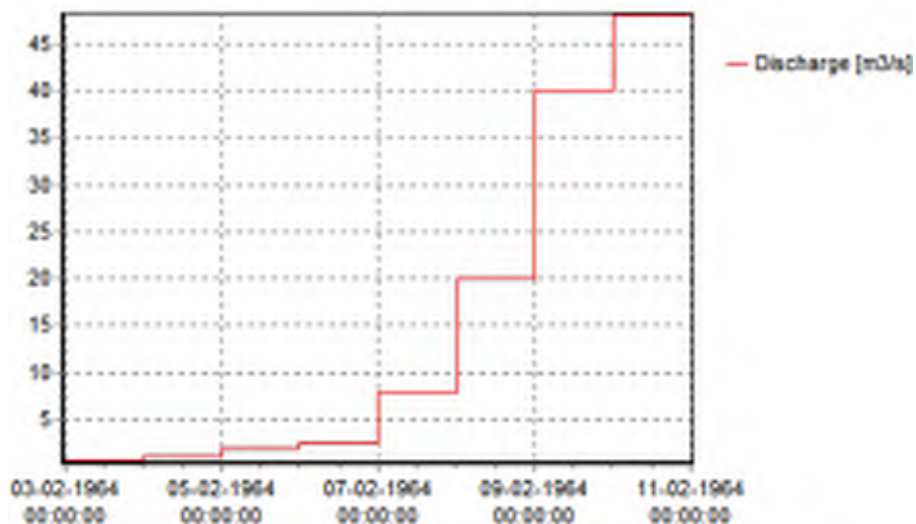
Uitgangspunt bij overstorten is dat de situatie niet verslechtert en dat zoveel mogelijk uitstroomvoorzieningen een vrije overstort kunnen hebben.

3.3 Toetsingsgebeurtenis

Om het ontwerp te kunnen toetsen aan de gestelde criteria hebben wij een toetsingsgebeurtenis opgesteld die is samengesteld uit een serie met achtereenvolgens de volgende beekafvoeren:

- 700 l/s lage afvoer. Zowel de stadsbeek als de Keutelbeek moeten voldoende water krijgen i.v.m. respectievelijk doorspoeling en vismigratie.
- 1.2 m³/s iets verhoogde afvoer.
- 2 m³/s de afvoer waarbij de een extra schuif van de molen wordt opgezet.
- 2.5 m³/s de afvoer vanaf welke de meetgoot functioneert.
- 8 m³/s grote afvoer. alle schuiven van de molen worden geopend.
- 20 m³/s hoogwatergeul treedt in werking doordat de stuw wordt gestreken. Herhalingstijd van deze gebeurtenis is ca. 10 jaar.
- 40 m³/s extreme gebeurtenis: de hoogwaterkokers onder de Molenweg zijn maximaal gevuld.
- 48 m³/s Gebaseerd op de zwaarste gebeurtenis uit de toetsingsreeks van het waterschap. Hij vertegenwoordigt een gebeurtenis met een herhalingstijd groter dan 100 jaar.

Voor iedere debietsklasse hebben we in de ontwerpgebeurtenis een etmaal de tijd gereserveerd om het model een evenwichtstoestand te laten bereiken.



Figuur 1 Samengestelde afvoergebeurtenis ten behoeve van toetsing van het ontwerp.

Bij het uitlezen van de modelresultaten is telkens de waterhoogte van het voorlaatste uur voor de overgang naar de nieuwe afvoerklasse uitgelezen:

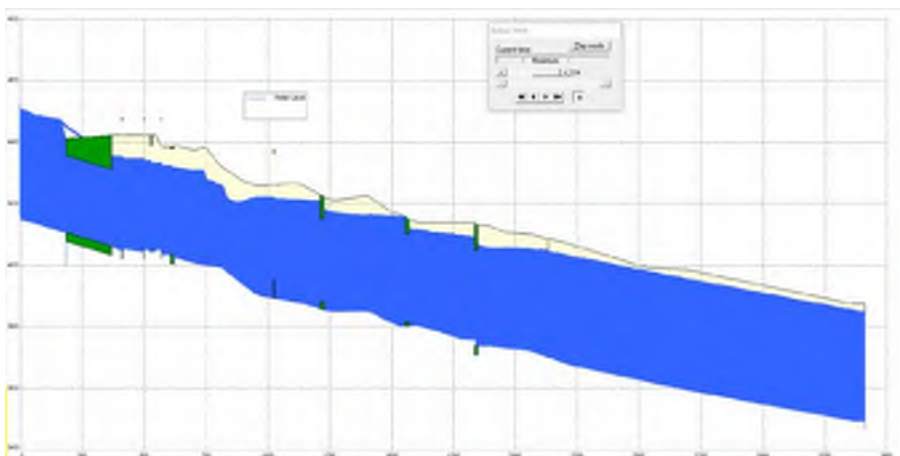
- 3-2 23:00 voor de gebeurtenis met 700 l/s
- 4-2 23:00 voor de gebeurtenis met 1.2 m³/s
- 5-2 23:00 voor de gebeurtenis met 2.0 m³/s
- 6-2 23:00 voor de gebeurtenis met 2.5 m³/s
- 7-2 23:00 voor de gebeurtenis met 8 m³/s
- 8-2 23:00 voor de gebeurtenis met 20 m³/s
- 9-2 23:00 voor de gebeurtenis met 40 m³/s
- 10-2 23:00 voor de gebeurtenis met 48 m³/s

De datums hebben op zichzelf geen betekenis.

De benedenrand ligt dusdanig ver weg dat hij de modeluitkomsten in het studiegebied niet beïnvloedt. We hebben een lineaire QH-relatie geschat op basis van modeluitkomsten van het gebiedsdekkende model. Dit hebben we gedaan ter hoogte van knoop 7.

- Bij 35 m + NAP geen afvoer
- Bij 38.7 m + NAP een debiet van 48 m³/s

Figuur 2 toont aan dat de benedenrand dusdanig ver van het studiegebied is gekozen (> 3 km) en een verval van ca. 7 m dat er geen beïnvloeding van de modeluitkomsten in het studiegebied mogelijk is.



Figuur 2 De benedenrand is dusdanig ver benedenstrooms gekozen dat er ook bij een volledig gevuld profiel geen beïnvloeding van de waterhoogtes in het studiegebied plaatsvindt.

4 Actualiseren modelschematisatie

De basis voor de modelschematisatie betreft het model getiteld GLB26e03, met case *GLB26v01b 1D2DRR k=huidig, toetsing BOOST zonder HL20/21 v4 BUI1 aanp. 2D*. Dit model ontvingen we op 27 augustus 2017 van het waterschap en het bevat de laatste inzichten in maaiveldhoogtes in het gebied. Het model bevat nog geen ingrepen in het kader van *highlights* 20 en 21.

Om ingrepen in het watersysteem tussen de Middenweg en de Agricolastraat te kunnen analyseren moet het model zo nauwkeurig mogelijk de bestaande situatie vertegenwoordigen. Het model is echter gemaakt voor hoogwaterstudies op het schaalniveau van de gehele Geleenbeek en daardoor minder geschikt voor het analyseren van ingrepen op lokaal niveau. Daarom hebben wij een aantal verbeteringen en verfijningen doorgevoerd om de modelschematisatie ter plaatse meer detail te geven en het derhalve bruikbaar te maken.

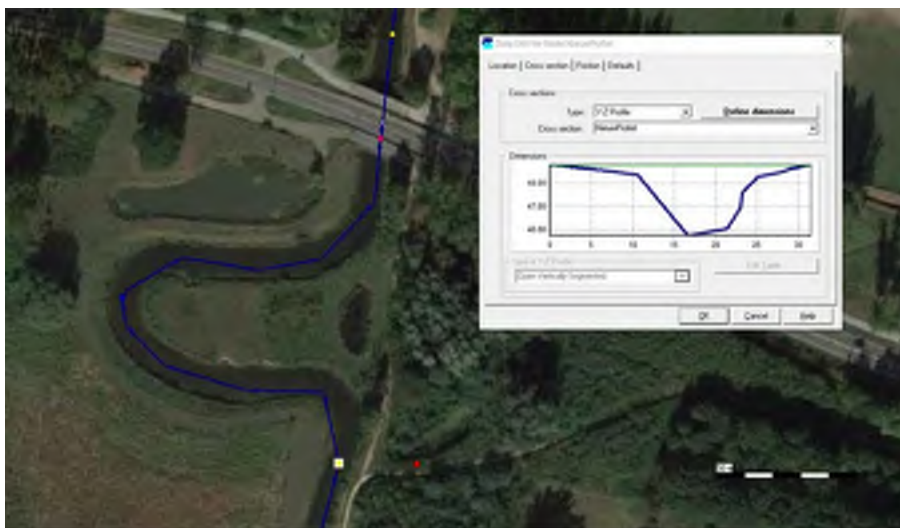
4.1 Interpolatie tussen takken

Bij het doorvoeren van de verbeteringen, maar ook in een later stadium bij het schematiseren van het definitief ontwerp, moesten op diverse plaatsen takken in het SOBEK-model worden opgeknipt. Dit opknippen heeft als groot nadeel dat de boven- en benedenstrooms gelegen dwarsprofielen niet langer worden geïnterpoleerd naar de tussenliggende rekenpunten en dat er een ongewenste bodemsprong ontstaat bij de overgang tussen de twee takken.

Om dergelijke bodemsprongen te voorkomen zijn we overstapt op SOBEK versie 2.14.001 met een patch van PARSEN.EXE, te weten versie 2.6.56.38912. Hiermee is het mogelijk om op de overgang tussen twee takken toch het interpoleren van de omringende profielen af te dwingen.

4.2 Extra dwarsprofiel bovenstrooms Middenweg

Nabij de nieuwe meander bovenstrooms van de Middenweg had het waterschap een extra dwarsprofiel ter plaatse tot haar beschikking. Dit hebben we op hun verzoek toegevoegd aan de modelschematisatie. Ook hebben we het rekenrooster verfijnd zodat alle rekencellen uit de 2D-module een corresponderend rekenpunt in de 1D-module kregen.



Figuur 3 Nieuw ingevoegd dwarsprofiel aan bovenstroomse zijde van de Middenweg.

Tabel 1 Kentallen van het nieuw ingevoegde dwarsprofiel, bovenstrooms van de Middenweg

Y (m)	Z (m + NAP)
0	48.787
0.836	48.777
6.389	48.555
10.63	48.354
15.301	46.334
16.751	45.739
21.458	46.074
22.979	46.958
23.24	47.592
25.127	48.253
27.854	48.479
29.02	48.61
31.531	48.796

4.3 Profiel benedenstrooms vernauwing meetgoot

De meetgoot, bovenstrooms van de Middenweg, bestaat uit een betonnen bak met een vernauwing. In de aangeleverde modelschematisatie zijn wel dwarsprofielen aanwezig voor het bovenstroomse gedeelte (profiel Bkdl_DP06.001.140521.01) en de vernauwing zelf (profiel Bkdl_DP06.001.140521.02), echter geen profiel voor het benedenstroomse gedeelte.

Op verzoek van het waterschap hebben wij daarom het profiel van het bovenstroomse gedeelte gekopieerd naar de benedenstroomse zijde van de meetgoot en deze kopie 5 cm verlaagd.

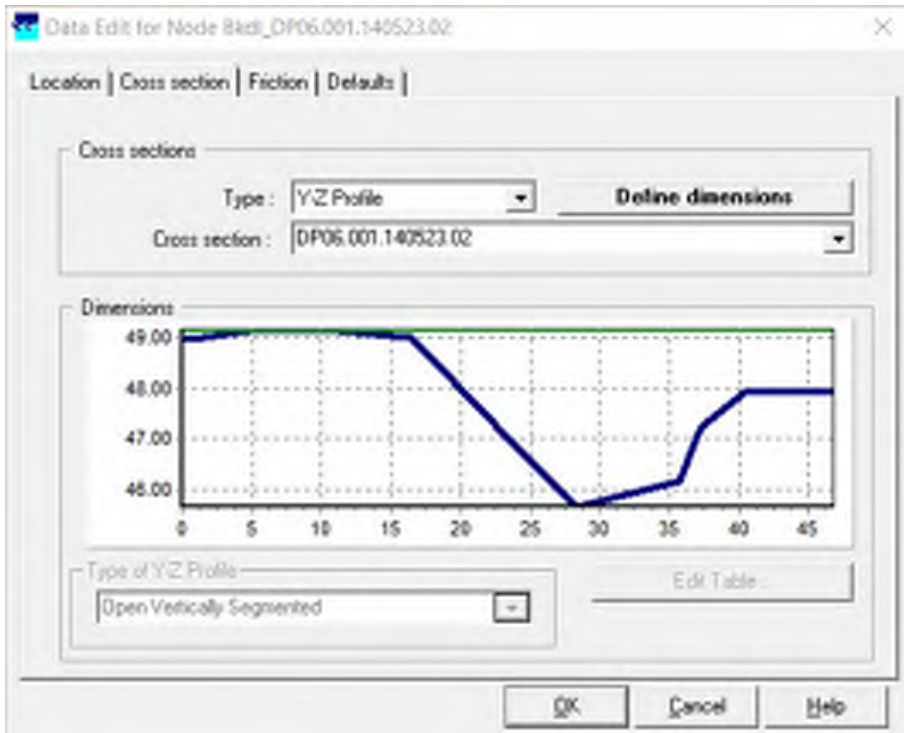


Figuur 4 Dwarsprofiel van de meetgoot gekopieerd naar benedenstroomse zijde.

In de bovenstaande figuur bevat het profiel copyMeetgoot derhalve de profieldefinitie van profiel Bkdl_DP06.001.140521.01 en een 'vertical shift' van -0.05 m.

4.4 Afkappen dwarsprofiel

Op verzoek van het waterschap hebben wij het dwarsprofiel Bkdl_DP06.001.140423.02, dat net bovenstrooms van de Middenweg is ingemeten, afgekapt op 40.376 m. vanaf de linker oever. Volgens het waterschap zat het rechter segment namelijk ook al in het gebruikte hoogteraster, waardoor dubbeltelling van het afvoerend oppervlak ontstond.



Figuur 5 Dwarsprofiel BkdI_DP06.001.140523.02 in oorspronkelijke vorm. Het rechter segment vanaf 40 m is vervolgens afgeknipt.

4.5 Kokers Molenweg

Onder de molenweg, in de hoogwatergeul, liggen twee grote kokers. Deze vormden geen onderdeel van de oorspronkelijk aangeleverde modelschematisatie in SOBEK. Volgens het waterschap hebben ze de volgende dimensies: lengte 18.7 m, hoogte 1.4 m, breedte 1.6 m. NAP-hoogte van de bodem inclusief sliblaag is in het kader van dit project ingemeten door het bedrijf Geonius en bepaald op 44.50 m + NAP. Als hoogte voor de bovenkant wordt een waarde van 46.67 m + NAP gegeven, waardoor de bodem uitkomt op 45.27 m + NAP. De dikte van de sliblaag bedraagt daarmee 22 cm.



Figuur 6 De hoogwaterkokers onder de Molenweg.

We hebben de betreffende kokers toegevoegd aan de modelschematisatie in de vorm van twee parallel liggende duikers. Tijdens een veldbezoek constateren we dat in de kokers een sliblaag van kale grond met wat stenen ligt. Daarom is de ruwheid daarvan op 0.03 (Manning's n) gezet. Voor de ruwheid van de wanden en het plafond hebben we 0.015 aangehouden.



Figuur 7 De kokers zijn toegevoegd aan de modelschematisatie in de vorm van twee parallel liggende duikers.

4.6 Sturing molenstuw

Na een groot scala aan problemen met de stabiliteit van het model ter hoogte van de Ophovener Molen is uiteindelijk opgelost met hulp van de SOBEK helpdesk. De molenstuw is in de aangeleverde modelschematisatie geschematiseerd als één brede onderlaat met een kruinbreedte van 4.80 m. In werkelijkheid betreft het meerdere kleine schuiven die naast elkaar liggen en die afzonderlijk worden geopend en gesloten.

Ondanks de zeer conservatieve instelling voor de kruinbeweging (maximaal 9 cm/min) resulteerde de interval-controller op deze stuw bij kleine afvoeren in een uiterst onstabiel verloop van de afvoer. Bij een beekafvoer van 700 l/s ontstond een oscillatie van de kruin, waarbij debieten tot 3 m³/s werden bereikt.

In de modelschematisaties hebben wij daarom de maximale kruinbeweging met een factor 10 gereduceerd, dus tot 0.9 cm/min. Deze ingreep loste alle instabiliteiten op. Wel is het raadzaam om voor implementatie in het operationele model te controleren of deze instelling ook realistisch is in een operationele context.

4.7 Profielhoogte hoogwatergeul Molenweg

In de aangeleverde modelschematisatie heeft het bovenstroomse profiel dezelfde bodemhoogte als het benedenstroomse, en dit is onterecht omdat de geul een flink verval heeft tussen het instroompunt en de molenvijver.

Het waterschap stelde desgevraagd dat er bovendien nog een fout in de profieldata zat en stuurde ons nieuwe gegevens toe. Onderstaande tabel bevat de kentallen van het nieuw aangeleverde profiel. Het is ingemeten net benedenstrooms van de kokers. Om tot een profiel aan het begin van de tak te komen moet het daar volgens het waterschap 88 cm worden opgetild (bodemhoogte op 45.55 m NAP); om tot een profiel aan het einde van de tak te komen moet het naar beneden worden getrokken zodanig dat de bodem op 44.00 m + NAP komt te liggen.

Tabel 2 Het nieuwe dwarsprofiel voor de hoogwatergeul.

Y (m)	Z (m + NAP)
-12.68	47.64
-7.515	47.2
-5.127	46.43
-2.836	45.84
-2.11	45.85
-2.021	45.65
-1.573	44.92
-0.863	44.83
-0.055	44.77
0.867	44.67
1.7	44.77
1.9	45.64
2.035	46.36
3.111	46.39
6.13	47.82
7.757	48.14
10.012	48.15
12.68	48.16

De bovengenoemde correcties hebben wij als zodanig doorgevoerd in de modelschematisatie.

4.8 Ontbreken Oude Steenen Sluis

De oude Steenen Sluis zit niet in de aangeleverde modelschematisatie, en dat geldt ook voor de watergang waaraan hij ligt. De sluis speelt geen belangrijke rol bij de afvoer, maar heeft wel degelijk een overstort van ca 3 m breed die bij waterhoogtes > 45.10 m + NAP gaat meedoen. Bovendien voorzien wij veel aanpassingen in de directe omgeving van de sluis en willen we na de herinrichting voorkomen dat dit historisch monument verdrinkt.

Op ons verzoek stuurde het waterschap ons per e-mail een inschatting van de dimensies. Daarnaast zijn enkele getallen afgestemd met Geonius, dat alle hoogtemetingen heeft verricht. Uiteindelijk is het kunstwerk met de volgende kentallen in de modelschematisatie opgenomen:

- totale breedte openingen: 3 m
- schuiven gesloten, dus openingshoogte 0 m
- hoogte drempel: 43.85 m + NAP
- hoogte overstort: 45.10 m + NAP
- totale breedte overstortdrempel: 3 m.
- geen sturing

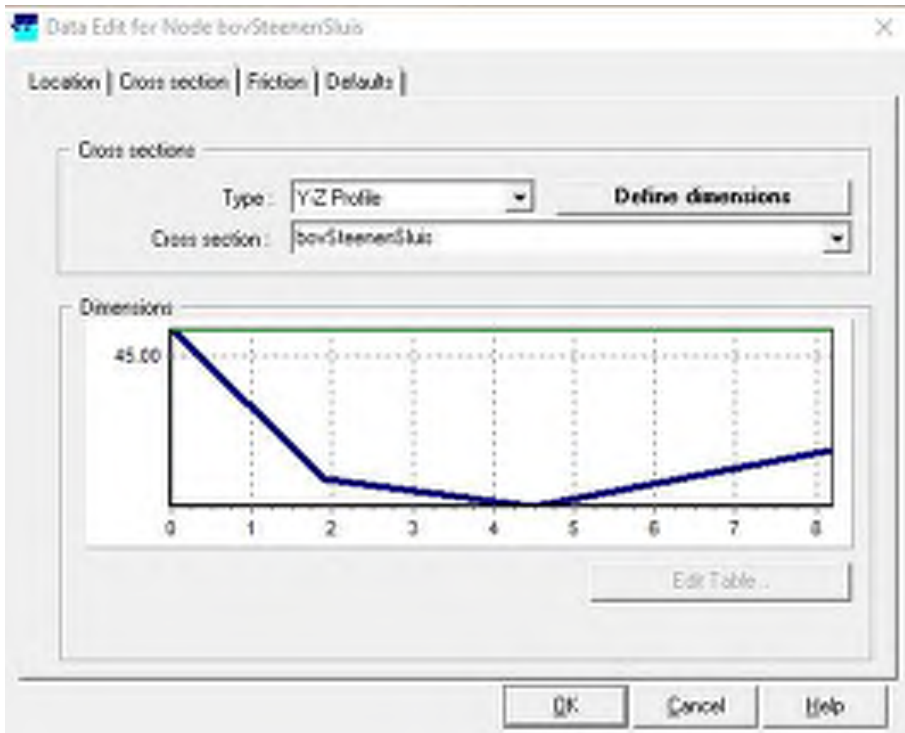


Figuur 8 De oude Steenen Sluis hebben wij geschematiseerd als een onderlaat met parallel daaraan een stuw. Op deze wijze kan zowel het spuien als overstorten van de sluis worden gemodelleerd.

Wij hebben de Oude Steenen Sluis in SOBEK gemodelleerd als een parallel liggende combinatie van een onderlaat en een stuw.

4.9 Profielen rond de Oude Steenen Sluis

Van Geonius ontvingen wij ingemeten profielen van de watergang bovenstrooms van de Oude Steenen Sluis. Deze waren nodig voor de modelschematisatie omdat de betreffende watergang er niet in was ondergebracht. We hebben het ingemeten profiel overgenomen in de schematisatie. Wel moet worden opgemerkt dat inmeten moeilijk is geweest i.v.m. de zware begroeiing en dat het profiel derhalve niet geheel compleet is.



Figuur 9 Dwarsprofiel van de beek net bovenstrooms van de Oude Steenen Sluis. Als gevolg van de zware begroeiing kon het profiel niet van kade tot kade worden ingemeten.

Het profiel bevat de volgende dimensies:

Y (m)	Z (m + NAP)
0	45.15
1.9	44.30
4.5	44.15
8.2	44.47

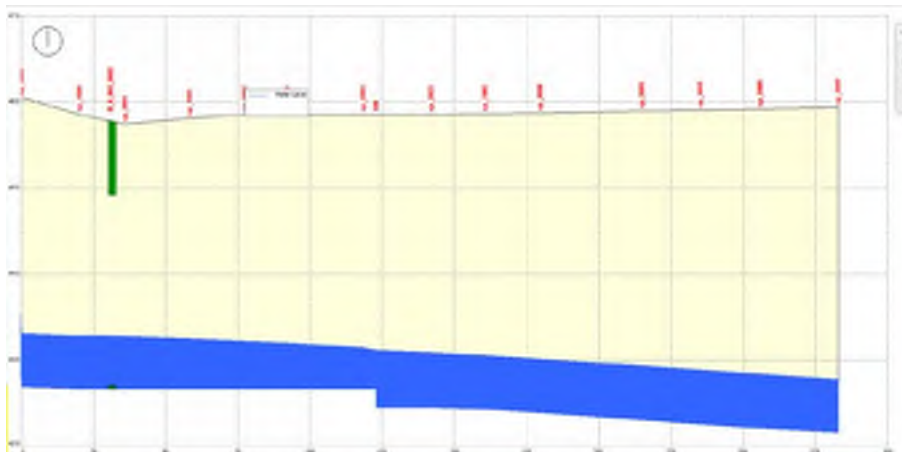
4.10 Bodemhoogte Keutelbeek

In verband met het historisch karakter van de Oude Steenen Sluis is het van belang om aan benedenstroomse zijde de juiste bodemhoogtes te hebben. Het dwarsprofiel in de modelschematisatie, net na samenvloeiing van de Keutelbeek met het water uit de Oude Steenen Sluis geeft een bodemhoogte van 42.66 m + NAP, maar de juistheid hiervan werd tijdens een projectoverleg in twijfel getrokken. Daarom hebben wij aan Geonius gevraagd de bodemhoogte hier nogmaals te meten. Zij noemen een hoogte van 43.04 m + NAP. In de modelschematisatie hebben wij

daarom het profiel een *vertical shift* gegeven van 38 cm en het verschoven naar het punt van samenvloeiing.

4.11 Dwarsprofielen langs de tennisvelden

Halverwege de Keutelbeek langs dit tracé, achter de tennisvelden langs, bevindt zich een zijwatergang die aantakt op de Keutelbeek. Er wordt echter niet geïnterpoleerd over de gebruikte *connection node*, waardoor in de modelschematisatie een bodemval optreedt, waarvan vooral bij lage afvoeren een effect op de berekende waterhoogtes merkbaar is. Dit hebben wij gecorrigeerd door over de twee takken van de Keutelbeek te laten interpoleren.



Figuur 10 een onrealistische bodemval, net bovenstrooms van de tennisvelden. Dit is het gevolg van het niet interpoleren van dwarsprofielen tussen twee takken.

4.12 Onderlaat in de stadsbeek

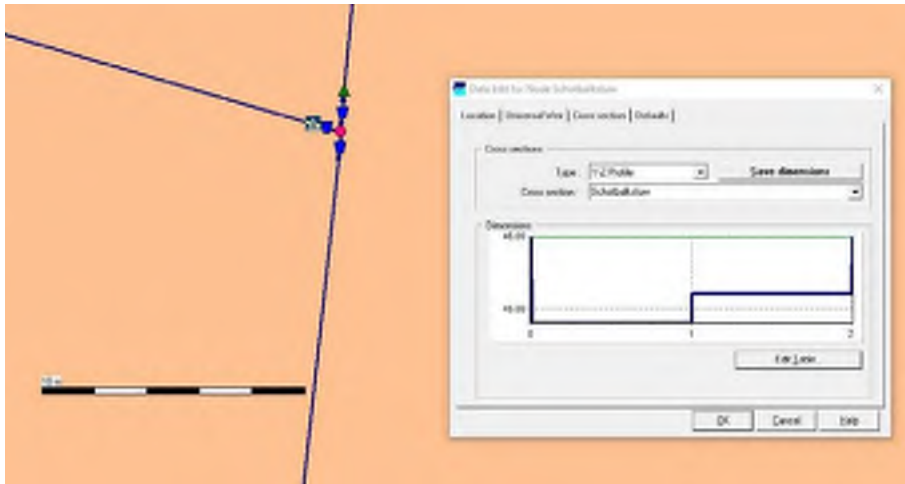
In de stadsbeek, net na de zijtak die terug de Keutelbeek instroomt, bevindt zich een onderlaat die handmatig wordt gestuurd op afvoer. Bureau BAT is goed bekend met de situatie ter plaatse en geeft aan dat afvoeren tot 1 m³/s mogelijk zijn, en dat 400 l/s voor de gemeente het minimaal wenselijk debiet is.

Het kunstwerk is geschematiseerd als een onderlaat (orifice) met een kruinbreedte van 1.20 m en een drempelhoogte van 44.25 m + NAP. De afvoer hebben we begrensd op 1 m³/s. Het kunstwerk heeft een vaste openingshoogte van 10 cm gekregen.

4.13 Schotbalkstuw aftakking stadsbeek

In de stadsbeek, net vóór de hiervoor genoemde onderlaat, bevindt zich een schotbalkstuw. Deze stuw zit niet in de bestaande modelschematisatie, en dat veroorzaakt 'lekkage' van water bij lage afvoeren. Sjaak Dehing van Bureau BAT is

goed bekend met de situatie ter plaatse en geeft aan dat de schotbalkstuw uit twee secties bestaat: een lage overstort van een meter breed op 44.80 m NAP en een hoge overstort van een meter breed op 45.20 m NAP. Wij hebben deze schotbalkstuw toegevoegd aan de schematisatie in SOBEK in de vorm van een Universal Weir.

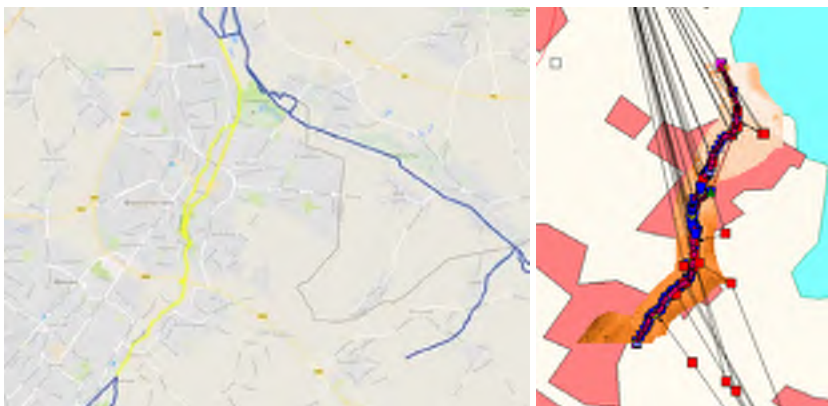


Figuur 11 Schematisatie van de schotbalkstuw.

Met de werkelijke dimensies trekt dit kunstwerk de waterhoogte in de molenvijver echter naar beneden; tot ruim onder het streefpeil van de molenvijver. In overleg met ViForis hebben wij het betreffende kunstwerk dichtgezet.

4.14 Deelselectie modelschematisatie

Om snelle analyses mogelijk te maken van de voorgenomen ingrepen hebben wij een deelselectie van de modelschematisatie gebouwd. De complete schematisatie doet namelijk ca 12 uren over het doorrekenen van een enkele bui.



Figuur 12 Deelselectie van takken ten behoeve van de analyses (links) en het resulterende model (rechts).

Het tracé tussen knoop HL18_cp_1549 en knoop 7 is uitgesneden en ook het hoogteraster is bijgesneden:

Xmin = 185200

Xmax = 190400

Ymin = 330700

Ymax = 337125

5 Ontwerp

Voor de details van het ontwerp verwijzen we naar de ontwerptekeningen van ViForis. Dit rapport behandelt de variant die bekend staat onder de naam 'ontvlochten'. Hierin is de vispassage onder de molenweg losgekoppeld van de bypass. Ten behoeve van de bypass wordt een nieuwe hoogwaterkoker onder de Molenweg gelegd.



Figuur 13 Impressie van het ontwerp in de omgeving van de Molenweg. Bron: ViForis.

In dit hoofdstuk bespreken we op welke wijze dit ontwerp is doorgevoerd in de modelschematisatie in SOBEK en welke keuzes hierbij zijn gemaakt. We bespreken de ingrepen één voor één van beneden- naar bovenstrooms. Daar waar in de modelschematisatie wordt afgeweken van het ontwerp, vermelden we dit en lichten we het toe.

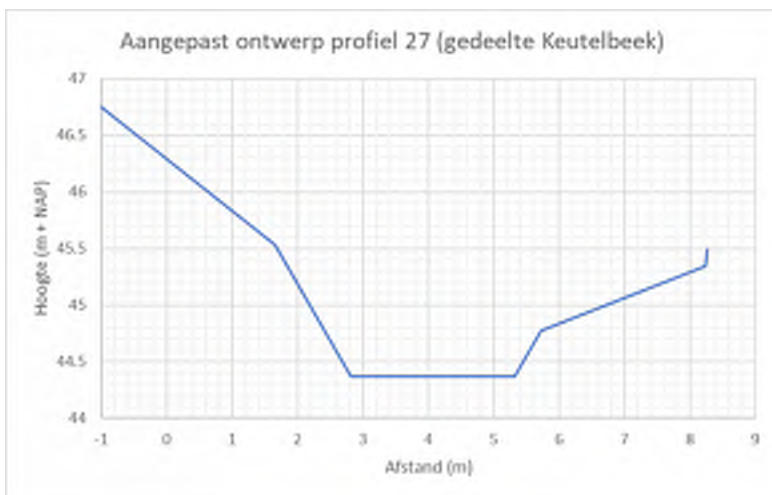
5.1 Tracé langs de tennisvelden

Voor het tracé langs de tennisvelden heeft ViForis een aantal nieuwe dwarsprofielen opgesteld. Deze hebben wij als zodanig doorgevoerd in de modelschematisatie. Het betreft profielen 41, 39, 37, 33 en 31. In overleg met het waterschap is besloten om dit tracé in eerste aanleg uit te voeren met een ruwheid van $22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ volgens Strickler.

5.2 Tracé tussen molenvijver en tennisvelden

Over het eerste stuk, van de molenvijver tot de zij-instroom vanuit de stadsbeek is in het ontwerpplan een ruwheid van 19 voorzien. In een iteratief ontwerpproces zijn wij voor de Keutelbeek gekomen tot een verbreding van de bodem tot ten minste 2.5 m en een wandruwheid van 15 volgens Strickler. Hiermee wordt dat Keutelbeek qua stroomsnelheden en waterdieptes vispasseerbaar gemaakt.

Ten opzichte van de oorspronkelijke ontwerptekeningen is dwarsprofiel 26 bij de bodem verbreed tot 2 m en zijn profielen 27 t/m 30 verbreed tot 2.5 m. In alle profielen werd de verbreding afgetrokken van het geplande talud aan de oostelijke zijde.



Figuur 14 Iteratief aangepast ontwerp van profiel 27, gedeelte Keutelbeek.

De fietsersbrug is in het de modelschematisatie dusdanig groot uitgevoerd dat hij nauwelijks opstuwende werking zal hebben.

5.3 Overstromingsdrempel tussen de molenvijver en tennisvelden

Een lange overstromingsdrempel moet voorkomen dat er te veel water via de Oude Steenen Sluis en de stadsbeek gaat stromen. Bovendien moet hij zorgen dat er geen te hoge peilen optreden in de molenvijver.

De drempel is ontworpen als een rand van ca. 100 m langs de oostzijde van de Keutelbeek en loopt in benedenstroomse richting in hoogte op. Bij de aanzet, op ca. 30 m afstand van de molenvijver, ligt hij op 45.15 m + NAP en aan het einde op 45.65 m + NAP. We merken op dat de laatstgenoemde hoogte iets lager is dan de waarde in de oorspronkelijke ontwerptekening. De nieuwe waarde hebben wij iteratief bepaald op basis van het afvoerverloop uit berekeningen met het SOBEK-model.

De stroming langs en over de drempel is in werkelijkheid een tweedimensionaal hydraulisch proces. In overleg met het waterschap is besloten om de drempel te schematiseren als een quasi-2D-netwerk bestaande uit parallel gelegen 1D-takken.



Figuur 15 De drempel is geschematiseerd als een viertal parallel liggende takjes met op elk daarvan een Universal Weir.

De drempel is door ons geschematiseerd in de vorm van vier dwarsverbindingen die parallel naast elkaar zijn geplaatst; elk 25 m breed en uitgevoerd met een stuw van het type 'Universal Weir' met een afvoercoëfficiënt van 0.4 en twee dwarsprofielen:

- Segment 1: loopt van 45.15 m + NAP naar 45.275 m + NAP
- Segment 2: loopt van 45.275 m + NAP naar 45.40 m + NAP
- Segment 3: loopt van 45.40 m + NAP naar 45.525 m + NAP
- Segment 4: loopt van 45.525 m + NAP naar 45.65 m + NAP

De aanleiding om te kiezen voor een kunstwerk van het type *universal weir* is dat dit type stuw ons in staat stelt om een schuin oplopende stuwkruin te schematiseren. Om te garanderen dat de stuw functioneert als een scherpe overlaat hebben we de dwarsprofielen aan weerszijden gelijk gelegd aan de bodem van de watergang.

Verder zijn de ontwerpprofielen van ViForis toegepast op de takken langs dit tracé. Hierbij moeten we opmerken dat we in de modelschematisatie het oostelijke deel van de profielen 26, 27 en 28 kunstmatig met 10 m hebben verbreed. De aanleiding hiervoor ligt in de wijze waarop de drempel in SOBEK geschematiseerd is. Doordat hij in de schematisatie uit slechts vier segmenten is opgebouwd, vergde het een onrealistisch groot verhang voor het water om de eerste dwarsverbinding te bereiken, die op 65 meter afstand van de molenvijver aftakt van de loop. In werkelijkheid begint de drempel al op ca. 32 meter van de molenvijver.

Bij de hydraulische analyses constateerden we verder dat de Keutelbeek langs de westzijde van de drempel een grote opstuwing en stroomsnelheden veroorzaakte. Zoals in de vorige alinea uiteengezet hebben we de bodembreedte van de Keutelbeek ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp verbreed.

Gezien het bovenstaande lijkt de quasi-2D-schematisatie van de drempel niet ideaal. Een volledige 2D-benadering met hoge resolutie zou meer recht doen aan de complexiteit van de stroming over en rond dit kunstwerk.

5.4 Vertical slot Keutelbeek

Bij de aanzet van de overlooptdrempeel is een vispassage gepland in de vorm van een zgn. *vertical slot*. Deze hebben we in SOBEK geschematiseerd in de vorm van een *Flow – Orifice* met een drempelhoogte van 44.65 m + NAP, een drempelbreedte van 40 cm en een openingshoogte van 40 cm.

5.5 Maaiveldhoogte rond Oude Steenen Sluis

Tenslotte hebben we de maaiveldligging rond de Oude Steenen Sluis aangepast om te voorkomen dat bij extreme situaties te veel water door de stadsbeek, door de sluis en over het maaiveld ter plaatse zou stromen. De gemarkeerde cellen in Figuur 14 hebben een hoogtewaarde van 46.75 m + NAP gekregen om dit te bewerkstelligen. Deze maaiveldverhoging is nog geen onderdeel van de ontwerp-tekening.



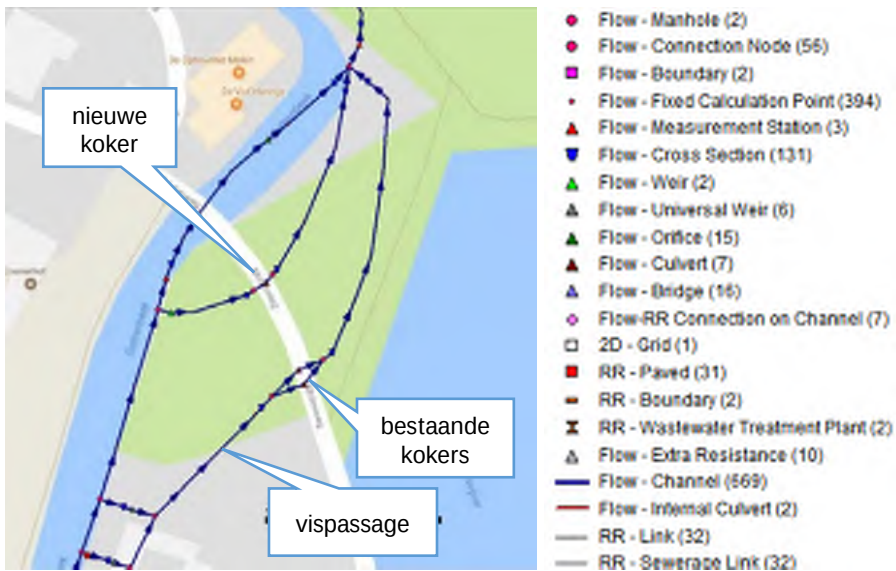
Figuur 16 rekencellen die verhoogd zijn om onbedoelde stroming over het maaiveld te voorkomen.

5.6 Nieuwe brug Keutelbeek

In het ontwerp is een nieuwe brug voorzien, benedenstrooms van de Molenvijver, ter hoogte van de overstortdrempel en de aftakking naar de stadsbeek. Deze brug hebben wij bewust niet in de modelschematisatie opgenomen. Het betreft namelijk een vrije overspanning en de onderkant van het brugdek ligt met 46.80m + NAP ruim boven de hoogste waterstand die in de simulaties bereikt wordt.

5.7 Passage Molenweg

Conform de ontwerpvariant “onvlochten” is de modelschematisatie uitgebreid met een nieuwe hoogwatergeul, -stuw en bijbehorende koker onder de Molenweg. De ontworpen vispassage loopt via de parallel gelegen bestaande hoogwaterkokers.



Figuur 17 Ontwerpvariant "ontvlochten", zoals geschematiseerd in SOBEK.

Iteratief hebben we de dimensies van de nieuwe koker vastgesteld op 6 x 1.5 m, met de bodem op resp. 45.75 en 45.70 m + NAP.

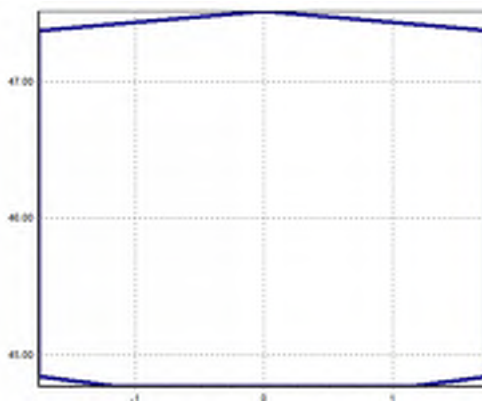
Tenslotte zijn we er bij het ontwerp van uitgegaan dat de beide bestaande kokers schoon zijn, en dus geen sliblaag bevatten. Dit in tegenstelling tot de bestaande situatie, waarbij in de kokers ca. 22 cm slib ligt.

Omdat de hoogwatergeul is ontworpen met een steenbestorting en woelbak die als doel hebben de stromingsenergie te vernietigen, hebben we hem uitgerust met een hoge wandruwheid volgens Manning van $0.1 \text{ s/m}^{1/3}$.

5.8 Brug onder de Molenweg

De Ophovener molen is een historisch monument en moet worden beschermd tegen al te grote afvoeren. In de vooroverleggrondes is overeengekomen dat de molen niet belast mag worden met afvoeren $> \text{ca. } 20 \text{ m}^3/\text{s}$. het doel is om bij een beekafvoer van $48 \text{ m}^3/\text{s}$ de resterende $28 \text{ m}^3/\text{s}$ te verdelen over de nieuwe hoogwatergeul met bijbehorende koker ($20 \text{ m}^3/\text{s}$) en de vispassage ($8 \text{ m}^3/\text{s}$).

Om dit te bewerkstelligen hebben we in de modelschematisatie het doorstromend profiel van de brug verkleind. De bodem van het profiel komt op gelijke hoogte als het (verondiepte) dwarsprofielprofiel van de bovenloop te liggen: op $44.77 \text{ m} + \text{NAP}$. De breedte is teruggebracht tot 3.50 m om aan de afvoereis te kunnen voldoen.



Figuur 18 Het doorstromend profiel van de Molenbrug is geknepen om de afvoer te limiteren.

5.9 Hoogwaterstuw

De nieuwe hoogwatergeul moet, net als de bestaande, worden uitgerust met een stuw die bij grote afvoeren wordt gestreken. Voor deze nieuwe stuw hebben we enkele dimensies en instellingen aangepast ten opzichte van de bestaande:

Tabel 3 Ontwerp van de hoogwaterstuw, vergeleken met de bestaande situatie.

	Bestaande situatie	Ontwerp
Kruinbreedte (m)	6	10
Peil waarboven kruin wordt gestreken (m + NAP)	47.20	47.20
Snelheid kruinbeweging (m/s)	0.0015	0.0015
Kruinhoogte in gestreken toestand (m + NAP)	46.15	45.50

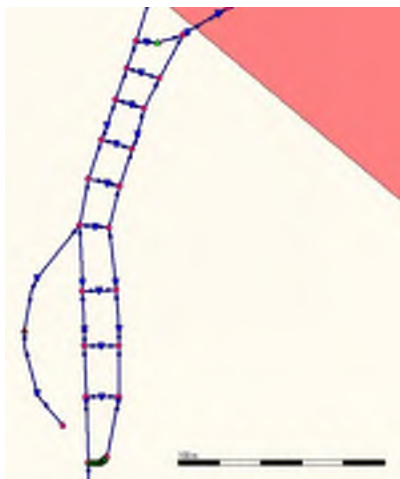
5.10 Tracé tussen de Middenweg en Molenweg

In de bestaande situatie is de watergang diep en traag stromend. Om hier verbetering in aan te brengen is het profiel in het ontwerp verondiept en versmald. Voor de ontwerpprofielen verwijzen we naar de ontwerptekeningen van ViForis. In het oorspronkelijke ontwerp is een ruwheid volgens Strickler voorzien van $19 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Uit onze berekeningen bleek echter dat deze ruwheid tot een stijging van de waterhoogtes zou leiden bij de meetgoot. Daarom is besloten voor dit tracé de ruwheid ongemoeid te laten t.o.v. de bestaande situatie: Manning $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$. Ook hebben wij ten opzichte van de ontwerptekeningen het profiel een meter breder gemaakt om te veel opstuwing tegen te gaan.

In het ontwerp is ook een bypass voorzien ten behoeve van de vispasseerbaarheid en belevingswaarde. Deze takt ca. 200 meter bovenstrooms van de hoogwaterstuw af van de hoofdloop en loopt parallel langs de oostelijke zijde, om net bovenstrooms van de hoogwaterkokers weer aan te takken. Tussen de hoofdloop en de bypass komt een fietspad te liggen, met een kruinhoogte van ca. $47.70 \text{ m} + \text{NAP}$. De bypass heeft een ruwheid gekregen van $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ volgens Strickler.

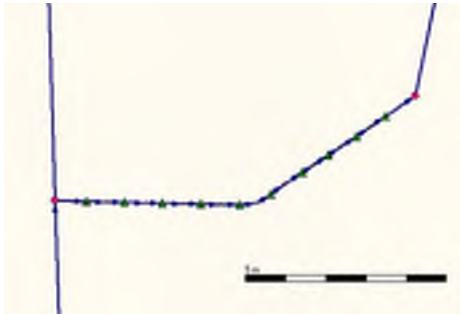
Omdat het fietspad bij grote waterhoogtes kan overstromen, is de hoofdgeul met de bypass in SOBEK verbonden via een achttal dwarsverbindingen. Het dwarsprofiel op deze verbindingen vertegenwoordigt telkens de hoogte en overstromende breedte van het fietspad.

Ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp hebben wij een aanpassing gedaan aan de hoogte van het fietspad aan bovenstroomse zijde: bovenstrooms van de loopbrug is het fietspad verhoogd tot $48.20 \text{ m} + \text{NAP}$ om te voorkomen dat bij hoogwater te veel water via het fietspad naar de hoogwatergeul en vispassage stroomt.



Figuur 19 Schematisering van de hoofdgeul en bypass in SOBEK.

Aan de inlaatzijde van de bypass is in het ontwerp een technische vispassage voorzien. Deze moet een verschil in waterhoogte van ca. 1 meter overbruggen. In de modelschematisatie hebben wij de vispassage geïmplementeerd als een tiental in serie geschakelde onderlaten, elk met een doorsnede van 40 x 40 cm. De drempelhoogtes van deze onderlaten lopen in benedenstroomse richting stapsgewijs af van 46.95 m + NAP en 45.95 m + NAP.



Figuur 20 De technische vispassage is geschematiseerd als tien in serie geschakelde onderlaten.

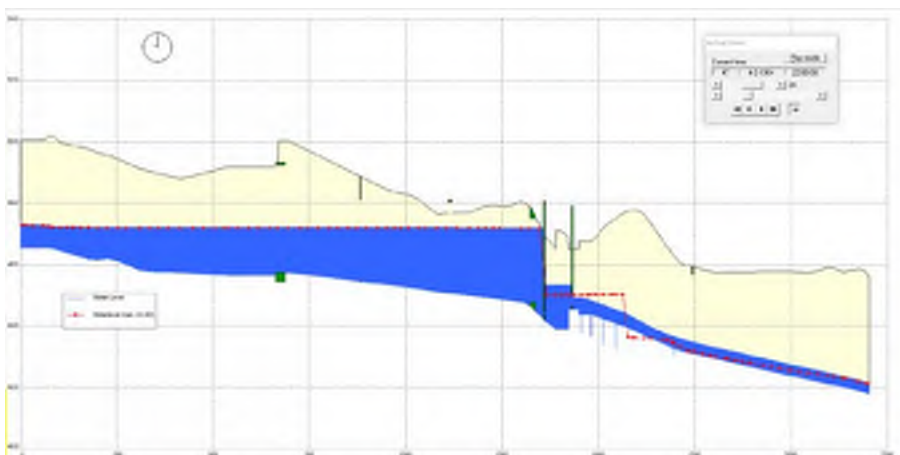
Tenslotte bevat dit tracé langs de westzijde twee oude meanders. Die worden ten behoeve van hun waterbergende functie en de belevingswaarde weer aan de hoofdloop gekoppeld.

6 Resultaten

In dit hoofdstuk bespreken we de uitkomsten van de hydraulische toetsing van het ontwerp. We tonen enkele langspatielen waarin we op grote lijnen de verschillen tussen huidige situatie en ontwerp tonen. Daarna gaan we in op specifieke ontwerpcriteria in relatie tot bijbehorende onderdelen van het watersysteem.

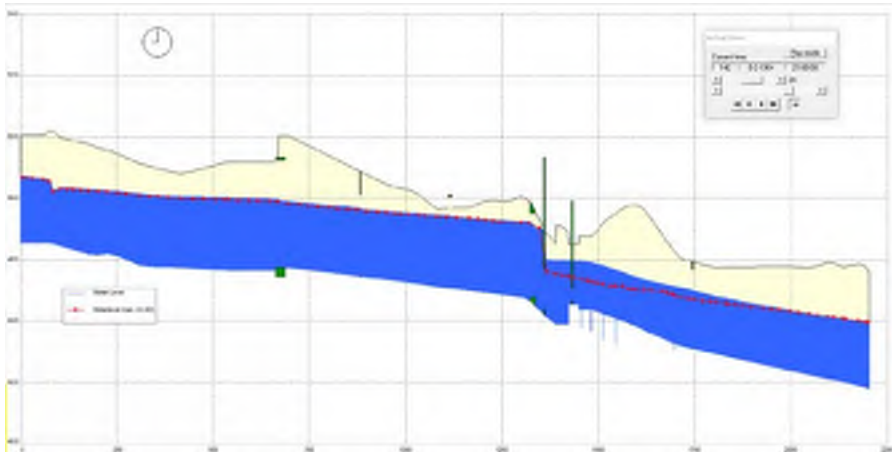
6.1 Langspatielen

Onderstaand presenteren we langspatielen voor resp. de afvoersituaties 1.2 m³/s, 20 m³/s en 48 m³/s. Het blauwe vlak vertegenwoordigt telkens de waterhoogtes in het ontwerp; de rode lijn de bestaande situatie. Het profiel is getrokken tussen de meetstuw en de Agricolastraat. Op ca. 700 m bevindt zich de Middenweg, op ca. 1350 m de Molenstuw en op ca. 1450 m het 'vertical slot'.



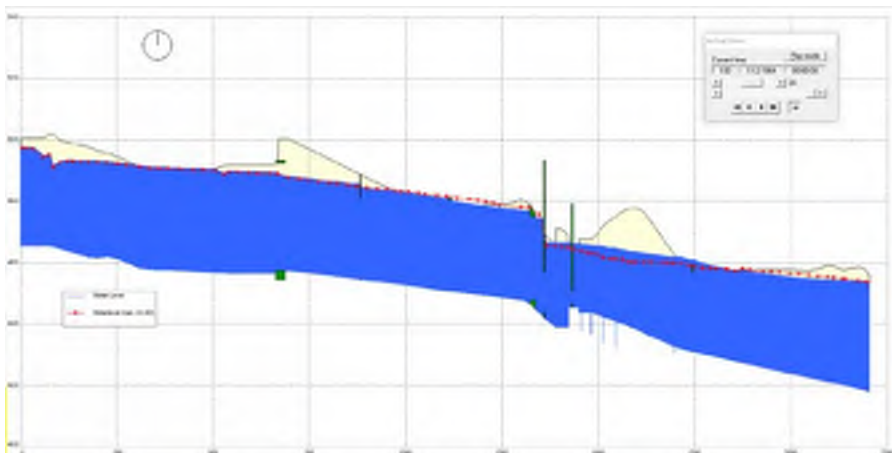
Figuur 21 Langspatiel bij 1.2 m³/s

Bij een kleine afvoer verandert de waterhoogte weinig. Grote afwijkingen zijn vooral lokaal ter plaatse van grote ingrepen te zien: benedenstrooms van de molenvijver is het verwijderen van de moderne Stenen Sluis te zien doordat het grote verval is verdwenen.



Figuur 22 Langsprofiel bij 20 m³/s.

Bij 20 m³/s zien we dat het verondiepen van de benedenloop resulteert in een groter verhang tussen de molenvijver en de Agricolastraat.



Figuur 23 Langsprofiel bij 48 m³/s.

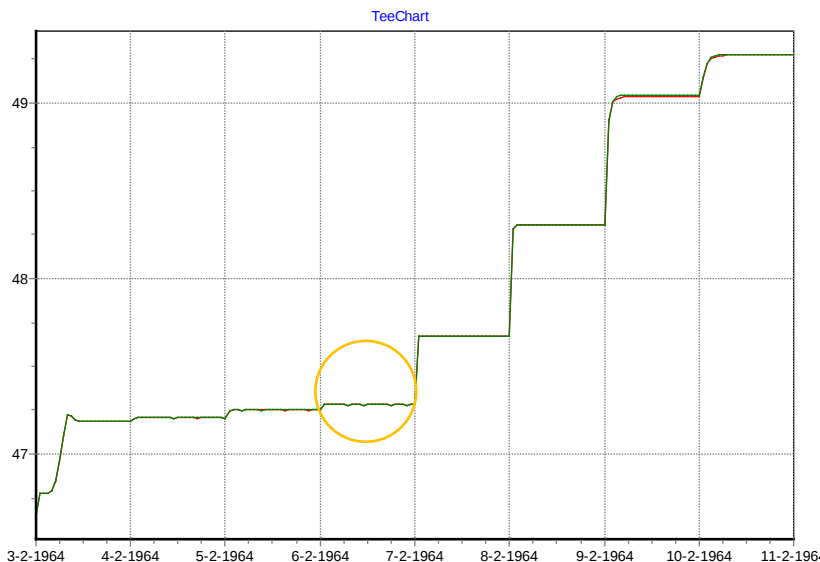
Bij de grootste afvoerklasse van 48 m³/s zien we een vergelijkbaar beeld. Daarnaast is het effect van de bypass tussen de Middenweg en Molenweg duidelijk merkbaar in het verhang.

6.2 Toetsing aan de ontwerpcriteria

Meetgoot

De meetgoot functioneert in de bestaande situatie uitsluitend bij afvoeren groter dan 2.5 m³/s. Als eis heeft het waterschap gesteld dat de waterhoogtes bij die afvoer niet verhoogd mogen worden.

Als locatie voor de toetsing nemen we het rekenpunt cp_4667, dat direct benedenstrooms van de vernauwing in de meetgoot ligt.



Figuur 24 Waterhoogtes benedenstrooms van de meetgoot. Rood is bestaande situatie, groen is ontwerp. Afvoerklasse 2.5 m³/s is omcirkeld.

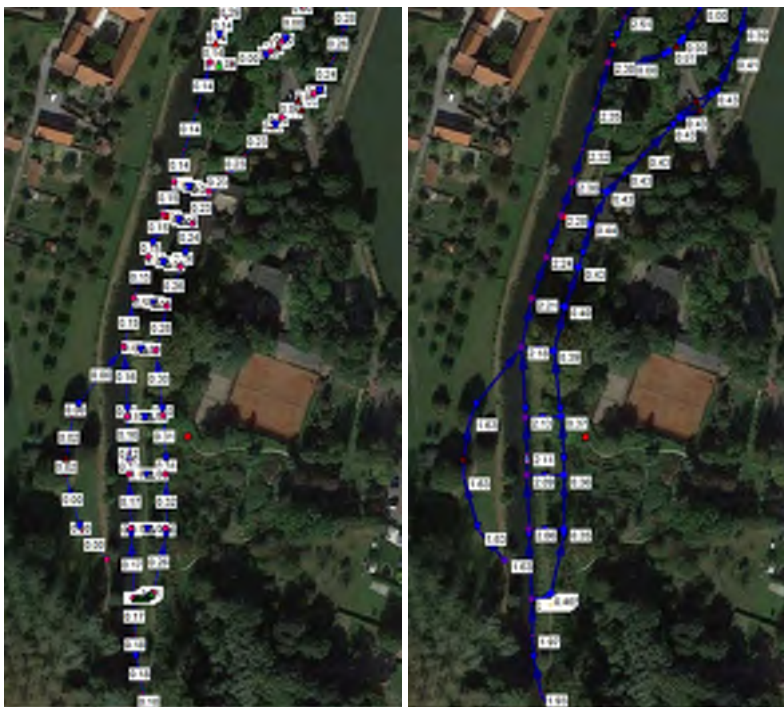
Uit de resultaten blijkt dat de waterhoogte bij 2.5 m³/s niet verhoogd is. Het ontwerp voldoet aan dit criterium.

Molenweg

Het doel is om bij de extreme afvoer van 48 m³/s het debiet als volgt te verdelen:

- ca. 20 m³/s via de Molenbrug en molenstuw
- ca. 20 m³/s via de nieuwe hoogwatergeul en -koker
- ca. 8 m³/s via de nieuw aan te leggen vispassage.

Uit de berekeningen volgt een verdeling van respectievelijk 21, 18 en 9 m³/s. Wij achten dit resultaat voldoende dicht bij de doelstelling en oordelen dat het criterium is gehaald.



Figuur 26 Stroomsnelheden (links) en waterdieptes (rechts) langs de natuurlijke vispassage (oostelijke tak) bij een beekafvoer van 1.2 m³/s.

Tenslotte mag de waterhoogte onder geen van de doorgerkende afvoersituaties de 47.80 m + NAP overschrijden. Dit is het geval. Ook aan dit criterium wordt voldaan.

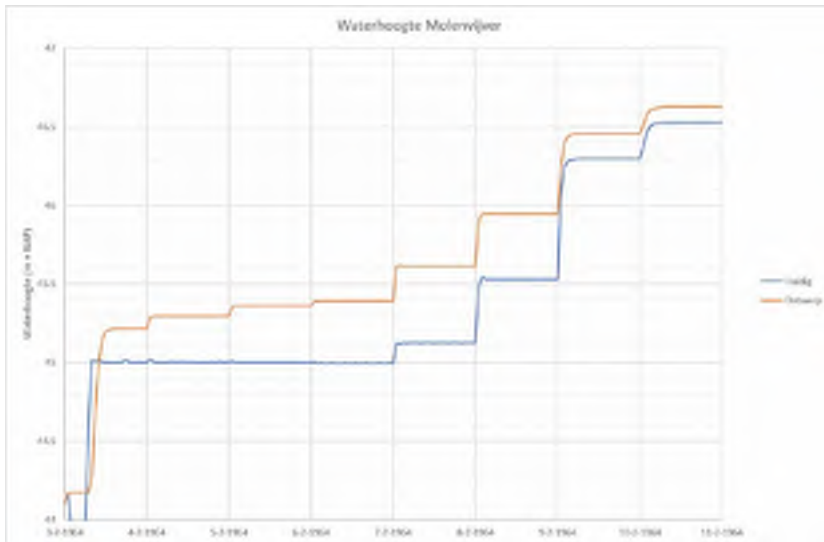
Molenvijver

Onder nominale omstandigheden mag de waterhoogte in de molenvijver niet dieper wegzakken dan stuwpeil. Aan dit criterium wordt voldaan.

Bij extreme afvoeren mag het ontwerp niet leiden tot verhoging van de waterhoogtes in de molenvijver. Tabel 4 toont de waterhoogtes die optreden bij de twee hoogste afvoerclassen.

Tabel 4 Waterhoogtes in m + NAP in de molenvijver onder verschillende afvoerclassen.

	Huidig	Ontwerp
40 m ³ /s	46.29	46.46
48 m ³ /s	46.53	46.63



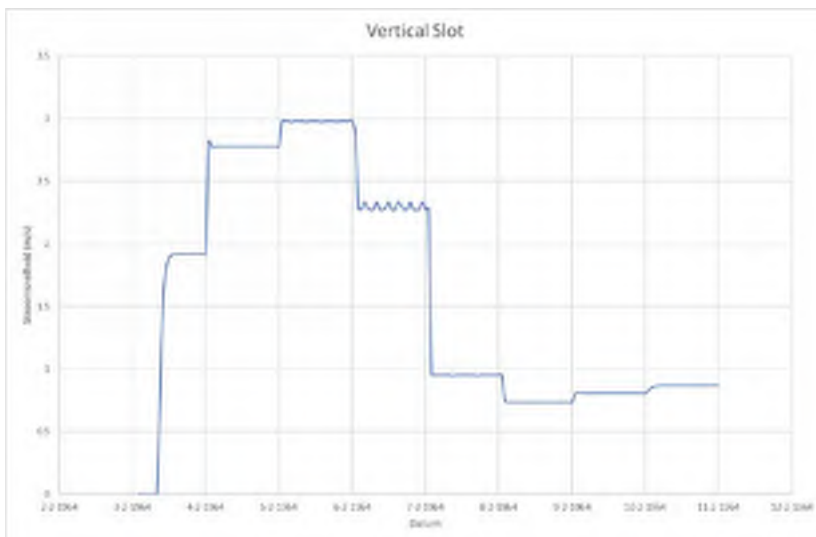
Figuur 27 Waterhoogte in de Molenvijver onder de verschillende afvoerlassen.

Uit de resultaten blijkt dat het ontwerp resulteert in flink hogere waterhoogtes. Bij de afvoerlassen tot 20 m³/s (datum 8-2) is dit geen bezwaar omdat de waterhoogtes dan nog ruimschoots onder de terrashoogte van de molen blijven. Bij de afvoerlassen 40 en 48 m³/s zien we verhogingen met resp. 17 en 10 cm.

We oordelen dat het ontwerp niet voldoet aan dit criterium.

Vertical slot en Keutelbeek

De stroomsnelheden door het vertical slot en de benedenloop moeten onder nominale omstandigheden kleiner zijn dan 95 cm/s en de waterdiepte groter dan 45 cm. Figuur 26 toont het verloop van de stroomsnelheden door het *vertical slot* in de tijd.



Figuur 28 stroomsnelheden door het vertical slot onder de verschillende afvoerlassen.

Uit de resultaten blijkt dat het *vertical slot* onder geen van de afvoerlassen aan de ontwerpcriteria voldoet: overall is de stroomsnelheid groter dan 1 m/s, met een maximum van bijna 3 m/s onder de afvoerklasse 2 m³/s.

Dat de stroomsnelheid onder grotere afvoeren weer afneemt is eenvoudig te verklaren aan de hand van het feit dat dan de overstromingsdrempel in werking treedt en daardoor aan de benedenstroomse zijde van het *vertical slot* een verhoging van de waterhoogte optreedt.

We concluderen dat het concept van dit 'vertical slot' op dit moment niet voldoet om de overstortdrempel vispasseerbaar te maken, en dat hier een technische vispassage noodzakelijk is. Voor deze vispassage is een afzonderlijke uitwerking nodig.

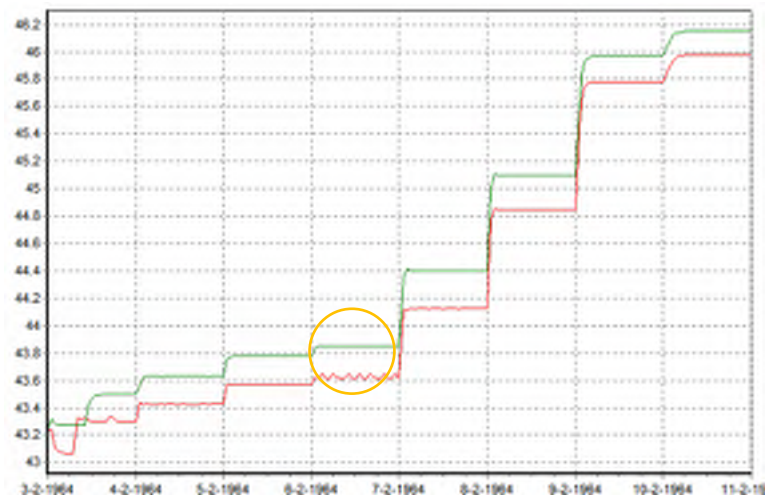
Ook de Keutelbeek zelf, benedenstrooms van de Molenvijver, moet vispasseerbaar zijn. Dit blijkt wel het geval. Onder nominale omstandigheden zijn de stroomsnelheden beperkt tot ca. 70 cm/s en bedraagt de waterdiepte doorgaans meer dan 65 cm.



Figuur 29 Stroomsnelheden in m/s (links) en waterdieptes in m (rechts) in de Keutelbeek bij een beekafvoer van $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Oude Steenen Sluis

De Oude Steenen Sluis mag onder nominale omstandigheden $43.85 \text{ m} + \text{NAP}$ niet overschrijden. Uit de simulatieresultaten blijkt dat de waterhoogtes als gevolg van de ingrepen wel toenemen, maar dat de onderspuier nog net niet verdrinkt onder de afvoerclassen t/m $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

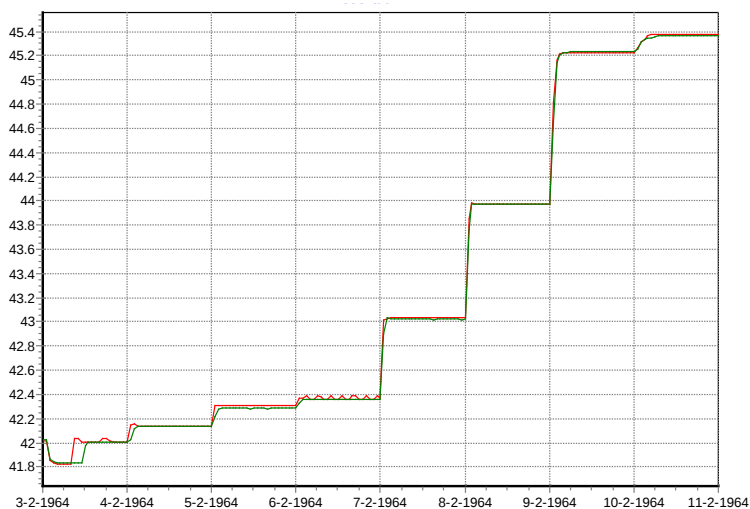


Figuur 30 Waterhoogte benedenstrooms Oude Steenen Sluis onder de huidige inrichting (rood) en het ontwerp (groen). De afvoerklasse 2.5 m³/s is omcirkeld.

We concluderen dat het ontwerp op dit punt voldoet aan de gestelde criteria.

Agricolastraat

De herinrichting mag geen verhoging van de waterhoogtes tot gevolg hebben aan de benedenstroomse zijde van het projectgebied; d.w.z. ter hoogte van de Agricolastraat.



Figuur 31 Waterhoogtes ter hoogte van de Agricolastraat onder huidige inrichting (rood) en ontwerp (groen).

We oordelen dat het criterium wordt gehaald en dat het ontwerp op dit punt voldoet.

Uitstroomvoorzieningen riolering

Uitgangspunt bij overstorten is dat de situatie niet verslechtert en dat zoveel mogelijk overstortlocaties een vrije overstort kunnen hebben. Langs het tracé ligt een vijftal overstortlocaties, waarvan we in Figuur 28 de ligging en drempelhoogte tonen.



Figuur 32 Ligging en drempelhoogte riooloverstorten.

In de onderstaande tabel tonen we het resultaat van de toetsing

Tabel 5 toetsing aan overstorthoogtes riolering. H=huidige inrichting, O=ontwerp.

Overstort	1		2		3		4		5	
Variant	H	O	H	O	H	O	H	O	H	O
Drempel (m + NAP)	49.00		51.50		46.47		44.75		43.97	
8 m ³ /s								44.23	43.04	43.05
20 m ³ /s							44.70	44.96	43.97	43.98
40 m ³ /s					46.29	46.46	45.64	45.85	45.23	45.23
48 m ³ /s	48.68	48.75	47.90	48.07	46.53	46.62	45.85	46.05	45.38	45.38

Uit de tabel kan worden afgeleid dat overstorten 1 en 2 onder alle omstandigheden voldoen; zowel in de bestaande situatie als voor het ontwerp. Overstort 3 verdrinkt in beide varianten pas boven 40 m³/s. Overstort 4 verslechtert als gevolg van het ontwerp en verdrinkt ergens tussen een beekafvoer van 8 m³/s en 20 m³/s. In de bestaande situatie gebeurt dat pas boven 20 m³/s. Bij overstort 5 verandert vrijwel niets en verdrinkt de overstort bij een afvoer tussen 8 m³/s en 20 m³/s.

Gezien de extreme zeldzaamheid van afvoeren groter dan 40 m³/s kunnen we concluderen dat alleen overstort 4, gelegen naast de tennisvelden, negatieve gevolgen ondervindt van het beekherstel. Het verondiepen van de Keutelbeek zorgt ervoor dat deze overstort in de toekomst zal verdrinken bij beekafvoeren tussen 8 m³/s en 20 m³/s. Bij de bestaande inrichting ligt dit net boven de 20 m³/s.

Ter illustratie: een beekafvoer van 20 m³/s heeft een herhalingstijd van naar schatting eens per 10 jaar. 8 m³/s ca. eens per jaar.

7 Conclusies

Dit rapport beschrijft de opzet en uitkomsten van een hydraulische toetsing van het beekherstelproject in Sittard getiteld Corio Glana Highlight 20, fase 1. Het betreft een herinrichting van het traject langs de Geleenbeek tussen de Middenweg in Sittard en de Agricolastraat. In dit rapport bespreken we de inrichtingsvariant "ontvlochten". Hierin worden de bestaande hoogwaterkokers gebruikt om uitsluitend een vispassage doorheen te leiden en wordt een nieuwe koker onder de Molenweg gelegd ten behoeve van de hoogwatergeul.

7.1 Geschiktheid modelschematisatie

Van het gebied is ons een modelschematisatie in het simulatiepakket SOBEK van kennisinstituut Deltares ter beschikking gesteld door het waterschap. Deze schematisatie hebben wij op een groot aantal punten moeten doorontwikkelen om het geschikt te maken voor een hydraulische toetsing van het ontwerp. Onder andere hebben we diverse kunstwerken en watergangen toegevoegd en hebben we foutieve dwarsprofielen gecorrigeerd. Ook is geüpgraded naar versie 2.14.001 om interpolatie tussen takken mogelijk te maken.

De modelschematisatie is na aanpassingen door ons geschikt bevonden om te toetsen aan de gestelde hydraulische ontwerpcriteria.

7.2 Implementatie ontwerp

Het ontwerp zoals door ViForis aan ons toegestuurd staat bekend als de 'ontvlochten' variant en hebben wij als zodanig geïmplementeerd in de modelschematisatie. Tijdens de analyses hebben wij iteratief aanpassingen doorgevoerd om het ontwerp hydraulisch te laten voldoen aan zoveel mogelijk van de criteria gesteld in hoofdstuk 3. De volgende aanpassingen moeten nog worden teruggekoppeld naar het definitief ontwerp:

- Verbreden van het ontwerp tussen Middenweg en Molenweg met 1m.
- Fietspad ten zuiden van de loopbrug verhoogd tot 48.20 m NAP.
- Ruwheid uit de oorspronkelijke modelschematisatie voor het tracé tussen Middenweg en Molenweg behouden: Manning's $n = 0.04 \text{ s/m}^{1/3}$.
- De overstortdrempel minder hoog laten oplopen: van 45.15 m + NAP tot 45.80 m + NAP in het ontwerp naar 45.15 m + NAP tot 45.65 m + NAP in de modelschematisatie.
- Het ophogen van stukken maaiveld rond de Oude Steenen Sluis.
- De Keutelbeek tussen molenvijver en samenvloeiing met Oude Steenen Sluis een ruwheid volgens Strickler van $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.
- De Keutelbeek tussen vertical slot en samenvloeiing met de Oude Steenen Sluis verbreed tot resp. 2.0 m (profiel 26) en 2.5 m (profielen 27 t/m 30).
- De Keutelbeek tussen molenvijver en Agricolastraat in zijn geheel een ruwheid volgens Strickler van $22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ geven. Dit moet nog worden bijgewerkt in het onderhoudsplan.

7.3 Uitkomsten

Het (aangepaste) ontwerp voldoet aan de belangrijkste criteria. Er zijn echter ook enkele criteria die nog niet gehaald worden. Tabel 6 geeft een overzicht van de criteria waaraan het ontwerp op dit moment wel en niet voldoet.

Tabel 6 Overzicht van de ontwerpcriteria waaraan het model wel en niet voldoet.

	Waterhoogte	Stroomsnelheid	Waterdiepte	Afvoerverdeling
Meetgoot	Voldoet			
Vispassage bovenloop		Voldoet	Voldoet niet	
Molenweg				Voldoet
Molenvijver	Voldoet niet			
Vertical Slot		Voldoet niet		
Keutelbeek		Voldoet	Voldoet	
Oude Steenen Sluis	Voldoet			
Agricolastraat	Voldoet			
Uitstroomvoor- zieningen	Overstort #4 voldoet niet			

8 Aanbevelingen

8.1 Overstromingsdrempel

Het stromingspatroon rond de beoogde overstromingsdrempel is dusdanig complex dat het toepassingsbereik van onze gezamenlijk gekozen methodiek mogelijk wordt overschreden: dit is de quasi-2D-aanpak met SOBEK 1D Flow.

Het concept van een overstromingsdrempel die in hoogte oploopt wordt in de praktijk weinig toegepast en het kunstwerk is bepalend voor de wijze waarop de beekafvoer zich verdeelt over de stadsbeek en de Keutelbeek. Een gedetailleerde modelstudie in volledig 2D zou meer inzicht kunnen geven in het werkelijke functioneren van de drempel binnen de context van zijn omgeving en onder de verschillende afvoersituaties.

8.2 Molenbrug

Ook voor het knippen van de molenbrug kan een verdere detailstudie meerwaarde bieden. Om te beginnen zit de molenstuw op een sterk vereenvoudigde manier in de modelschematisatie: alle schuiven tezamen zijn geschematiseerd als ware het één brede schuif. In de aangeleverde modelschematisatie leidde dit tot grote numerieke instabiliteiten, die we hebben opgelost door de kruinbeweging verder te limiteren. Deze oplossing neemt echter niet weg dat het kunstwerk in werkelijkheid uit meerdere individueel aangestuurde schuiven bestaat en dat elk van deze schuiven eigen energieverliescoëfficiënten zullen hebben.

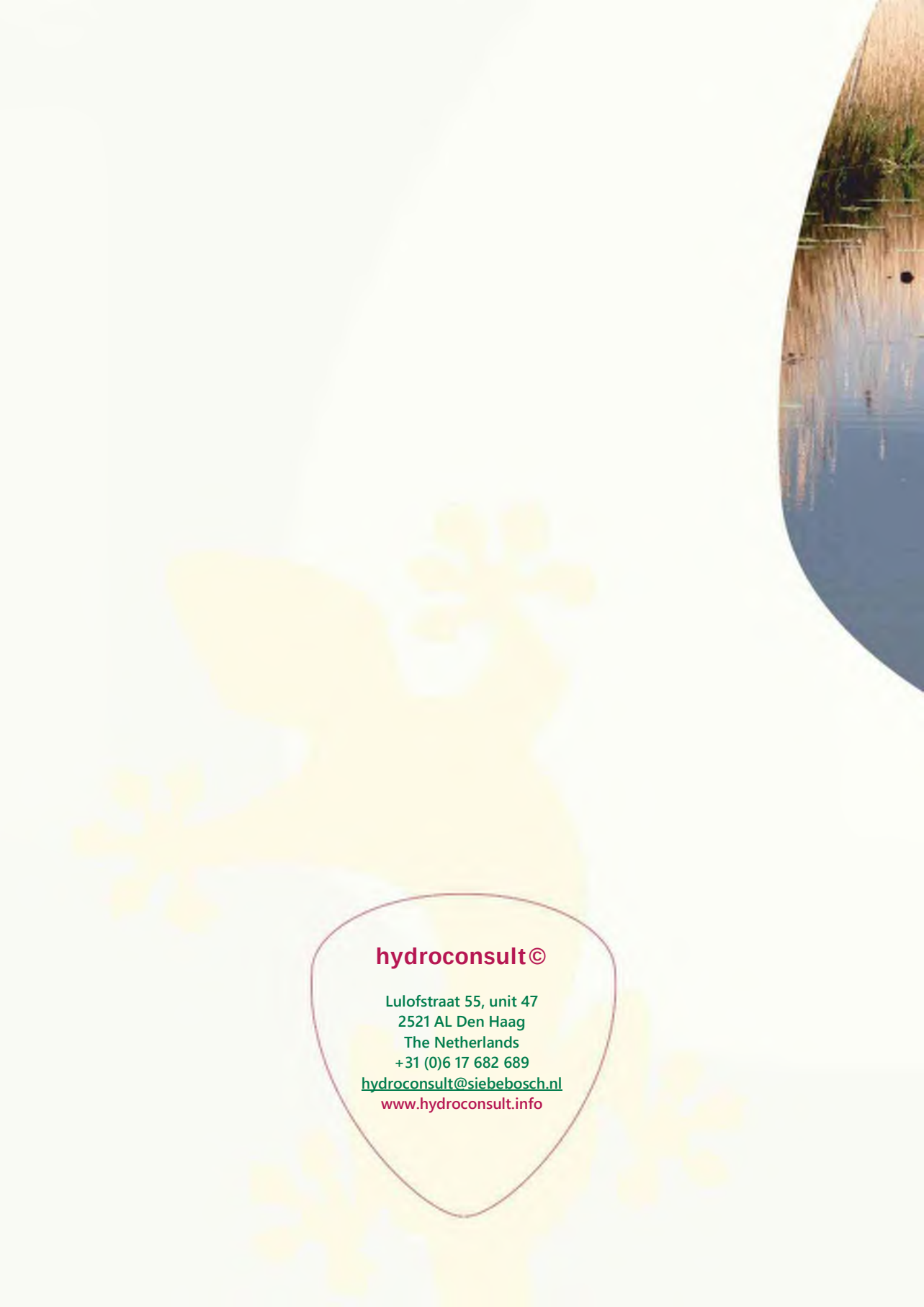
Wanneer daarnaast de opening van de brug wordt geknepen om het debiet te reduceren, zal dit resulteren in veranderde in- en uittreeverliezen van de brug. Deze twee zaken gecombineerd maken dat de brugafvoer met een bepaalde onzekerheid is omgeven. Het kan de moeite lonen om de onzekerheid in de afvoercapaciteit van dit complex van kunstwerken verder te reduceren door het verder te detailleren in de modelschematisatie.



BIJLAGEN



BIJLAGE A



hydroconsult©

Lulofstraat 55, unit 47
2521 AL Den Haag
The Netherlands
+31 (0)6 17 682 689
hydroconsult@siebebosch.nl
www.hydroconsult.info