



Onderzoek Flood-Bypass Valkenburg

Definitieve rapportage

WRL

3 maart 2026

Project Onderzoek Flood-Bypass Valkenburg
Opdrachtgever WRL

Document Definitieve rapportage
Status Definitief
Datum 3 maart 2026
Referentie 146791/26-003.300

Projectcode 146791
Projectleider Ir. R.J.R.Wannyn
Projectdirecteur Ir. H.J.Mondeel

Auteur(s) O.S. Bakker MSc, F.G. Versteegen MSc, dr. ir. E.L. Jorissen, ir. J. van Houwelingen,
mr. H.C. Meeder, ir. R.J.R. Wannyn, R.L.J. Komen, ir. M. Diels
Gecontroleerd door Ir. J.S. de Leeuw, ir. M.F.E. Wauben, ir. R.J.R. Wannyn, mr. J. Tuit
Goedgekeurd door Ir. R.J.R. Wannyn

Paraaf



Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Daalsesingel 51c
Postbus 24087
3502 MB Utrecht
+31 (0)30 765 19 00
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos, noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Tekst- en datamining van (delen van) dit document, evenals enige verwerking of reproductie ervan door middel van kunstmatige intelligentie technologieën is uitdrukkelijk niet toegestaan, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Dit document (of delen ervan) mag niet worden verveelvoudigd en/of anderszins worden gebruikt op enigerlei wijze voor het trainen van kunstmatige intelligentie technologieën, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	AANLEIDING EN DOEL	8
1.1	Aanleiding	8
1.2	Doel	8
1.3	Proces	9
2	UITGANGSPUNTEN	10
2.1	Projectafbakening	10
2.2	Hydrologie	11
2.3	Tunnelontwerp	11
2.4	Hydraulica	11
2.5	Neerslagstatistieken en herhalingstijden	13
	2.5.1 Herhalingstijd neerslagsom en correctie voor hellende gebieden	13
	2.5.2 Neerslagsommen in klimaatscenario's	13
	2.5.3 Maatgevende debieten en herhalingstijden	14
	2.5.4 Uitgangspunt maatgevende debieten en herhalingstijden	14
2.6	Kosten	15
2.7	Conditionerende onderzoeken en omgevingsaspecten	16
2.8	Buiten scope	16
3	REFERENTIEPROJECTEN	17
3.1	Algemeen	17
3.2	Referentieprojecten	17
4	STAP 1+2: VARIANTEN	19
4.1	Algemeen	19
4.2	Inlaat	19
	4.2.1 Varianten ontwerp	20
	4.2.2 Varianten locatie	24
4.3	Uitlaat	24
	4.3.1 Varianten ontwerp	24
	4.3.2 Varianten locatie	26

4.4	Tunnel	27
4.4.1	Varianten ontwerp	27
4.4.2	Varianten tracé	29
4.5	Afgevallen varianten	34
4.6	Verdiepingslag varianten	35
4.7	Samenvatting af te wegen varianten	36
5	STAP 1+2: OMGEVINGSASPECTEN	37
5.1	Kabels en Leidingen	37
5.1.1	Tracé varianten	37
5.1.2	Inlaatvarianten	38
5.1.3	Uitlaatvarianten	39
5.2	Kadastrale eigendom situatie	40
5.3	Geologie	42
5.3.1	Bodemopbouw	42
5.3.2	Geologie van ondergrondse gangenstelsels	44
5.3.3	Karstverschijnselen	44
5.4	Hydrologie	44
5.4.1	Beschermingsnormen	44
5.4.2	Oppervlaktewater	45
5.4.3	Grondwaterstanden en stijghoogtes	46
5.4.4	Grondwaterstromingsrichting	47
5.5	Archeologie	49
5.5.1	Archeologische beleidskaart	49
5.5.2	Prehistorische archeologische waarden	50
5.6	Cultuurhistorie	52
5.7	Ontploffbare Oorlogsresten	54
5.8	Milieuhygiëne	54
5.9	Grip-op-locatie analyse	57
5.9.1	Beleidsanalyse	57
5.9.2	Vergunningenanalyse	57
5.9.3	Overige aspecten	60
5.9.4	Conclusie Grip-op-locatie analyse	61
5.10	Funderingen en damwanden	62
6	STAP 1+2: SCHETSONTWERPEN FLOOD BYPASS, IN- EN UITLATEN	63
6.1	Schetsontwerpen flood-bypass	63
6.1.1	Schetsontwerp flood bypass Variant 1	64
	Schetsontwerp flood bypass Variant 2	65
6.1.2	Schetsontwerp flood bypass Variant 3	66
6.1.3	Maatvoering schachten	66

6.2	Schetsontwerpen Inlaat	67
6.2.1	Schetsontwerp inlaat Variant 1	67
6.2.2	Schetsontwerp inlaat Variant 2	69
6.2.3	Schetsontwerp inlaat Variant 3	70
6.2.4	Schetsontwerp inlaat variant 4	72
6.3	Schetsontwerpen Uitlaat	73
6.3.1	Schetsontwerp uitlaat Variant 1	73
6.3.2	Schetsontwerp uitlaat Variant 2	75
6.3.3	Schetsontwerp uitlaat Variant 3	76
7	STAP 1+2: HYDRAULISCHE ANALYSES	79
7.1	Capaciteitsberekeningen huidige situatie	79
7.1.1	Rekenresultaten referentiemodel D-Hydro	79
7.1.2	Praktijkvalidatie rekenresultaten referentiemodel D-Hydro	80
7.1.3	Conclusie bruikbaarheid referentiemodel D-Hydro	82
7.2	Capaciteitsberekeningen ontwerpsituatie	83
7.2.1	Excel-tool: Toelichting capaciteitsberekening	83
7.2.2	Excel-tool: Rekenresultaten tunnelcapaciteit	83
7.3	Modelberekening tracévarianten	84
7.3.1	Opbouw modelscenario's	84
7.3.2	Rekenresultaten modelscenario's	85
7.3.3	Verificatie boven- en benedenstrooms effecten	87
8	STAP 1+2: KOSTENRAMINGEN	89
9	STAP 1+2: MULTICRITERIA ANALYSES (MCA)	91
9.1	Toelichting op MCAs	91
9.2	Resultaten MCAs	91
9.3	Voorkeursvariant en Go / No go	93
10	STAP 3+4 - UITWERKEN HOOFDARIANTEN	94
10.1	Inleiding	94
10.2	Referentieprojecten	94
10.2.1	Samenvatting kentallen San Antonio en Waller Creek	95
10.2.2	Onderhoud San Antonio River Bypass	96
10.2.3	Onderhoud Waller Creek Bypass	99
10.3	Ontwerpkeuze: Hydraulische stroomlijning	102
10.4	Ontwerpkeuze: Tunnel vol of leeg laten staan	104
10.4.1	Afweging	104
10.4.2	Advies	105

10.5	Ontwerpkeuze: Inzetfrequentie van de tunnel	106
10.6	Ontwerpmaatregelen: Luchtinsluiting	108
10.7	Ontwerpmaatregelen: Drijfvuil en drijfhout	113
10.7.1	Optie 1 - drijfvuilkanaal naast inlaatschacht	113
10.7.2	Optie 2 - drijfvuilkanaal in buitenbocht (type Sihl)	115
10.7.3	Afweging drijfvuilmaatregelen Optie 1 en Optie 2	117
10.8	Onderhoudsmethode en -materieel	117
10.8.1	Onderhoudsfrequentie Valkenburg	118
10.8.2	Onderhoudsmethode Valkenburg	118
10.9	Afweging hoofdvarianten en ontwerpkeuzes	120
10.9.1	Samenvatting hoofdvarianten	120
10.9.2	Keuze Voorkeursvariant	121
11	STAP 5+6 - UITWERKING VOORKEURSVARIANT	122
11.1	Samenvatting voorkeursvariant	122
11.2	Hydraulisch functioneren Voorkeursvariant	125
11.3	SSK-raming LCC	126
11.4	Bouwproces, maakbaarheid en werkruimte	127
11.4.1	Referentieproject Ecluse II	127
11.4.2	Bouwproces en schetsontwerp werkterreinen	128
11.4.3	Bemalingsadvies	148
11.4.4	Haalbaarheid en maakbaarheid	149
11.5	Definitief Schetsontwerp Voorkeursvariant	152
11.6	Uitvoeringsplanning	152
12	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	154
13	REFERENTIES	157
	Laatste pagina	157

	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Overzicht met Tracé varianten	1
II	Overzicht kabels en leidingen (KLIC)	1
III	Kadastrale gegevens	1
IV	Panden	1
V	Geologisch grondmodel	1
VI	Locaties grondonderzoek Dinoloket	1

	Bijlage(n)	Aantal pagina's
VII	Beschermingsnormen Valkenburg en Omgeving	1
VIII	Grondwaterstanden hoog	1
IX	Grondwaterstanden laag	1
X	Beleidskaart archeologie	1
XI	Trefkans archeologie en groeves	1
XII	Gebouwen met cultuurhistorische waarde	1
XIII	Bodemloket	1
XIV	Uitgebreide Notitie omgevingsaspecten	11
XV	Natura 2000	1
XVI	Natuurnetwerk Nederland	1
XVII	Kritieke funderingen	1
XVIII	D-Hydro '21 rekenresultaten	1
XIX	HYDMOD berekening tracévariant 1 - 2 x Ø3,5 m	1
XX	HYDMOD berekening tracévariant 1 - 1 x Ø5,0 m	1
XXI	HYDMOD berekening tracévariant 2 - 2 x Ø3,5 m	1
XXII	HYDMOD berekening tracévariant 2 - 1 x Ø5,0 m	1
XXIII	HYDMOD berekening tracévariant 3 - 2 x Ø3,5 m	2
XXIV	HYDMOD berekening tracévariant 3 - 1 x Ø5,0 m	1
XXV	HYDMOD berekening tracévariant 3 - 2 x Ø3,5 m	1
XXVI	HYDMOD berekening tracévariant 4 - 1 x Ø5,0 m	2
XXVII	Kostenramingen	1
XXVIII	Multi-criteria analyses (MCAs) Stap 1+2	6
XXIX	Schetsontwerp hoofdvariant I	7
XXX	Schetsontwerp hoofdvariant II	5
XXXI	Hydraulische berekening hoofdvariant I	3
XXXII	Hydraulische berekening hoofdvariant II	3
XXXIII	SSK-ramingen hoofdvarianten	13
XXXIV	HYDMOD berekening voorkeursvariant	3
XXXV	Definitief rekenresultaat D-Hydro voorkeursvariant met strekdam	1
XXXVI	SSK-LCC-raming voorkeursvariant	8
XXXVII	Definitieve Schetsontwerp Tekeningen Voorkeursvariant	10
XXXVIII	Uitvoeringsplanning	1

1

AANLEIDING EN DOEL

1.1 Aanleiding

In juli 2021 vond een heftige overstroming plaats in Valkenburg. De schade van de overstroming was enorm. Meer dan 2.500 panden raakten beschadigd, met een totale schade van M EUR 400.

Als gevolg van de overstromingen is de organisatie Waterveiligheid en Ruimte Limburg (WRL) opgericht om de regio Limburg beter te beschermen tegen de risico's van wateroverlast en klimaatverandering. Het doel van WRL is om Limburg veerkrachtiger te maken en de impact van extreme weersomstandigheden te minimaliseren.

In opdracht van WRL is in 2022 door Deltares een Watersysteemanalyse voor de Geul uitgevoerd. Hierbij werd de optie van een flood-bypass onder Valkenburg onderzocht. Uit de analyse bleek dat een flood-bypass de problemen in Valkenburg tijdens de hoogwatergolf van 2021 grotendeels had kunnen voorkomen. Daarnaast is de impact op de benedenstroomse waterstijging volgens de analyse beperkt. Voor WRL (Waterveiligheid en Ruimte Limburg) is dit aanleiding om de flood-bypass verder te onderzoeken.

WRL heeft daarom het project 'Onderzoek flood-bypass Valkenburg' opgezet, die in april 2025 is gegund aan Witteveen+Bos. In deze rapportage worden de bevindingen van het project samengevat en wordt het schetsontwerp en de kostenraming gepresenteerd, conform de overeengekomen projectscope.

1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is om te bepalen of een flood-bypass onder Valkenburg technisch haalbaar is, tegen welke kosten en wat de impact op de omgeving zal zijn. Tevens wordt een schetsontwerp opgesteld dat als basis kan dienen voor de ontwerpfase die mogelijk op dit project volgt.

1.3 Proces

Het project is opgezet door de organisatie Waterveiligheid en Ruimte Limburg (WRL). Binnen deze organisatie zijn de Provincie Limburg, het Waterschap Limburg en de Gemeente Valkenburg aan de Geul allen vertegenwoordigd.

Het projectproces bestaat uit 6 stappen:

- 1 opstellen varianten;
- 2 selectie voorkeursvarianten en go/no go voor de vervolgstappen;
- 3 uitwerking voorkeursvarianten;
- 4 selectie Voorkeursalternatief (VKA);
- 5 schetsontwerp VKA.

In het projectproces worden circa 10 projectgroepoverleggen belegd. De projectgroepoverleggen zorgen ervoor dat de projectgroep geïnformeerd blijft over voortgang en inhoud. Tevens kan de groep zodoende waarborgen dat het projectresultaat voldoet aan de wensen van WRL en bijsturen waar nodig.

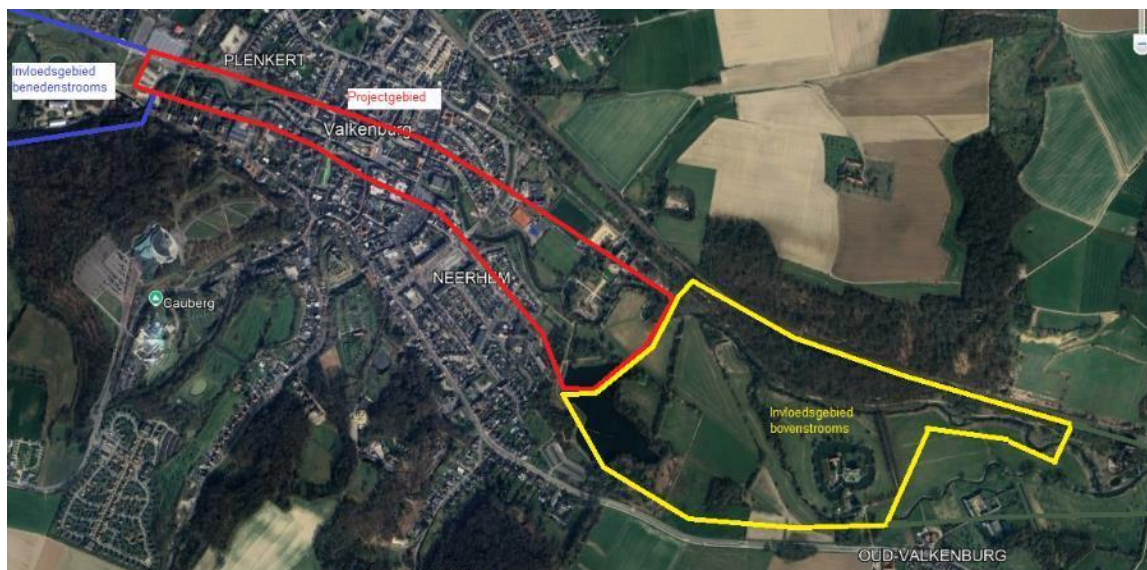
2

UITGANGSPUNTEN

2.1 Projectafbakening

- er wordt onderscheid gemaakt tussen het projectgebied en het invloedsgebied. Het projectgebied is het deel van de Geul waarin de maatregelen voorzien zijn en de directe effecten optreden. Het projectgebied is weergegeven in afbeelding 2.1. Deze loopt grofweg van de oostelijke grens van de bebouwing van Valkenburg naar de westelijke grens. Het invloedsgebied is het deel van de omgeving inclusief het omliggende watersysteem van de bovenstroomse en benedenstroomse gebieden waarin effecten optreden als gevolg van maatregelen in het projectgebied. Deze kunnen per variant verschillen. Het invloedsgebied is weergegeven in afbeelding 2.1:
 - in de rapportage 'Analyse overstroming Valkenburg' (april 2022) van Deltares is geconcludeerd: 'Bij de aanleg van een tunnel blijven negatieve effecten op benedenstroomse gebieden bij deze afvoergolf beperkt tot een maximale toename van de waterstand met enkele centimeters'. Deze conclusie vormt het uitgangspunt voor deze studie. Desondanks wordt na doorrekening van de toekomstige situatie middels het D-Hydromodel deze uitspraak geverifieerd;
 - beschouwing van effecten op het bovenstroomse invloedsgebied worden ook met het D-Hydro model beschouwd. Hierbij gaat het met name om de variant waarbij een dam bovenstroom van Valkenburg enkele meters opstuwing creëert. Met de peilopzet wordt extra capaciteit voor de floodbypass gerealiseerd. Tegelijk echter loopt de hydraulische lijn bovenstrooms op en raakt het natuurgebied direct bovenstrooms van de dam bij klimaatbuien tijdelijk geïnundeerd.

Afbeelding 2.1 Projectgebied en invloedsgebieden



2.2 Hydrologie

- voor de doorrekening van de hydrologie wordt het bestaande D-Hydro model gebruikt dat beschikbaar is gesteld door WRL. Het uitgangspunt daarbij is dat het detailniveau en de dwarsdoorsnedes van de Geul van voldoende detailniveau zijn. Er worden binnen de projectscope geen inmetingen uitgevoerd van de Geul, of wijzigingen aan het model voor de huidige situatie;
- onderzoek naar de kwaliteit van het water van de Geul en het mogelijke effect op kwaliteit van de flood-bypass wordt niet beschouwd. Wel wordt de kwaliteit van het water meegenomen als afweging in Stap 3+4 voor de uitwerking van het schetsontwerp. Deze afweging wordt enkel kwalitatief gemaakt. Er worden geen kwaliteitsmetingen of -berekeningen uitgevoerd.

2.3 Tunnelontwerp

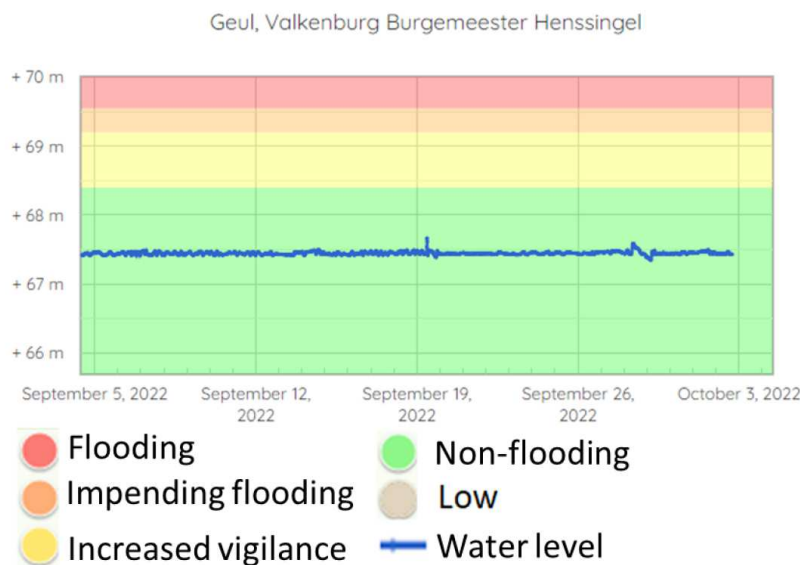
- het uitgangspunt voor het ontwerp van de flood-bypass is het ontwerp van Deltares met een dubbele (intern) $\varnothing 3,5$ m boring. De rapportage van Deltares geeft aan dat hier een debiet van circa 40 m³/s door zal kunnen stromen. In de hydraulische analyses wordt de capaciteit aangescherpt en hier een herhalingstijd aan gekoppeld;
- er wordt een minimale dagmaat van 5 m aangehouden tussen de tunnel en objecten die door de tunnel worden gekruist (kabels & leidingen, funderingen en damwanden);
- de boring is een GFT-boring (doorpersing) waarbij een bochtstraal (horizontaal) van maximaal 2.000 m aangehouden wordt. Kleiner is mogelijk maar in deze fase niet aanbevolen;
- het onderkruisen van panden en particuliere percelen wordt uit zoveel mogelijk vermeden. Alle tracévarianten lopen daarom onder de noordtak of zuidtak van de Geul door Valkenburg. Er is met de projectgroep gekozen om geen tracés af te wegen die veel panden en percelen onderkruisen. Een dergelijk tracé kan resulteren in complexe juridische en planologische procedures. Dit is niet nodig aangezien de inlaat- en uitlaatlocaties zich goed lenen voor een tracé onder de Geul;
- aandachtspunt bij de tracés onder de Geul is de aanwezigheid van funderingspalen en damwanden in en langs de Geul. De minimale dagmaat van de tunnels tot de bestaande civiele kunstwerken is 5 m wat in deze grondslag als voldoende wordt gezien, zonder aanvullend grondonderzoek;
- de door WRL opgegeven beschermingsnorm voor overstroming boven vloerniveau is de T25 bui. Een hoger beschermingsniveau wordt wel wenselijk geacht.

2.4 Hydraulica

- de hydraulische berekeningen met het bestaande D-Hydro model worden aangevuld door hydraulische berekeningen met beschikbare Excel-Tools binnen Witteveen+Bos. Concreet wordt met deze tools het verlies per hydraulisch element berekend bij verschillende debieten. Op deze wijze wordt de werkelijke capaciteit van de tunnel bepaald, gegeven het beschikbare energiehoogteverschil tussen inlaat en uitlaat;
- de Q-H relatie die met de Excel-tools wordt bepaald voor de tunnel wordt vervolgens gebruikt om de weerstand van de bypass correct in het bestaande D-Hydro model te modelleren. Zo wordt bereikt dat de juiste verdeling van het water tussen Geul en bypass wordt berekend, evenals het voorspelde beschermingsniveau van de oplossing;
- het risico en mogelijke effect van drijfvuil en hout vormt onderdeel van de Scope. Dit wordt kwalitatief beschouwd en het minimaliseren van het risico hierop zal met name het ontwerp van de inlaatconstructie informeren;
- voor het effect van luchtinsluiting baseren wij ons, conform de aanbidding, op literatuur en experimentresultaten. Hiermee wordt een advies op hoofdlijnen gegeven over hoe luchtinsluiting kan worden voorkomen. Dit advies wordt met de projectgroep besproken en in het schetsontwerp verwerkt;
- een ontwerprandvoorwaarde aan het ontwerp is dat de Geul bij extreme buien niet afvoerloos dient te worden;
- een ontwerprandvoorwaarde aan het ontwerp is dat de Geul onder normale omstandigheden nog steeds water dient af te voeren zoals in de huidige situatie;

- het benedenstroomse referentiepeil wordt gebaseerd op de D-Hydro berekening en is NAP 67,5 m ter hoogte van Odapark;
- het bovenstroomse referentiepeil in de Geul voor het ontwerp is weergegeven in afbeelding 2.2 en afbeelding 2.3.

Afbeelding 2.2 Referentiepeilen voor ontwerp ter hoogte van de Burgemeester Henssingel (Bron: Waterschap Limburg)



(a) Waterlevel Burgemeester Henssingel(Waterschap Limburg, 2022b)

Afbeelding 2.3 Locatie referentiepeil



Uit afbeelding 2.2 volgt dat:

- het peil bij de inlaat normaliter op circa NAP +67,5 m ligt;
- het peil waarbij bijna overstroming plaatsvindt ligt op circa NAP +69,5 m. Dit betekent dat het bypass-debiet dient te kunnen worden ingenomen bij een Geulpeil (bij Burgemeester Henssingel) van maximaal NAP +69,5 m;

- deze uitgangspunten vormen de randvoorwaarden van het ontwerp en gelden voor de situatie dat de inlaat direct bovenstrooms van de Burgemeester Henssingel wordt aangelegd en de uitlaat bij Odapark. Wanneer andere locaties voor de in- en uitlaten worden gebruikt wordt gerekend met de peilen die op die locaties optreden, gelijktijdig met de bekende referentiepeilen bij de Burgemeester Henssingel. Deze waarden worden bepaald met het D-Hydro model;
- de tunnelcapaciteit varieert op basis van het verloop van de boven- en benedenstroomse waterpeilen. De 'tunnelcapaciteit' wordt daarom gedefinieerd als de capaciteit bij gelijktijdig plaatsvinden van de maatgevende boven- en benedenstroomse peilen, dit zijn:
 - het maatgevende benedenstroomse peil is het berekende maximale peil in juli 2021 middels het D-Hydro model;
 - het maatgevende bovenstroomse peil is het peil dat zich voordoet op de inlaatlocatie op het moment dat het peil bij de Burgermeester Henssingel gelijk is aan NAP +69,50 m;
 - voor de variant met de strekdam wordt peilopzet gecreëerd. Voor die variant is het maatgevende maximale peil, in overleg met WRL, vastgesteld op NAP +71,50 m.

2.5 Neerslagstatistieken en herhalingstijden

De rapportage van Deltares [ref. 2] bespreekt neerslagstatistieken en herhalingstijden. Uit deze analyse kan de herhalingstijd worden bepaald van de maatgevende debieten. De 3 belangrijkste aspecten in de rapportage zijn:

2.5.1 Herhalingstijd neerslagsom en correctie voor hellende gebieden

De rapportage van Deltares stelt het volgende: *'In juli viel in Zuid-Limburg lokaal meer dan 160 mm neerslag in 48 uur. In de Ardennen viel op een aantal locaties zelfs meer dan 250 mm in 48 uur. In het stroomgebied van de Geul viel gemiddeld 128 mm neerslag. De meeste neerslag viel in het Belgische deel van het stroomgebied. De herhalingstijd van deze extreme neerslaggebeurtenis wordt voor de Geul geschat op 900 jaar. Bij het afleiden van die herhalingstijd is echter gebruik gemaakt van de gemiddelde Nederlandse statistiek, waarbij geen rekening is gehouden met orografische effecten (de kans op grote hoeveelheden neerslag is groter in het heuvelland dan in vlakke gebieden). Daardoor kan deze herhalingstijd met een factor 2 zijn overschat. In dat geval zou de herhalingstijd ongeveer 500 jaar zijn.'*

De rapportage van Deltares stelt dus dat de herhalingstijd van de bui in 2021 wordt geschat op T900, maar dit wordt gecorrigeerd naar T500 in verband met orografische effecten van het heuvelland.

2.5.2 Neerslagsommen in klimaatscenario's

In bijlage B van de Deltares rapportage worden voor klimaatscenario's de neerslagsommen gegeven voor klimaatscenario's 2050 en 2085. Deze neerslagsommen zijn weergegeven in afbeelding 2.4.

Afbeelding 2.4 Neerslagsommen in klimaatscenario's [ref. 2]

T	"2014"	2050		2085	
		"lower"	"upper"	"lower"	"upper"
1	46.0	46.4	51.9	46.8	57.1
10	74.9	75.3	86.1	76.4	96.2
100	111	112	129	114	145
200	124	124	144	127	163
250	129	129	149	131	168
500	143	143	166	145	187
1000	158	158	184	161	208
2000	174	174	203	177	229
2500	179	179	209	183	237
5000	197	197	230	201	260
10000	216	216	252	220	286

* Hoeveelheden vanaf T = 100 jaar afgerond op 1 mm. Voor herhalingstijden > 1000 jaar cursief van wege de grote statistische onzekerheid (zie verder op). Vetgedrukte waarden corresponderen met 48-uurs hoeveelheden gebruikt in de "Stresstest Wateroverlast" opgesteld vanuit het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie in samenwerking met STOWA en RIONED (april 2020). Voor betekenis gekleurde cellen zie tekst.

Uit de tabel blijkt dat de T500 neerslagsom uit 2014 totaal 143 mm bedraagt. In klimaatscenario 2085 'lower' komt deze neerslagsom nog steeds eens per 500 jaar voor, maar in klimaatscenario 2085 'upper' is de herhalingstijd van deze neerslagsom eens per 100 jaar. In dit laatste scenario heeft de klimaatbui uit 2021 dus een herhalingstijd van T100.

2.5.3 Maatgevende debieten en herhalingstijden

De maatgevende afvoeren ter plaatse van Valkenburg-Hertenkamp zijn, volgens de Deltares rapportage, zoals samengevat in tabel 2.1:

Tabel 2.1 Maatgevende afvoeren Geul ter plaatse van Valkenburg-Hertenkamp [ref. 2]

Herhalingstijd (T)	Afvoer (m ³ /s)
T= 25 jaar	51
T=100 jaar	84
Juli 2021 herhalingstijd op basis van gebiedsgemiddelde neerslag: T ≈ 900 jaar (gelijk aan T = 500 jaar voor heuvelland)	134

2.5.4 Uitgangspunt maatgevende debieten en herhalingstijden

Uit de bovenstaande gegevens in tabel 2.1 kan een overzicht van de maatgevende debieten en herhalingstijden in de verschillende klimaatscenario's worden afgeleid. Dit is gedaan in tabel 2.2.

Tabel 2.2 Maatgevende debieten en herhalingstijden op basis van Deltares 2022

Omschrijving	Normale afvoer	Geul = vol	T100 afvoer (2014)	13/14 juli 2021
debiet (m ³ /s)	5 m ³ /s	54 m ³ /s ¹	84 m ³ /s	134 m ³ /s
herhalingstijd huidig klimaat (2014*)	continu	25 jaar	100 jaar	500 jaar
herhalingstijd in 2050 'lower'	continu	25 jaar	100 jaar	500 jaar
herhalingstijd in 2050 'upper'	continu	10 jaar	60 jaar	200 jaar
herhalingstijd in 2085 'lower'	continu	25 jaar	100 jaar	450 jaar
herhalingstijd in 2085 'upper'	continu	8 jaar	35 jaar	100 jaar

¹ Deze waarde van 54 m³/s volgt uit het meest recente D-Hydro model en vervangt de waarde van 51 m³/s van Deltares.

Dit betekent dat er voor de klimaatscenario's van 2085 de volgende uitgangspunten kunnen worden afgeleid voor de maatgevende debieten (tabel 2.3):

Tabel 2.3 Maatgevende debieten in 2085

Omschrijving	2085 'Lower' debiet (m ³ /s)	2085 'Upper' debiet (m ³ /s)
minimale beschermingsnorm (T25)	54	±75*
beschermingsnorm T100	84	134

* Bepaald middels interpolatie.

2.6 Kosten

- voor de SSK-raming worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:
 - deterministische bedrijfseconomische raming van levenscycluskosten (investerings- en instandhoudingskosten);
 - geschatte variatiecoëfficiënt van de kostenraming bedraagt voor de investeringskosten 40 % en instandhoudingskosten 50 %;
 - Instandhoudingskosten voor een levensduur van 100 jaar, geen sloop einde levensduur. Gerekend met een discontovoet van 1,6 %;
 - exclusief omzetbelasting;
 - bij de investeringskosten en instandhoudingskosten is rekening gehouden met risicoreserveringen van circa 25 en 30 %;
 - risicoreserveringen worden geraamd op basis van percentages passend bij de projectfase, aard en omvang van de variant;
 - er wordt geen kostennota opgesteld, de belangrijkste uitgangspunten en uitsluitingen worden in de raming opgenomen.
- er wordt geen batenanalyse gemaakt van verbeterde overstromingsbescherming van Valkenburg.

2.7 Conditionerende onderzoeken en omgevingsaspecten

De volgende onderzoeken vormen onderdeel de projectscope en variantenafweging:

- kabels en leidingen, via:
 - KLIC;
 - kabels en leidingeigenaren;
- grondonderzoek en grondwater, via:
 - digitaal openbare grond en peilbuis informatie. Er worden geen bodemonsters genomen en geen laboratoriumonderzoek uitgevoerd;
 - aanvullende gegevens van provincie, het waterschap en de gemeente;
- archeologie en cultuurhistorie, via:
 - gemeentelijke en provinciale Verwachtingenkaart Archeologie;
 - Prospectie op Maat van de Rijksdienst voor cultureel erfgoed;
 - het cultuurhistorisch onderzoek richt zich op panden van met cultuurhistorische waarde en het mogelijke effect van de werkzaamheden op deze panden. Dit betreft een kwalitatieve beoordeling waaruit volgt of een kwantitatieve beoordeling noodzakelijk is;
- ontplofbare Oorlogsresten;
- kadastrale eigendomssituatie via het Kadaster;
- geologie van ondergrondse gangenstelsels, via:
 - Staatsbosbeheer, het Limburgs Landschap, Vereniging Natuurmonumenten, Stichting ir. D.C. van Schaik, Staatstoezicht op de Mijnen en gemeente Valkenburg aan de Geul;
- geohydrologische analyse:
 - deze wordt uitgevoerd op basis van het grondwatermodel van Limburg (Ibrahim), en wordt geverifieerd met werkelijke waarden;
- grip-op-locatie-analyse op basis van openbare digitale bronnen en expert judgement, waaronder:
 - ruimtelijk beleidskader;
 - milieuaspecten zoals geluid, luchtkwaliteit, geur, trillingen, fysieke en veiligheidstechnische factoren;
 - ecologische verkenning (o.a. bureauonderzoek Natura 2000 en soortenbescherming);
 - sociale veiligheid en maatschappelijke uitvoerbaarheid;
 - juridische belemmeringen en procedurele aspecten.

2.8 Buiten scope

- eventuele vervolgonderzoeken of veldonderzoeken die worden geadviseerd op basis van de quickscans; zoals flora en fauna, Ontplofbare Oorlogsresten, archeologie;
- model kalibratie en validatie;
- veldonderzoek zoals metingen, bodemonsters of sonderingen.

Er worden voor het schetsontwerp geen geotechnische berekeningen gemaakt om stabiliteit van de constructie en omliggende grond te ontwerpen.

REFERENTIEPROJECTEN

3.1 Algemeen

Het doel van deze rapportage is het selecteren van een voorkeursvariant en het opstellen van een schetsontwerp voor een flood-bypass tunnel onder Valkenburg.

Een geboorde flood-bypass is voor Nederland een uniek project. Dit komt omdat de situatie in Valkenburg bijzonder is in de context van de Nederlandse waterhuishouding. Nederland is namelijk voor het overgrote deel vlak. De grotere rivieren in ons land ontspringen in het zuiden van Europa en reageren relatief geleidelijk op grote klimaatbuien in het stroomgebied. Aankomende hoogwaterpieken en bijbehorende overstromingsrisico's zijn daardoor accuraat voorspelbaar.

Voor de Geul die door Valkenburg is dat anders. Het brongebied van de Geul ligt aan de voet van het Aachener Wald, tussen Köpfchen en Lichtenbusch, op de grens tussen Duitsland en België. De Geul ontspringt hemelsbreed op slechts 25 km afstand van Valkenburg, op een hoogte van circa NAP +267 m. Daar voegen zich verschillende stroompjes bij elkaar tot de Geul, een kleine rivier die 'circa 56 km door het Land der 3 Grenzen en het heuvelland meandert.

De Geul is een relatief snelstromende rivier waarvan het peil bij piekbuien relatief snel kan stijgen, zoals werd gezien in 2021. Het water steeg binnen aan tijdspanne van 6 uur van een beheerste hoogwatergolf naar een catastrofale overstroming.

De Geul stroomt via 2 takken door Valkenburg. Valkenburg kent aan 2 zijden heuvels, waardoor deze locatie een flessenhals vormt voor het langsstromende water. Als gevolg van deze, voor Nederland, bijzondere situatie is de flood-bypass middels een boring voorgesteld.

Hoewel uniek voor Nederland, is deze oplossing in het buitenland al geregeld toegepast. Met name in Zwitserland, maar ook de VS en Malta zijn veel vergelijkbare projecten uitgevoerd. Omdat deze uitdaging voor Nederlandse begrippen uniek is, vormen de voorbeelden uit het buitenland een bron van inspiratie voor de eerste varianteselectie voor deze opdracht.

3.2 Referentieprojecten

De beschouwde referentieprojecten liggen voornamelijk in Zwitserland en de Verenigde Staten. De projectspecifieke kenmerken worden samengevat in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Samenvatting karakteristieken van referentieprojecten

Referentie-project	Actief (afsluiter) of passief (drempel)	Jaar van aanleg	Aanleg-methode	Kosten in aanlegjaar (M EUR)	Ø (m)	Capaciteit (m³/s)	Lengte (km)
Lyss, Zwitserland	passief	2012	gesegmenteerd	40	5	66	2,6
Sarner Aa, Zwitserland	actief	2025	gesegmenteerd	210	5,5	100	6,5
Thun, Zwitserland	actief	2012	gesegmenteerd	52	6,2	115	1,1
Dallas VS	passief	2023	gesegmenteerd	280	9,1	424	8,1
San Antonio VS	passief	1996	gesegmenteerd	92	7,3	189	4,9
Austin VS	passief	2017	gesegmenteerd	130	6,7 - 7,9	240	1,7
Malta Spanje	passief	2014	gesegmenteerd	56	5	20	11

De referentieprojecten informeren en inspireren de varianten voor het ontwerp van de tunnel, de inlaat en de uitlaat. Hoewel deze projecten goede referentieprojecten zijn, kent de situatie in Valkenburg enkele belangrijke kenmerken die afwijken van (alle) benoemde referentieprojecten. De projectspecifieke kenmerken waarop de situatie in Valkenburg afwijkt zijn opgenomen in tabel 3.2.

Tabel 3.2 Projectspectifieke kenmerken van de beoogde flood-bypass in Valkenburg

Kenmerk	Toelichting
aanlegmethode	de referentieprojecten zijn allemaal gesegmenteerde tunnels. Voor Valkenburg is het uitgangspunt een doorpersing (GFT-boring) een GFT-boring kan tot maximaal circa Ø3,5 m worden gerealiseerd. Bij gesegmenteerde tunnels zijn veel grotere diameters mogelijk. Daarnaast is de maximale lengte van een GFT-boring beperkt. De langste gerealiseerde GFT-boring was 3,0 m binnendiameter en 2.535 m lang. Deze is aangelegd in Noord-Duitsland. Hierbij moet worden aangetekend dat de condities optimaal waren en dit wereldrecord nog altijd op grote afstand van soortgelijke boringen staat. De maximaal haalbare lengte hangt samen met de samenstelling van de grond
diameter	het uitgangspunt voor de flood-bypass in Valkenburg is een 2 x Ø3,5 m GFT boring of een 1 x Ø5 m gesegmenteerde tunnel. Dit is een kleinere bypass dan de meeste referentieprojecten
lengte	de lengte van de flood-bypass in Valkenburg is 800 - 1.200 m, dit is korter dan in de meeste referentieprojecten
hydraulica	een zeer belangrijk kenmerk van de situatie in Valkenburg is dat de beschikbare energiehogte beperkt is. Daarin wijkt deze situatie af van de referentievoorbeelden. De beperkte energiehogte betekent er in het ontwerp ook aandacht wordt gegeven aan hydraulische stroomlijning. Zo kan een zo hoog mogelijke capaciteit worden bereikt. De baten van de stroomlijning moeten worden afgewogen tegen de kosten

4

STAP 1+2: VARIANTEN

4.1 Algemeen

Er zijn voor de aanleg van de flood-bypass veel varianten denkbaar. Voor het ontwerp als de locaties van de in- en uitlaat en het tracé van de tunnel bestaan legio mogelijkheden.

Om handvaten te geven aan de mogelijke varianten is inspiratie opgedaan uit vergelijkbare bypasses in het buitenland. Tevens zijn de mogelijk varianten, eisen en wensen van WRL besproken bij het projectgroepoverleg #1 (startoverleg van 10 april 2025) en projectgroepoverleg #2 (6 mei 2025). Uit dit proces is een voorselectie gevolgd van de te beschouwen varianten in Stap 1+2. Deze varianten vormen de basis voor de:

- omgevingsaspecten in hoofdstuk 5;
- de schetsontwerpen in hoofdstuk 6;
- de hydraulische analyses in hoofdstuk 7;
- de kostenramingen in hoofdstuk 8, en;
- de multi-criteria analyses in hoofdstuk 9.

De vastgestelde varianten zijn geen totaalvarianten. In plaats daarvan worden varianten per systeemonderdeel. Er zodoende 6 typen varianten vastgesteld voor:

- het ontwerp van de inlaat;
- de locatie van de inlaat;
- het ontwerp van de uitlaat';
- de locatie van de uitlaat;
- het ontwerp van de tunnel;
- de mogelijke tracés voor de tunnel

De varianten voor elk deel van het systeem vormen 'lego-steentjes'. Door voor elk blokje de voorkeursvariant te kiezen kan uit de opties de voorkeursvariant(en) worden samengesteld. Deze wordt vervolgens nader worden uitgewerkt in fase 3+4. In die fase wordt meer aandacht gegeven aan onderwerpen als de mogelijkheden voor hydraulische stroomlijning, minimaliseren van luchtinsluiting en nadelige gevolgen van drijfvuil. In dit hoofdstuk 3 worden de varianten op hoofdlijnen besproken.

4.2 Inlaat

Voor de inlaat worden varianten onderscheiden voor de locatie alsook voor het ontwerp. De varianten voor elk van deze aspecten worden in deze paragraaf behandeld.

4.2.1 Varianten ontwerp

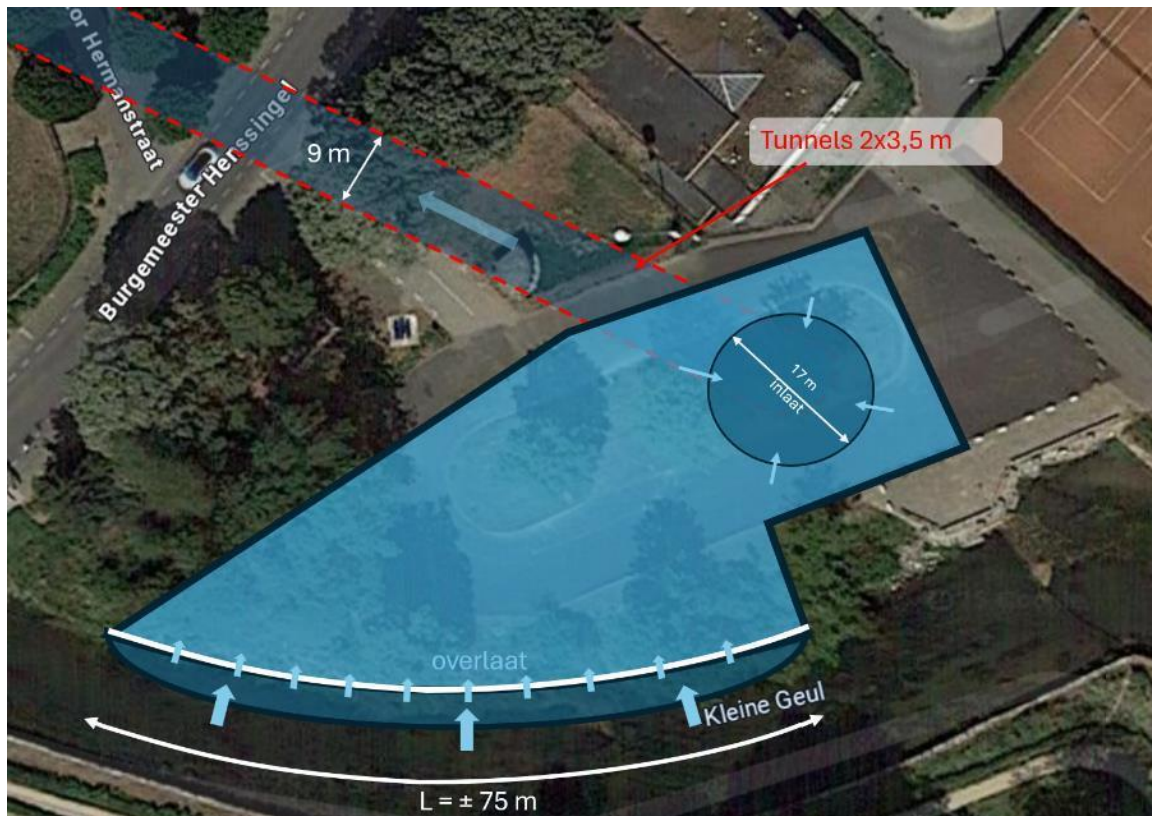
Voor het ontwerp van de inlaatconstructie zijn in het startoverleg verschillende ontwerpvarianten besproken waarvan er 4 als realistische mogelijkheden worden gezien:

- overlaat (passief) op een vast peil, direct aan de Geul;
- overlaat (passief) op een vast peil, met een woelbak;
- schuif/beweegbare (mechanische) overlaat (actief);
- opdrijvend schot.

Overlaat op een vast peil

Dit is een vaste constructie in de vorm van een (betonnen) wand met een doorvoer die de rivier scheidt van de bypass. Deze betonnen wand kan direct langs de bestaande Geul worden geplaatst. Een schets die het principe weergeeft is weergegeven in afbeelding 4.1. Deze schets is gebaseerd op inlaatlocatie 1, namelijk het parkeerterrein naast de tennisbaan. Dezelfde ontwerpprincipes kunnen ook op andere locaties worden toegepast.

Afbeelding 4.1 Ontwerpprincipe 1, vaste overlaat direct langs Geul



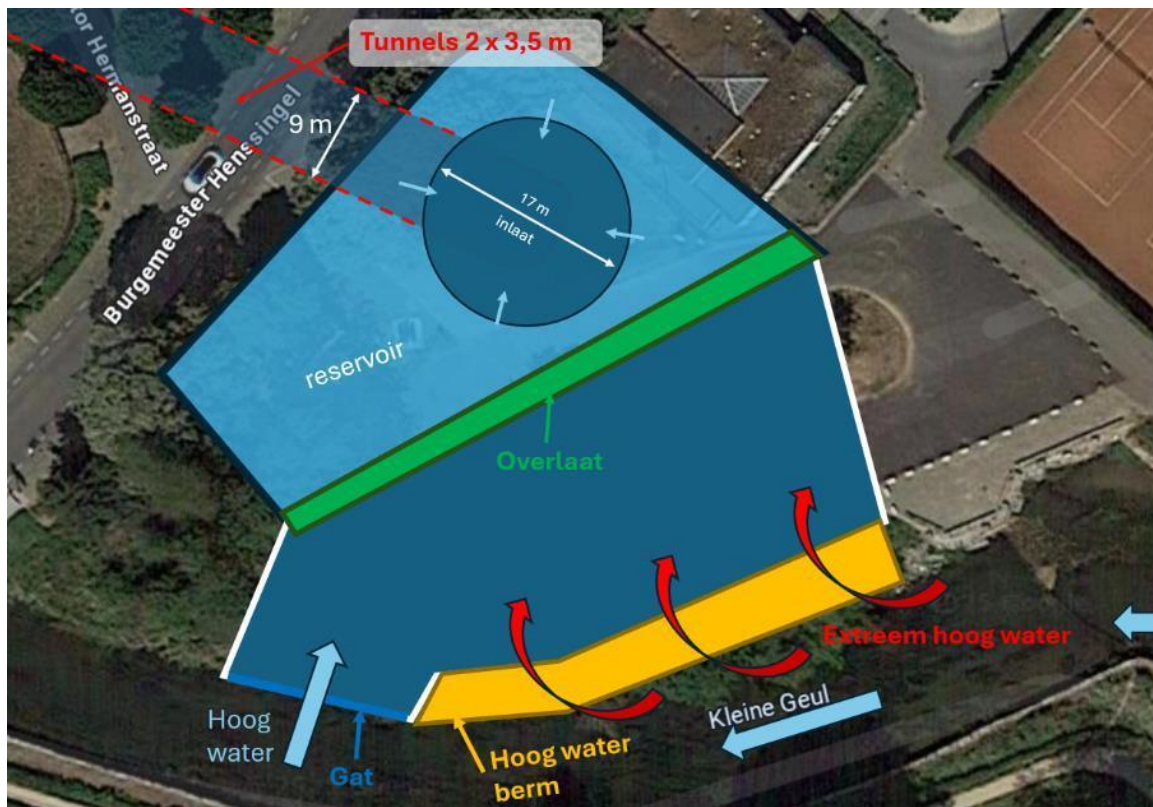
De inlaatconstructie zal worden uitgevoerd met een vuilvang of rooster waarmee wordt voorkomen dat grote stukken drijvend hout en vuil in de tunnel terechtkomen. Een voorbeeld van dit vuilrooster is te zien in de onderstaande afbeelding 4.2 met een inlaatontwerp uit Zimmerberg, Zwitserland.



Overlaat op een vast peil, met woelbak

De passieve drempel kan eventueel worden gecombineerd met een woelbak, zoals in het referentieproject in Lyss is gedaan. Het water kan in deze bak tot rust komen. Daarnaast geeft de woelbak enige bescherming extra tegen drijvend hout en vuil. Van deze aanpakken is in onderstaande afbeelding 4.3 een schets opgenomen.

Afbeelding 4.3 Ontwerpprincipe 2, vaste overlaat met woelbak



In afbeelding 4.4 is een afbeelding opgenomen van de inlaat van de flood-bypass in Lyss, Zwitserland. Dit is een goed voorbeeld van het ontwerpprincipe met voorliggende woelbak.

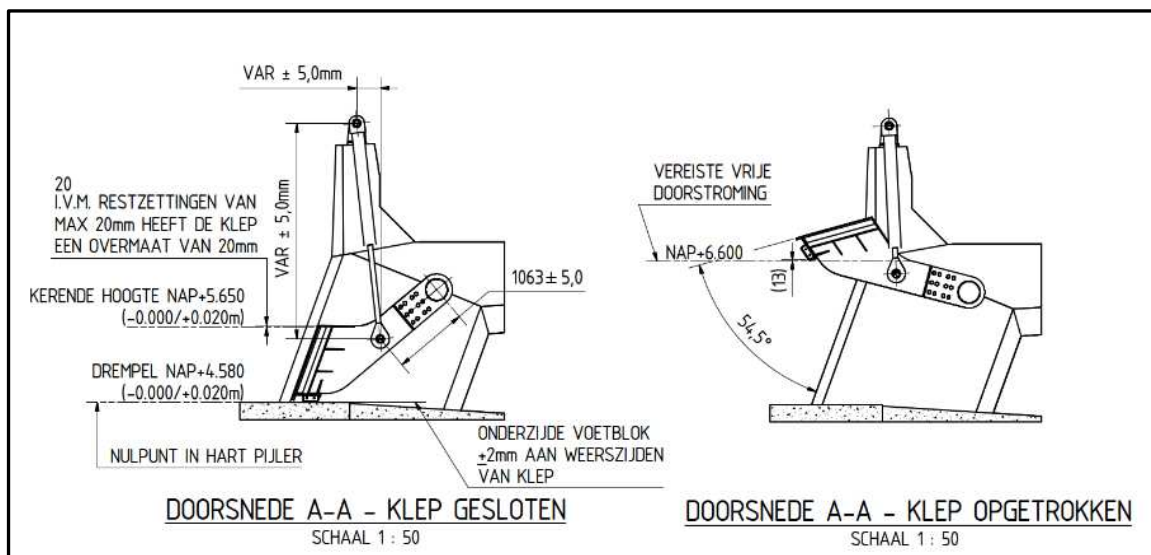
Afbeelding 4.4 Voorbeeld inlaatconstructie Lyss, Zwitserland



Beweegbare overlaat

Een beweegbare overlaat is een overlaatconstructie die mechanisch geopend kan worden. Een beweegbare overlaat wordt uitgevoerd met beweegbare kleppen of schuiven, die vergelijkbaar zijn met de kleppen of de hefdeur van een stuw of spuiconstructie. In afbeelding 4.5 en afbeelding 4.6 zijn voorbeelden gegeven van mechanisch bestuurd schuiven, waarbij het water onder de schuif doorstroomt.

Afbeelding 4.5 Werking beweegbare overlaat in de Hoogwatergeul van Vessem



Afbeelding 4.6 Beweegbare schuif / hefdeur (Sluis 16, Weert)



Opdrijvend schot

Een opdrijvend schot, ook wel een drijvende inlaat of drijvende barrière genoemd, is een inlaatconstructie waarbij de inlaat door het water omhoog drijft en water ingelaten wordt onder het schot door. Dit type inlaat is ontworpen om vanaf een bepaald peil op te drijven en mee te bewegen met het waterpeil, waardoor de inlaatconstructie zich automatisch kan aanpassen aan fluctuerende waterpeilen

De stand van het schot wordt door het water aangedreven, en is er geen menselijke of elektrische actie voor nodig. Bij toenemende waterpeilen stijgt het opdrijvende schot mee, waardoor de inlaatoppervlakte onder het schot ook toeneemt, en daarmee het inlaatdebiet richting de bypass. In deze variant wordt het schot parallel aan de loop van de Geul geplaatst. 2 voorbeelden van een drijvend schot zijn opgenomen in afbeelding 4.7.

Afbeelding 4.7 Voorbeelden opdrijvend schot (links: Schelde, rechts: Zelfsluitende Waterkering Spakenburg)



4.2.2 Varianten locatie

Er zijn 3 potentiële inlaatlocaties gedefinieerd bij de projectgroepoverleggen #1 en #2. De 3 locatievarianten zijn weergegeven in afbeelding 4.8.

Afbeelding 4.8 Varianten locaties inlaat



Een overzichtskaart van de mogelijke inlaatlocaties is tevens opgenomen in Bijlage I.

4.3 Uitlaat

4.3.1 Varianten ontwerp

Voor het ontwerp van de uitlaatconstructie zijn in het startoverleg verschillende ontwerpvarianten besproken waarvan er 3 als realistische mogelijkheden worden gezien:

- halfronde galerij;
- vrij uitstroom;
- langwerpige overstort.

Halfronde galerij

Een variant voor het ontwerp van de uitlaat is een betonnen constructie uitgevoerd als een halfronde galerij. Een dergelijke galerij wordt in veel referentieprojecten gezien. Op Malta bijvoorbeeld, worden halfronde galerijen gebruikt als uitlaten voor het lokale overstroomingstunnelnetwerk. Ook bij de flood bypasses van de Sarner Aa, Zwitserland en San Antonio, USA, wordt gebruikt gemaakt van deze vorm. Een voorbeeld van een halfronde galerij is gegeven in afbeelding 4.9.

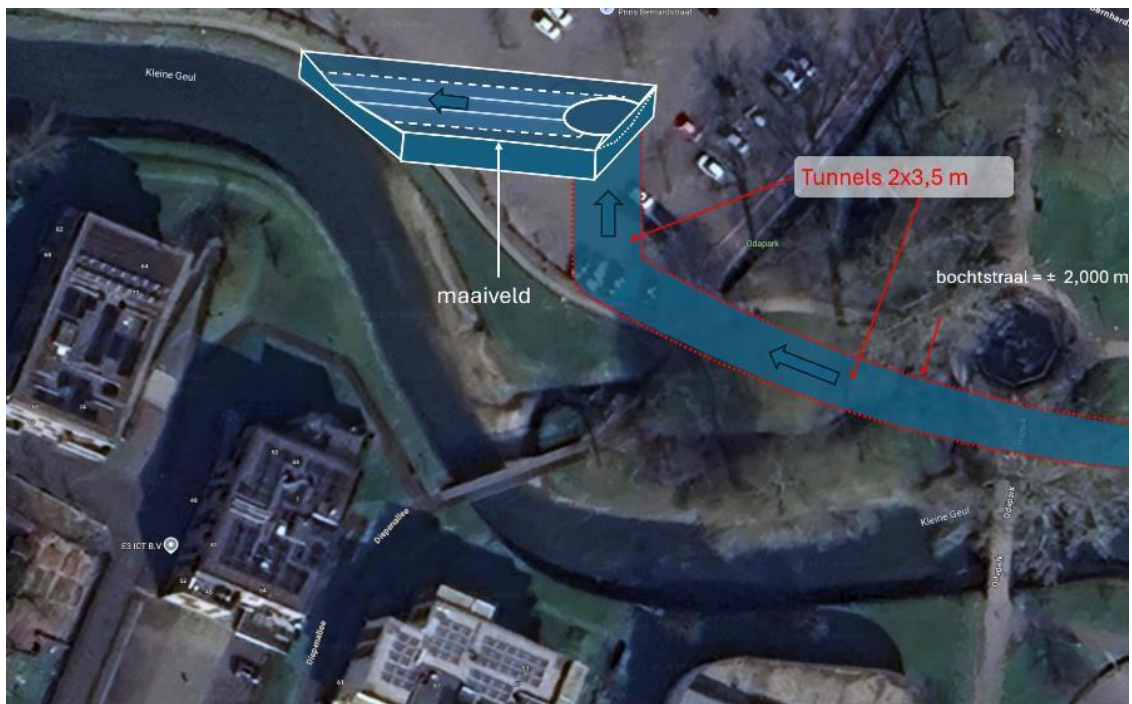
Afbeelding 4.9 Uitstroomvoorziening halfronde galerij in Ta'Xbiex, Malta



Vrije uitstroom

Bij een uitlaat type 'vrij uitstroom' kan het water uit de bypass ongehinderd uitstromen naar de Kleine Geul, zonder nogmaals over een drempel te hoeven stromen. Dat bespaart op verloren energiehoogte. De rand van de verticale koker waarin het water omhoogkomt is de laatste drempel voor het water, waarna het water via een grote stroombak direct in de ontvangende watergang stroomt. Daarbij dient wel een rooster te worden geplaatst om de veiligheid te garanderen. In afbeelding 4.10 wordt indicatief een schets gegeven van hoe dit ontwerpprincipe zou kunnen worden toegepast op deze locatie.

Afbeelding 4.10 Indicatieve schets van oplossing 'Vrij uitstroom'



Langwerpige overstort

Tot slot is een vaste, langwerpige overstortconstructie mogelijk, die parallel aan de Geul wordt geplaatst. In afbeelding 4.11 wordt een voorbeeld gegeven van een dergelijke langwerpige vaste overstortconstructie, zoals die is gerealiseerd in Lyss, Zwitserland. De langwerpige overstort is een reguliere vaste overstortconstructie, die niet haaks op maar parallel aan het ontvangende waterlichaam ligt.

Afbeelding 4.11 Langwerpige uitlaatconstructie (Lyss, Zwitserland)



4.3.2 Varianten locatie

Er zijn 2 mogelijke locaties voor de uitlaat gedefinieerd bij projectgroepoverleggen #1 en #2. In afbeelding 4.12 zijn de varianten voor de locatie van de uitlaat van de bypass weergegeven.

Afbeelding 4.12 Varianten locaties uitlaat



4.4 Tunnel

4.4.1 Varianten ontwerp

Voor het ontwerp van de bypass tunnel zijn er 3 opties gedefinieerd:

- een dubbele bypass tunnel (naast elkaar) met binnendiameter 3,5 m;
- een dubbele bypass tunnel (boven elkaar) met binnendiameter 3,5 m;
- een enkele bypass tunnel met binnendiameter 5,0 m.

Dubbele bypass tunnel met binnendiameter ~ø3,5 m (naast elkaar)

Deze bestaat uit het aanleggen van 2 bypass tunnels naast elkaar, met een interne tunneldiameter van ~ø3,5 m. De dagmaat tussen de tunnels is circa 3 m. Bij deze diameter is het (nog nét) mogelijk om de tunnelleidingen aan te leggen met GFT-boring (gesloten front techniek). Hierbij wordt een tunnel geboord, waarna achter elkaar complete tunnelementen het boorgat ingeperst worden. Een voorbeeld van een dubbele GFT-boring wordt gegeven in afbeelding 4.13.

Afbeelding 4.13 Uitvoering dubbele GFT-boring (bron: K-Boringen)



Dubbele bypasstunnel met binnendiameter 3,5 m (boven elkaar)

In plaats van naast elkaar kunnen de boringen ook boven elkaar worden geplaatst. Deze variant wordt ook afgewogen omdat op deze wijze mogelijk het boren onder panden of particuliere percelen (gedeeltelijk) kan worden voorkomen. In deze variant is een diepere inlaat- en uitlaatschacht benodigd. Dit wordt nader beschouwd in hoofdstuk 6.

Een enkele bypasstunnel met binnendiameter 5 m

In plaats van 2 boringen van $\varnothing 3,5$ m is het ook mogelijk een enkele tunnel te boren met een diameter van circa 5,0 m. Voor een tunnel met deze diameter moet de tunnel als een segmententunnel aangelegd worden. Dit houdt in dat tijdens het boorproces de tunnelwand in de boormachine opgebouwd wordt uit met losse segmenten in plaats van met complete tunneldelen die worden nageperst vanuit de schacht. Een gesegmenteerde boortunnel is een duurdere en complexere techniek in vergelijking met een doorpersing, maar kent veel minder beperkingen in lengte en diameter.

Een voorbeeld van een segmententunnel, waarbij de losse tunnelsegmenten duidelijk zichtbaar zijn wordt gegeven in afbeelding 4.14.

Afbeelding 4.14 Segmententunnel (bron: Denys)



Deze ontwerpvariant wordt nader uitgewerkt in hoofdstuk 6.

4.4.2 Varianten tracé

Op basis van de mogelijke de inlaat- en uitlaatvarianten zijn er 4 varianten voor het tracé van de bypassstunnel opgesteld. Voor het doorrekenen en onderling vergelijken van de tracé varianten wordt uitgegaan van de uitlaatlocatie op Odapark, omdat deze locatie bij het startoverleg reeds de voorkeur had van de projectgroep. De 4 tracévarianten zijn:

- een tracé van inlaatlocatie 1 (parkeerterrein) naar Odapark;
- een tracé van inlaatlocatie 2 (voetbalveld) naar Odapark;
- een tracé van inlaatlocatie 3 (achter dam) via de zuidtak van de geul naar Odapark;
- een tracé van inlaatlocatie 3 (achter dam) via de noordtak van de geul naar Odapark.

Tracévariant 1 (korte variant)

In tracévariant 1 (korte variant) wordt de inlaat gesitueerd onder de parkeerplaats van 'Jeugdheim Achter de Erke'. De uitlaat wordt gesitueerd onder parkeerplaats Odapark. Het tracé vanaf inlaatlocatie 1 is weergegeven in afbeelding 4.15. In bijlage I is een schetsontwerp van deze tracévariant opgenomen.

Afbeelding 4.15 Tracévariant 1 (korte variant)



Het tracé volgt de Geul, waarvoor 2 flauwe ($R > 2.000$ m) horizontale bochten ingepast dienen te worden in het tracé. Bij de inpassing van dit tracé dient rekening gehouden te worden met de funderingen van de Geulpoort en enkele damwanden in de Geul. Het tracé heeft een lengte van circa 840 m.

Tracévariant 2 (middenvariant)

In tracévariant 2 (middenvariant) wordt de inlaat gesitueerd naast het voetbalveld van v.v. Walram. Het tracé wordt weergegeven in afbeelding 4.16. In bijlage I is een schetsontwerp van deze tracévariant opgenomen.

Afbeelding 4.16 Tracévariant 2 (middenvariant)

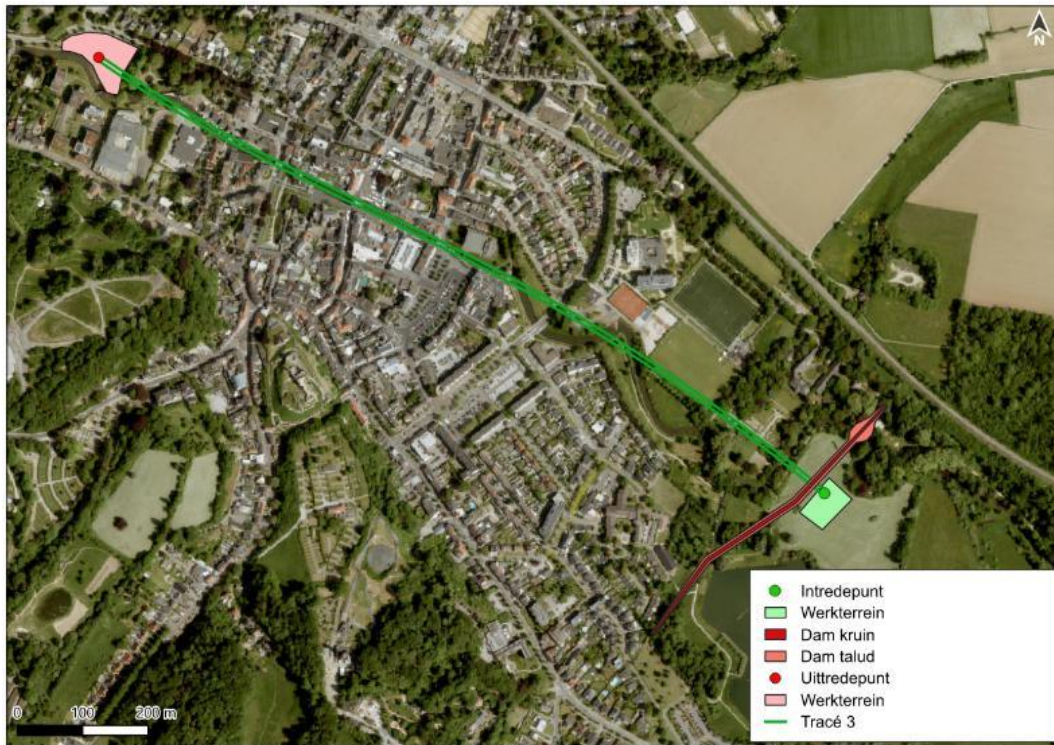


Het tracé volgt grotendeels de Geul, waarvoor 2 flauwe ($R > 2.000$ m) horizontale bochten ingepast dienen te worden in het tracé. Bij de inpassing van dit tracé dient rekening gehouden te worden met de funderingen van de Geulpoort en enkele damwanden in de Geul. Het tracé heeft een lengte van circa 1.030 m.

Tracévariant 3 (lange variant via zuidtak)

In tracévariant 3 wordt de inlaat gesitueerd achter een strekdam die dwars op de Geul wordt geplaatst. Het tracé wordt weergegeven in afbeelding 4.17. In bijlage I is een schetsontwerp van deze variant opgenomen.

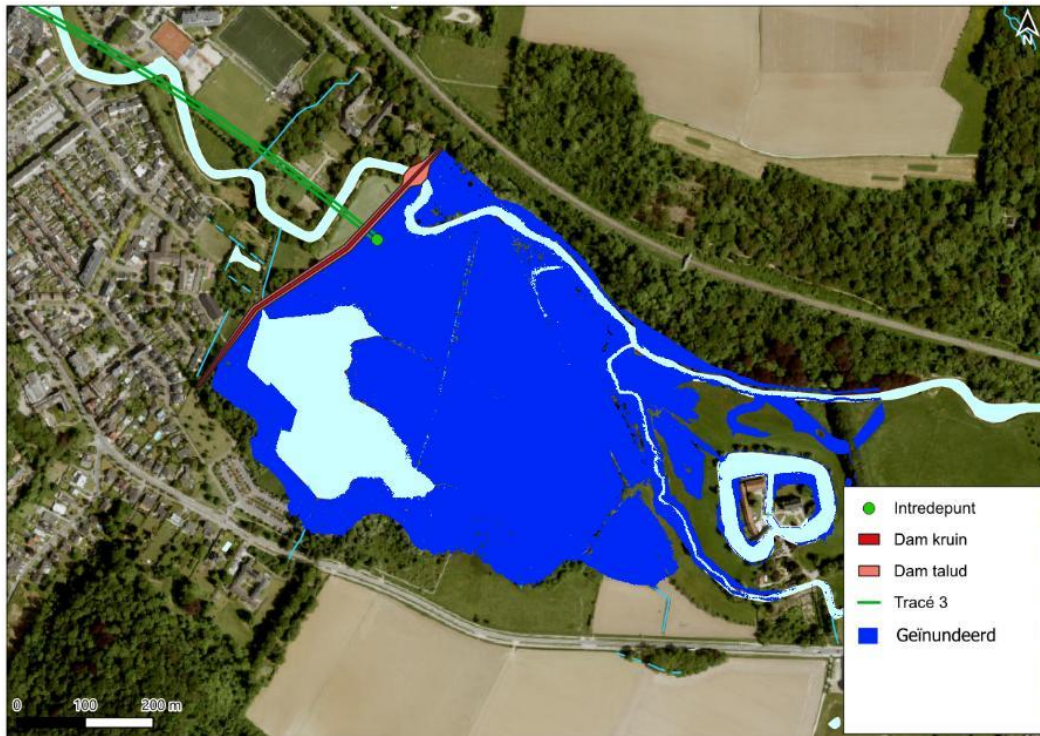
Afbeelding 4.17 Tracévariant 3



Het tracé volgt grotendeels de Geul, waarvoor 3 flauwe ($R > 2.000$ m) horizontale bochten ingepast dienen te worden in het tracé. Bij de inpassing van dit tracé dient rekening gehouden te worden met de funderingen van de Geulpoort en enkele damwanden in de Geul. Het tracé heeft een lengte van circa 1.290 m.

Het doel van Variant 3 is om deze te combineren met een strekdam. De doorlaat van de strekdam beperkt het debiet door Valkenburg tot circa $54 \text{ m}^3/\text{s}$. Bij klimaatbuien leidt deze aanpak tot (enige) berging voor de dam en tot peilopzet. Het gevolg van de peilopzet is dat er meer hydraulische hoogte beschikbaar is, waardoor de tunnelcapaciteit toeneemt. Er wordt uitgegaan van een peilopzet tot maximaal NAP +71,50 m. In afbeelding 4.18 is het bovenstrooms gebied weergegeven dat wordt geïnundeerd bij een peilopzet tot NAP +71,50 m.

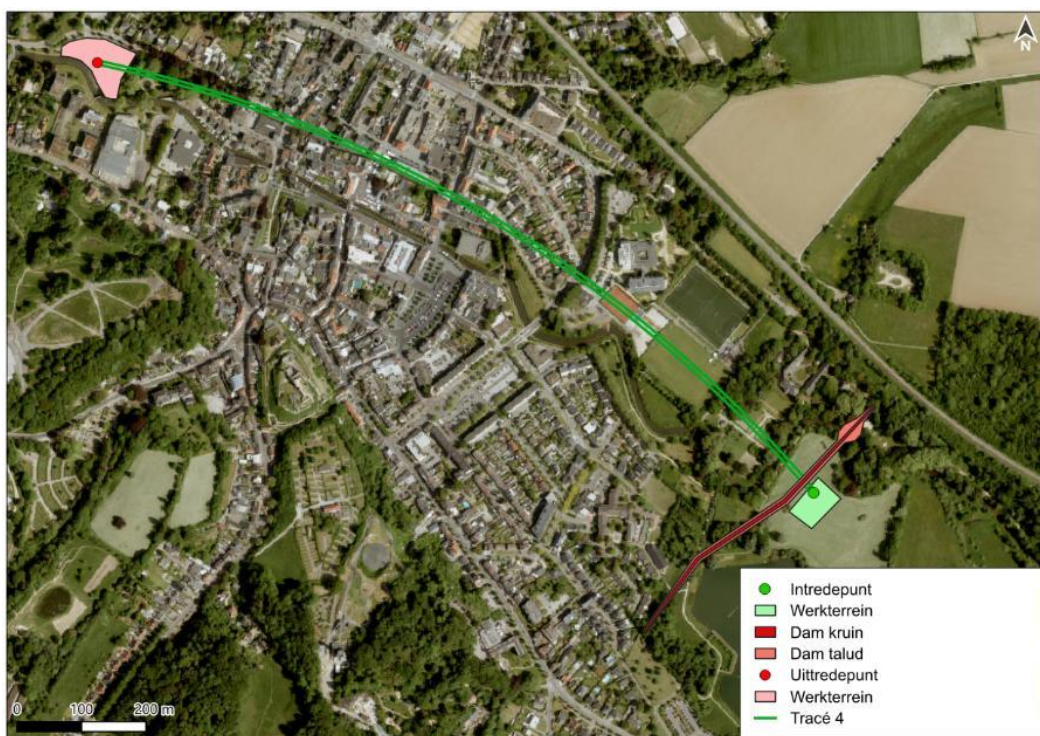
Afbeelding 4.18 Geïndeerd gebied bovenstrooms van strekdam bij peil NAP +71,50 m



Tracévariant 4 (lange variant via noordtak)

In tracévariant 4 wordt de tunnel van inlaatlocatie 3 geboord naar Odapark. Daarbij wordt de boring onder de noordtak van de Geul gesitueerd in plaats van onder de zuidtak. Het tracé wordt weergegeven in afbeelding 4.19. In bijlage I is een schetsontwerp van deze variant opgenomen.

Afbeelding 4.19 Tracévariant 4



4.5 Afgevallen varianten

In de eerste processtappen en projectgroepoverleggen zijn enkele belangrijke varianten besproken en is vroegtijdig besloten deze niet nader te onderzoeken. Deze afgevallen varianten worden in deze paragraaf zeer kort besproken.

Variant met combinatie flood bypass en verkeer

Het is mogelijk om de flood bypass te combineren met een verkeerstunnel. Hiervan is een goed voorbeeld de SMART tunnel in Maleisië. Deze tunnel heeft een lengte van 9,7 km en een diameter van 11,8 m. Een dergelijke tunnel wordt verwacht zeker 10x zo duur te zijn als een veel kleinere tunnel die enkel als flood-bypass functioneert. Een variant waarbij de flood bypass wordt gecombineerd met een verkeerstunnel is daarom in overleg met de projectgroep direct afgevallen.

Varianten met tracé niet onder de Geul

De 4 beschouwde tracévarianten lopen allen onder de Geul. Er zijn naast deze tracés uiteraard ook veel andere denkbare tracés onder de panden van het centrum van Valkenburg. De projectgroep heeft echter vroegtijdig in het proces de keuze gemaakt om het aantal panden en percelen waar de boring onderdoor wordt geboord te minimaliseren. Dit heeft 2 belangrijke voordelen:

- juridische of planologische risico's zijn zodoende zo veel mogelijk te beperkt;
- de baten van de flood-bypass worden vooral ervaren door de panden in het centrum, nabij de Geul. Zodoende zijn bij een tracé onder de Geul de betrokken perceeleigenaren tegelijk ook de eigenaren met het grootste belang.

Tot slot is de diepteligging bij een tracé onder de Geul ongeveer vergelijkbaar met de diepteligging onder panden. Een tracé onder panden heeft dus niet het voordeel van een ondiepere ligging.

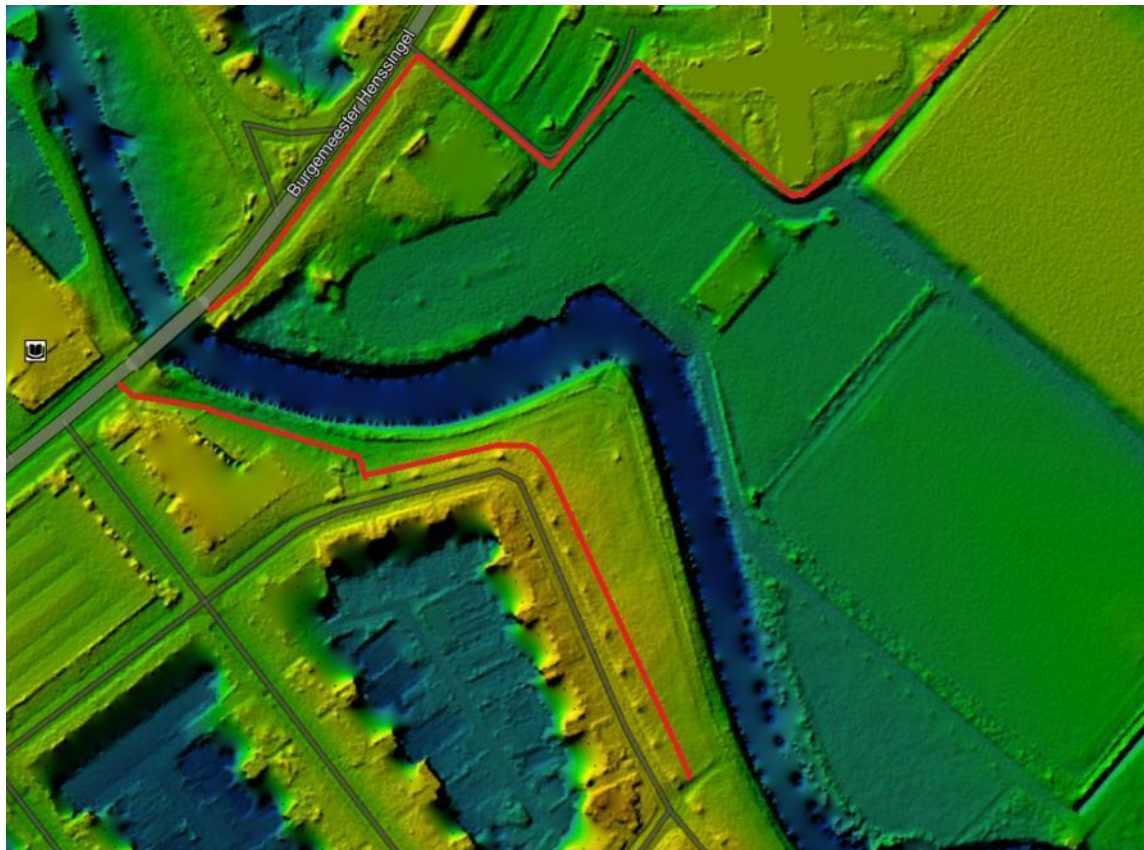
Kadeverhoging bovenstrooms van de Burgemeester Henssingel

Bovenstrooms van de Burgemeester Henssingel is aan zowel aan de zuidoever als aan de noordoever een heftige overstroming ervaren. De grootste overstromingsschade vond plaats in de wijk ten zuiden van de Betsy Perklaan. De reden dat de overstroming in deze wijk zo'n grote impact had ligt deels in het feit dat de tuinen 1 tot 1,5 m verdiept zijn aangelegd en de woningen zijn voorzien van een souterrain op tuinniveau.

Om overstroming te helpen voorkomen is de Betsy Perklaan in de huidige situatie reeds uitgevoerd als een 'mini-dijkje'. De weg ligt iets verhoogd ten opzichte van het omliggende maaiveld en geeft bescherming aan de wijk bij hoogwater situaties. In 2021 echter steeg het water boven de weghoogte uit. Daarnaast zijn in 2021 ook aan de noordoever enkele gebouwen geïnundeerd.

Binnen de projectgroep is daarom voorgesteld om deze gebieden extra te beschermen met een lokale maaiveldverhoging. Dit kan in de vorm kleine aardedam of muurtje van 0,5-1,0 m hoog, tot circa NAP +71,0. Deze maatregel zou deze gebieden bescherming bieden in de meest extreme buien, zoals die van 2021. De maatregel is geschetst in afbeelding 4.20.

Afbeelding 4.20 Hoogtekaart bovenstrooms van Burgemeester Henssingel met mogelijke extra beschermingsmaatregel (rode lijn)



De extra verhoging is een goede, aanvullende beschermingsmaatregel. Het voorstel is echter niet (onderdeel van) één van de af te wegen varianten.

De reden dat dit geen variant kan zijn is dat een hoger peil bij de Betsy Perklaan tegelijkertijd ook overstroming geeft in het centrum van Valkenburg. De extra beschermingsmaatregel leidt dus wel tot extra bescherming van de wijk bij de Betsy Perklaan, maar van de bijbehorende peilopzet kan bij de varianten geen gebruik worden gemaakt. Het maximale waterpeil bij de Burgemeester Henssingel blijft NAP +69,50. Dit kan door de extra beschermingsmaatregel niet verder omhoog.

4.6 Verdiepingslag varianten

In het project wordt gewerkt van grof naar fijn. De eerste selectie van varianten wordt gemaakt op hoofdlijnen. Dit betreft in Stap 1+2;

- het tracé van de tunnel en het ontwerp (2 x ø3,5 m versus 1 x ø5 m);
- de locatie van inlaat en het inlaatconcept (Open drempel, mechanische schuif, opdrijfschot);
- de locatie van uitlaat en het uitlaatconcept (Rechte doorlaat, vrije uitstroom, koepel).

Aan het einde van Stap 1+2 wordt van deze 'lego-steentjes' een voorkeursvariant opgesteld.

Van deze voorkeursvariant zijn in de volgende verdiepingslag vervolgens sub-varianten denkbaar, met name ten aanzien van:

- hydraulische stroomlijning en de bijbehorende kostenafweging;
- exacte positionering van de in- en uitlaat ten opzichte van de Geul, uit oogpunt van:
 - capaciteit / effectiviteit van de tunnel;
 - risico op drijfvuil en hout;

- sediment inname;
- diepte ligging van de tunnel en vervalrichting van de tunnel, uit oogpunt van:
 - hydraulische stroomlijning;
 - risico op luchtinsluiting;
 - onderhoud;
- de keuze om de tunnel vol of leeg te zetten wanneer deze niet wordt gebruikt.

Deze aspecten vormen daarom (nog) geen onderscheidend onderdeel van de eerste varianteselectie. Voor elke variant kunnen in de verdiepingsslag de ontwerpkeuzes voor deze aspecten nog worden gemaakt. Deze aspecten worden daarom nader beschouwd voor de geselecteerde voorkeursvariant in Stap 3+4.

4.7 Samenvatting af te wegen varianten

De varianten die geselecteerd zijn om te worden afgewogen in deze rapportage zijn samengevat in tabel 4.1.

Tabel 4.1 Samenvatting: af te wegen varianten

Onderdeel	Varianten Ontwerp	Varianten Locatie/Tracé
Inlaat	1. vaste overlaat constructie 2. vaste overlaat constructie met woelbak 4. mechanische opening 4. opdrijfschot	1. parkeerterrein; Jeugdheim Achter de Erke' 2. voetbalveld V.V. Walram 3. achter een strekdam
Uitlaat	1. halfronde galerij 2. vrije uitstroom 3. rechte overstort	1. nevengeul 2. Odapark
Tracé	1. 2 x tunnel ø3,5 m, naast elkaar- doorpersing 2. 2 x tunnel ø3,5 m, boven elkaar- doorpersing 3. één tunnel ø5,0 m gesegmenteerd	1. tracé van inlaatvariant 1 naar uitlaatvariant 2 2. tracé van inlaatvariant 2 naar uitlaatvariant 2 3. tracé van inlaatvariant 3 naar uitlaatvariant 2 via de zuidtak van de Geul 4. tracé van inlaatvariant 3 naar uitlaatvariant 2 via de noordtak van de Geul

De varianten worden elk in een aparte MCA afgewogen. Dit betekent dat er 6 multi-criteria analyses (MCAs) worden uitgevoerd in hoofdstuk 9.

5

STAP 1+2: OMGEVINGSASPECTEN

In dit hoofdstuk worden de omgevingsaspecten samengevat, en het eventuele effect ervan op de varianten.

5.1 Kabels en Leidingen

In mei 2025 is een KLIC-melding gedaan, waarbij de ligging van kabels en leidingen rondom het plangebied is opgevraagd. Een overzicht van de kabels en leidingen is weergegeven in bijlage II.

5.1.1 Tracé varianten

De kabels en leidingen doorkruisen de tracévarianten en de werkterreinen van de verschillende in- en uitlaatlocaties. In tabel 5.1 zijn het aantal kruisingen weergegeven van elke tracé variant met bestaande kabels en leidingen.

Tabel 5.1 Aantal kruisingen van tracés met bestaande kabels en leidingen

Tracé variant	Kruisingen met kabels/leidingen (losse polygonen)
Variant 1	335
Variant 2	295
Variant 3	248
Variant 4	392

Uit de tabel blijkt dat elke variant honderden bestaande kabels en leidingen kruist. Opgemerkt wordt dat vanwege de diepteligging van de tunnel en de grondslag in Valkenburg de invloed op kabels en leidingen nihil is. Enkel nabij start- en ontvangtschacht is dit echt relevant.

2 kruisingen verdienen echter wel aandacht:

- 1 er ligt een datakabel onder Odapark die middels HDD-boring lijkt te zijn aangelegd. Het kabeltracé doorkruist alle 4 de tracévarianten. Het is dus mogelijk dat deze kabel het tracé kruist dus ter hoogte van de flood bypass. De diepteligging van de kabel dient daarom in de voorontwerpfase te worden vastgesteld en de kabel dient te worden verlegd voor aanleg van de tunnel. De ligging van de kabel speelt echter geen onderscheidende rol in de variantenafweging;
- 2 er ligt een rioolkoker onder de Geul. Deze koker ligt in de zuidtak van de Geul, direct boven tracé 1, 2 en 3. Ook tracé 4 kruist deze koker nabij Odapark. Dit betekent dat de ontwerpdiepte van de flood bypass voldoende diep moet zijn om deze koker op voldoende afstand te kruisen. In de volgende fase vormt de ligging van deze koker één van de randvoorwaarden van het tracé-ontwerp. De ligging van de koker speelt echter geen onderscheidende rol in de variantenafweging.

5.1.2 Inlaatvarianten

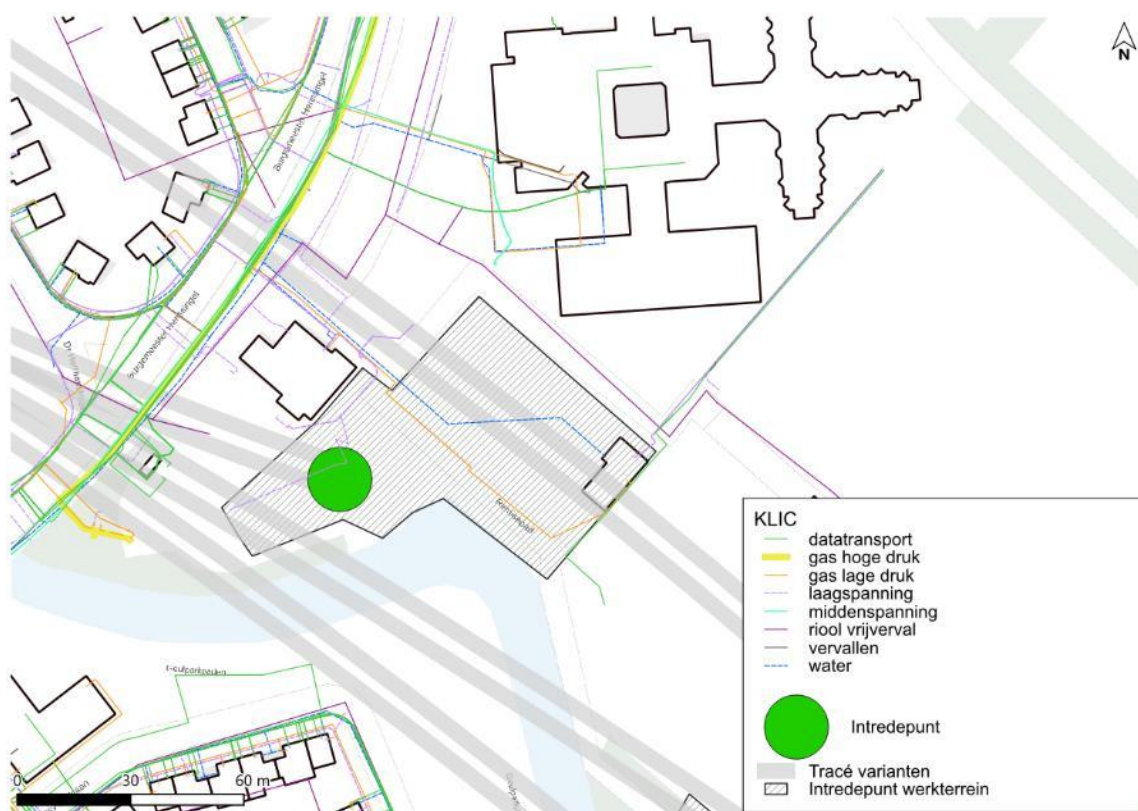
In tabel 5.2 zijn het aantal kruisingen weergegeven van elke locatievariant voor de inlaat met bestaande kabels en leidingen.

Tabel 5.2 Bestaande kabels en leidingen op inlaatlocatie varianten

Inlaatlocatie	Kruisingen met kabels/leidingen inlaatconstructie	Kabels/leidingen op werkterrein
Variant 1 Zuidwest	1 laagspanningskabel aangesloten op lichtmast	6 (gas lage druk, laagspanning, water, data)
Variant 1 Noordoost	1 gasleiding lage druk	6 (gas lage druk, laagspanning, water, data)
Variant 2	0	0
Variant 3	0 (3 incl. dam; waaronder gasleiding hoge druk)	0

Uit de tabel blijkt dat er op inlaatlocatie 1 enkele bestaande kabels en leidingen liggen. Er worden op deze locaties echter geen belangrijke (midden- of hoogspanningskabels, hoge druk gasleidingen of transportleidingen water/afvalwater) gezien. In tabel 5.1 zijn de bestaande kabels en leidingen op inlaat locatie 1 weergegeven.

Afbeelding 5.1 Bestaande kabels en leidingen op inlaat locatie



Er zijn op de inlaatlocaties van varianten 2 en 3 geen kruisingen met bestaande kabels en leidingen. Wel kruist de beoogde strekdam in inlaatvariant 3 in totaal 3 bestaande kabels en leidingen.

Er ligt op de locatie van de strekdam een hoge druk gasleiding (tabel 5.2), een laagspanningskabel en een vrij verval riool. In afbeelding 5.2 zijn de bestaande kabels en leidingen op inlaat locatie 3 (met strekdam) weergegeven.

Afbeelding 5.2 Kruisingen bestaande kabels en leidingen met strekdam



De ligging van de gasleiding is opmerkelijk en mogelijk onjuist in de KLIC. Wanneer wordt gekozen voor Variant 3 zal dit nader moeten worden onderzocht in overleg met de leidingeigenaar.

5.1.3 Uitlaatvarianten

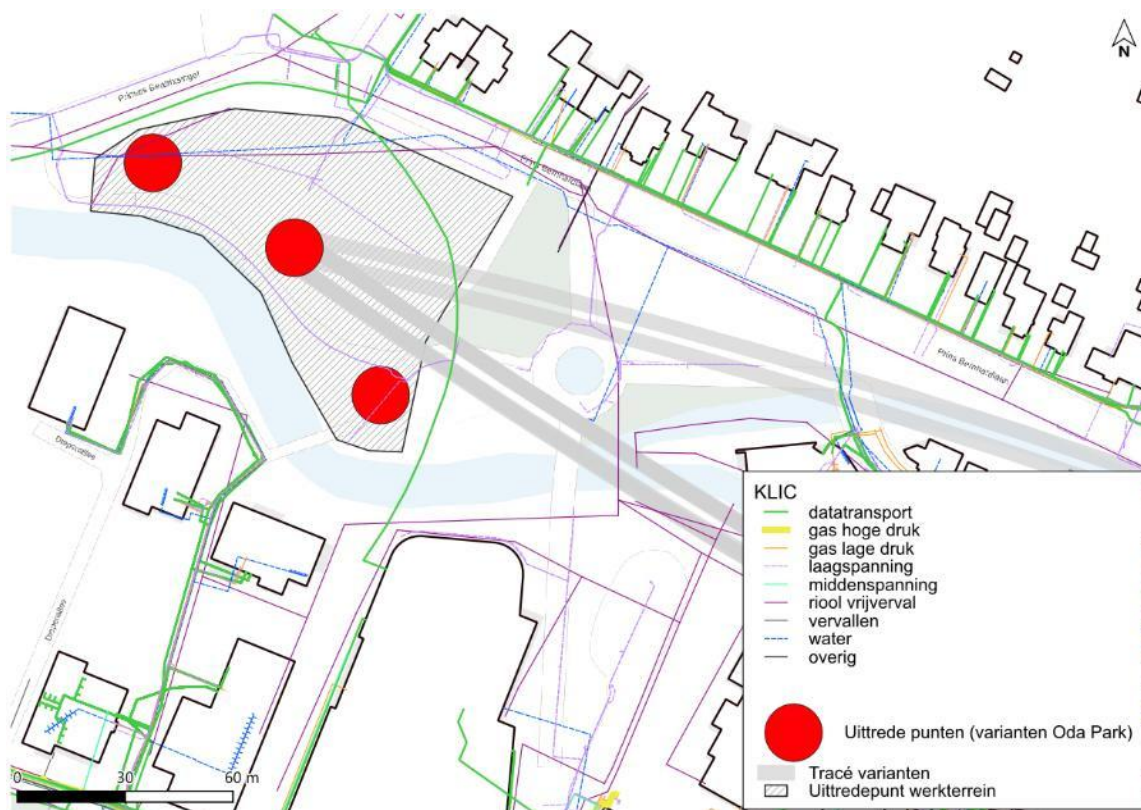
In tabel 5.3 zijn het aantal kruisingen weergegeven van elke locatievariant voor de uitlaat met bestaande kabels en leidingen. Daarbij is voor variant locatie 2 onderscheid gemaakt tussen de 3 uitlaatlocaties die voor deze variant zijn onderscheiden.

Tabel 5.3 Bestaande kabels en leidingen op uitlaatlocatie varianten

Uitlaatlocatie	Kruisingen met kabels/leidingen inlaatconstructie	kabels/leidingen op werkterrein
Variant 1 - Nevengeul	0	5 (laagspanning en data) + enkele aftakkingen
Variant 2 - Oda Park, West	3 (riool vrijverval, water)	10+ (riool vrijverval, laagspanning, water, data)
Variant 2 - Oda Park, Midden	0	10+ (riool vrijverval, laagspanning, water, data)
Variant 2 - Oda Park, Oost	3 (laagspanning)	10+ (riool vrijverval, laagspanning, water, data)

Uit de tabel blijkt dat op beide locaties bestaande kabels en leidingen aanwezig zijn. Er worden echter geen kritische kabels/leidingen geraakt die moeilijk zijn te verleggen. In afbeelding 5.3 zijn de bestaande kabels en leidingen op uitlaat locatie 2 weergegeven.

Afbeelding 5.3 Bestaande kabels en leidingen op uitlaat locatie 2



Uit de analyse wordt geconcludeerd dat:

- de bestaande kabels en leidingen voor de tunneltracévarianten (waarschijnlijk) niet onderscheidend zijn. Op basis van de KLIC gegevens worden geen boringen verwacht en dus geen conflicten met de diepliggende tunnel tracés. Geadviseerd wordt om de voorontwerpfase de diepteligging van alle kruisende kabel en leidingen bij de eigenaren te verifiëren;
- op inlaatlocatie 1 zijn enkele conflicten met bestaande kabels en leidingen, waaronder een gasleiding (lage druk). Echter zijn er geen kritische conflicten met bestaande kabels en leidingen;
- bij inlaatlocaties 2 en 3 worden conflicten met bestaande kabels en leidingen (vrijwel) geheel voorkomen;
- de strekdam van inlaatlocatie 3 doorkruist wel een gasleiding (hoge druk) en een vrij verval riool.
- bij de uitlaatlocaties is het aantal conflicten met bestaande kabels/leidingen zeer beperkt;
- alle tracé varianten doorkruisen 1 geboorde datakabel, die voor de aanleg van de tunnel zal moeten worden verlegd.

5.2 Kadastrale eigendom situatie

Voor elke tracévariant is geanalyseerd hoeveel percelen, zowel privé als publiek, worden gekruist met de flood-bypass. Deze analyse is uitgevoerd voor alle 3 de ontwerpvarianten voor de flood-bypass; de variant met 2xø3,5 m tunnels naast elkaar, de variant met 2xø3,5 m tunnels boven elkaar en de gesegmenteerde leiding 1x ø5,0 m.

De bevindingen van deze analyse zijn samengevat in tabellen 5.4, 5.5 en 5.6. De kadastrale percelen en panden weergegeven in bijlagen III en IV, respectievelijk.

Tabel 5.4 Kruisingen van tracés met percelen en panden (Ontwerpvariant: 2 tunnels van 3,5 m naast elkaar)

Kruisingen met				
Tracé	Percelen	Privé percelen	Publieke percelen	Panden
1	55	29	26	5
2	55	30	25	6
3	60	31	29	5
4	60	42	18	29

Tabel 5.5 Kruisingen van tracés met percelen en panden (Ontwerpvariant: 2 tunnels van 3,5 m boven elkaar)

Kruisingen met				
Tracé	Percelen	Privé percelen	Publieke percelen	Panden
1	33	13	20	2
2	32	13	19	2
3	37	15	22	2
4	45	30	15	22

Tabel 5.6 Kruisingen van tracés met percelen en panden (Ontwerpvariant: 1 tunnel van 5 m)

Kruisingen met				
Tracé	Percelen	Privé percelen	Publieke percelen	Panden
1	33	13	20	2
2	32	13	19	2
3	37	15	22	2
4	45	30	15	22

Uit de tabellen kunnen de volgende conclusies op hoofdlijnen worden getrokken:

- het aantal percelen en panden dat met tracé 1, 2 en 3 wordt onderkruist is zeer vergelijkbaar;
- tracé variant 4 kent een aanzienlijk hoger aantal kruisingen met percelen en/of panden dan tracé variant 1, 2 en 3. Dit komt met name doordat de noordtak van de Geul niet zo goed door de tunnel kan worden gevolgd als de zuidtak. Daarnaast worden percelen en panden in de woonwijk aan de Doctor Hermanstraat onderkruist;
- het aantal percelen en panden dat wordt onderkruist is aanzienlijk lager wanneer gekozen wordt voor een enkele tunnel van 5 m doorsnede of 2 tunnels van ø3,5 m die boven elkaar worden geplaatst in vergelijking met 2 tunnels van ø3,5 m die naast elkaar worden geplaatst. Dit komt omdat 2 tunnels naast elkaar beide net zo breed zijn als de hele Geul, waardoor bij de parallelle ligging de direct aangelegen panden en percelen al snel worden onderkruist.

Het projectgebied bevindt zich binnen een beekdal, waar voornamelijk kleiige, lemige, zandige of grindige beekdalafzettingen uit de Formatie van Bortel afgezet zijn. Deze bedekken discordant de Formatie van Maastricht, die voornamelijk uit zachte, fijn- tot zeer grofkorrelige kalksteen bestaat. Deze bedekt concordant de Formatie van Gulpen, die voornamelijk uit zachte, fijnkorrelige kalksteen bestaat. Er zijn geen breuken zichtbaar binnen het projectgebied volgens informatie beschikbaar op het GEOViewer van Provincie Limburg [ref. 5].

Voor de analyse van de bodemopbouw is een schematische bodemopbouw opgesteld rond de locaties van de inlaten 1, 2, 3 en de uitlaat, dit is weergegeven in tabel 5.7.

Tabel 5.7 Schematisch bodemopbouw rond de locaties van de inlaten 1, 2, 3 en de uitlaat op basis van lokale grondonderzoeken (boringen en sonderingen) uit het DINOloket, en recent beschikbare sonderingen uitgevoerd bij de kruisingen tussen Oranjelaan en Emmalaan [ref. 14] en tussen Prinses Beatrixsingel en Kruijtmolenweg [ref. 6], in overeenstemming met het landelijke REGIS-model (versie II v2.2.3) [ref. 3]

Formatie	Lithologie **	Bodemopbouw Inlaat 3 (variant 3 - tracé lange variant)	Bodemopbouw Inlaat 2 (variant 2 - tracé middenvariant)	Bodemopbouw Inlaat 1 (variant 1 - tracé korte variant)	Bodemopbouw Uitlaat
	mv [m+NAP]:	+70,5	+69,5	+69,0	+67,5
Formatie van Bortel - Laagpakket van Schimmert	leem, zwak zandig, matig	+68,5	+67,5	+67,5	+65,5
Formatie van Bortel	klei, zwak zandig, slap	+67,5	+66,0	+66,0	+63,5
Formatie van Bortel	zand, schoon, vast	+66,0	+63,5	+63,5	+61,0
Formatie van Maastricht	zachte, grofkorrelige kalksteen	+64,0	+54,0	+48,0	+21,0
Formatie van Gulpen	zachte kalksteen	> +10,0	> +10,0	> +10,0	> +10,0

* Bodemopbouw geeft aan de onderkant van elke laag in m+NAP.

** Lithologie is bepaald op basis van o.b.v. expert judgement volgens NEN9997-1+C2 classificatie).

Uit de analyses worden geconcludeerd dat er weinig variaties in de bodemopbouw zijn langs het tracé of tussen de verschillende tracé varianten:

- de beekdalafzettingen uit de Formatie van Bortel zijn afgezet in een continue laag van circa 4 à 6 m dik onder het maaiveld, waarvan de dikte toeneemt naar de uitlaat toe. Dit komt overeen met recent beschikbare sonderingen uitgevoerd bij de kruisingen tussen Oranjelaan en Emmalaan [ref. 14] en tussen Prinses Beatrixsingel en Kruijtmolenweg [ref. 6], waar we doorgaans een CPT-terugslag waarnemen op circa 5 m onder het maaiveld, aan de bovenkant van de kalksteenlaag;
- hieronder, zijn kalksteen uit de Formaties van Maastricht en Gulpen onder een schuine hoek afgezet, waardoor de Formatie van Maastricht bijna afwezig is bij inlaatlocatie 3, terwijl deze dikker wordt richting de inlaatlocaties 1, 2 en de uitlaat. Volgens het DINOloket, bevat de Formatie van Maastricht iets meer grofkorrelige kalksteen dan de Formatie van Gulpen, die alleen fijnkorrelige kalksteen omvat. Dit kan betekenen dat inlaat 3, door de afwezigheid van de Formatie van Maastricht, mogelijk iets eenvoudiger te boren is dan inlaten 1 en 2;
- desondanks zijn de verschillen beperkt, waardoor ze weinig impact zullen hebben op het ontwerp en de keuze tussen de verschillende tracé varianten.

Opgemerkt wordt dat deze inzichten kunnen veranderen met nieuw verkregen bodemonderzoeken.

5.3.2 Geologie van ondergrondse gangenstelsels

In de omgeving van Valkenburg zijn in de loop van de tijd gangenstelsels aangelegd. De gangenstelsels van Valkenburg zijn ontstaan door eeuwenlange mergelwinning, beginnend in de Romeinse tijd. Deze groeves werden gebruikt voor de bouw van kerken, kastelen en huizen en dienden tijdens oorlogen als schuilplaatsen voor de lokale bevolking. Tegenwoordig zijn de grotten, zoals de Gemeentegrot en Fluweelengrot, populaire toeristische attracties die een rijke geschiedenis weerspiegelen. Het is van belang dat de beoogde tunnelboring niet in de buurt komt van bestaande gangenstelsels. Dit wordt nader besproken in 5.5 - Archeologie.

5.3.3 Karstverschijnselen

Een van de belangrijkste geologische risico's langs het projectgebied is de mogelijke aanwezigheid van karstverschijnselen volgens Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) [ref. 10]. Wanneer kalksteen oplost in water, kunnen verdwijngaten, grotten of gangen gaan ontstaan.

De vroegste karstverschijnselen in Zuid-Limburg zijn te herleiden naar de kalkstenen die gevormd zijn in het Laat-Maastrichtien [ref. 4], wat mogelijk duidt op de aanwezigheid van deze verschijnselen in de Formaties van Maastricht en Gulpen op de projectlocatie. Verkarsting is in feite aangetoond door boringen in de omgeving van Maastricht en Valkenburg [ref. 11]. Volgens een lokale studie zijn karstverschijnselen, indien aanwezig, doorgaans klein en komen ze meestal voor op diepten dieper dan 115 meter [ref. 7].

Helaas zijn er weinig recente studies beschikbaar over de verspreiding van karstverschijnselen in de regio, en zijn er geen kaarten van deze verschijnselen beschikbaar. Hoewel het risico aanwezig is, is het moeilijk om dit risico in te schatten. Verondersteld wordt dat het risico op karstverschijnselen langs het tracé klein is, omdat op deze locatie altijd grondwater aanwezig is dat (vrijwel) stilstaat.

Geadviseerd wordt om in de voorontwerp fase extra geofysisch grondonderzoek uit te voeren (zoals *Electrical resistivity tomography* (ERT) of *Electromagnetic mapping* (EM)) om deze aspecten beter in kaart te brengen. Op de keuze tussen de tracévarianten is geen verschil; het risico is gelijk voor alle varianten.

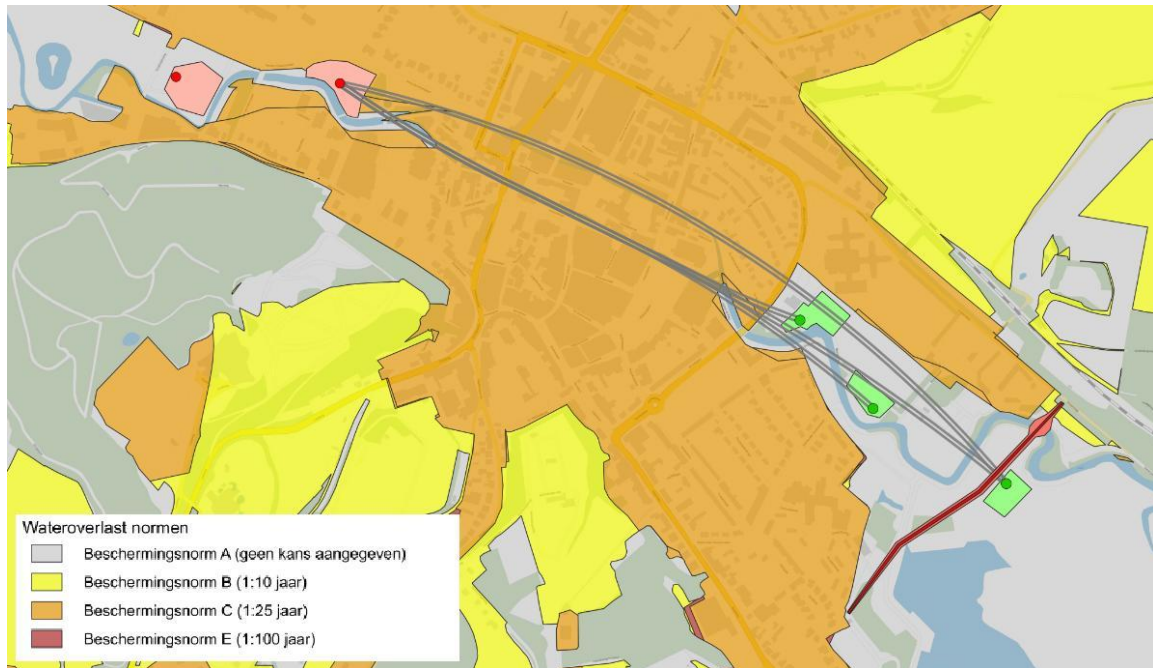
5.4 Hydrologie

In deze paragraaf wordt in gegaan op de hydrologie van het gebied. Eerst zijn de kenmerken van het oppervlaktewatersysteem beschreven. Vervolgens is ingegaan op de grondwaterstanden en stijghoogtes in het projectgebied.

5.4.1 Beschermingsnormen

In de legger 'beschermingsnormen' van het Waterschap Limburg zijn de beschermingsnormen voor de bebouwing van Valkenburg en omgeving opgenomen. Over het algemeen geldt voor Valkenburg een beschermingsnorm van T25. In afbeelding 5.5 zijn de beschermingsnormen weergegeven. Een gedetailleerdere kaart met beschermingsnormen is opgenomen in Bijlage VII.

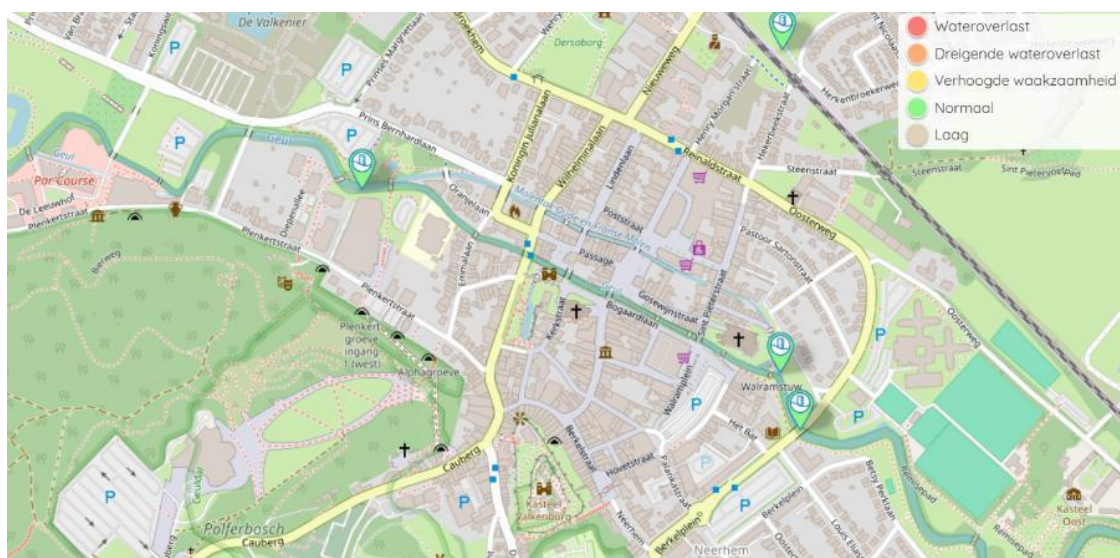
Afbeelding 5.5 Beschermingsnormen Valkenburg en Omgeving



5.4.2 Oppervlaktewater

In de omgeving van de projectlocatie zijn de oppervlaktewaterpeilen vastgesteld in het peilbesluit van het Provinciaal Waterprogramma 2022-2027 [ref. 9]. Het projectgebied ligt langs 2 primaire watergangen: de Geul aan de zuidkant en de 'Molentak Oude en Franse molen' aan de noordkant, zie afbeelding 5.6. Voor beiden watergangen is de leggerstatus vastgesteld, met een verschil tussen stroomopwaarts en stroomafwaarts, zoals aangegeven in tabel 5.8.

Afbeelding 5.6 Oppervlaktewater in het projectgebied, welke bevindt zich langs 2 primaire watergangen: de Geul aan de zuidkant en de Molentak Oude en Franse molen aan de noordkant [ref. 12], met locaties van de oppervlaktewaterpeilen in het projectgebied bij Waterschap Limburg [ref. 13]



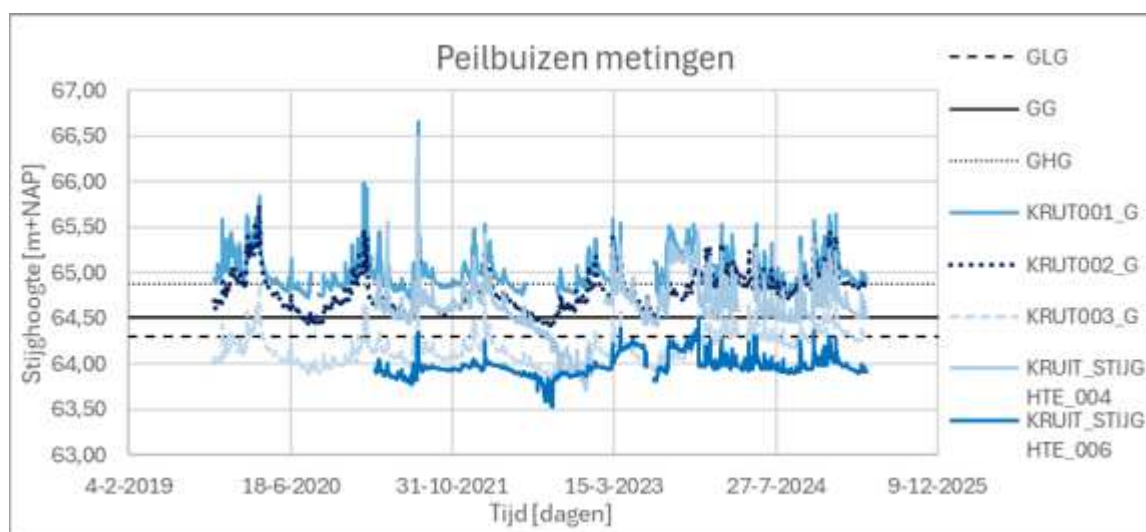
Tabel 5.8 Oppervlaktewaterpeilen in het projectgebied volgens Waterschap Limburg [ref. 13]

Locatie	Maximaal oppervlaktewaterpeil: normaal situatie [m+NAP]	Maximaal oppervlaktewaterpeil: verhoogde waakzaamheid [m+NAP]	Maximaal oppervlaktewaterpeil: dringende wateroverlast [m+NAP]
stroomopwaarts (inlaat 1/2/3)	68,4	69,2	69,5
stroomafwaarts (uitlaat)	65,8	66,3	66,8

5.4.3 Grondwaterstanden en stijghoogtes

Nabij de projectlocatie heeft Waterschap Limburg 5 geschikte peilbuizen gedeeld, zie afbeelding 5.7. Dit zijn actieve meetpunten en bieden daarom recent relevante informatie. De 4 peilbuizen die toegankelijk zijn op het DINOloket zijn niet geschikt, omdat het vervallen meetpunten betreft met een gebrek aan data in de afgelopen > 7 jaar. Op basis van de actieve meetpunten zijn de gemiddelde grondwaterstand (GG), gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) berekend, zie ook afbeelding 5.7. Opgemerkt wordt dat deze 5 peilbuizen zich allemaal bevinden ter hoogte van de geplande uitlaat van de tunnel.

Afbeelding 5.7 Overzicht van peilbuizen metingen nabij projectlocatie met algemene GG, GLG en GHG



Om een beter beeld te krijgen van de grondwaterstanden bij de inlaten, is gebruikgemaakt van de landelijke gemiddelde grondwaterstand kaart, zie afbeelding 5.8.

Afbeelding 5.8 Locaties van de peilbuizen nabij de projectlocatie ten opzichte van de gemiddelde grondwaterstand [ref. 8]

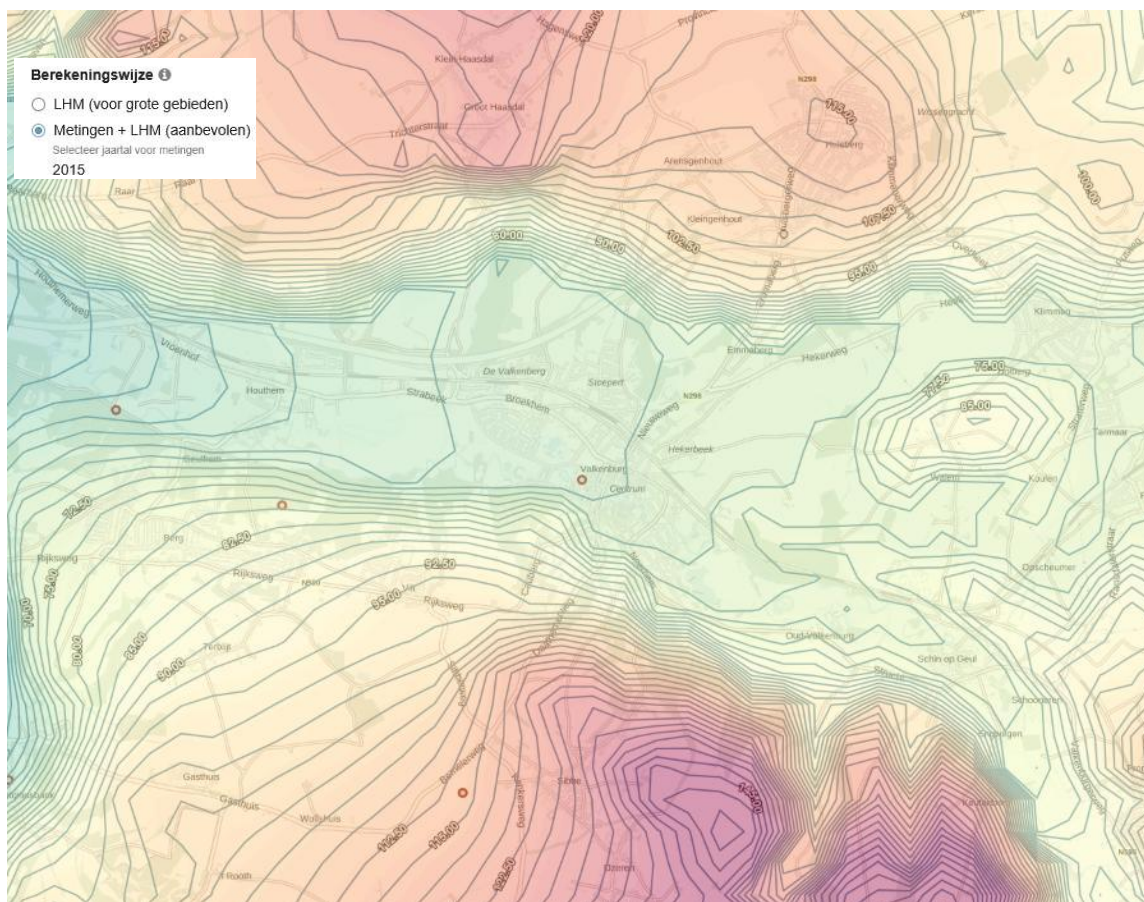


Op basis van deze kaart ligt de GG op circa 1,5 m-mv bij de inlaten en bij circa 2,5 m-mv bij de uitlaat. Hierbij wordt opgemerkt dat dit een heel grove indicatie betreft omdat het op basis van het Landelijk Hydrologisch Model is bepaald, wat een grof model is (250x250m modelcellen) en het een gebied betreft met grote lokale verschillen in de grondwaterstand als gevolg van de geologie en het aanwezige reliëf. De kaart maakt wel duidelijk dat de grondwaterstand in het beekdal gemiddeld relatief dicht onder maaiveld ligt. Voor werkzaamheden waarbij gegraven wordt is het relevant om te weten dat er dan bemaling nodig is om droog te kunnen werken. Gegeven de verwachte diepte van de schachten (circa 20 m) is bemaling met zekerheid nodig om een droge bouwkuip te bewerkstelligen. Gegeven de lage doorlatendheid van de mergel is het goed mogelijk dat de benodigde bemalingscapaciteit beperkt is.

In bijlagen VIII en IX zijn overzichtskaarten opgenomen van de GHG en GLG.

5.4.4 Grondwaterstromingsrichting

Op basis van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) zijn isohypsen van het eerste watervoerende pakket (in Formatie van Maastricht, kalksteen) berekend. In afbeelding 5.9 zijn de isohypsen weergegeven in combinatie met peilbuismetingen op basis van het jaar 2015. Dit jaar is gekozen vanwege grootste beschikbaarheid van peilbuizen in de tool.



De isohypsens geven een eerste indruk van het verloop van de stijghoogte in de kalksteenformatie, de Formatie van Maastricht. De gepresenteerde informatie is enkel een eerste indruk, vanwege de grofheid van het Landelijk Hydrologisch Model.

In afbeelding 5.9 is te zien dat er een sterk verhang is. Aan de noordkant van Valkenburg is het stijghoogteniveau ter hoogte van Groot Haasdall circa NAP +125 m. Ten zuiden van Valkenburg, ter hoogte van Sibbe/IJzeren loopt het op tot circa NAP +150 m.

Vanaf deze hoge niveaus stroomt het grondwater richting het dal van de Kleine Geul. Dit dal is duidelijk terug te zien in de isohypsens. Op basis van de isohypsens van het LHM verloopt het stijghoogteniveau bij Valkenburg van circa NAP +70 m aan de zuidoostkant van Valkenburg (rondom intredpunt) naar circa NAP +66 m (rondom uittredpunt).

In het dal stroomt het grondwater met de Kleine Geul mee, in westelijke richting. Omdat de tunnel van de bypass ook in dezelfde oost-west oriëntatie wordt voorzien, parallel aan de stromingsrichting van het grondwater in het dal, wordt de kans op obstructie van toestromend grondwater klein geacht.

Ter plekke van de het intrede en uittrede punt zullen constructies die in de ondergrond worden aangebracht (de schachten) wel zorgen voor opstuwende effecten. De grootte van dit effect hangt af van de mate waarin het watervoerende deel van de ondergrond wordt afgesloten. Als vuistregel wordt doorgaans aangenomen dat zolang minder dan 2/3 van het watervoerende deel van een pakket wordt afgesloten het opstuwende effect beperkt zal zijn. Daarom is voor dit project de verwachting dat het opstuwende effect zeer beperkt zal zijn.

Het eventueel opstuwende effect van bouwkuipen is niet onderscheidend tussen de verschillende varianten. Daarom is dit effect niet nader beschouwd. Geadviseerd wordt om de voorontwerpfase een nadere studie uit te voeren van het opstuwende effect, wanneer de locaties en maatvoering van de bouwkuipen bekend is.

In de aanlegfase is er onderscheid te maken in de tunnel en de bouwkuipen van waaruit de tunnel geboord wordt. De tunnel zal in de aanlegfase geen of een zeer beperkt effect hebben op de grondwaterstand en -stroming, omdat deze parallel aan de stromingsrichting wordt aangelegd. De aanname daarbij is wel dat de tunnel bij aanleg direct waterdicht wordt afgewerkt. Als dat niet het geval is, en er een periode een tunnel aanwezig is die in open contact staat met het grondwater, dan zal dit zorgen voor een preferentiële stroming, met een veel hogere doorlatendheid dan de omgeving. Hierdoor kan de tunnel dan in de aanlegfase een verdrogend (want drainerend) effect hebben.

De bouwkuipen zullen in de aanlegfase bemalen moeten worden, omdat deze tot ver onder het niveau van de grondwaterstand worden aangelegd. Er wordt vanuit gegaan dat de bouwkuipen worden gerealiseerd met een waterdichte onderkant middels onderwaterbeton. Bemaling is dan alleen nodig om de bouwkuip leeg te pompen en vervolgens lekwater dat via damwandsloten de bouwkuip binnenkomt weg te pompen. Dit zal in alle varianten gelijk zijn: de aanlegmethode verschilt niet tussen de varianten.

Een risico waar in het voorontwerp aandacht voor nodig is, is het opbarstrisico van de onderwaterbetonvloer. Indien een spanningsbemaling nodig is onder deze betonvloer is het te onttrekken debiet vele malen groter dan wanneer alleen lekwater afgepompt hoeft te worden. Ook het effect op de grondwaterstanden in de omgeving is dan groter. Maar ook dit risico geldt ook voor alle varianten en daarmee niet onderscheidend.

Uit de analyse van de geohydrologie van het gebied wordt geconcludeerd dat dit aspect geen onderscheidend effect heeft op de verschillende varianten of tunneltracés. Geadviseerd wordt om in de voorontwerpfase een nadere analyse uit te voeren van:

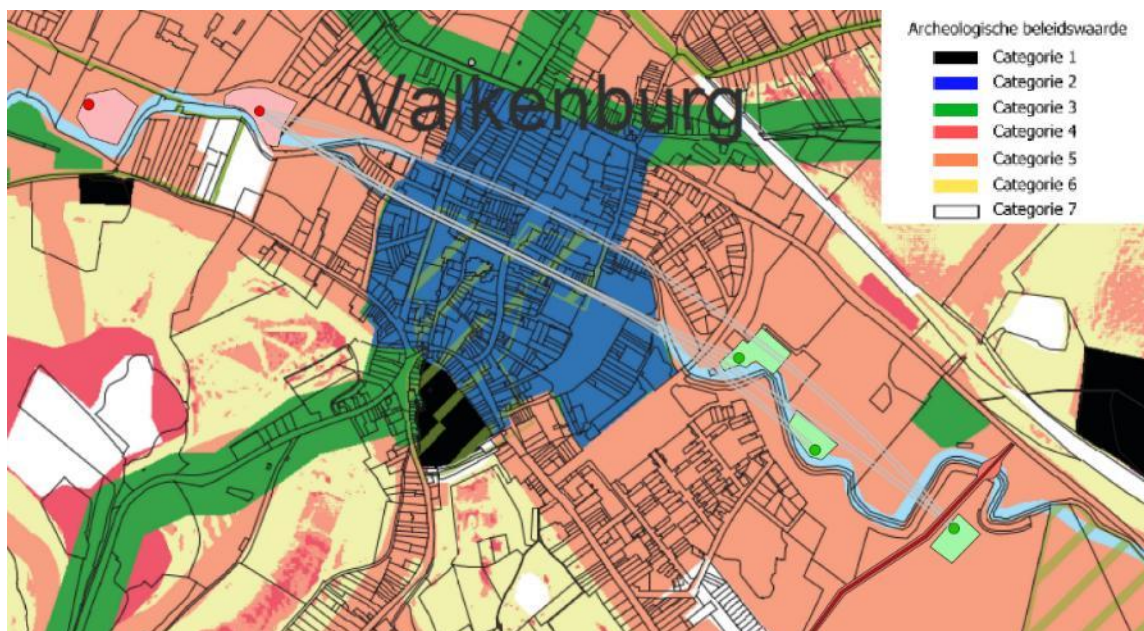
- het eventuele opstuwende effect van de schachten op de grondwaterstanden in bovenstroomse richting;
- het opbarstrisico van de onderwaterbetonvloer in de inlaat- en uitlaatschachten.

5.5 Archeologie

5.5.1 Archeologische beleidskaart

De gemeente Valkenburg aan de Geul heeft de meest recente beleidskaarten archeologie, cultuurhistorie, en groeven (Archol rapport 121, Van Wijk & Orbons 2009) aangeleverd aan Witteveen+Bos. In afbeelding 5.10 en bijlage X zijn de tracé varianten, in- en uitlaat locaties geprojecteerd op de archeologische beleidskaart van Valkenburg aan de Geul.

Afbeelding 5.10 De varianten op de archeologische beleidskaart van Valkenburg aan de Geul (Archol rapport 121)



In de afbeelding is te zien dat alle locatievarianten voor de in- en uittredepunten liggen op locaties die zijn geclassificeerd als archeologische beleidswaarde categorie 5. Voor categorie 5 geldt een vrijstellingsgrens voor werkzaamheden die kleiner zijn dan 1000 m² en ondieper dan 40 cm.

Alle tracés doorkruisen het centrum van Valkenburg, met archeologische beleidswaarde categorie 2. Daarbij is in de vrijstellingsgrens een oppervlak van 100 m² en een maximale diepte van 50 cm van toepassing.

Aangezien de tunnel diep onder het centrum loopt, is het waarschijnlijk dat er geen verstoring van archeologische waarden plaatsvindt, behalve bij de in- en uittredepunten.

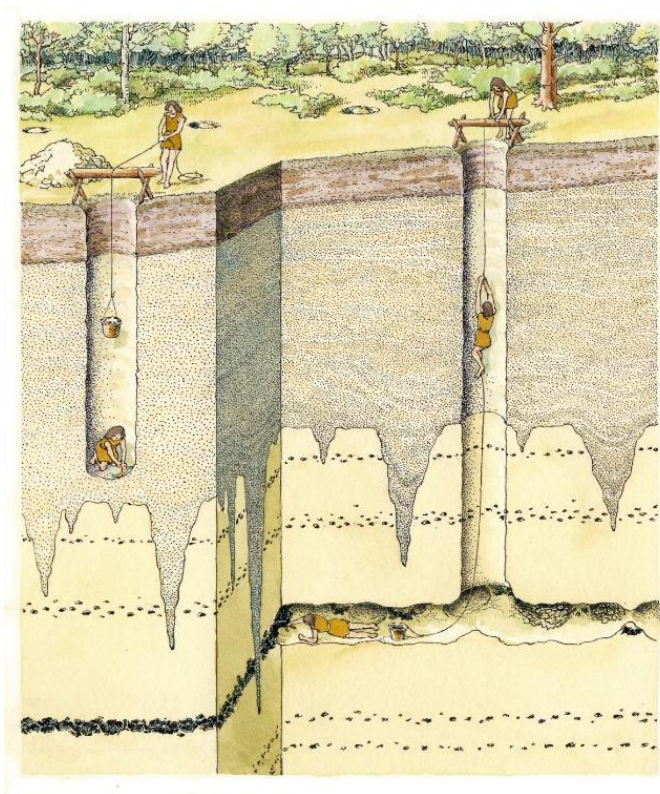
Desondanks overschrijdt elke variant beide vrijstellingsgrenzen. Bij alle varianten is daarom een archeologisch bureauonderzoek volgens KNA versie 4.2 vereist. Uit het vooronderzoek kan opnieuw een advies voor vervolgonderzoek volgen.

In de huidige projectfase wordt geconcludeerd dat het archeologisch effect tussen de verschillende varianten niet onderscheidend is.

5.5.2 Prehistorische archeologische waarden

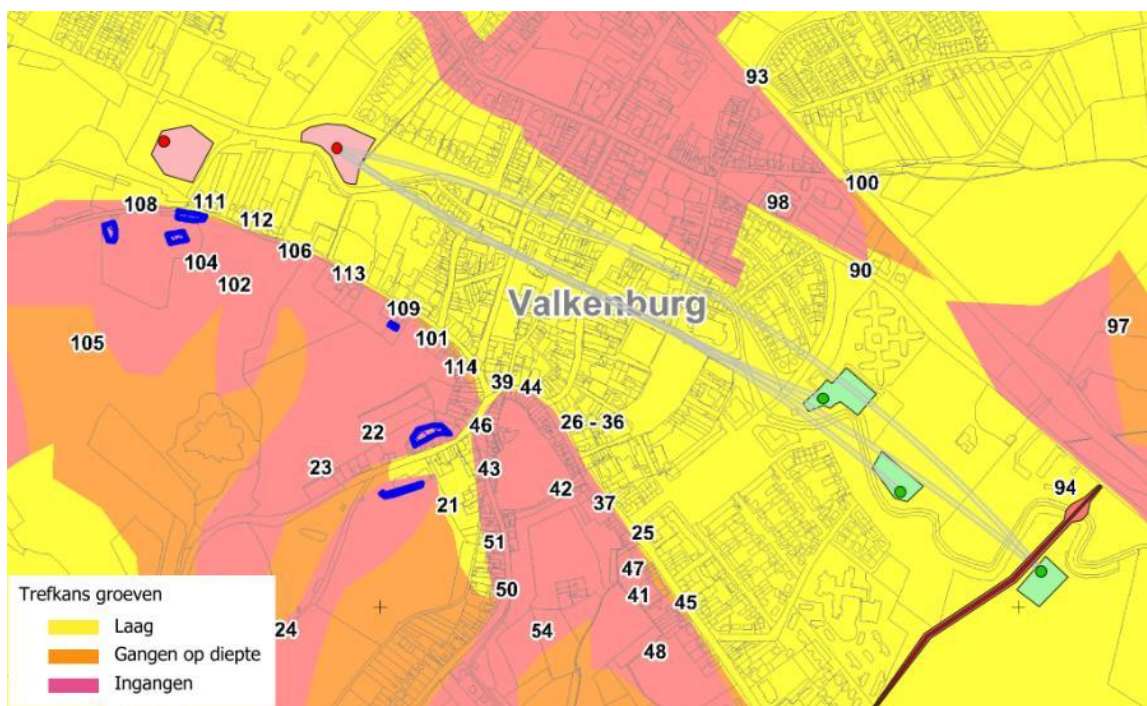
Valkenburg ligt op mergel. Hierdoor kunnen er ook diep in de ondergrond nog archeologische waarden aanwezig zijn. Zo zijn er in de omgeving prehistorische vuursteenmijnen bekend, zoals weergegeven in afbeelding 5.11, alsook (sub)recente groeven.

Afbeelding 5.11 Vuursteenmijn van Rijckholt (Bron: Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Bob Brobbel: <https://kennis.cultureelerfgoed.nl/index.php/Monumenten/45801>)



In afbeelding 5.12 en bijlage XI zijn de trefkans voor ondergrondse archeologie weergegeven, evenals de mogelijke aanwezigheid van groeven.

Afbeelding 5.12 Waarden onderaardse archeologie / Beleidskaart groeves (Archol rapport 121)



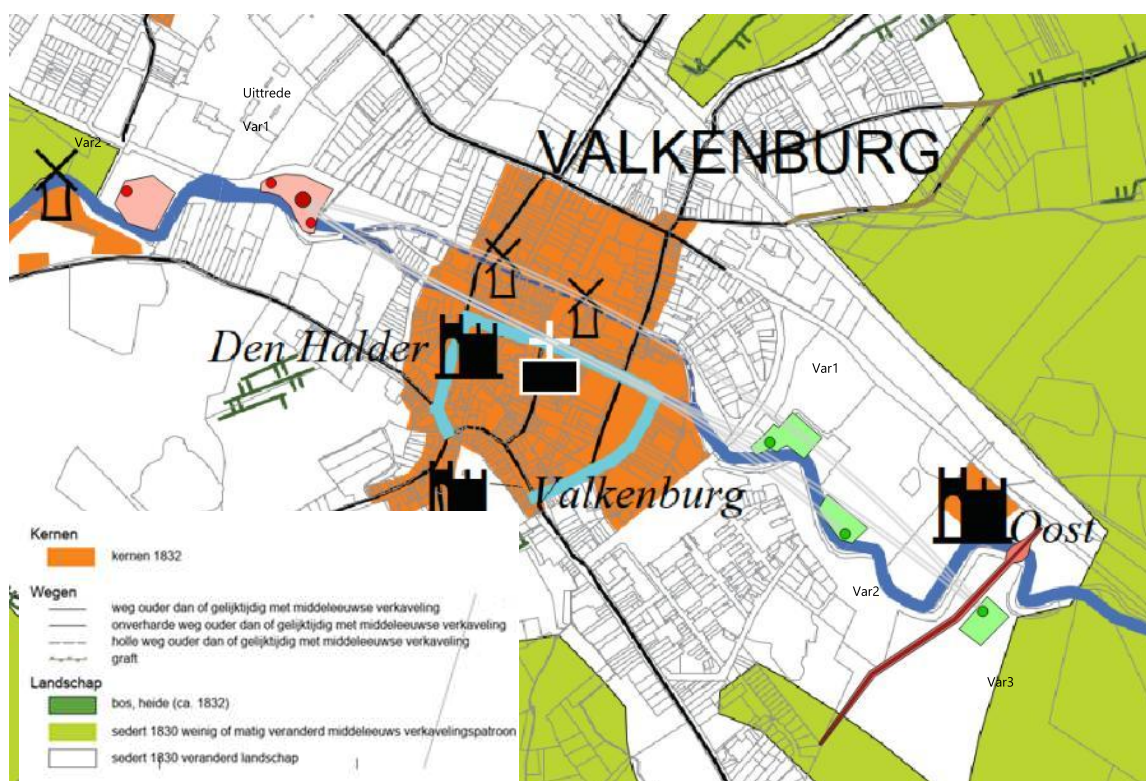
Uit de afbeelding blijkt dat alle tracé-, inlaat- en uitlaatvarianten in een gebied liggen met dezelfde, lage, trefkans. Dit is een begrijpelijk resultaat, daar het niet in de verwachting ligt dat (pre)historische groeves direct onder of langs de Geul zouden worden gemaakt. Daarbij wordt opgemerkt dat prehistorische groeves niet worden verwacht op een diepte van 20 m onder grondwater niveau en precies onder de Geul. Ook op dit aspect zijn de varianten dus niet onderscheidend in de huidige projectfase.

Geadviseerd wordt in de voorontwerpfase een archeologisch bureauonderzoek uit te voeren volgens KNA versie 4.2.

5.6 Cultuurhistorie

De gemeente Valkenburg aan de Geul heeft de meest recente beleidskaarten archeologie, cultuurhistorie, en groeven (Archol rapport 121, Van Wijk & Orbons 2009) aangeleverd aan Witteveen+Bos. In afbeelding 5.13 is de cultuurhistorische waardenkaart Valkenburg aan de Geul weergegeven. In de kaart in bijlage XII zijn de gegevens in meer detail weergegeven.

Afbeelding 5.13 Cultuurhistorische waardenkaart Valkenburg aan de Geul (Archol rapport 121)



Uit de kaart blijkt dat de in- en uittreden punten geen cultuurhistorische waarden raken. Ze liggen allemaal in landschap dat sedert 1830 is veranderd. De tracés doorkruisen het Oude Centrum van Valkenburg en passeren langs enkele panden met significante cultuurhistorische waarde. De tracévarianten 1, 2 en 3 onder de zuidtak van de Geul lopen onder Kasteel Den Halder en (een reconstructie van) de Geulpoort. Daarnaast lopen deze tracés op enkele tientallen meters de HH Nicolaas en Barbarakerk.

- Kasteel Den Halder is een historisch gebouw in Valkenburg aan de Geul. Het kasteel dateert uit de middeleeuwen en is omgeven door een gracht;
- de HH Nicolaas en Barbarakerk is een rooms-katholieke kerk in Valkenburg aan de Geul. De kerk, gewijd aan de heiligen Nicolaas en Barbara, is gebouwd in neoromaanse stijl. De huidige kerk werd tussen 1891 en 1893 gebouwd en verving eerdere kerkgebouwen op dezelfde locatie. Binnenin bevinden zich diverse kunstwerken en religieuze voorwerpen, waaronder glas-in-loodramen en een historisch orgel.

De Geulpoort is een historische stadspoort in Valkenburg aan de Geul. De oorspronkelijke poort maakte deel uit van de middeleeuwse verdedigingswerken van de stad. De reconstructie van de Geulpoort werd voltooid in 2014, met als doel het herstel van de historische uitstraling van Valkenburg. De (gereconstrueerde) Geulpoort is geen erkend Rijksmonument. Tracévariant 4 via de noordtak van de Geul loopt onder rijksmonument de Franse Molen. Dit is een watermolen uit 1804:

- de Franse Molen is een historische watermolen in Valkenburg aan de Geul. De molen dankt zijn naam aan de Franse periode in de geschiedenis van het gebied, toen het onderdeel was van het Franse rijk. De molen werd oorspronkelijk gebouwd in de achttiende eeuw en heeft door de jaren heen verschillende functies gehad, waaronder het malen van graan. De Franse Molen maakt gebruik van het water van de rivier de Geul, die door Valkenburg stroomt, om zijn maalwerk aan te drijven. De Franse Molen is een erkend rijksmonument. De molen is niet meer in bedrijf, maar blijft een belangrijk onderdeel van het historische erfgoed van Valkenburg.

Het verschil wat betreft cultuurhistorische waarde tussen de tracévarianten is, wat betreft bovenstaande monumenten, minimaal. Tracés 1, 2 en 3 kruisen meer panden/percelen met cultuurhistorische waarde dan tracé 4. De tunnels passeren de panden echter op grote diepte, waardoor geen negatieve effecten worden verwacht op de monumenten tijdens de realisatie (trillingen en zakkingen).

Cultuurhistorische waarde is dus niet onderscheidend voor de tracé varianten. Cultuurhistorische waarde is echter wel onderscheidend voor inlaatlocatie Variant 3, omdat deze wordt gecombineerd met een strekdam. De beoogde ligging van inlaatlocatie 3 en de strekdam raakt een sinds 1830 weinig veranderd middeleeuws verkavelingspatroon (afbeelding 5.12). Daarnaast ligt de dam ook zeer dichtbij Kasteel Oost. Kasteel Oost is een historisch landgoed gelegen in Valkenburg aan de Geul, Limburg. Het kasteel dateert oorspronkelijk uit de zeventiende eeuw en heeft een rijke geschiedenis. Het is gebouwd in de stijl van een kasteelboerderij en heeft in de loop der jaren verschillende functies gehad. Oorspronkelijk was Kasteel Oost een adellijke woning, maar later diende het ook als boerderij. Het kasteel is omgeven door een park met vijvers en oude bomen, wat het tot een unieke locatie in de omgeving maakt. In de twintigste eeuw werd het landgoed gebruikt voor diverse doeleinden, waaronder als school en als locatie voor evenementen. Het kasteel is een van de belangrijkste historische gebouwen in Valkenburg die de rijke geschiedenis en charme van de regio weerspiegelen. In afbeelding 5.14 is kasteel Oost weergegeven.

Afbeelding 5.14 Kasteel Oost te Valkenburg (Bron: Door Arjandb - Eigen werk, CC BY-SA 3.0 nl - Wikipedia)



De huidige geprojecteerde ligging van de strekdam zal zeker een effect hebben op de cultuurhistorische waarde van het kasteel, daar ook de omgeving bijdraagt aan hoe een landgoed ervaren wordt. De beoogde dam bedreigt de cultuurhistorische waarden van een middeleeuws verkavelingspatroon, alsook de omgeving van een zeventiende eeuws landgoed.

Indien er toch voor deze variant gekozen wordt, dient met de gemeente afgestemd te worden hoe deze ontwikkeling op cultuurhistorisch vlak kan (en mag) worden ingepast. Alternatief kan er mogelijk een andere ligging van de dam worden gevonden die een minder negatief effect heeft.

5.7 Ontplobbare Oorlogsresten

Informatie over ontplobbare oorlogsresten is opgevraagd bij de gemeente Valkenburg aan de Geul. Hieruit bleek dat er geen gemeentelijke bodembelastingkaart opgesteld. Tevens zijn er geen dekkende onderzoeken bekend conform de CS-VROO of de WSCS-OCE (recente en voormalige richtlijnen voor een vooronderzoek Ontplobbare Oorlogsresten) op de VEO bommenkaart of andere openbaar beschikbare bronnen.

In Valkenburg aan de Geul is echter wel gevochten (afbeelding 5.15) en de aanwezigheid van ontplobbare oorlogsresten is derhalve niet uit te sluiten.

Afbeelding 5.15 Er is heftig gevochten in Valkenburg (Bron: Limburger.nl)



Dientengevolge is het aspect Ontplobbare Oorlogsresten (OO) in de huidige projectfase geen onderscheidend aspect voor de verschillende varianten. Aanbevolen wordt om in de voorontwerpfase een vooronderzoek Ontplobbare Oorlogsresten uit te voeren conform CS-VROO, wanneer de variant is vastgesteld. Dit onderzoek is alleen benodigd op de in- en uitlaat locaties. De tunnel zelf ligt dermate diep dat de aanwezigheid van ontplobbare oorlogsresten uitgesloten is.

5.8 Milieuhygiëne

Informatie ten aanzien van milieuhygiëne binnen het projectgebied is opgevraagd bij het bodemloket. Alleen voor delen van het werkterrein van intrede Variant 1 en het gehele uittrede punt inclusief werkterreinen van Variant 2 is op bodemloket bodeminformatie bekend. De informatie uit het bodemloket is weergegeven in afbeelding 5.16 en bijlage XIII.

Afbeelding 5.16 Bodemloket (bodemloket.nl geraadpleegd mei 2025)



Bij het uittredepunt Variant 2 is de volgende informatie beschikbaar (locatie LI099400554 Plenkertstraat 88 - Prinses Beatrixsingel): Er is een lijst aan historische verontreinigende activiteiten bekend. Delen van het gebied zijn onderzocht en gesaneerd. De huidige status is onbekend.

Bij het intredepunt Variant 1 is de huidige status voldoende onderzocht / gesaneerd (LI099400587 Oosterweg). Er zijn enkele BUS saneringsplannen en evaluaties bekend, alsook enkele verkennende onderzoeken. De resultaten van het uitgevoerde (historische) bodemonderzoek geven aan dat de (voormalige) activiteiten en/of de onderzoekslocatie voldoende zijn onderzocht in het kader van de Wet bodembescherming. Dit betekent niet dat de locatie vrij is van bodemverontreinigingen, mogelijk is er sprake van restverontreinigingen. In tabel 5.9 zijn de bodemklassen van west naar oost weergegeven.

Tabel 5.9 De bodemkwaliteitskaart (van oost naar west) (Nota bodembeheer Valkenburg aan de Geul; 2 juli 2024 t/m heden)

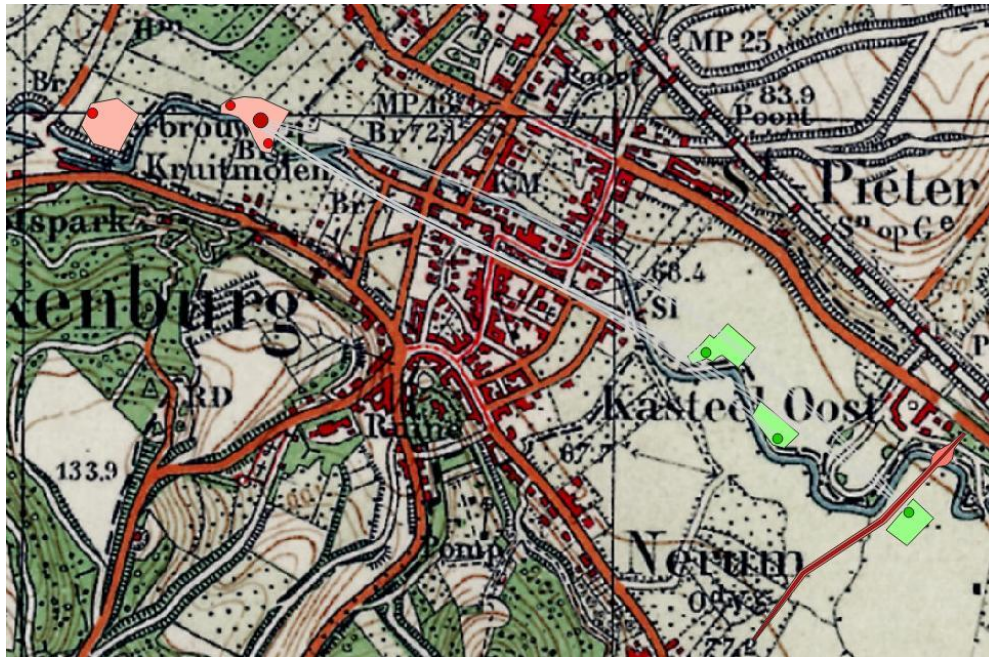
	Uittrede var 2	Uittrede var 1	Intrede var 1	Intrede var 2	Intrede var 3
Bodemfunctie-klasse	Landbouw	Wonen	Wonen	Landbouw	Landbouw
Ontgravings-klasse bovengrond en ondergrond	Achtergrond-waarde	Achtergrond-waarde	Achtergrond-waarde	Achtergrond-waarde	Achtergrond-waarde
Toepassings-kaart bovengrond	Achtergrond-waarde	Achtergrond-waarde	Achtergrond-waarde	Achtergrond-waarde	Achtergrond-waarde
Toepassings-kaart ondergrond	Achtergrond-waarde	Achtergrond-waarde	Achtergrond-waarde	Achtergrond-waarde	Achtergrond-waarde

Uit de tabel blijkt dat alle locatievarianten ongeveer gelijke klassen hebben op de bodemkwaliteitskaart.

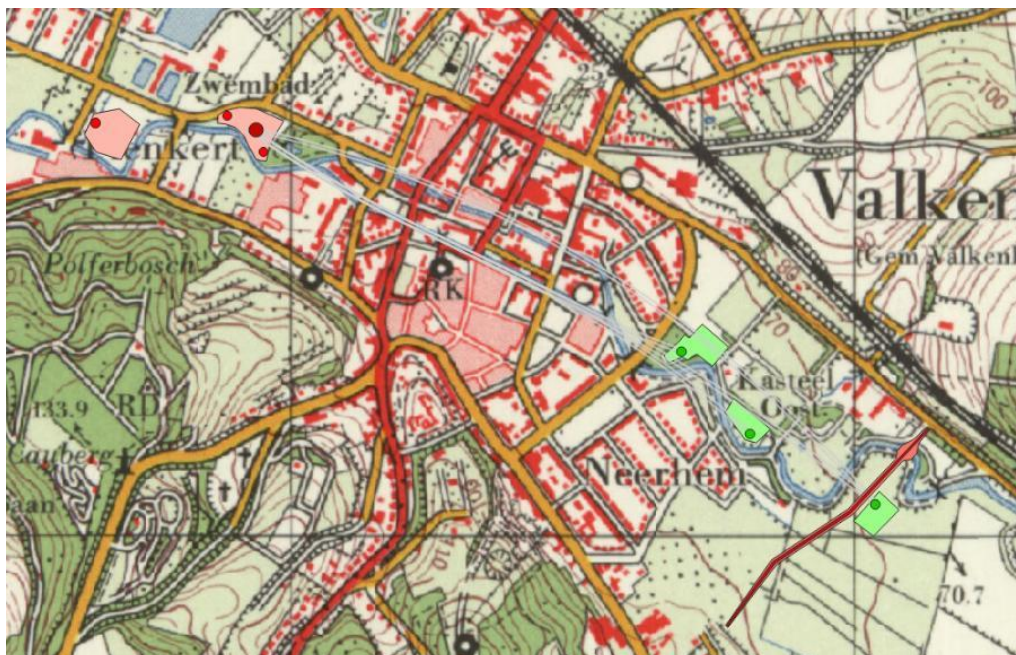
Voor de uittredepunten geldt dat deze qua ruimtelijke ligging erg nabij gelegen zijn. Beiden bevinden zich nabij het terrein van een bierbrouwerij. In de buurt (25 meter buffer) van beide varianten ligt heden ten dage een geasfalteerde parkeerplaats. Derhalve is de verwachting dat de bodemkwaliteit tussen beide locaties niet veel zal verschillen.

Bij de intredepunten is alleen Variant 1 onderzocht. Hier waren in het verleden verontreinigingen aanwezig die waarschijnlijk zijn gesaneerd, maar volledig uitsluit kan in dit stadium niet worden gegeven. Variant 2 en 3 liggen verder buiten het centrum van Valkenburg. Een quickscan op Topotijdreis doet vermoeden dat de bodem hier niet intensief is gebruikt. Dit is weergegeven in afbeeldingen 5.17 en 5.18.

Afbeelding 5.17 Het plangebied in 1930 met variantlocaties



Afbeelding 5.18 Het plangebied in 1980 met variantlocaties



Uit de analyse wordt geconcludeerd dat de bodem van inlaatvarianten 2 en 3 derhalve minder verdacht is op ernstige verontreinigingen dan inlaatvariant 1.

Geadviseerd wordt dat in de voorontwerpfase voor geselecteerde locatievarianten voor de in- en uitlaat een vooronderzoek bodem conform de NEN 5725 uitgevoerd wordt. De milieuhygiëne is op basis van deze schouw een minimaal onderscheidend aspect.

5.9 Grip-op-locatie analyse

Voor de realisatie van de flood-bypass in Valkenburg zijn mogelijk diverse vergunningen vereist. In dit hoofdstuk is onderzocht welke vergunningplichten gelden op basis van de Omgevingswet en onderliggende regelgeving. Daarbij is ook gekeken naar het relevante rijks-, provinciale en regionale beleid om te beoordelen in hoeverre het project beleidsmatig inpasbaar is.

In deze paragraaf wordt een beknopte samenvatting gegeven van de vergunningplichten en overige juridische aspecten. Een uitgebreidere notitie over deze aspecten is opgenomen in bijlage XIV.

5.9.1 Beleidsanalyse

Het project sluit goed aan bij het [Nationaal Water Programma 2022–2027](#), waarin het versterken van waterveiligheid en klimaatbestendigheid centraal staat. Provinciaal wordt het plan ondersteund door instructieregels in de [Omgevingsverordening Limburg](#), met aandacht voor landschap, natuur en water. Op regionaal niveau draagt de bypass bij aan de doelen van de [Klimaatadaptatiestrategie](#) en het [Waterketenplan Maas en Mergelland 2023–2027](#), gericht op het verminderen van schade door wateroverlast.

5.9.2 Vergunningenanalyse

Tabel 5.10 geeft een overzicht van de (mogelijk) benodigde vergunningen voor de aanleg van de flood-bypass. Daarbij is per vergunning aangegeven op welk thema deze betrekking heeft (zoals planologie, natuur of water), op welke wettelijke grondslag deze is gebaseerd, wie het bevoegd gezag is en welke procedure van toepassing is (regulier of uitgebreid).

De tabel laat zien dat voor een aantal onderdelen, zoals de aanleg van de uitlaat op een locatie met een strijdige bestemming, een buitenplanse omgevingsplanactiviteit (BOPA), of een wijziging van het omgevingsplan nodig kan zijn. Ook zijn er vergunningen vereist op het gebied van natuurbescherming (zoals voor effecten op Natura 2000-gebieden en beschermde soorten) en voor technische ingrepen zoals ontgroningen of werkzaamheden in inundatiegebieden. Daarnaast zijn specifieke vergunningen nodig op basis van de Omgevingsverordening Limburg en de Waterschapsverordening Limburg.

De exacte vergunningplicht is deels afhankelijk van de locatiekeuzes en technische uitwerking van het ontwerp.

Tabel 5.10 Overzicht (mogelijk) benodigde vergunningen voor de aanleg van de flood-bypass)

Thema	Vergunningplicht	Grondslag	Bevoegd gezag	Procedure	Onderdeel
Planologische inpassing*	Buitenplanse omgevingsplan-activiteit	Artikel 5.1, eerste lid, aanhef en onder a Omgevingswet	gemeente Valkenburg aan de Geul	Regulier	Uitlaat – Variant 2 (Odapark)
	Wijziging omgevingsplan	Artikel 4.2, eerste lid, Omgevingswet	gemeente Valkenburg aan de Geul	Uitgebreid	Alternatief voor uitlaat – Variant 2
Natuur	Natura 2000-activiteit	Artikel 5.1, eerste lid, aanhef en onder e Omgevingswet	provincie Limburg	Uitgebreid	Inlaat, tunnel, uitlaat (alle varianten bij Geuldal)
Natuur	Flora- en fauna-activiteit	Artikel 5.1, tweede lid, aanhef en onder g Omgevingswet	provincie Limburg	Regulier	Inlaat, tunnel, uitlaat (algemeen)
Natuur	Meldplicht vellen van houtopstanden	Artikel 11.126 Besluit activiteiten leefomgeving (meldplicht vellen houtopstanden) Artikel 11.129 Besluit activiteiten leefomgeving (plicht tot herbeplanting) Artikel 3.9.1 VFLO Valkenburg	provincie Limburg / gemeente Valkenburg aan de Geul	4 weken van tevoren melden	Inlaat, tunnel, uitlaat (locatieafhankelijk)
Bodem en grondverzet	Ontgrondingsactiviteit	Artikel 5.1, eerste lid, aanhef en onder c Omgevingswet Artikelen 16.7, 16.8 en 16.9 Bal (vrijstellingen)	provincie Limburg	Regulier	
Milieubeschermings-gebieden	Omgevingsvergunning Omgevingsverordening	Artikel 7.4, eerste lid, Omgevingsverordening Limburg	provincie Limburg	Regulier	Inlaat – Variant 3 (in beekdal Zuid-Limburg)
Water	Omgevingsvergunning Waterschapsverordening	Artikel 5.3 Omgevingswet Artikel 2.23 Waterschapsverordening Limburg	Waterschap Limburg	Regulier	Inlaat – varianten 1, 2, 3; uitlaat – Variant 1

Buitenplanse omgevingsplanactiviteit (BOPA)

In het gehele projectgebied is het bestemmingsplan 'Initieel Omgevingsplan Valkenburg aan de Geul 2022' van toepassing. Dit bestemmingsplan is onderdeel van het tijdelijke deel van het omgevingsplan van de gemeente Valkenburg. Op de locatie van Variant 2 van de uitlaat, Parkeerterrein Odapark, geldt de bestemming 'Verkeer'. Het aanleggen van een uitlaat is in strijd met deze bestemming. Om de uitlaat op deze locatie planologisch mogelijk te maken is een omgevingsvergunning voor een BOPA benodigd. Een BOPA is een activiteit die niet voldoet aan of in strijd is met het (tijdelijke) omgevingsplan.

Natura 2000

Natura 2000-activiteiten zijn vergunningplichtig op grond van artikel 5.1 eerste lid, sub e, Omgevingswet. Een Natura 2000-activiteit wordt gedefinieerd als 'activiteit, inhoudende het realiseren van een project dat niet direct verband houdt met of nodig is voor het beheer van een Natura 2000-gebied, maar afzonderlijk of in combinatie met andere plannen of projecten significante gevolgen kan hebben voor een Natura 2000-gebied'. Voor elk van de varianten is een voortoets nodig waaruit moet blijken of de activiteit significante gevolgen kan hebben voor een Natura 2000-gebied.

Inlaat locatievariant 3 ligt direct benedenstrooms van een Natura-2000 gebied. Wanneer in deze variant de strekdam zich vult heeft dit met zekerheid een effect op dit gebied. Wanneer wordt gekozen voor deze variant, is daarom in elk geval een Natura2000-vergunning benodigd. Het Natura2000 gebied is weergegeven in Bijlage XV.

Flora- en fauna-activiteiten

Een omgevingsvergunning flora- en fauna-activiteit is nodig voor activiteiten met mogelijke gevolgen voor van nature in het wild levende dieren of planten. Op grond van artikel 5.1, tweede lid, onder g, van de Omgevingswet is voor een flora- en fauna-activiteit slechts een vergunning vereist voor zover het gaat om een bij algemene maatregel van bestuur aangewezen geval. Deze gevallen zijn opgenomen in het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal). Uit ecologisch onderzoek moet blijken of een omgevingsvergunning nodig is, of dat in het ontwerp en aanlegplan (via het besluit vastgelegd) voldoende mitigerende maatregelen zijn opgenomen.

Houtopstanden

Paragraaf 11.3.2 van het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) bevat regels ten aanzien van het vellen van houtopstanden. Ten eerste geldt voor het geheel of gedeeltelijk vellen van houtopstanden een meldplicht op grond van artikel 11.126, eerste lid, Bal. Daarnaast bepaalt artikel 11.129, eerste lid, Bal dat als een houtopstand geheel of gedeeltelijk is geveld, dezelfde grond binnen 3 jaar moet worden herbeplant.

Voor het vellen van houtopstanden *binnen* de bebouwingscontour houtkap gelden de regels uit het omgevingsplan, in dit geval de regels uit de Verordening Fysieke Leefomgeving (VFLO) van de gemeente Valkenburg. Artikel 3.9.1, eerste lid, van de VFLO Valkenburg bevat een verbod om zonder vergunning een houtopstand te vellen of laten vellen.

Ontgrondingsactiviteiten

Op grond van artikel 5.1, eerste lid, onder c, van de Omgevingswet is het verboden een ontgrondingsactiviteit te verrichten, tenzij het gaat om een bij algemene maatregel van bestuur aangewezen geval. Als ten behoeve van het project ontgrondingen plaatsvinden en deze niet onder een vrijstelling vallen, is dus een omgevingsvergunning benodigd.

Vergunningplicht Omgevingsverordening

Artikel 7.4, eerste lid, van de Omgevingsverordening Limburg bevat een verbod om zonder omgevingsvergunning grondwerkzaamheden uit te voeren in een beekdal, in een bron of bronzone in het beschermingsgebied Nationaal Landschap Zuid-Limburg. Variant 3 van de inlaat bevindt zich binnen een beekdal in het beschermingsgebied Nationaal Landschap Zuid-Limburg. Als binnen dit gebied grondwerkzaamheden worden uitgevoerd, is hiervoor dus een vergunning benodigd.

Vergunningplicht Waterschapsverordening

Op grond van artikel 2.23 van de Waterschapsverordening Limburg is het verboden zonder vergunning een bouwwerk aan te leggen in de kernzone, het profiel van de vrije ruimte, een Meanderzone of een inundatiegebied.

Zowel Variant 1, 2 als 3 van de inlaat bevindt zich in een inundatiegebied. Variant 1 van de uitlaat bevindt zich ook in een inundatiegebied. Varianten 1 en 2 van de inlaat bevinden zich mogelijk in het profiel van de vrije ruimte. Variant 3 van de inlaat bevindt zich ten slotte in de Meanderzone.

5.9.3 Overige aspecten

Natuurnetwerk Nederland

De Omgevingsverordening Limburg bevat regels ten aanzien van het Natuurnetwerk Limburg (onderdeel van het Natuurnetwerk Nederland).

Variant 3 van de inlaat bevindt zich binnen het Natuurnetwerk Limburg. De overige varianten vallen buiten dit gebied. In bijlage XVI is een kaart opgenomen van het NNN-gebied. Het feit dat deze variant in een NNN-gebied ligt, leidt niet tot een vergunningplicht, maar is wel van belang als voor het project een vergunning voor een buitenplanse omgevingsplanactiviteit (BOPA) wordt aangevraagd. Als voor de aanleg van de flood-bypass een vergunning voor een BOPA wordt aangevraagd, kan deze op grond van artikel 8.2 van de Omgevingsverordening Limburg niet worden verleend als de activiteiten:

- a nadelige gevolgen kunnen hebben voor de wezenlijke kenmerken en waarden van het Natuurnetwerk Limburg; of
- b kunnen leiden tot een vermindering van de kwaliteit, de oppervlakte of de samenhang tussen de gebieden van het Natuurnetwerk Limburg.¹

Als voor een variant binnen het Natuurnetwerk Limburg wordt gekozen én een BOPA wordt aangevraagd, moet dus aan bovenstaande voorwaarden zijn voldaan.

Mer-plicht

Voor de aanleg van de flood-bypass geldt een milieueffectbeoordelingsplicht (project-mer-beoordelingsplicht) op grond van categorie K4 uit bijlage V bij het Omgevingsbesluit. Dit betekent dat beoordeeld moet worden of het project aanzienlijke milieugevolgen kan hebben. In dat geval moet een formele milieueffectrapportage worden opgesteld. De mer-beoordelingsplicht is in dit geval gekoppeld aan de omgevingsvergunning voor een wateractiviteit.

Vergunningprocedures

Afhankelijk van de aard en impact van de vergunningsaanvraag, kan de reguliere of de uniforme openbare voorbereidingsprocedure van toepassing zijn. Als uitgangspunt geldt de reguliere procedure. Deze kent een beslistermijn van acht weken, met verlenging van maximaal 6 weken. De uniforme procedure is verplicht bij o.a. Natura 2000-activiteiten. In dat geval geldt een langere termijn van 6 maanden, inclusief terinzagelegging.

Coördinatie van besluitvorming

Voor samenhangende aanvragen van omgevingsvergunningen door verschillende bevoegde gezagen, is het mogelijk om gebruik te maken van de coördinatieregeling uit de Algemene wet bestuursrecht. Deze regeling biedt 1 uniforme procedure, wat zorgt voor efficiëntere besluitvorming, bundeling van inspraakmomenten en grotere rechtszekerheid. Coördinatie is verplicht bij gelijktijdige aanvragen voor o.a. wateractiviteiten en bouwen, maar kan ook vrijwillig worden toegepast voor meer samenhang.

Participatie

Volgens de Omgevingsregeling moet bij een aanvraag worden vermeld of participatie heeft plaatsgevonden. Hoewel participatie niet verplicht is, dient de aanvrager te rapporteren over de wijze waarop belanghebbenden zijn betrokken en wat de uitkomsten daarvan zijn.

¹ Op grond van artikel 8.0b lid 1 Bkl is deze instructieregel van overeenkomstige toepassing op een BOPA.

5.9.4 Conclusie Grip-op-locatie analyse

Uit de Grip-Op-Locatie analyse blijkt dat dit voor de tracé varianten niet onderscheidend is. Voor de in- en uitlaten is er echter wel (enig) onderscheid tussen de locatievarianten. In onderstaande tabel 5.11 en 5.12 is weergegeven welke vergunningen voor welke varianten (eventueel) benodigd zijn.

Tabel 5.10 Samenvatting benodigde vergunningen voor de inlaat en tracévarianten

	Variant 1 (=tracé Variant 1)	Variant 2 (=tracé Variant 2)	Variant 3 (=tracé Variant 3 en 4)
vergunningen	Natura 2000 (eventueel) Flora- en fauna (eventueel) Houtopstanden (eventueel) Waterschapsverordening	Natura 2000 (eventueel) Flora- en fauna (eventueel) Houtopstanden (eventueel) Waterschapsverordening	Natura 2000 zeker Flora- en fauna (eventueel) Houtopstanden (eventueel) Waterschapsverordening Omgevingsverordening

Tabel 5.11 Samenvatting benodigde vergunningen voor de uitlaatvarianten

	Variant 1	Variant 2
vergunningen	Natura 2000 (eventueel) Flora- en fauna (eventueel) Houtopstanden (eventueel) Waterschapsverordening	BOPA (eventueel) Natura 2000 (eventueel) Flora- en fauna (eventueel) Houtopstanden (eventueel)

Inlaat

Voor alledrie de varianten van de inlaat zijn mogelijk omgevingsvergunningen vereist voor het verrichten van een Natura 2000-activiteit, een flora- en fauna-activiteit en het vellen van houtopstanden. Uit de analyse blijkt daarnaast dat voor alle varianten van de inlaat een omgevingsvergunning op grond van de Waterschapsverordening is benodigd voor het aanleggen van een bouwwerk.

Wanneer wordt gekozen voor Variant 3 moet tevens een omgevingsvergunning worden aangevraagd voor het uitvoeren van grondwerkzaamheden in een beekdal van het beschermingsgebied Nationaal Landschap Zuid-Limburg. Daarnaast is bij Variant 3 in elk geval een vergunning voor een Natura 2000-activiteit benodigd. Voor de andere varianten geldt dat deze vergunning mogelijk niet is vereist als uit een voortoets blijkt dat de aanleg van de flood-bypass geen significante gevolgen kan hebben voor het Natura 2000-gebied.

Geconcludeerd wordt dat Variant 3 meer vergunningplichten met zich meebrengt dan varianten 1 en 2.

Uitlaat

Variant 1 van de uitlaat bevindt zich binnen in een inundatiegebied. Als voor deze variant wordt gekozen, is op grond van artikel 2.23 van de Waterschapsverordening Limburg een omgevingsvergunning vereist voor het aanleggen van een bouwwerk. Voor Variant 2 van de uitlaat is mogelijk een omgevingsvergunning voor een BOPA benodigd wegens strijdigheid met het geldende bestemmingsplan.

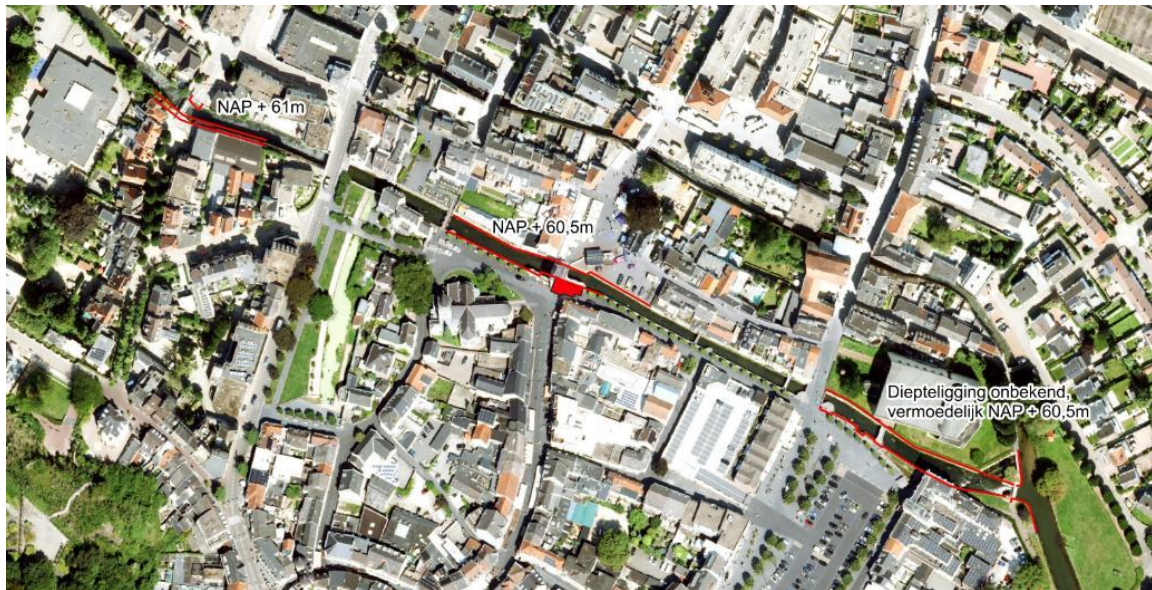
Geconcludeerd wordt dat Variant 1 waarschijnlijk meer vergunningplichten met zich meebrengt dan Variant 2.

5.10 Funderingen en damwanden

In de zuidtak van de Geul zijn enkele funderingen en damwanden bekend. Deze dienen te worden onderkruist met de tracés die onder de zuidtak lopen (tracé 1, 2 en 3). De Geulpoort staat op funderingspalen, en daarnaast lopen enkele damwanden achter en de Geulmuren. Tevens liggen er damwanden onder de geulmuren bij de Walramstuw.

Tot slot worden er ook bij de herstelwerkzaamheden bij de Emmalaan damwanden voorzien tot circa NAP +61 m. De locaties van deze funderingen en damwanden zijn weergegeven in afbeelding 5.19 en bijlage XVII.

Afbeelding 5.19 Locatie funderingen en damwanden, met ontwerptracés in het grijs



STAP 1+2: SCHETSONTWERPEN FLOOD BYPASS, IN- EN UITLATEN

6.1 Schetsontwerpen flood-bypass

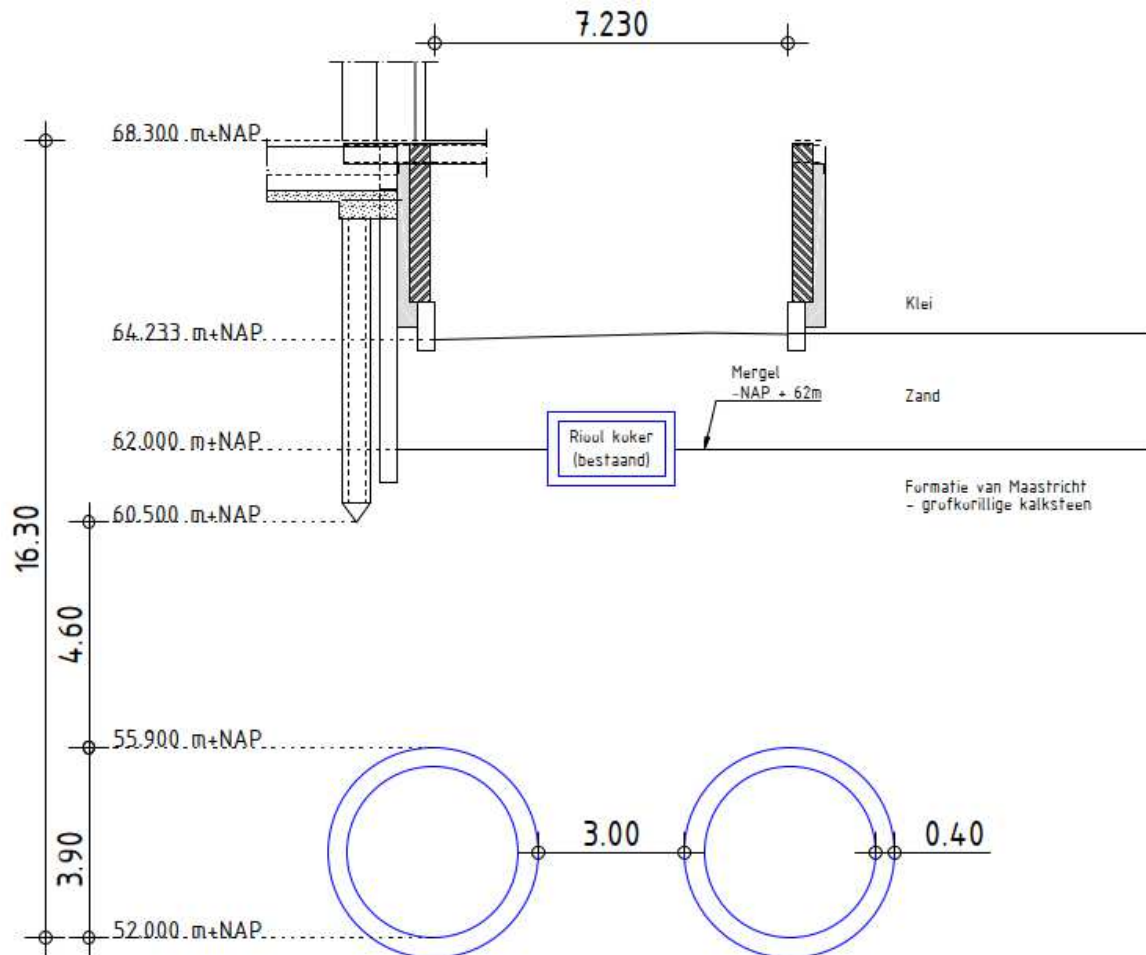
Afbeelding 6.1 Beschouwde traces Flood Bypass



6.1.1 Schetsontwerp flood bypass Variant 1

Ontwerpvariant 1 voor de flood bypass is een parallelle tunnel van $2 \times \varnothing 3,5$ m. In afbeelding 6.2 is hier een schets van weergegeven onder de zuidtak van de Geul, ter hoogte van de Geulpoort. De funderingen van de Geulpoort en de bestaande rioolkoker zijn ook opgenomen in de ontwerpschets. Er wordt een minimale dagmaat van 5 m aangehouden tot bovenzijde kalksteen en onderzijde paalfundering van de Geul.

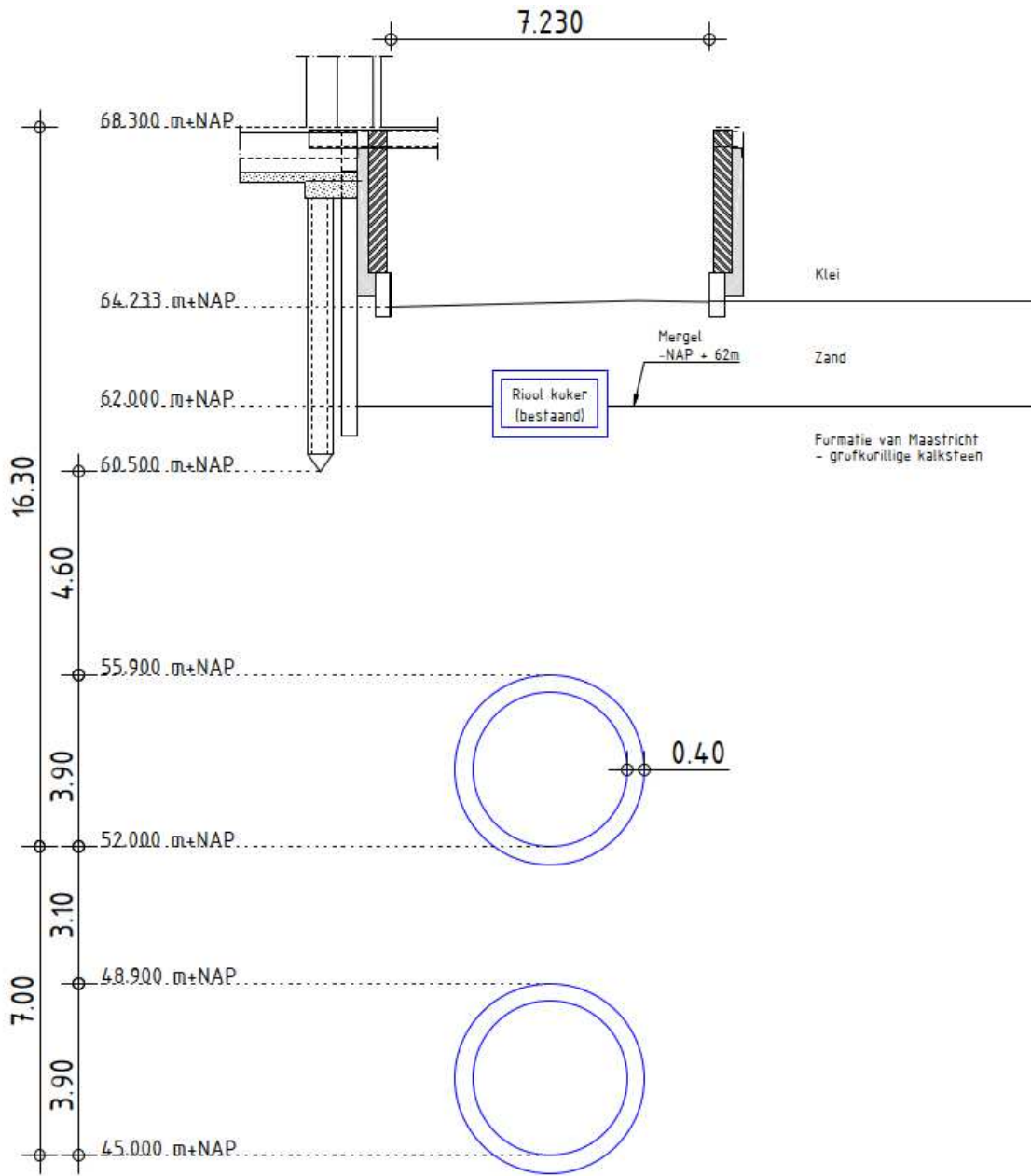
Afbeelding 6.2 Schetsontwerp dubbele GFT-boring naast elkaar, onder Geul



Schetsontwerp flood bypass Variant 2

Ontwerpvariant 2 voor de flood bypass is een boven elkaar geboorde tunnel van $2 \times \varnothing 3,5$ m. In afbeelding 6.3 is hier een schets van weergegeven. Deze schets is ook weergegeven onder de zuidtak van de Geul, ter hoogte van de Geulpoort, inclusief funderingen van de Geulpoort en de bestaande rioolkoker.

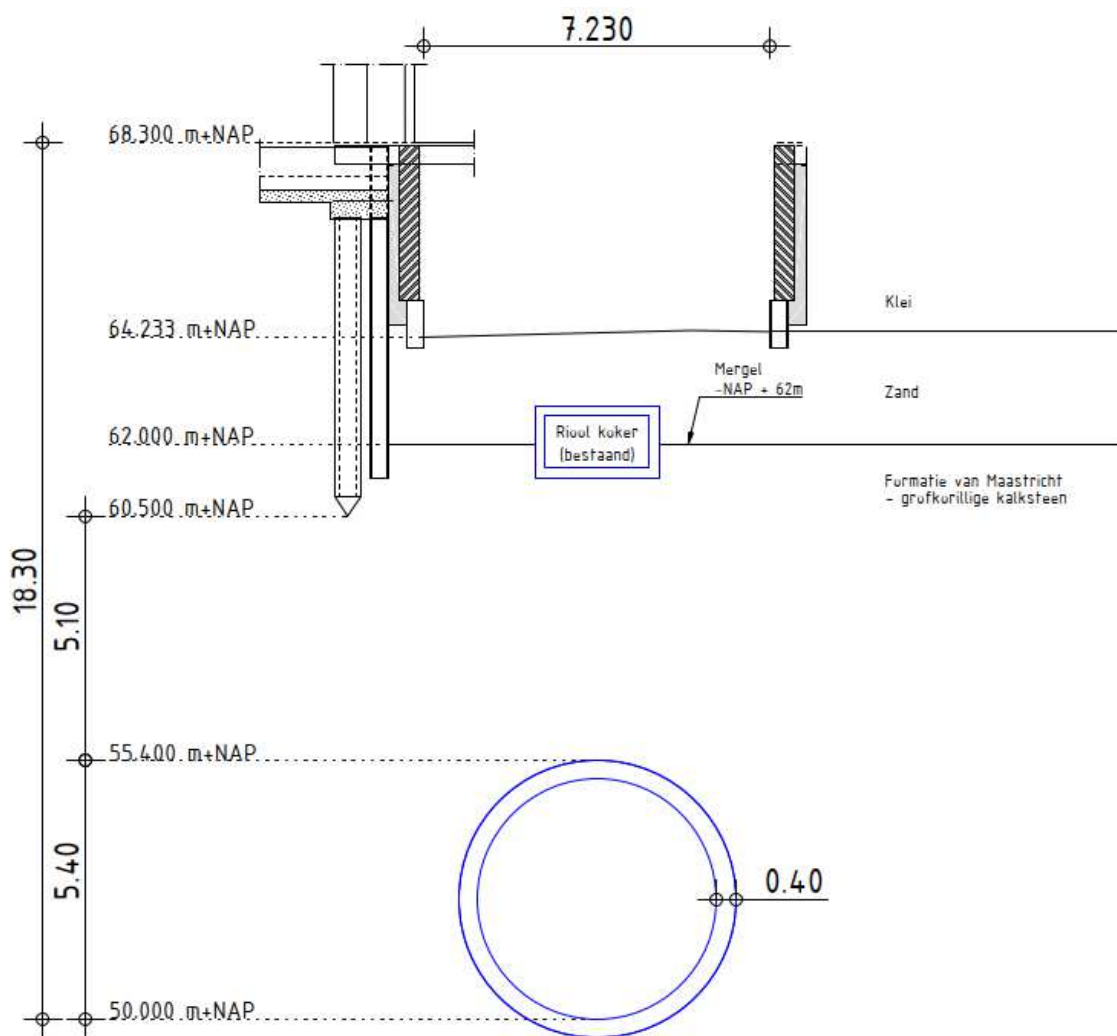
Afbeelding 6.3 Schets dubbele GFT-boring boven elkaar, onder Geul



6.1.2 Schetsontwerp flood bypass Variant 3

Ontwerpvariant 3 voor de flood bypass is een enkele gesegmenteerde tunnel van $1 \times \varnothing 5,0$ m. In afbeelding 6.4 is hier een schets weergegeven. De schets is ook weergegeven onder de zuidtak van de Geul, ter hoogte van de Geulpoort, inclusief funderingen van de Geulpoort en de bestaande rioolkoker.

Afbeelding 6.4 Schets enkele segmentenboring $\varnothing 5$ m, onder Geul



6.1.3 Maatvoering schachten

De dimensies van de schachten aan het begin en einde van de tunnel zijn verschillend per ontwerpvariant voor de tunnel. Zo is de schacht voor de gestapelde $2 \times \varnothing 3,5$ m tunnel 7 m dieper dan de variant met de parallelle $2 \times \varnothing 3,5$ m tunnels. Ook verschilt de diameter van de schachten per ontwerpvariant.

In tabel 6.1 zijn de dimensies (diameter en diepte) van de inlaat- en uitlaatschachten van de schachtput per ontwerpvariant samengevat. Opgemerkt wordt dat de diepte van de uitlaatschacht in de volgende ontwerpfase kan worden gereduceerd door de boring deels met een verticale bochtstraal te plaatsen.

Tabel 6.1 Ruwe maatvoering schachten voor elke ontwerpvariant

Ontwerp variant	Diameter inlaat schacht (m)	Diameter uitlaat schacht (m)	Ontwerp variant (+ NAP m)	Bodempeil inlaat schacht (+ NAP m)	Diepte schacht (m)
2 x 3,5 m parallel	14 m	18 m	+69	+50	19 m
2 x 3,5 m gestapeld	12 m	14 m	+69	+43	26 m
1 x 5,0 m	12 m	14 m	+69	+43	26 m

De tabel laat zien dat er per variant aanzienlijke verschillen zijn. Zo bij ontwerpvariant 2 de schacht 5 tot 7 m dieper dan in de andere varianten. Echter is tegelijkertijd de diameter van de schacht in deze Variant 4 tot 11 m kleiner. In hoofdstuk 8 en 9 wordt het effect hiervan op de kosten nader beschouwd.

6.2 Schetsontwerpen Inlaat

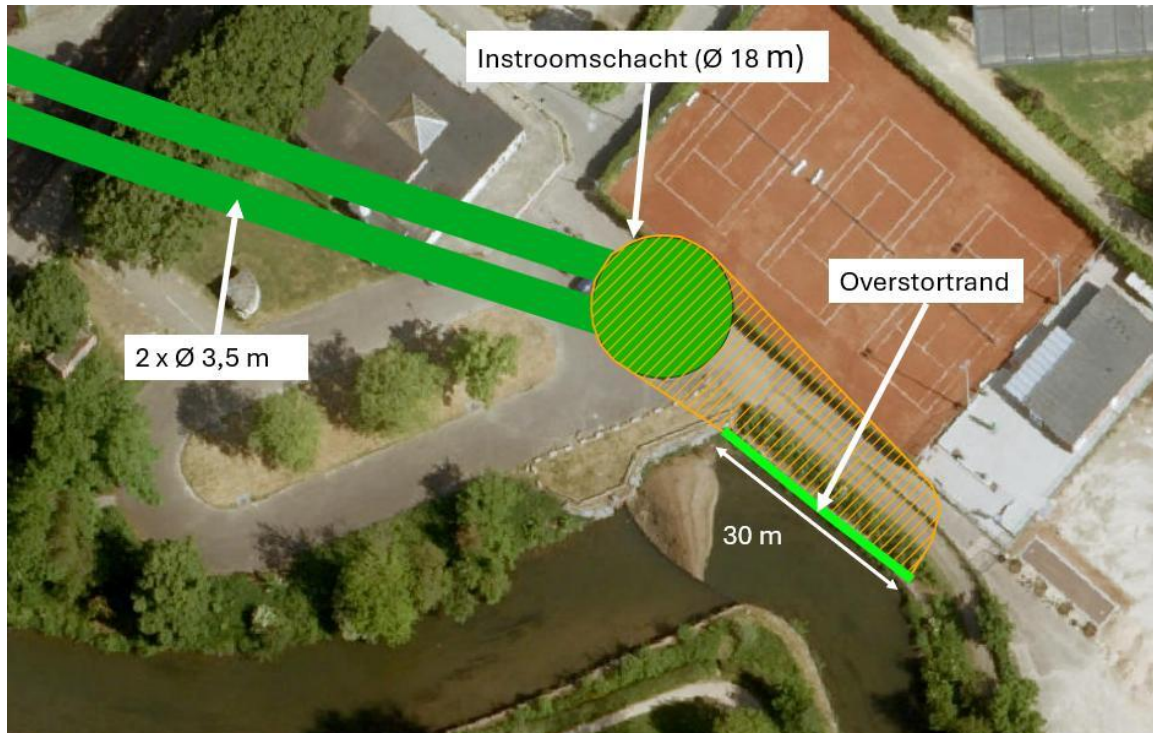
De beschouwde principes voor het inlaatontwerp zijn besproken in hoofdstuk 4. In deze paragraaf is voor elk van deze principes een schetsontwerp gemaakt. De schetsontwerpen worden allen voor 1 locatie gemaakt. Hiervoor is inlaatlocatie 1 geselecteerd, bij de tennisbaan. De principe-ontwerpen zijn ook uit te voeren op de andere inlaatlocaties.

6.2.1 Schetsontwerp inlaat Variant 1

Inlaatvariant 1 is een rechte drempel, zonder een sluitbaar openingsmechanisme. De hoogte van een open drempel (indien aangelegd nabij de Burgemeester Henssingel) dient in elk geval boven NAP +67,5 m te liggen (Geulpeil in de normale situatie).

Het schetsontwerp is weergegeven in afbeelding 6.5 en een artist impression in afbeelding 6.6. Deze artist impression (en de andere in deze rapportage) zijn enkel bedoeld om een indruk te geven van het aanzicht van het te bouwen kunstwerk in de omgeving van de Geul. Opgemerkt wordt dat dit geen volledige representatie is van het eindontwerp, het is bijvoorbeeld denkbaar dat de constructie wordt opgehoogd boven maaiveld. Dergelijke ingrepen zijn (nog) niet verbeeld in de impressies.

Afbeelding 6.5 Schetsontwerp inlaatvariant 1



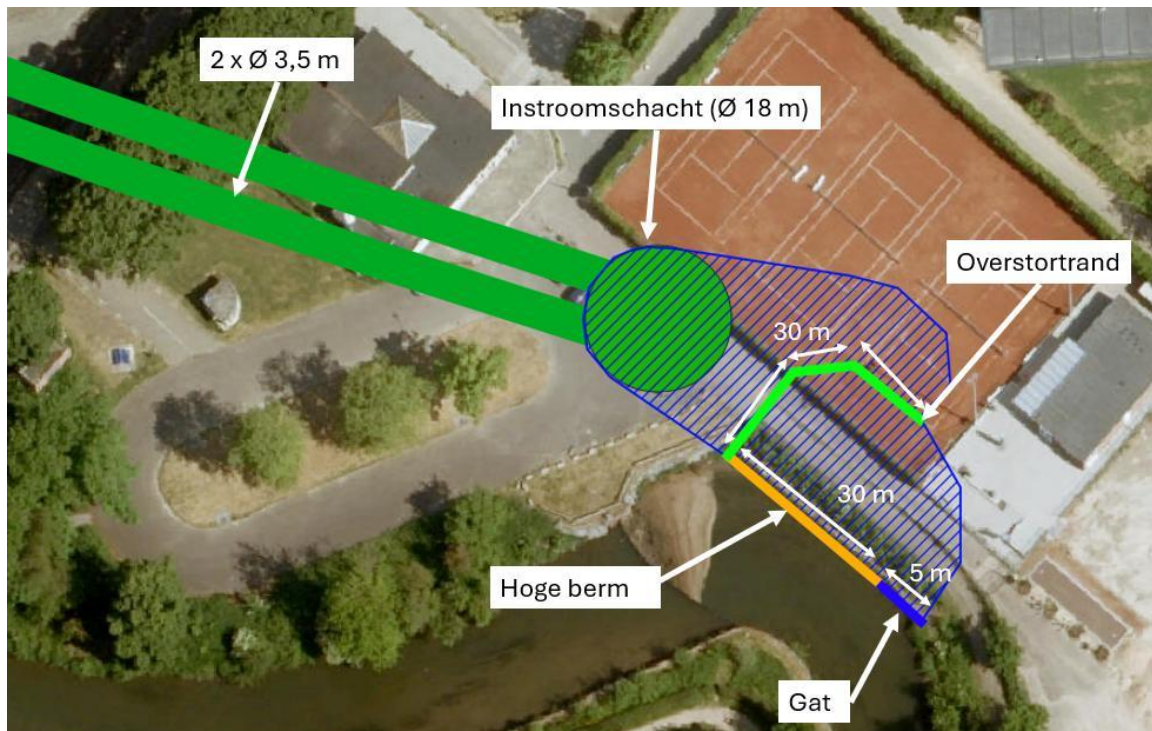
Afbeelding 6.6 Artist impression inlaatvariant 1



6.2.2 Schetsontwerp inlaat Variant 2

Inlaatvariant 2 is een rechte drempel die wordt aangelegd achter een woelbak. De woelbak heeft een smalle verbinding met de Geul waardoor de peilen in de Geul en de woelbak in alle situaties in balans zijn. De woelbak wordt gescheiden van de Geul met een lage berm van circa 0,5 m hoog. Bij enige verhoging van de waterstand blijft het water in de Geul. Bij een verhoging van meer dan 0,5 m overstroomt de berm en wordt de woelbak gevuld. Hier komt het water tot rust en loopt de inlaat in. In deze variant is de inlaat dat een rechte drempel zonder een sluitbaar openingsmechanisme. Het schetsontwerp is weergegeven in afbeelding 6.7. In afbeelding 6.8 is een artist impression weergegeven, vanuit een locatie waar enkel de woelbak zichtbaar is.

Afbeelding 6.7 Schetsontwerp inlaatvariant 2



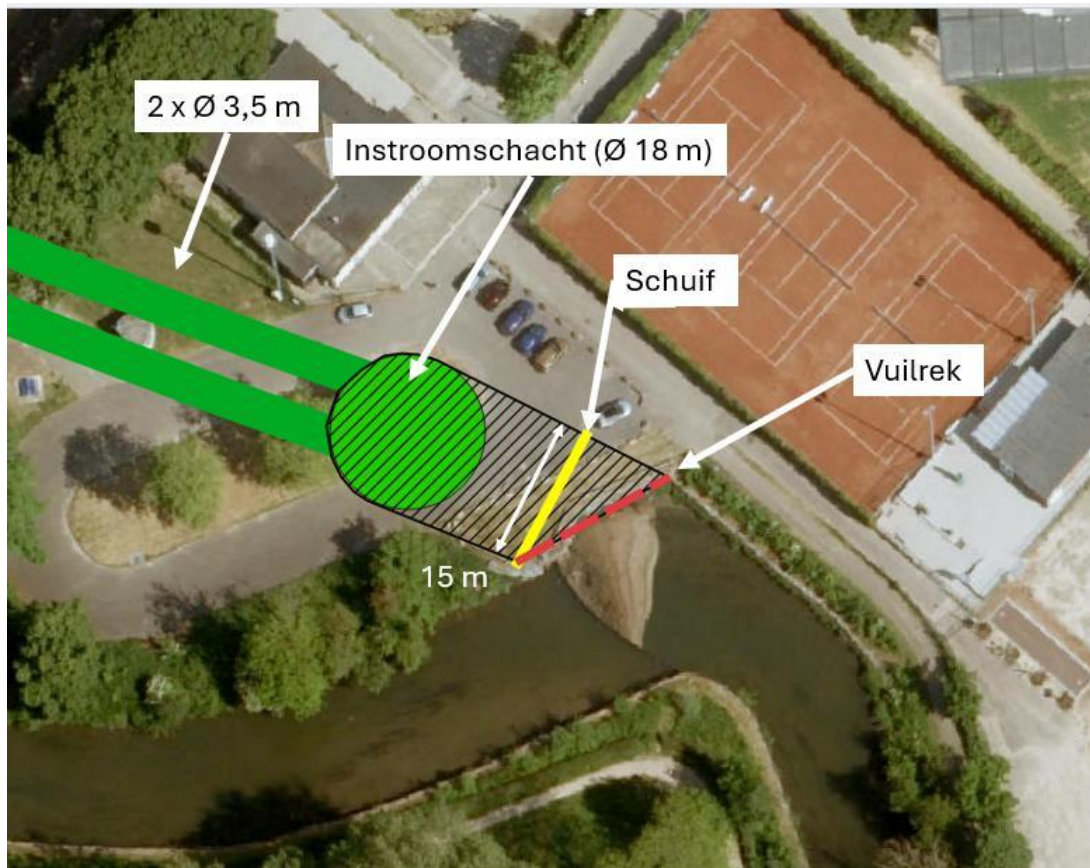
Afbeelding 6.8 Artist impression inlaatvariant 2



6.2.3 Schetsontwerp inlaat Variant 3

Inlaatvariant 3 is een mechanische schuif. De onderkant van de schuif kan dieper liggen dan het normale waterpeil (NAP +67,50 m), waardoor deze oplossing meer inlaatcapaciteit heeft bij een smallere breedte. De schuif wordt achter een vuilrek geplaatst. Het schetsontwerp is weergegeven in afbeelding 6.9 en een artist impression in afbeelding 6.10.

Afbeelding 6.9 Schetsontwerp inlaatvariant 3



Afbeelding 6.10 Artist impression inlaatvariant 3



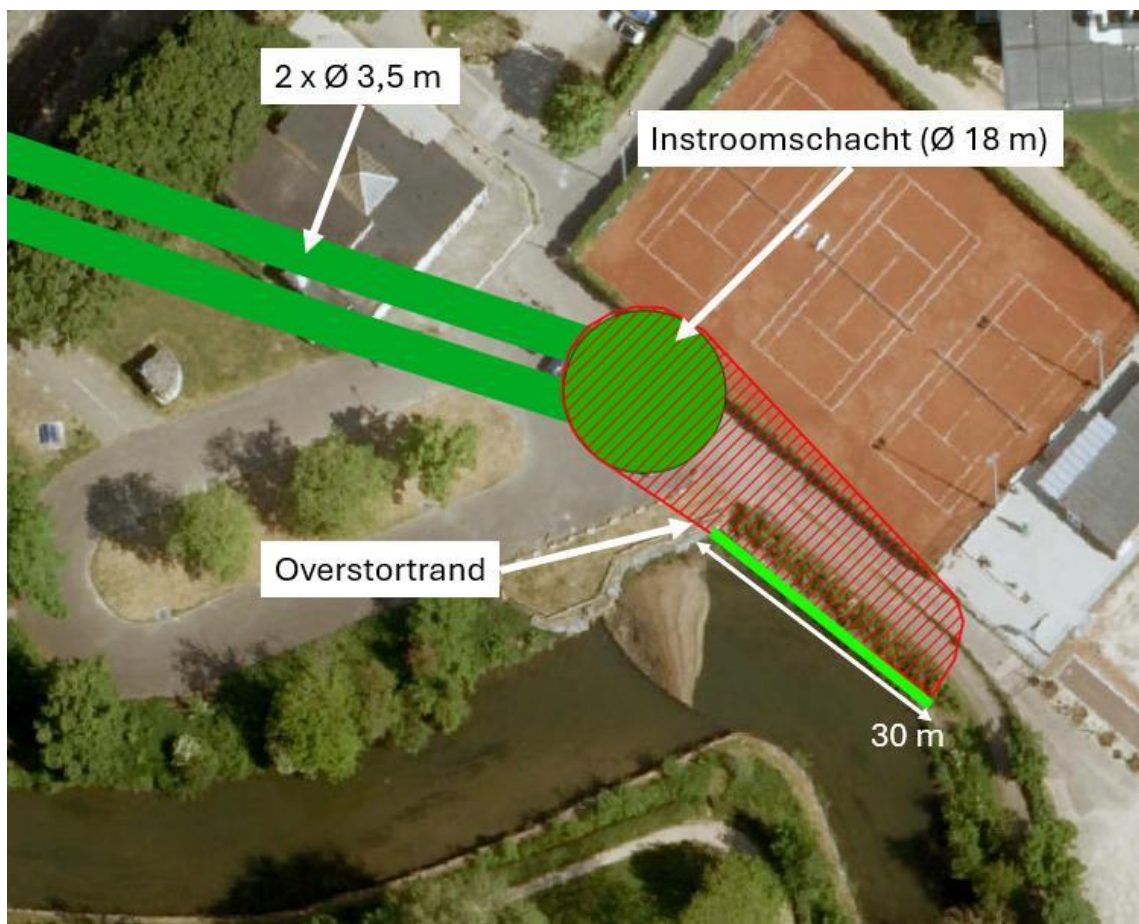
Voor de inlaatvariant met de schuif is gekozen om deze in het verlengde van de scherpe bocht in de Geul te plaatsen. Deze variant is echter ook parallel aan de stroming van de Geul uit te voeren, zoals nu met Variant 1, 2 en 4 is gedaan.

6.2.4 Schetsontwerp inlaat variant 4

Inlaatvariant 4 is een opening met een opdrijfschot. Het schot begint op te drijven bij een verhoogde waterstand. Zo wordt een afsluitbaar mechanisme gerealiseerd, waar geen mechanische aansturing voor nodig is. Het wassende water opent als het ware zelf de deur naar de bypass.

De onderzijde van het opdrijfschot kan tot beneden het normale waterpeil in de Geul worden gerealiseerd. Het opdrijfschot wordt in eerste instantie op dezelfde locatie voorzien als de rechte drempel. Een schetsontwerp is weergegeven in afbeelding 6.11 en een artist impression in afbeelding 6.12.

Afbeelding 6.11 Artist impression inlaatvariant 3



Afbeelding 6.12 Artist impression inlaatvariant 4



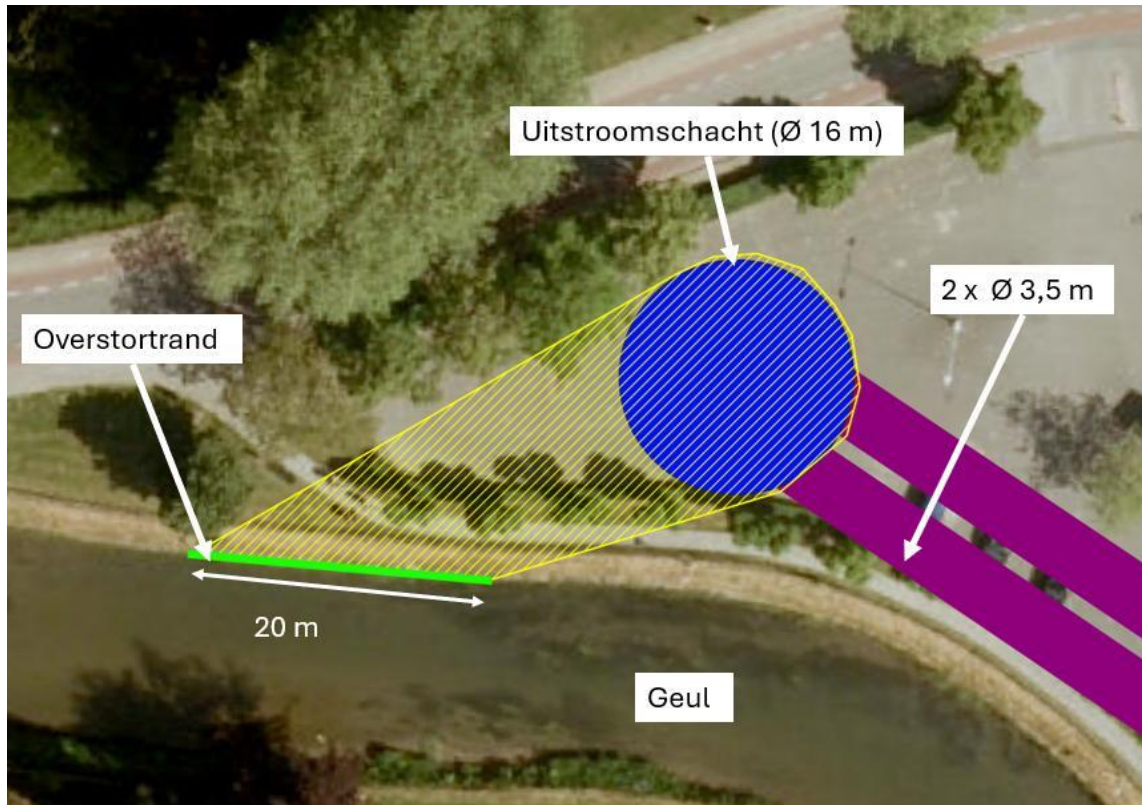
6.3 Schetsontwerpen Uitlaat

De mogelijke principes voor het uitlaatontwerp zijn besproken in hoofdstuk 4. In deze paragraaf is voor elk van deze principes een schetsontwerp gemaakt. De schetsontwerpen worden allen voor 1 locatie gemaakt. Hiervoor is uitlaatlocatie 2 (Odapark) geselecteerd. De principe-ontwerpen zijn ook uit te voeren op de andere inlaatlocaties.

6.3.1 Schetsontwerp uitlaat Variant 1

Uitlaatvariant 1 is een rechte drempel. Vanwege de lengte van de drempel en de loop van de Geul is deze variant iets verder benedenstrooms voorzien dan varianten 2 en 3. Het schetsontwerp is weergegeven in afbeelding 6.13 en een artist impression in afbeelding 6.14.

Afbeelding 6.13 Schetsontwerp uitlaat Variant 1



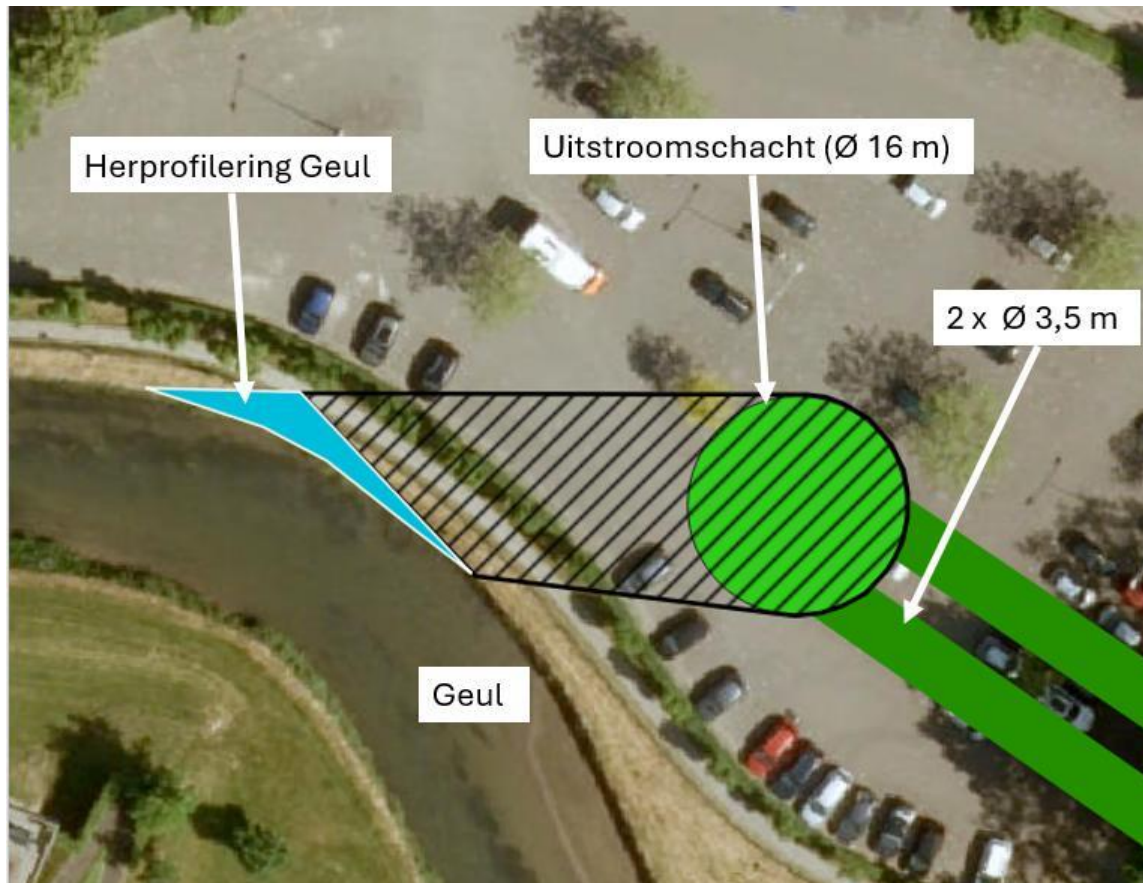
Afbeelding 6.14 Artist impression uitlaatvariant 1



6.3.2 Schetsontwerp uitlaat Variant 2

Uitlaatvariant 2 is een vrije uitstroom. Vanwege de loop van de Geul wordt deze variant bij voorkeur in de bestaande bocht van de Geul geplaatst, zodat de samenloop van de 2 stromen zo min mogelijk hydraulisch verlies veroorzaakt. Opgemerkt wordt dat in een later ontwerpstadium ervoor kan worden gekozen de uitlaat van een kleine drempel te voorzien, met een drempelhoogte net boven het normale waterpeil. Zo kan in deze variant ook worden bereikt dat de tunnel eenvoudig leeg te zetten is. Deze ontwerptoptie wordt in Stap 3+4 nader beschouwd. Het schetsontwerp is weergegeven in afbeelding 6.15 en een artist impression in afbeelding 6.16.

Afbeelding 6.15 Schetsontwerp uitlaat Variant 2



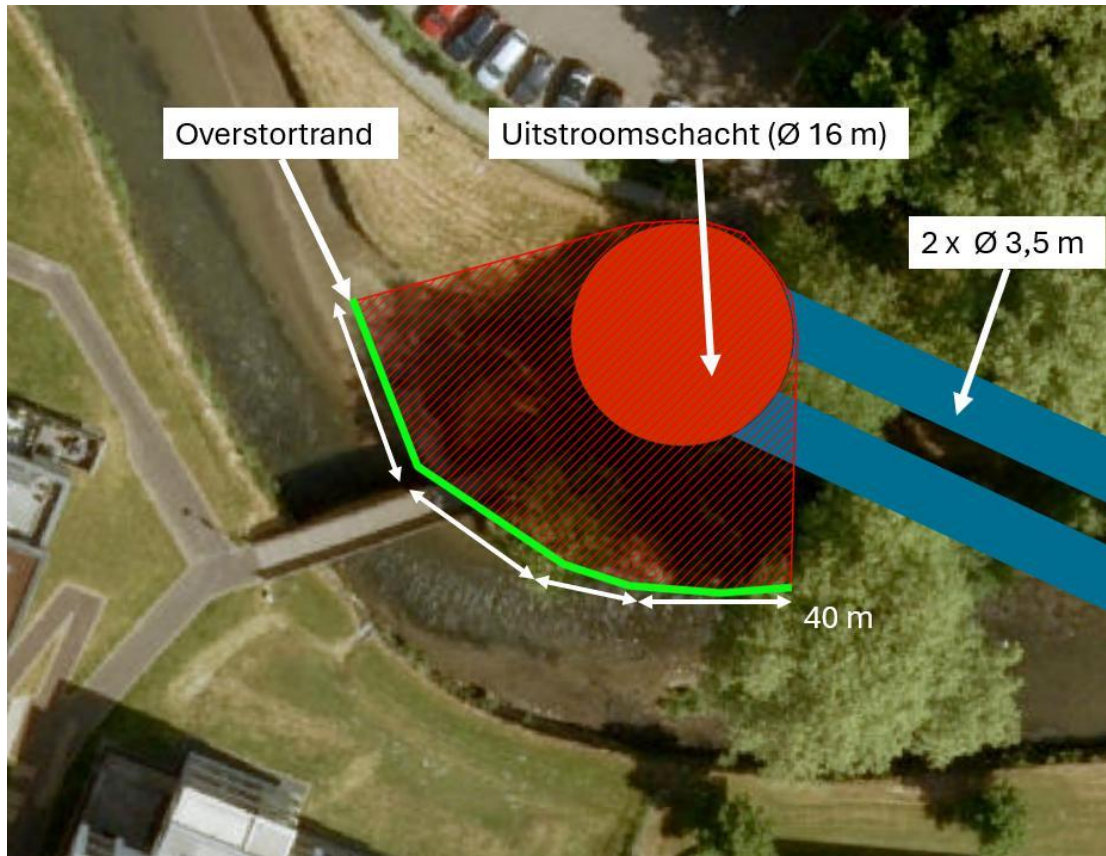
Afbeelding 6.16 Artist impression uitlaat Variant 2



6.3.3 Schetsontwerp uitlaat Variant 3

Uitlaatvariant 3 is een halfronde galerij zoals deze werd gezien in verschillende referentieprojecten in Zwitserland, Malta en de VS. Voor een goede inpassing van dit ontwerp met de loop van de Geul wordt deze variant verder bovenstrooms voorzien dan varianten 1 en 2. Het schetsontwerp is weergegeven in afbeelding 6.17 en een artist impression in afbeelding 6.18.

Afbeelding 6.17 Schetsontwerp uitlaat Variant 3



Afbeelding 6.18 Artist impression uitlaat Variant 3



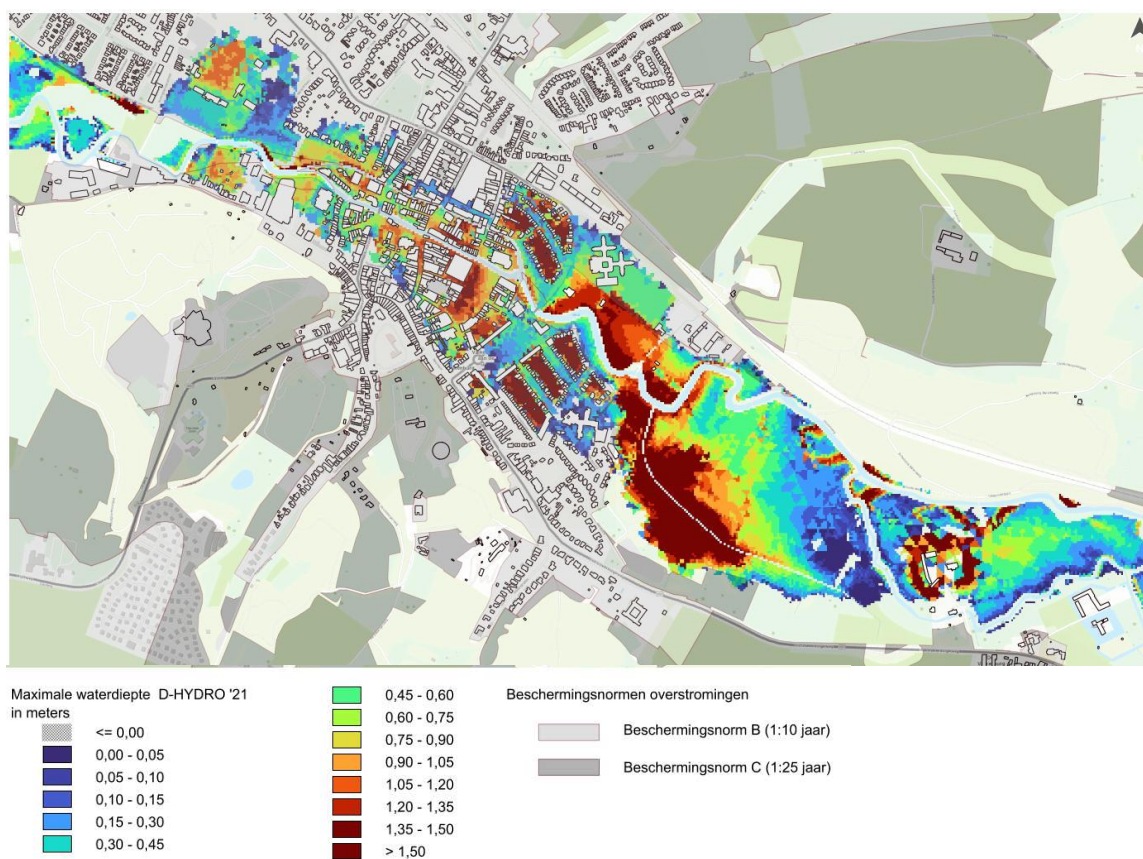
STAP 1+2: HYDRAULISCHE ANALYSES

7.1 Capaciteitsberekeningen huidige situatie

7.1.1 Rekenresultaten referentiemodel D-Hydro

Het Waterschap heeft het D-hydro model beschikbare gesteld om het effect van de flood bypass te kunnen onderzoeken. Dit model geldt als het referentiemodel. In afbeelding 7.1 (en in bijlage XVIII) is het rekenresultaat weergegeven van de piek van de overstroming in juli 2021 voor de huidige situatie.

Afbeelding 7.1 Rekenresultaten referentiemodel D-Hydro van piek overstroming juli 2021

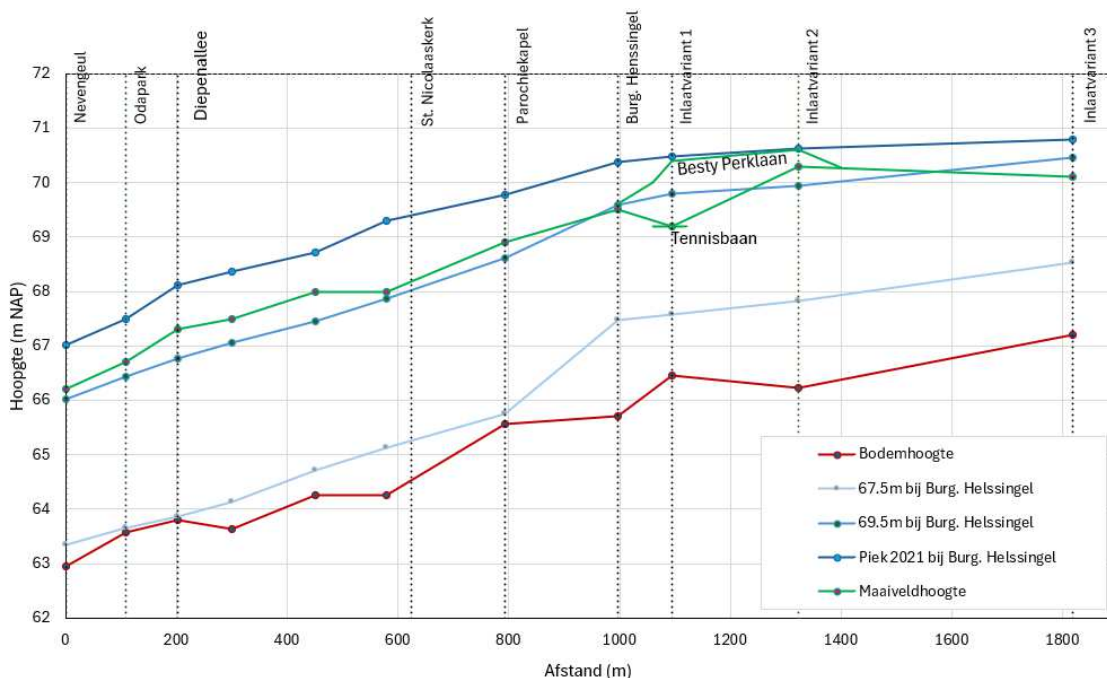


Uit het referentiemodel volgen de berekende waterpeilen bij verschillende debieten. De berekende peilen met het referentiemodel zijn geanalyseerd bij 3 debietscenario's:

- Scenario 'normale omstandigheden'. Het peil bij de Burgemeester Henssingel is dan NAP +67,50 m;
- Scenario 'Bijna overstroming'. Het peil bij de Burgemeester Henssingel is dan NAP +69,50 m;
- Scenario 'juli 2021', waarbij het piekdebiet 134 m³/s was.

In afbeelding 7.2 zijn de rekenresultaten van deze scenario's in langsdoorsnede weergegeven.

Afbeelding 7.2 Rekenresultaten huidige situatie in referentiemodel in langsdoorsnede, bij verschillende maatgevende scenario's

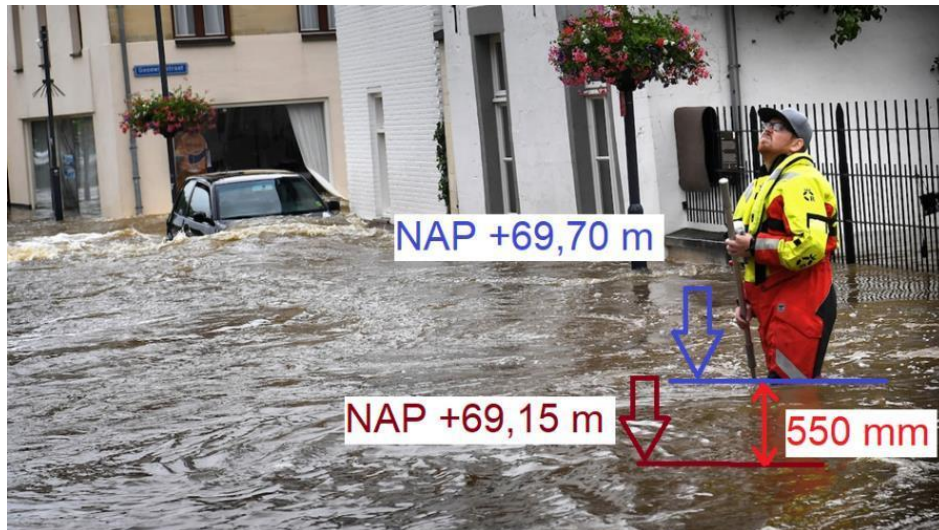


7.1.2 Praktijkvalidatie rekenresultaten referentiemodel D-Hydro

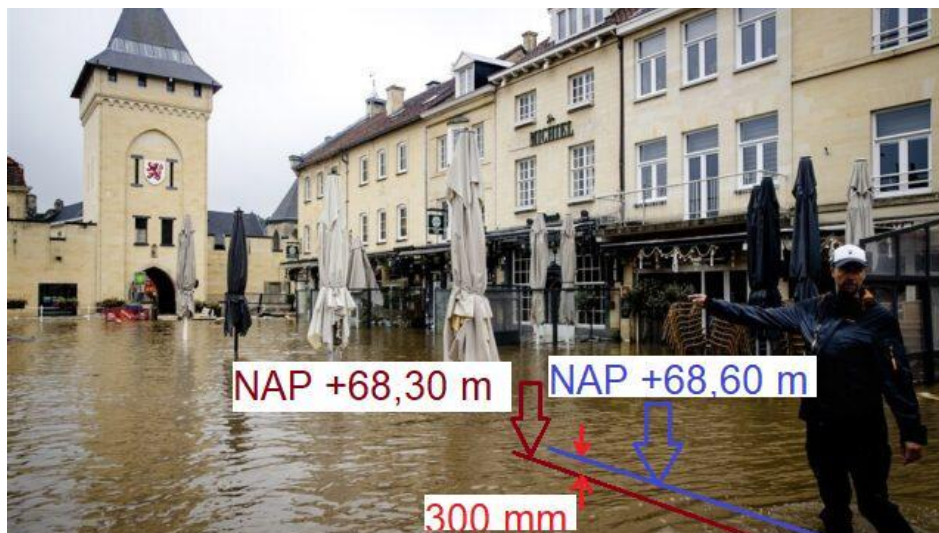
Uit het referentiemodel en de grafiek met rekenresultaten kunnen enkele conclusies worden getrokken:

- het debiet onder 'normale omstandigheden' bij NAP +67,50 wordt door het referentiemodel berekend als 6,2 m³/s. Het waterschap heeft bevestigd dat dit overeen komt met het winterdebiet van de Geul;
- het debiet bij het opgegeven peil van NAP +69,50 m bij de Burgemeester Henssingel, waarbij bijna overstroming plaatsvindt, wordt met het model berekend op 54 m³/s. Dit komt goed overeen met de opgegeven debieten door het Waterschap en Deltares waar bijna-overstroming plaatsvindt: 51 - 60 m³/s;
- in de grafiek is te zien dat bij een waterpeil van NAP +69,50 bij de Burgemeester Henssingel het maaiveld op 2 locaties bijna overstroomt. In het centrum en bij de Betsy Perklaan. De parkeerplaats naast de tennisbanen staat dan al minimaal 300 mm onder water. Dit komt overeen met de systeemkennis van het Waterschap;
- tot slot is te zien dat de overstromingsdiepte in 2021 in het centrum van Valkenburg wordt berekend op circa 1 m. In onderstaande afbeeldingen 7.3 t/m 7.5 zijn overstromingsfoto's weergegeven op bekende locaties, waarbij het waterpeil op basis van afmetingen en de ESRI hoogtekaart is gemeten

Afbeelding 7.3 Inundatiediepte op de kruising Molenstraat / Sint Pieterstraat



Afbeelding 7.4 Inundatiediepte Grote Straat ter hoogte van nummer 33



Afbeelding 7.5 Inundatiediepte Walramplein ter hoogte van nummer 6



In tabel 7.1 zijn de gefotografeerde en gemodelleerde waterpeilen met elkaar vergeleken.

Tabel 7.1 Vergelijking gefotografeerde inundatiedieptes met rekenresultaten referentiemodel

Locatie	Waterpeil in foto [m NAP]	Berekend waterpeil [m NAP]	Vershil [m]
Kruising Molenstraat / Sint Pieterstraat	69,70	69,77	+0,07
Grote straat ter hoogte van nummer 33	68,60	69,30	+0,70
Walramplein ter hoogte van nummer 6	69,20	69,77	+0,57

In alle gevallen ligt het berekende maximale waterpeil in de Geul hoger dan het geobserveerde peil in de foto's. Dit kan komen doordat de foto's niet tijdens de piek van de overstroming zijn genomen. Echter wordt op basis van de praktijkkennis van de projectgroep vermoed dat de rekenresultaten van het referentiemodel aan de hoge kant zijn. De werkelijke maximale inundatiedieptes liggen waarschijnlijk enkele honderden mm onder de berekende diepte.

De maximale overstromingsdieptes dienen nog te worden geverifieerd middels nader onderzoek door WRL naar de overstroming van juli 2021.

7.1.3 Conclusie bruikbaarheid referentiemodel D-Hydro

Ondanks dat wordt ingeschat dat het rekenresultaat van het referentiemodel aan de conservatieve kant is wordt geconcludeerd dat het model over het algemeen vrij goed overeen met de praktijk. Geconcludeerd wordt dat het model goed bruikbaar is voor het doel van deze studie.

7.2 Capaciteitsberekeningen ontwerpsituatie

De capaciteit van de tunnel is in Stap 1+2 berekend met Excel-tools. Het resultaat van deze berekening kan op 2 manieren worden ingezet:

- het correct modelleren van de tunnelcapaciteit in D-Hydro;
- het maken van een afweging tussen de tunnel, in- en uitlaatvarianten op basis van het effect op de capaciteit.

In deze paragraaf worden de hydraulische berekeningen toegelicht.

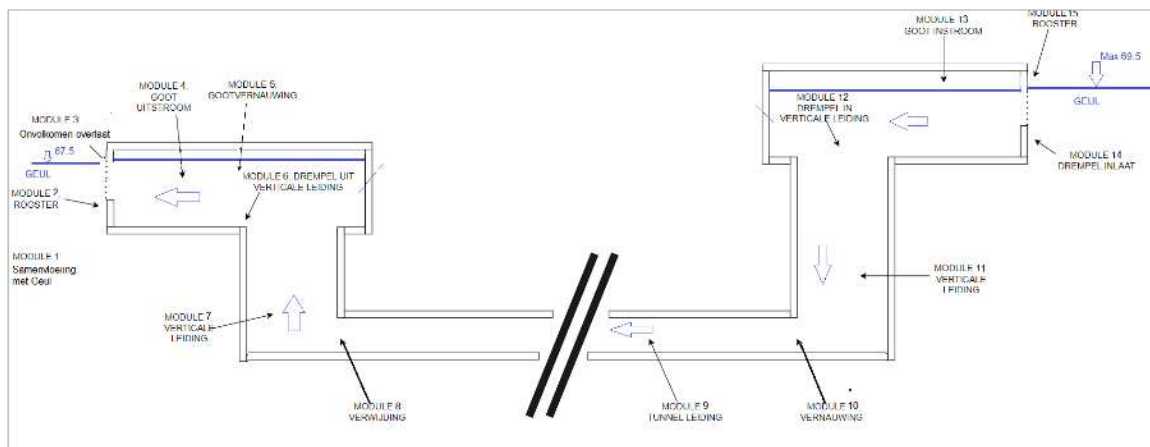
7.2.1 Excel-tool: Toelichting capaciteitsberekening

De flood-bypass bestaat uit een serie hydraulische elementen. In onze rekentool is voor elk hydraulisch element een rekenmodule opgesteld. Deze rekenmodules worden gebruikt om de grove dimensies van elk element te bepalen en het bijbehorende hydraulische verlies uit te rekenen.

Het uitgangspunt voor de hydraulische berekeningen in Stap 1+2 is een schetsontwerp dat nog niet hydraulisch is gestroomlijnd. Het detailniveau van de schetsontwerpen is wel voldoende om de varianten op hoofdlijnen met elkaar te vergelijken. Eventuele ontwerpwijzigingen om het ontwerp hydraulisch te stroomlijnen worden in Stap 3+4 beschouwd en uitgevoerd voor de voorkeursvariant.

In afbeelding 7.6 is een principe langsdoorsnede van de flood-bypass weergegeven, met de locatie van elk van de rekenmodules in het systeem.

Afbeelding 7.6 Overzicht hydraulische rekenmodules Stap 1+2



7.2.2 Excel-tool: Rekenresultaten tunnelcapaciteit

De tunnelcapaciteit is voor elke variant van het tracé, de inlaat en uitlaatlocatie berekend. Zo kunnen de hydraulische prestaties van de verschillende varianten op hoofdlijnen met elkaar worden vergeleken. Na selectie van de voorkeursvariant kan het ontwerp hydraulisch worden gestroomlijnd en de hydraulische berekeningen verfijnd.

In de onderstaande tabel 7.2 worden de rekenresultaten voor de tunnelcapaciteit in de verschillende varianten samengevat. Ter informatie zijn ook de verwachte piekdebieten voor de verschillende herhalingstijden en klimaatscenario's in de tabel weergegeven. Zo kan de (indicatieve) prestatie van elke variant eenvoudig worden beschouwd.

Tabel 7.2 Rekenresultaten capaciteit ontwerpvarianten tunnel

Tracé variant	Eenheid	1	2	3	4
Randvoorwaarde benedenstrooms	(m NAP)	67,5	67,5	67,5	67,5
Randvoorwaarde bovenstrooms	(m NAP)	69,7	69,9	71,5	71,5
Beschikbare hoogte	(m)	2,2	2,5	4,0	4,0
Lengte	(m)	845	1030	1290	1310
Capaciteit 2 x ø3,5m naast elkaar	(m³/s)	51	52	61	61
Capaciteit 2 x ø3,5m boven elkaar	(m³/s)	51	52	61	61
Capaciteit 1 x ø5,0m	(m³/s)	59	60	72	72
Capaciteit Geul	(m³/s)	54	54	54	54
Capaciteit Geul+Tunnel 2x ø3,5 m	(m³/s)	105	106	115	115
Capaciteit Geul+Tunnel 1x ø5,0 m	(m³/s)	113	114	126	126
Debiet T25 (2014)	(m³/s)	54	54	54	54
Debiet T100 (2085)	(m³/s)	75	75	75	75
Debiet T25 (2014)	(m³/s)	84	84	84	84
Debiet T100 (2085)	(m³/s)	84-134	84-134	84-134	84-134

Uit de tabel kan op hoofdlijnen het volgende worden geconcludeerd:

- Varianten 1 en 2 hebben vrijwel dezelfde capaciteit;
- de variant met de strekdam en peilopzet heeft circa 10 m³/s (en circa 10 %) meer capaciteit dan de kortere varianten 1 en 2, zonder peilopzet;
- alle varianten voldoen ruim aan de wensnorm van T25, zowel in 2014 als in het worst-case klimaatscenario van 2085;
- alle varianten voldoen ruim aan de T100 norm, voor klimaatscenario 2014 (huidige situatie);
- alle varianten hebben een capaciteit die 'ergens in het midden' ligt van het verwachte piekdebiet in de T100 voor 2085, namelijk tussen de 84 en 134 m³/s.

In bijlagen XIX t/m XXVI zijn de hydraulische berekeningen voor elke variant opgenomen. Het uitgangspunt voor elk van deze berekeningen is de vrije uitstroom op locatie 2 en voor de inlaat een volledig geopende mechanische schuif.

7.3 Modelberekening tracévarianten

7.3.1 Opbouw modelscenario's

Uit paragraaf 7.1 blijkt dat het referentiemodel bruikbaar is om te worden ingezet om het effect van de varianten te analyseren. In paragraaf 7.2 is vervolgens de capaciteit van de tunnels nauwkeurig bepaald. In deze paragraaf 7.3 worden de berekende capaciteiten toegepast in het D-Hydro model om het effect van de tunnel in de mogelijke toekomstige situaties door te rekenen.

Er zijn 3 scenario's doorgerekend;

- **Referentiescenario:** Huidige situatie (zie H7.1)
- **tracé 2 van inlaatlocatie 2 naar Odapark.** De rekenresultaten van tracé 1 zijn achterwege gelaten omdat deze voor Valkenburg centrum zeer vergelijkbaar zijn. Deze analyse geeft weer wat het effect is van de oplossing zonder strekdam. De uitgangspunten van deze berekening zijn:
 - **Capaciteit tunnel:** 51,5 m³/s bij inlaatpeil NAP +70,0 m, conform berekeningen Excel-tool;

- **Wandruwheid tunnel:** Manning's n van 0,0163. Bij deze ruwheid passeert de tunnel in het model 51,5 m³/s bij debiet bij een inlaatpeil op NAP +70,0;
- **tracé 3 van inlaatlocatie 3 naar Odapark.** De rekenresultaten van tracé 4 zijn achterwege gelaten omdat deze voor Valkenburg centrum zeer vergelijkbaar zijn. Hiermee wordt getoetst wat het effect is van de oplossing mét strekdam. De uitgangspunten van deze berekening zijn:
 - **Capaciteit tunnel:** 61,5 m³/s bij inlaatpeil NAP +71,5 m, conform berekeningen Excel-tool;
 - **Wandruwheid tunnel:** Manning's n van 0,0158. De wandruwheid is (iets) lager dan in tracé 2, omdat de in- en uitlaatverliezen ook zijn verdisconteerd in de wandruwheid van D-Hydro. Bij tracé 3 zijn de in- en uitlaatverliezen een (iets) kleiner deel van het totale hydraulische verlies;
 - **Dam:**
 - maximaal doorgelaten debiet door de doorlaat in de Geul: 54 m³/s;
 - doorlaat is een ideaal geregelde schuif. Deze laat dus elk debiet tot 54 m³/s door zonder opstuwning. Bij grotere debieten wordt het doorgelaten debiet op 54 m³/s gehouden en het verschil geborgen achter de strekdam;
 - kruinhoogte van de strekdam NAP +72.0 m;
 - overlaathoogte van de strekdam NAP +71.0 m;
 - maximaal waterpeil achter strekdam NAP +71.5 m.

7.3.2 Rekenresultaten modelscenario's

In afbeelding 7.7 zijn de rekenresultaten voor de scenario's weergegeven. De volgorde van de rekenresultaten in de afbeelding is:

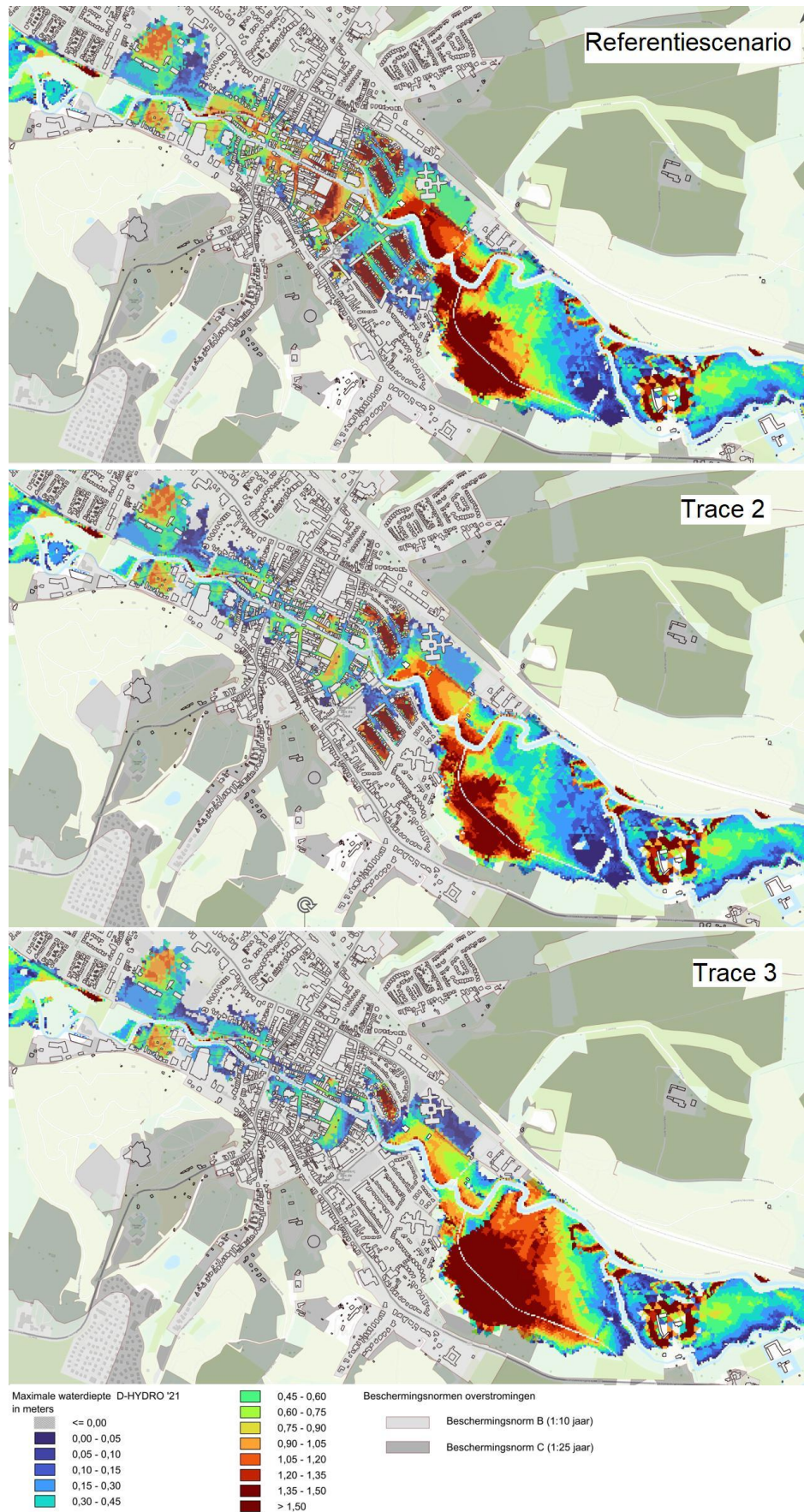
- Referentiescenario: huidige situatie;
- Scenario tracé 2;
- Scenario tracé 3.

Uit de rekenresultaten in afbeelding 7.7 kan worden geconcludeerd dat:

- voor tracé 3 wordt het werkelijke maximale waterpeil ter plaatse van de inlaat wordt in het D-Hydro model berekend op NAP +71.32 m.
- de tunnel via tracévariant 2 een duidelijke vermindering laat zien van inundatiedieptes in het centrum ten opzichte van de huidige situatie. Overstroming wordt in de 2021 bui echter niet geheel voorkomen;
- de tunnel via tracévariant 3 met strekdam een nog duidelijker vermindering laat zien van de inundatiedieptes in het centrum ten opzichte van de huidige situatie. Overstroming wordt in de 2021 bui nog steeds niet geheel voorkomen. Wel laat deze variant duidelijk de beste resultaten zien.

Geconcludeerd wordt daarom dat de tunnel duidelijk helpt om de mate van en het risico op overstroming te verkleinen voor het centrum. Wanneer de tunnel wordt gecombineerd met de strekdam (tracévariant 3) wordt het risico nog verder verkleind. In een separate, gelijktijdige studie door Witteveen+Bos [ref. 18] wordt beschouwd wat het effect van alleen de strekdam is zonder tunnel.

Afbeelding 7.7 Rekenresultaat D-Hydro 3 scenario's



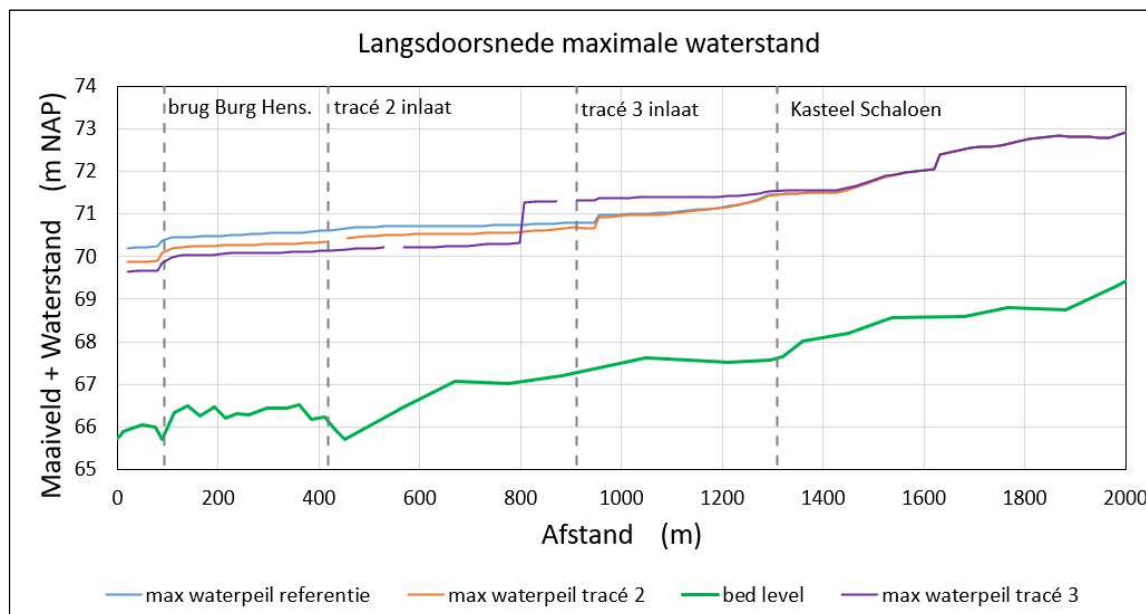
7.3.3 Verificatie boven- en benedenstrooms effecten

Om te onderzoeken of de maatregel 'Tunnel + Strekdam' geen nadelig effect heeft op het boven- en benedenstrooms gelegen gebieden wordt in deze paragraaf een verificatie uitgevoerd van deze effecten, middels de D-Hydrummodellen van elk scenario.

Verificatie bovenstrooms effect van de bypass

In afbeelding 7.8 voor de juli 2021 bui het bovenstroomse effect van tracévarianten 2 en 3 vergeleken met de referentiesituatie.

Afbeelding 7.8 Bovenstrooms effect tracévarianten 2 en 3



Uit deze afbeelding blijkt dat:

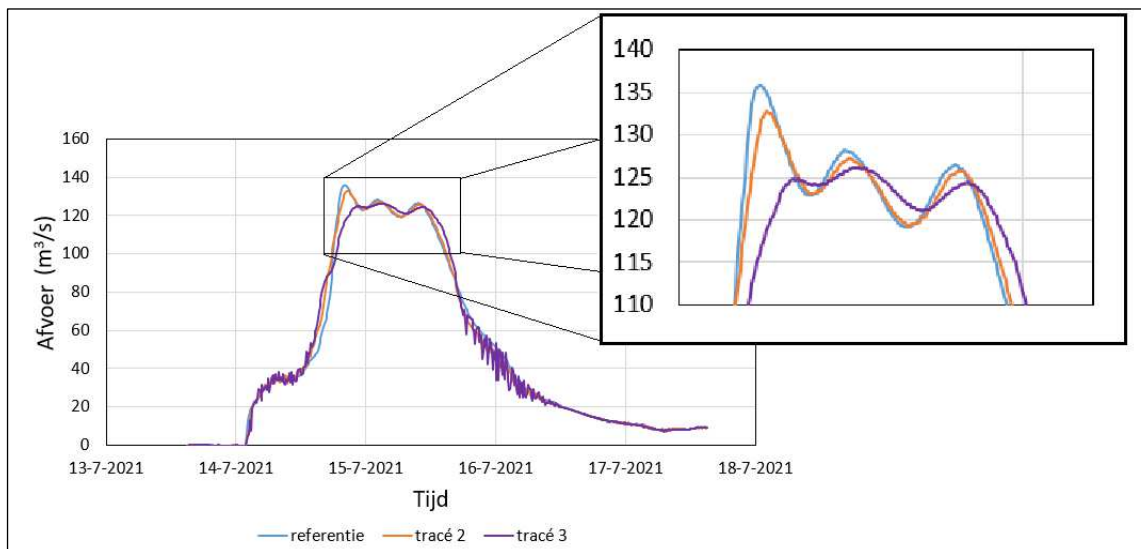
- in tracévariant 2 de bovenstroomse waterstanden afnemen.
- In tracévariant 3 nemen de bovenstroomse waterstanden toe tot circa 200 m bovenstrooms van Kasteel Schaloen. Dit is een gevolg van de strekdam en niet direct van de flood bypass tunnel. In dit gebied bevindt zich echter geen bebouwing, anders dan het kasteel zelf. Het Kasteel Schaloen ligt voldoende hoog en loopt geen inundatierisico.

Geconcludeerd wordt daarom dat de strekdam in tracévariant 3 het inundatierisico op de bovenstroomse bebouwing niet verhoogt bij de doorgerekende bui van juli 2021. Verwacht wordt dat ditzelfde beeld zal worden gezien wanneer andere afvoergolven worden doorgerekend. Dit zou middels een nadere beschouwing met andere afvoergolven nader beschouwd kunnen worden.

Verificatie benedenstrooms effect van de bypass

In afbeelding 7.9 is het maximale debiet in de juli 2021 bui direct benedenstrooms van de tunnel vergeleken tussen tracévarianten 2 en 3 en de referentiesituatie.

Afbeelding 7.9 Benedenstrooms effect tracévarianten 2 en 3



Uit de afbeelding blijkt dat:

- in tracévariant 2 het totale piekdebiet ter hoogte van Odapark wordt berekend op 132,7 m³/s. Dit is lager dan de 135,8 m³/s in de referentiesituatie. De reden voor de afname van het piekdebiet is dat het water via de tunnel sneller wordt afgevoerd dan via de Geul door het centrum. Hierdoor vallen het piekdebiet dat door de tunnel loopt en het piekdebiet dat door de Geul loopt niet langer samen ter hoogte van Odapark. De piekafvoer wordt dus iets uitgespreid in de tijd, met als gevolg een iets lager piekdebiet en iets lagere piekwaterstand benedenstrooms van Valkenburg;
- in tracévariant 3 is dit effect nog duidelijker. De berging achter de strekdam vlakke het piekdebiet ter hoogte van Odapark af. Uiteindelijk loopt het overtollig water wel over de strekdam, maar dit gebeurt nadat de piekafvoer is gepasseerd. Het berekende piekdebiet ter hoogte van Odapark is daardoor bij tracé variant 3 met 126,2 m³/s circa 9 m³/h lager de 135,8 m³/h van de huidige situatie. Wel houdt het piekdebiet langer aan. De piek in de hoogwatergolf wordt in dit scenario dus nog meer uitgespreid in de tijd, dan in tracé variant 2. Dit is ook duidelijk te zien in de afbeelding.

Uit deze 2 analyses wordt geconcludeerd dat in de juli 2021 bui er geen nadelige effecten boven- of benedenstroomse worden gezien van de tunnel. Het effect op de benedenstroomse waterstanden is juist gunstig. Opgemerkt wordt dat deze analyse geldig is voor de hoogwatergolf uit 2021. Bij een andersvormige hoogwatergolf (met name langduriger) kan dit effect anders zijn.

STAP 1+2: KOSTENRAMINGEN

In Stap 1+2 worden de kosten van de verschillende varianten enkel op hoofdlijnen bepaald. Er worden nog geen SSK-kostenramingen opgesteld.

Op het ontwerpniveau van Stap 1+2 kunnen de kostenverschillen tussen de in- en uitlaatvarianten niet met voldoende nauwkeurigheid worden bepaald en zijn de kostenverschillen niet onderscheidend ten opzichte van de kosten van de boring. Voor de MCA-analyse worden daarom enkel de kosten van de tracévarianten (en dus ook locatievarianten van de in- en uitlaten) beschouwd.

In onderstaande tabel 8.1 worden de grove kostenramingen samengevat voor elk van de 4 tracé varianten en elk van de 3 ontwerpvarianten. Daarbij is enkel rekening gehouden met de kosten voor de tunnel, en niet voor aanverwante werkzaamheden (drijfviulkanaal, landschappelijke herinrichtingen maaiveld et cetera). Aanvullend zijn de directe kosten geraamd voor het eventueel direct bijleggen van een tunnel. Daarbij is uitgegaan van :

- de verschillende lengtes van de tracé varianten;
- de verschillende dimensies van de schachten in elk van de varianten
- voor elke variant hetzelfde ontwerpprincipe en ontwerplocatie voor de uitlaat in Odapark. Er is geen onderscheid gemaakt tussen de sub-opties voor het tracé die mogelijk zijn, afhankelijk van de gekozen voorkeurspositie van de uitlaat;
- voor elke variant hetzelfde ontwerpprincipe en ontwerp voor de inlaat.

Tabel 8.1 Samenvatting grove kostenramingen in voor verschillende tracévarianten en ontwerpvarianten (exclusief aanverwante werkzaamheden zoals drijfviulkanaal en landschappelijke herinrichtingen maaiveld)

Ontwerp variant	Tracé Variant 1 (L=840 m)	Tracé Variant 2 (L=1030 m)	Tracé Variant 3 (L=1290 m)	Tracé variant 4 (L=1310 m)
eenheid	M EUR	M EUR	M EUR	M EUR
2 x 3,5 m parallel	38	41	45	46
2 x 3,5 m gestapeld	37	40	45	45
1 x 5,0 m	71	74	78	79
2 x 3,5 m gestapeld én parallel	48	52	59	60

De ramingen zijn een richtprijs van de aanneemsom, exclusief omzetbelasting, exclusief risico-opslag, exclusief kosten OG. Kosten in/uitlaatconstructies aangenomen op 5 M EUR.

Uit de tabel kan op hoofdlijnen worden geconcludeerd dat:

- de gesegmenteerde variant veel duurder is dan de dubbele GFT-boringen;
- dat 7 m diepere schacht voor de gestapelde variant ongeveer dezelfde kosten met zich meebrengt als de parallelle variant. De grotere diepte doet de kosten stijgen, maar dit effect wordt (ongeveer) opgeheven doordat de schacht een kleinere diameter heeft;
- de boringen van varianten 3 en 4, die 50 % langer zijn dan Variant 1, zijn slechts 10-20% duurder dan de kortste variant. Dit komt doordat de kosten voor de in- en uitlaatschachten een relatief groot aandeel hebben in de totaalkosten.

In bijlage XXVII zijn nadere specificaties opgenomen van de kostenramingen.

In de multicriteria analyse is het interessant om de kostenramingen af te wegen tegen de hydraulische capaciteit van elke variant. Daarom zijn in tabel 8.2 de kosten uit deze paragraaf en de berekende capaciteiten uit hoofdstuk 7 nog eens naast elkaar gezet.

Tabel 8.2 Vergelijking kosten en capaciteiten voor tracé- en ontwerpvarianten

Ontwerp-variant	Parameter	2 x ø3,5 m parallel	2 x ø 3,5 m gestapeld	1 x ø 5,0 m	3 x ø 3,5 m
tracé Variant 1	ruwe kosten (M EUR)	38	37	71	48
	capaciteit Geul + Tunnel net voor overstrooming (m ³ /s)	105	105	113	127
Tracé Variant 2	ruwe kosten (M EUR)	41	40	74	52
	capaciteit Geul + Tunnel net voor overstrooming (m ³ /s)	106	106	114	128
Tracé Variant 3	ruwe kosten (M EUR)	45	45	78	59
	capaciteit Geul + Tunnel net voor overstrooming (m ³ /s)	115	115	126	142
Tracé variant 4	ruwe kosten (M EUR)	46	45	79	60
	capaciteit Geul + tunnel net voor overstrooming (m ³ /s)	115	115	126	142

Uit de tabel kan op hoofdlijnen worden geconcludeerd dat:

- de parallelle en gestapelde 2xø3,5 m varianten vrijwel uitwisselbaar zijn wat betreft kosten en capaciteit;
- ook tracévarianten 1 en 2 zijn vrijwel uitwisselbaar zijn wat betreft kosten en capaciteit;
- tracévarianten 3 en 4 zijn circa 10 % duurder en hebben circa 10 % meer capaciteit voor de parallelle en gestapelde 2xø3,5 m varianten;
- de gesegmenteerde variant aanzienlijk duurder is dan de GFT-boringen;
- dat een oplossing met 3 parallel geboorde tunnels het totale systeem in alle varianten (ongeveer) voldoende capaciteit geeft voor het T100 2085 'upper bound' klimaatscenario van 134 m³/s;
- als alternatief op 3 parallelle doorpersingen kan ook een grotere capaciteit worden behaald met een gesegmenteerde tunnel, iets groter dan ø 5,0m. Door een diameter te kiezen van circa ø 5,4m is het mogelijk om een totale systeemcapaciteit te behalen van 134 m³/s. Met die diameter zou in 2021 dus geen schade hebben opgetreden in Valkenburg. De totaalcapaciteit van 134 m³/s valt daarbij samen met het maximale T100 piekdebiet in 2085 conform de neerslagstatistieken van Deltares [ref 2.]. Zo bezien zou deze met variant de hoogste beschermingsnorm kunnen worden behaald.

STAP 1+2: MULTICRITERIA ANALYSES (MCA)

9.1 Toelichting op MCAs

Op 6 systeemelementen van het ontwerp wordt een afweging (MCA) gemaakt. Deze 6 systeemelementen zijn het tunnelontwerp, het tracé, de in- en uitlaatlocaties en de in- en uitlaatontwerpen. Het MCA-resultaat voor elk systeemelement vormt 1 'legosteen'. Zo zijn er totaal 6 legostenen (6 MCAs) waaruit de voorkeursvariant wordt opgebouwd.

Elke MCA wordt uitgevoerd op basis van een lijst aspecten die per systeemelement wordt beschouwd. De aspecten zijn vastgesteld met de projectgroep bij projectbijeenkomst #2 (28-05-2025).

De opzet van de MCAs is als volgt:

- van elk aspect met een kwantitatief resultaat (zoals kosten) wordt deze waarde opgenomen in de tabel;
- elk aspect zonder kwantitatief resultaat krijgt een kwalitatieve waardering variërend van ++ (meest positief) tot -- (meest negatief);
- elke waardering krijgt een kleurcodering volgens het stoplicht model:
 - donkergroen = variant is zeer gunstigste op dit aspect;
 - groen = variant is goed op dit aspect;
 - geel = variant is redelijk op dit aspect;
 - oranje = variant is matig/ongunstig variant op dit aspect;
 - rood = variant is zeer ongunstig op dit aspect.

9.2 Resultaten MCAs

In tabel 9.1 is een samenvatting gegeven van de resultaten van de MCAs. De varianten zijn samengevat in de tweede kolom waarbij de voorkeursvariant per systeemonderdeel dikgedrukt is weergegeven. De 6 volledige MCAs zijn opgenomen in bijlage XXVIII.

In tabel 9.1 staat in de derde kolom een toelichting op voorkeursvariant. Daarin worden de belangrijkste overwegingen toegelicht die tot de voorkeursvariant hebben geleid.

Tabel 9.1 Samenvatting MCAs (Bijlage XXVIII)

Systeem-element	Varianten met voorkeursvariant dikgedrukt	Kernoverwegingen voor selectie voorkeursvariant
inlaatlocatie	1. parkeerterrein; Jeugdheim Achter de Erke' 2. voetbalveld v.v. Walram 3. achter de strekdam	1. locatie 3 is heeft een negatief effect op de cultuurhistorische waarde van Kasteel Oost, het NNN en Natura2000 gebied. Echter is het aanleggen van de strekdam een separaat project, met als doel de berging in het Geuldal te benutten om de piekafvoer af te vlakken. Het negatieve effect op cultuurhistorische waarde is dus niet het gevolg van de aanleg van de tunnel, maar van de aanleg van de dam. 2. door de inzet van de strekdam op locatie 3, wordt de hoogste capaciteit bereikt en tevens de wijk bij de Betsy Perklaan het beste beschermd. 3. wanneer de strekdam wordt aangelegd is het niet wenselijk de tunnelinlaat achter de dam te leggen. Immers beoogd de dam om het doorgelaten debiet te beperken. Met een beperkt doorlaatdebiet onder de dam wordt de tunnel onvoldoende gevoed op locaties 1 en 2. 4. de D-Hydro rekenresultaten tonen aan dat locatie 3, in combinatie met de strekdam, de beste bescherming aan Valkenburg biedt in de T100. 5. deze locatie biedt de meeste ruimte voor het nemen van drijfvuil maatregelen
inlaatontwerp	1. vaste overlaat constructie (rechte drempel) 2. vaste overlaat constructie met woelbak 4. mechanische opening 4. opdrijfschot	1. de hoge betrouwbaarheid en lage onderhoudsbelasting van de rechte drempel zijn een zeer belangrijk aspect. Varianten 3 en 4 hebben beide bewegende onderdelen, hetgeen wordt gezien als een risico voor de werking, en een onderhoudsbelasting naar de toekomst 2. de woelbak wordt gezien als een risico op insluiting van drijfvuil en hout. In de toepassing voor Valkenburg is dit ontwerp minder geschikt dan voor Lyss. 3. het frequentere gebruik van de open rechte drempel wordt door de projectgroep gezien als voordelig 4. de ontwerphoogte van de drempel zal relatief dicht bij het normale waterpeil van de Geul liggen, om de inlaatcapaciteit te maximaliseren. Daardoor zal de bypass wel relatief frequent in werking treden
uitlaatlocatie	1. Nevengeul 2. Odapark	1. de nevengeul locatie is alleen te combineren met tracé 4. Vanuit tracé 1, 2 en 3 zou er onder veel meer panden en particuliere percelen moeten worden geboord. 2. de keuze voor het inlaatontwerp is de rechte drempel. Dat zou betekenen dat er relatief vaak water naar de nevengeul stroomt. Dit zal het karakter van de (nu relatief droge) nevengeul doen veranderen.
uitlaatontwerp	1. halfronde galerij 2. vrije uitstroom 3. rechte overstort	1. de belangrijkste afweging bij voor het ontwerp van de uitlaat is dat de halfronde koepel hydraulisch zeer ongunstig is, in de toepassing van Valkenburg. Deze variant gaat ten koste van de maximaal haalbare capaciteit en geeft een erosierisico voor de muur aan de overzijde 2. de vrije uitstroom geeft het minste hydraulische verlies, en door de locatie is deze variant beter te combineren met een eventuele toekomstige herinrichting van Odapark Aandachtspunt bij deze variant is dat er extra ontwerpmaatregelen nodig zijn, indien het de voorkeur heeft om de tunnel tussentijds droog te kunnen zetten. Deze maatregelen gaan ten koste van de capaciteit.
tunnel tracé	1. tracé van inlaatvariant 1 naar uitlaatvariant 2 2. tracé van inlaatvariant 2 naar uitlaatvariant 2 3. tracé van inlaatvariant 3 naar uitlaatvariant 2 via de zuidtak van de Geul 4. tracé van inlaatvariant 3 naar uitlaatvariant 2 via de noordtak van de Geul	1. de voorkeur is gegeven aan inlaatlocatie 3. Vanaf deze locatie zijn zowel tracé variant 3 en 4 mogelijk. Tracé variant 4 (via de noordtak van de Geul) valt af om deze veel meer percelen en panden onderkruist dan tracé 3. Opgemerkt wordt dat dit tracé langs of onder enkele gebouwen loopt met cultuurhistorische waarde, te weten een bijgebouw van Kasteel Oost, de Geulpoort en Kasteel den Halder. Akkoord op dit tracé van de Gemeente en het Rijksmonumentenregister is een aandachtspunt in de voorontwerpfase.
tunnelontwerp	1. 2 x tunnel ø3,5 m, naast elkaar - doorpersing 2. 2 x tunnel ø3,5 m, boven elkaar - doorpersing 3. één tunnel ø5,0 m gesegmenteerd	1. de gesegmenteerde tunnel kost circa 2x zoveel als de doorpersingen. De doorpersingen zijn eventueel met een 3 ^{de} tunnel (nu of in de toekomst) uit te breiden, waardoor een grotere capaciteit wordt behaald, nog steeds voor minder kosten dan de gesegmenteerde variant. 2. de gestapelde doorpersing onderkruist minder percelen enkele panden dan de parallelle variant. 3. belangrijker is echter dat de parallelle persingen veel eenvoudiger in onderhoud zijn dan de gestapelde persingen. In de gestapelde variant ligt de b.o.b. van de bovenste tunnel 4 tot 5 m boven de bodem van de (onderhouds-)schacht. Dit maakt een onderhoudsoperatie complexer, duurder en onveiliger.

9.3 Voorkeursvariant en Go / No go

Op 23 juni zijn de MCAs besproken met de projectgroep. Bij dit overleg is de 'Go' gegeven voor de volgend ontwerpfasen. Daarbij is de gedragen keuze van de projectgroep dat het ontwerp zal worden opgebouwd uit de volgende combinatie ontwerpkeuzes (lego-stenen):

- | | | |
|---|-----------------|--|
| 1 | inlaatlocatie: | variant 3 (achter strekdam); |
| 2 | inlaat ontwerp: | open rechte drempel, die frequent water inlaat, ook bij kleinere buien; |
| 3 | uitlaatlocatie: | Odapark, uittredepunt op locatie 2, aan de zuidzijde van het parkeerterrein; |
| 4 | uitlaatontwerp: | vrije uitstroom; |
| 5 | tracé: | tracé 3 via de zuidtak van de geul; |
| 6 | tunnelontwerp: | een dubbel gft boring met parallelle buizen. |

In de volgende projectfase 3+4, worden nadere ontwerpkeuzes gemaakt. Deze ontwerpkeuzes worden uitgewerkt in 2 hoofdvarianten in Hoofdstuk 10.

10

STAP 3+4 - UITWERKEN HOOFDARIANTEN

10.1 Inleiding

In deze projectfase “stap 3+4” worden 2 hoofdvarianten uitgewerkt. De varianten zijn gebaseerd op de gemaakte ontwerpkeuzes uit stap 1+2.

Binnen de hoofdvarianten worden 6 ontwerpaspecten onderscheiden die in deze stap 3+4 nader worden beschouwd. Deze 6 ontwerpaspecten zijn:

- **ontwerpkeuze:** de hydraulische stroomlijning. Dit wordt besproken in paragraaf 10.3;
- **ontwerpkeuze:** tunnel vol of leeg laten staan. Dit wordt besproken in paragraaf 10.4;
- **ontwerpkeuze:** inzetfrequentie tunnel. Dit wordt besproken in paragraaf 10.5;
- **ontwerpmaatregelen:** luchtinsluiting Dit wordt besproken in paragraaf 10.6;
- **ontwerpmaatregelen:** drijfvuil. Dit wordt besproken in paragraaf 10.7;
- **ontwerpaspect:** onderhoudsstrategie en materieel. Dit wordt besproken in paragraaf 10.8.

Het schetsontwerp wordt in dit hoofdstuk nader uitgewerkt in 2 hoofdvarianten. De bovengenoemde ontwerpmaatregelen en-keuzes zijn verwerkt in deze 2 hoofdvarianten. De hoofdvarianten zijn:

- **hoofdvariant I:** ontwerp dat niet hydraulisch is gestroomlijnd. Dit ontwerp geeft lagere kosten en maakt onderhoud gemakkelijker. Anderzijds is onderhoud mogelijk ook vaker nodig en wordt de potentiële tunnelcapaciteit niet ten volle benut;
- **hoofdvariant II:** ontwerp dat hydraulisch is gestroomlijnd. De potentiële tunnelcapaciteit wordt in dit ontwerp maximaal benut. De nadelen hiervan zijn de hogere kosten en het onderhoud dat mogelijk wat moeilijker uitvoerbaar is.

Beide hoofdvarianten zijn opgebouwd uit de ontwerpmaatregelen en -keuzes. Deze maatregelen en keuzes kunnen, net als in Stap 1+2, worden gezien als ‘legostenen’. De voorkeursvariant die zal volgen uit deze Stap 3+4 kan worden opgebouwd uit deze ‘lego-stenen’.

De voorkeursvariant is dus niet ófwel hoofdvariant ófwel hoofdvariant 2, maar kan ook worden opgebouwd uit een combinatie van ontwerpaspecten uit elk van de hoofdvarianten.

10.2 Referentieprojecten

Voor de verdiepingsslag van de hoofdvarianten wordt opnieuw gekeken naar relevante referentieprojecten. Hierbij zijn met name interessant:

- de status van de tunnel wanneer niet in gebruik (vol of leeg);
- frequentie van inzet;
- frequentie van onderhoud en onderhoudsmaterieel.

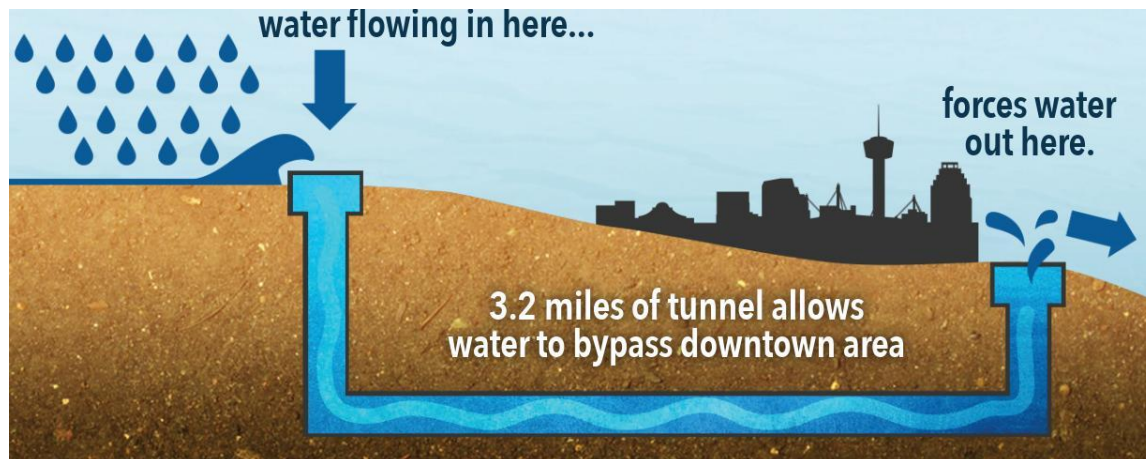
Twee relevante referentieprojecten uit de Verenigde Staten worden hierbij nader beschouwd omdat deze beide ook sifon-constructies zijn, zoals ook wordt beoogd voor Valkenburg:

- San Antonio River Bypass;
- Waller Creek Bypass (Austin).

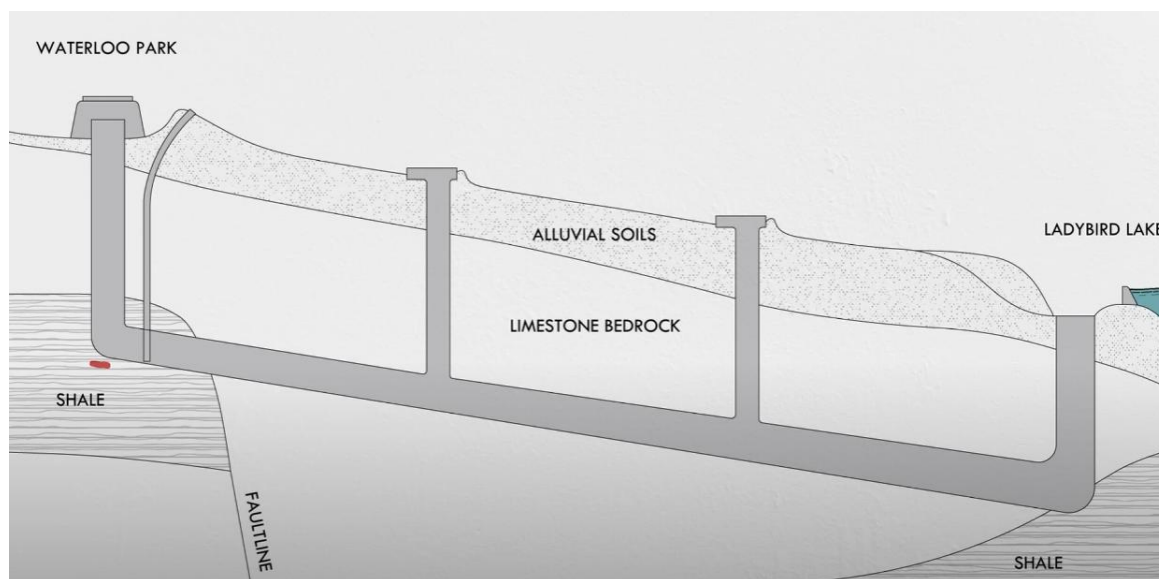
10.2.1 Samenvatting kentallen San Antonio en Waller Creek

In afbeeldingen 10.1 en 10.2 zijn de bypasses van San Antonio en Waller Creek schetsmatig weergegeven.

Afbeelding 10.1 Schetsmatig langsprofiel van de San Antonio River Bypass (bron: San Antonio River Authority)



Afbeelding 10.2 Schetsmatig langsprofiel van de Waller Creek Bypass (bron: Austin City Council)



In tabel 10.1 zijn enkele kentallen samengevat met betrekking tot ontwerp, gebruik en onderhoud van de tunnels in de referentieprojecten. Ter vergelijking zijn van de beoogde bypass in Valkenburg ook enkele kentallen opgenomen.

Tabel 10.1 Kentallen ontwerp, gebruik en onderhoud van de San Antonio en Waller Creek bypasses

Ontwerpaspect/ Gebruiksaspect	San Antonio River Bypass	Waller Creek Bypass	Valkenburg
tunnel vol of leeg?	vol	vol	te bepalen
frequentie van inzet tunnel	continu, wordt gerecirculeerd	vaak - 29x in 2024	te bepalen
ontwerp in- en uitlaten	vlakke schachtvloeren in- en uitlaat	vlakke schachtvloeren in- en uitlaat. wanden en gedeelte van de vloer van de inlaatschacht zijn hydraulisch gestroomlijnd	te bepalen
onderhoudsmaterieel	- ontwateringspompen - kraan met grijper - kiepwagen	- ontwateringspompen; - zuigwagen; - kraan; - skid steer die op de bodem van de schacht wordt gezet en door de tunnel kan rijden	te bepalen
diameter	ø 7,3 m	ø 6,2 tot ø 8,1 m	2x ø 3,5 m
lengte	4.940 m	1.707 m	1.300
volume	205.000 m ³	70.000 m ³	30.000 m ³
capaciteit	189 (m ³ /s)	240 (m ³ /s)	± 60 m ³ /s
maximale stroomsnelheid	4,5 m/s	4,6 m/s	± 3,2 m/s
frequentie van ledigen voor reiniging	niet sinds het jaar 2000. middels robot duikinspecties is vastgesteld dat de vervuilingsgraad beperkt is	1 x per 2 jaar middels robot duikinspecties is vastgesteld dat door de vervuilingsgraad deze frequentie het meest geschikt is	te bepalen
verversingsdebiet	0,4 m ³ /s (San Antonio gebruikt recirculatie en wordt ververs door regelmatig gebruik)	0,3 m ³ /s (inname vanuit Lady Bird Lake)	te bepalen
verversingstijd tunnel	5,5 dagen	3 dagen	te bepalen

10.2.2 Onderhoud San Antonio River Bypass

Er is in juli 2025 contact geweest met de beheerders van de San Antonio tunnel om een beeld te krijgen van de onderhoudsaspecten die men in de praktijk ervaart met deze tunnel.

De San Antonio tunnel is niet meer geledigd voor onderhoud sinds maart 2000. Dat jaar is de tunnel voor het laatst leeggepompt en gereinigd. Sindsdien zijn verschillende duikinspecties uitgevoerd, waaruit is gebleken dat de vervuiling zodanig beperkt is dat er geen (nog) nieuwe onderhoud benodigd is. Deze tunnel heeft dus in zekere mate een zelfreinigend vermogen.

Bij het onderhoud in 2000 werd de tunnel eerst leeggepompt. Vervolgens werd met een grijpkraan (het gros van) het vuil onder in de schacht verwijderd en via een kiepwagen afgevoerd. In afbeeldingen 10.3 tot en met 10.7 zijn foto's weergegeven van het destijds gebruikte materieel en de aangetroffen vervuiling.

Afbeelding 10.3 Kraan met grijper bij San Antonio Tunnel (bron: San Antonio River Authority)



Afbeelding 10.4 Grijper bij San Antonio Tunnel (bron: San Antonio River Authority)



Afbeelding 10.5 Grijper met drijfvuil bij San Antonio Tunnel (bron: San Antonio River Authority)



Afbeelding 10.6 Kraan met grijper en kiepwagen bij San Antonio Tunnel (bron: San Antonio River Authority)



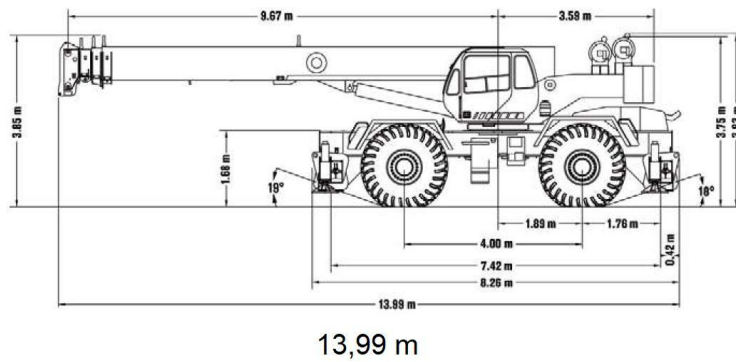


10.2.3 Onderhoud Waller Creek Bypass

Er is in juli 2025 contact geweest met de beheerders van de Waller Creek tunnel om een beeld te krijgen van de onderhoudsaspecten die men in de praktijk ervaart met deze tunnel.

De Waller Creek tunnel wordt elke twee jaar leeggepompt en gereinigd. In afbeelding 10.8 is het onderhoudsmaterieel weergegeven dat wordt ingezet bij het onderhoud van de Waller Creek Bypass.

Witteveen+Bos | 146791/25-017.752 | Definitief



Vactor 2100i zuigwagen

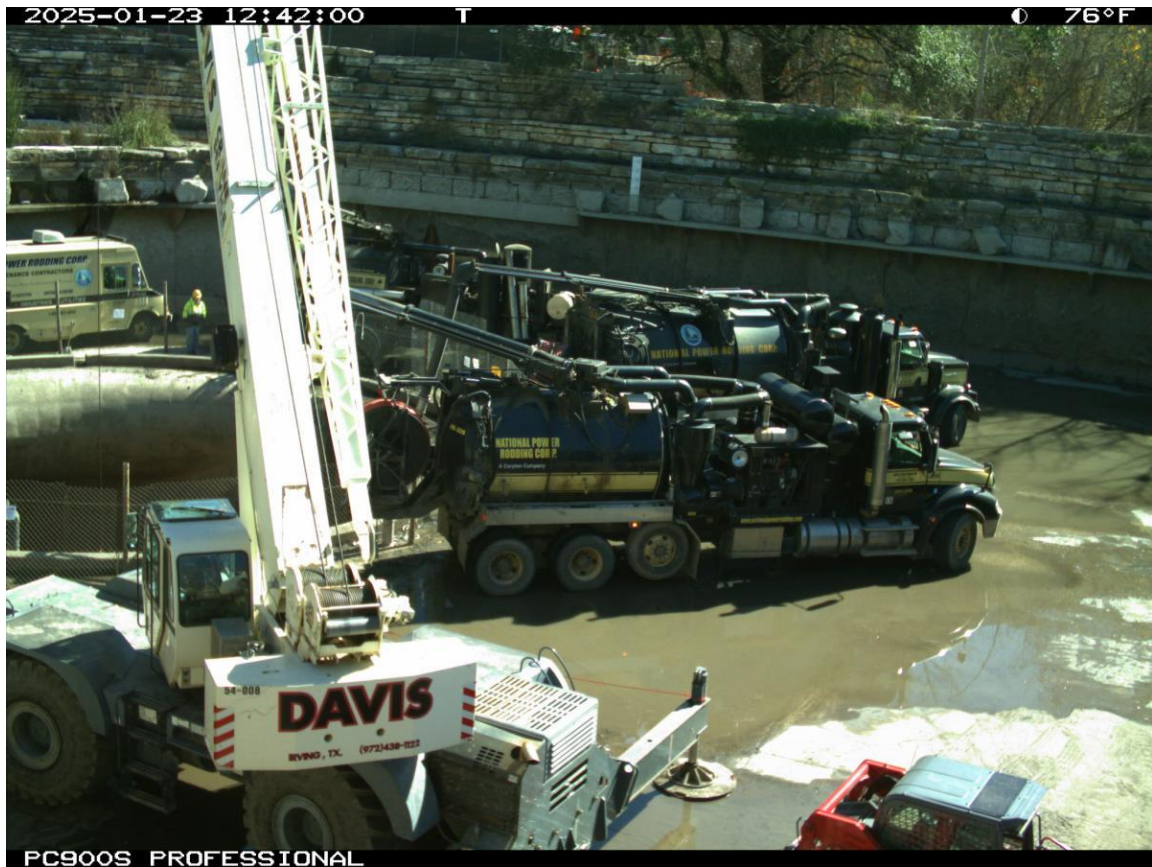


Skid Steer



In afbeeldingen 10.9 en 10.10 zijn foto's opgenomen van het materieel en onderhoud tijdens het onderhoudsmoment in januari 2025.

Afbeelding 10.9 Onderhoudsmoment Waller Creek Tunnel, op maaiveld, januari 2025 (bron: Austin City Council)



Afbeelding 10.10 Onderhoudsmoment Waller Creek Tunnel, in de tunnel, januari 2025 (bron: Austin City Council)



10.3 Ontwerpkeuze: Hydraulische stroomlijning

Er worden 2 hoofdvarianten onderscheiden in deze projectfase. Het verschil tussen deze 2 hoofdvarianten spitst zich toe op de mate van hydraulische stroomlijning in het ontwerp en wat dit betekent voor capaciteit, kosten en onderhoud.

Hydraulische stroomlijning levert enerzijds een hogere capaciteit op, maar leidt anderzijds ook tot hogere realisatie kosten en potentieel lastiger onderhoud. De 2 opgestelde hoofdvarianten zijn:

- **hoofdvariant I:** hydraulisch niet-gestroomlijnde variant;
- **hoofdvariant II:** hydraulisch wel-gestroomlijnde variant.

De 3 ontwerpelementen waar de 2 hoofdvarianten (met name) op verschillen zijn:

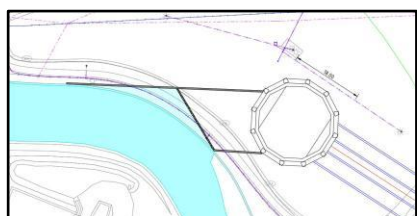
- **ontwerp van de inlaatschacht:**
in variant I is de inlaatschacht een open koker. In de gestroomlijnde variant II wordt het water op Geul hoogte reeds ingelaten in 2 leidingen met een diameter van $\varnothing 3,5$ m. Het water loopt via een S-bocht naar de tunnel, en bij de uitlaat ook weer via een S-bocht omhoog. Op deze manier hoeft het water geen serie van vertragingen en versnellingen te doorlopen, die leiden tot energieverlies en daarmee een lagere capaciteit;
- **ontwerp van de uitlaatschacht:**
in variant I is de uitlaatschacht een open koker. In de gestroomlijnde variant II wordt het water via S-bocht leidingen terug naar de hoogte van de Geul gebracht;
- **ontwerp van de uitlaat:**
in variant I stroomt de koker direct uit op de Geul. Om te voorkomen dat water terugloopt vanuit de Geul naar de tunnel wordt de uitlaatkoker gescheiden van de Geul met een drempel van 400 mm. In de gestroomlijnde variant wordt de uitlaatkoker gescheiden van de Geul met een zijkanaal dat parallel aan de Geul loopt over circa 150 m. Wanneer er wordt gekozen voor een tunnel die altijd vol water staat zijn deze ontwerpmaatregelen (drempel of zijkanaal) niet nodig en kan in beide hoofdvarianten de uitlaat direct op de Geul afvoeren op bodemhoogte. In dat geval kan de tunnel voor onderhoud worden uitgerust met een dubbele rij schotbalkspanningen.

De verschillen tussen de ontwerpelementen van de hoofdvarianten zijn weergegeven in afbeelding 10.11 op de volgende pagina.

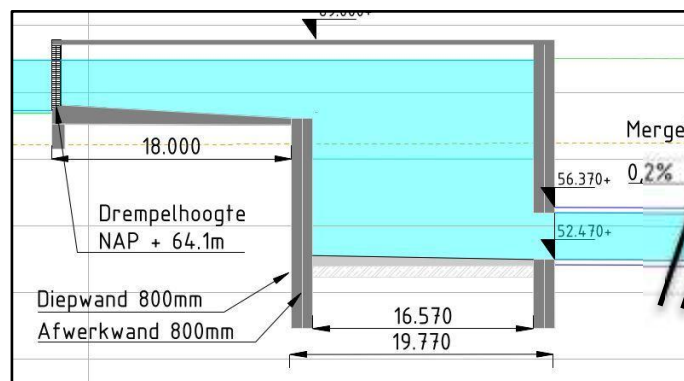
Naast de hydraulische stroomlijning worden ook de andere ontwerpmaatregelen en -keuzes verwerkt in de hoofdvarianten. Deze ontwerpmaatregelen worden besproken in paragraaf 10.4 t/m 10.8. De afweging van alle ontwerpkeuzes, inclusief die van de hydraulische stroomlijning, wordt nader besproken in paragraaf 10.9.

Afbeelding 10.11 Ontwerpverschillen tussen hoofdvarianten I en II

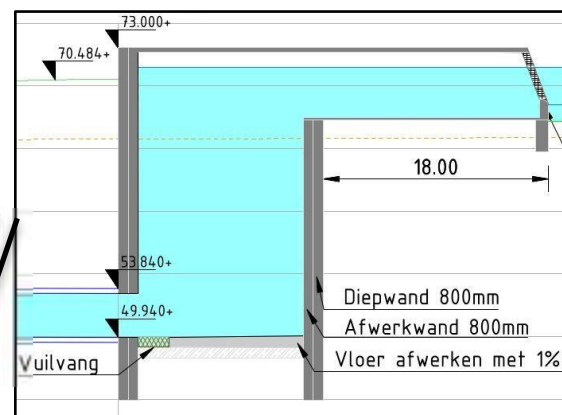
Hoofdvariant I



Afvoer direct op Geul



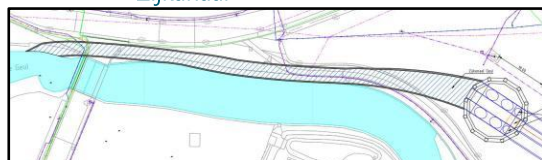
Open uitlaatkoker met 400 mm drempel



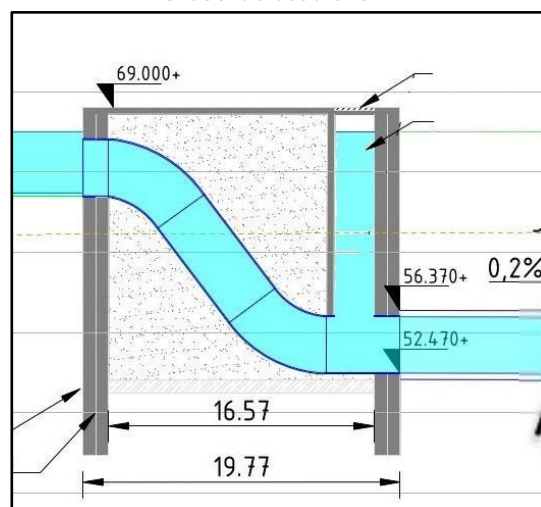
Open inlaatkoker

Hoofdvariant II

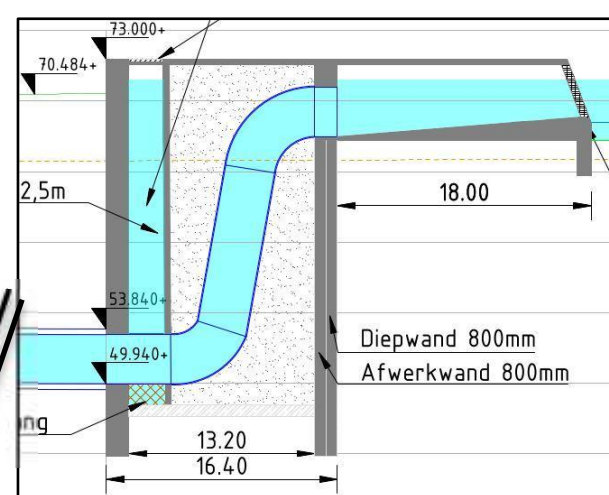
Zijkanaal



S-bocht uitlaatkoker



S-bocht inlaatkoker



10.4 Ontwerpkeuze: Tunnel vol of leeg laten staan

De keuze of de tunnel vol of leeg staat, wanneer deze niet in gebruik, is een belangrijk ontwerpaspect.

Wanneer de tunnel (langdurig) leeg moet kunnen staan, is het noodzakelijk om de in- en uitlaat zodanig te ontwerpen om dit mogelijk te maken. Deze eis vormt dan een randvoorwaarde aan het ontwerp. Wanneer de tunnel altijd vol zou staan vervalt deze eis en kan de uitlaat direct op de bodemhoogte van de Geul aan worden gesloten.

10.4.1 Afweging

Voor deze ontwerpkeuze worden enkele voor- en nadelen onderscheiden, zowel op technisch, als op ecologisch gebied. Deze voor- en nadelen zijn samengevat in tabel 10.2 en 10.3.

Tabel 10.2 Voordelen vol laten staan, of leeg zetten tunnel

Voordelen tunnel vol laten staan
Technische voordelen
1. wanneer de tunnel al vol staat als deze in gebruik wordt genomen is de kans op luchtinsluiting bij in gebruik nemen nihil. De inlaatschacht is 16m diep en staat te allen tijde voor circa 12 m vol met water; 2. wanneer de tunnel doorgaans vol staat met water wordt deze alleen geledigd bij onderhoudswerkzaamheden, niet na elk gebruik. De tunnel hoeft daardoor veel minder vaak te worden leeggepompt. Dit bespaard op arbeid, kosten en energie; 3. wanneer de tunnel altijd vol mag staan, combineert dit goed met een relatief lage inlaatdrempel, waardoor de tunnel frequent wordt gebruikt. Frequent gebruik van de tunnel, ook in kleine buien, kent enkele belangrijke voordelen: · het water in de tunnel wordt verversd bij elk gebruik; · de tunnel wordt aantoonbaar goed gebruikt. Dit geeft de beheerders kennis van het systeem en maakt ze vertrouwd met het systeem; · burgers leren de bypass te vertrouwen, omdat de tunnel aantoonbaar goed werkt in kleinere buien. Dit geeft comfort en een gevoel van vertrouwen dat het systeem ook in grote buien goed zal functioneren.
Ecologische voordelen
1. er wordt een stabiele ecologische conditie gecreëerd (in tegenstelling tot een situatie waarbij de bypass onregelmatig open en dicht gaan). In de voorontwerpfase kan overwogen worden om dit te versterken met kan worden versterkt door een V-vormige, vispasseerbare instroomopening; 2. ervaringen met sifons wijzen uit dat bij kortere sifons een functioneel habitat ontstaat waar vele soorten gebruik van kunnen gaan maken (vissen zoeken bijv. beschutting tegen visetende vogels). In het geval van de bypass zou dat gaan om met name de in- en uitlaatschachten; 3. ecologisch geheugen: permanentie van het vol laten staan van de tunnel in de nieuwe situatie heeft meer voor- dan nadelen, omdat organismen in de schachten zich aan zullen aanpassen; 4. Het frequent inzetten van de tunnel reduceert de hydraulische stress op het systeem van de Geul bij hoog water, omdat de stroomsnelheid in de Geul lager blijft

Tabel 10.3 Nadelen vol laten staan, of leeg zetten tunnel

Nadelen tunnel vol laten staan
Technische nadelen 1. de onderhoudsbehoefte is niet duidelijk zichtbaar. Er zijn duikers of duikrobots nodig om de vervuilingsgraad van de tunnel vast te stellen, zoals ook bij de San Antonio Bypass plaatsvindt.
Ecologische nadelen 1. bij langdurige stilstand kan gezien de kwaliteit van de Geul als gevolg van BZV pieken (zwevend stof) zuurstofloosheid ontstaan. Dit geeft risico op het doodgaan van de fauna. Dit kan echter worden voorkomen met een verversingsdebiet en ander beheer, zoals monitoring op zuurstof. Bij zuurstofloosheid kan het verversingsdebiet worden verhoogd. Het benodigde verversingsdebiet kan ook rekenkundig worden bepaald. (bijvoorbeeld met de Oxyval tool); 2. door de bypass kan een groter aandeel van soorten ontstaan die niet of minder kenmerkend is voor stromende wateren, zoals Brasem, Karper en Meerval.

10.4.2 Advies

Op basis van de afwegingen en de ervaringen in de referentieprojecten, is het advies om de tunnel altijd vol te laten staan, ook wanneer deze niet in gebruik is.

Vanuit ecologisch oogpunt is de aanbevolen verversingstijd van de bypass, net als bij de referentieprojecten, 3 tot 5 dagen. Het aanbevolen verversingsdebiet is daarmee circa 0,09 m³/s (90 l/s). Dit debiet geeft enerzijds voldoende stroming om stilstaand water, en de bijbehorende nadelen, te voorkomen. Anderzijds is de stroomsnelheid van verversing voldoende laag (0,005 m/s) zodat soorten hier geen hinder van ondervinden.

Het voorgestelde verversingsdebiet heeft geen nadelig effect op de Geul. Onder normale omstandigheden is het debiet door de Geul circa 6 m³/s. Hiervan wordt 90 l/s, dus circa 1,5 %, ingezet voor de verversing van het drijfuijkanaal en de tunnels.

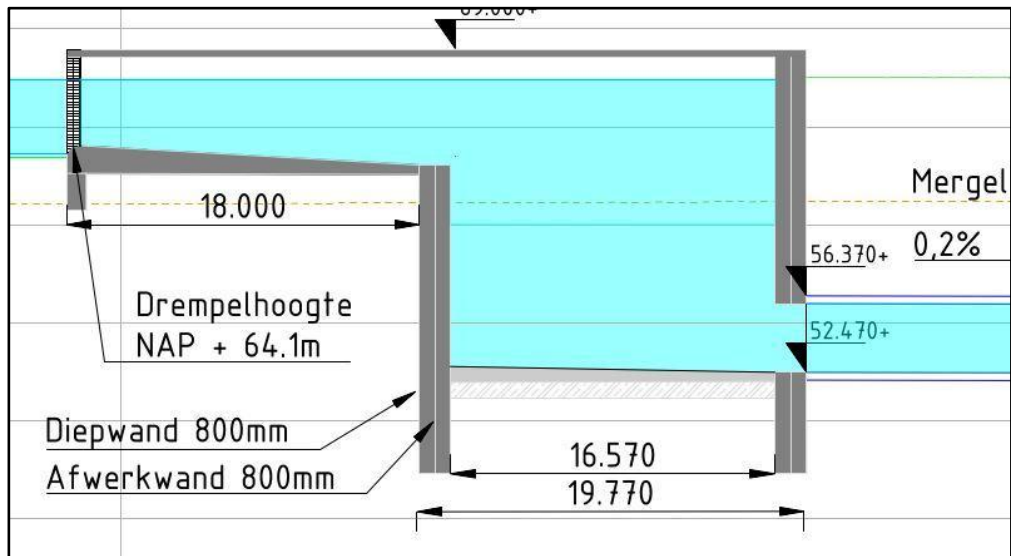
Ondanks dit advies zijn in de hoofdvarianten ontwerpmaatregelen opgenomen die het mogelijk maken de tunnel langdurig leeg te zetten is. Dit omdat deze ontwerpkeuze technisch uitdagender is. De ontwerpmaatregelen dienen ertoe om de uitlaat van de tunnel en het water in de Geul van elkaar te scheiden onder laagwater omstandigheden.

In paragraaf 10.3 is voor elk van de hoofdvarianten daartoe een ontwerpmaatregel benoemd. Deze zijn:

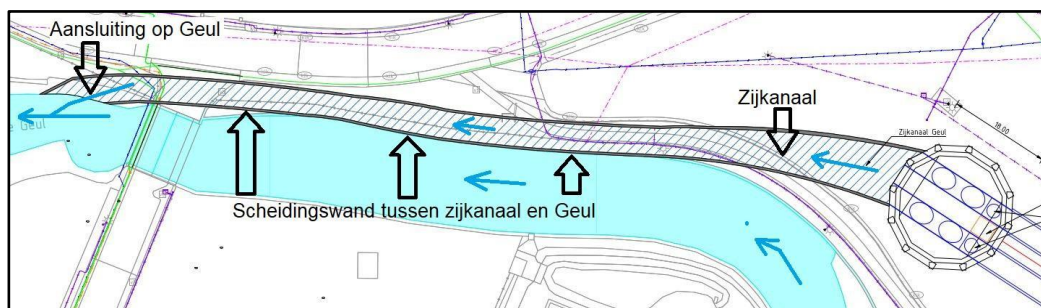
- in **hoofdvariant I** wordt de uitlaat bij laag water gescheiden van de Geul met een drempel van circa 400 mm hoogte. Deze drempel geeft een hydraulisch verlies, maar maakt het ook mogelijk de tunnel leeg te laten staan onder normale omstandigheden;
- in **hoofdvariant II** voert de uitlaat af op een zijkanaal parallel aan de Geul. Dit kanaal zorgt voor een waterscheiding tussen de tunnel en de Geul bij laag water zonder hydraulische weerstand te creëren.

Bovenstaande ontwerpmaatregelen zijn weergegeven in afbeeldingen 10.12 en 10.13.

Afbeelding 10.12 Ontwerpmaatregel scheiding tunnel en Geul, hoofdvariant I



Afbeelding 10.13 Ontwerpmaatregel scheiding tunnel en Geul, hoofdvariant II

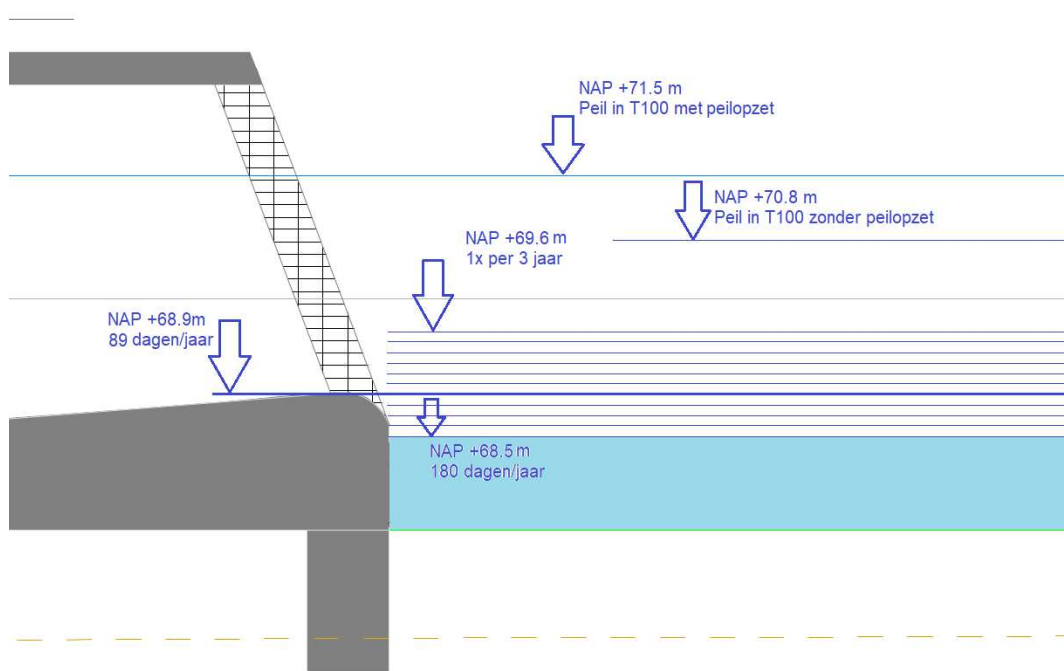


Wanneer ervoor wordt gekozen de tunnel altijd vol te laten staan vervallen deze maatregelen en kan in beide hoofdvarianten de tunnel direct afvoeren op de Geul, op het niveau van de Geulbodem.

10.5 Ontwerpk keuze: Inzetfrequentie van de tunnel

De inlaat van de bypass wordt gevormd door een rechte drempel. De frequentie waarmee de tunnel wordt ingezet hangt af de hoogte van de drempel boven het normale peil van de Geul. In afbeelding 10.14 zijn de enkele ontwerppeilen en herhalingstijden weergegeven. In tabel 10.3 is per stap van 100 mm de herhalingstijd weergegeven.

Afbeelding 10.14 Geulpeil ter hoogte van beoogde inlaat met indicatieve herhalingsstijden



Tabel 10.4 Mogelijke ontwerppeilen drempel en bijbehorende inzetfrequenties van de tunnel

Drempelpeil	Herhalingsstijd in dagen	Dagen per jaar
69,6	1354	0,27
69,5	762	0,48
69,4	369	1,0
69,3	112	3,3
69,2	8,0	45
69,1	5,4	67
69	4,6	80
68,9	4,1	89
68,8	2,8	129
68,7	2,7	136
68,6	2,4	151
68,5	2,0	180

Bovenstaande afbeelding en tabel kunnen worden gebruikt voor het selecteren van de gewenste drempelhoogte.

In beide hoofdvarianten is gekozen voor relatief laag drempelpeil van NAP + 68,9 m. Dit is 400 mm boven het normale Geulpeil. De belangrijkste redenen voor deze keuze zijn:

- een relatief laag drempelpeil zorgt voor frequente doorstroming, en dus verversing, van de tunnel;
- de tunnel werkt, bij voorkeur, ook goed wanneer de dam niet wordt aangelegd. Daartoe moet het maximale waterpeil zo laag mogelijk worden gehouden. Het laag houden van het maximale waterpeil wordt mede bereikt door het water met een laagliggende drempel (en over een grote breedte) in te nemen.
- Met een laag drempelpeil treedt de tunnel relatief frequent in werking. Dit helpt draagvlak te creëren en geeft de bewoners van Valkenburg vertrouwen in de werking van de tunnel.

Nadelen van een relatief laag drempelpeil zijn:

- frequentere inloop van water geeft ook meer kans op inloop van sediment;
- een drempel die dicht bij de bodemhoogte ligt geeft meer kans op inloop van sediment;
- wanneer er teveel water in kleine buien via de tunnel loopt is er minder water in de Geul op het moment dat gemengde riooloverstorten in werking treden. Hierdoor kan lokaal de waterkwaliteit achteruit gaan ten opzichte van de huidige situatie. Dit risico kan worden gemitigeerd door de drempel zo hoog te maken dat deze pas in werking treedt in een bui waarin ook de overstorten gaan werken. Geadviseerd wordt om in de Voorontwerp fase een reeksberekening te maken van de riooloverstorten in Valkenburg om de drempelhoogte hierop te optimaliseren.

10.6 Ontwerpmaatregelen: Luchtinsluiting

Het voorkomen van luchtinsluiting is een belangrijk ontwerpaspect. Luchtinsluiting is ongewenst aangezien dit de capaciteit van de tunnel kan beperken en kan leiden tot ongewenste drukstoten. Ook de mogelijkheid voor een goede afvoer van lucht is een belangrijk aspect, voor het geval dit zich voordoet.

Om luchtinsluiting te voorkomen en luchtafvoer te bevorderen worden 5 ontwerpmaatregelen verwerkt in de hoofdvarianten. Deze ontwerpmaatregelen worden hieronder toegelicht.

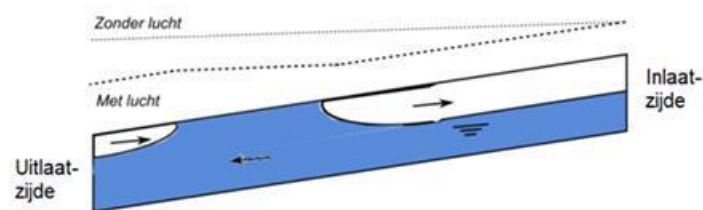
Ontwerpmaatregel 1: De tunnel wordt ontworpen met een licht stijgend verhang

Het aanleggen van de tunnel met een licht stijgend verhang bevordert luchtafvoer.

Om de tunnel goed te kunnen onderhouden dient ófwel de inlaatschacht, ófwel de uitlaatschacht het laagste punt van de tunnel te zijn. Zodoende kan de tunnel worden geledigd door de tunnel vanuit de diepste schacht leeg te pompen. Het vuil/sediment zal zich ook (met name) op het laagste punt verzamelen.

Het heeft niet de voorkeur om de uitlaat het laagste punt te maken. In dat geval zou de tunnel (licht) dalen. Een dalende tunnel geeft risico op (langdurige) luchtinsluiting, omdat de lucht die zich langs de bovenzijde van de buis verzameld in stijgende richting wil bewegen. Bij een dalende tunnel is dat tegen de waterstroom in. Dit principe is weergegeven in afbeelding 10.15.

Afbeelding 10.15 Hydraulisch verlies als gevolg van luchtinsluiting, Tukker et al 2012, Deltares [ref. 16]



In 2003-2010 is dit fenomeen nader onderzocht door Deltares in het CAPWAT-project (CAPaciteitsverliezen in afvalWATertransportsystemen). De bevindingen omtrent luchtinsluiting vormen onderdeel van het CAPWAT Handboek [ref. 16].

Het handboek geeft ook een indicatie van de mate van gastransport in een dalende leiding. Dit wordt bepaald op basis van:

- de hellingshoek θ van de leiding; en
- het stromingsgetal F_w .

De hellingshoek in de flood bypass is nagenoeg 0. Het stromingsgetal van de tunnels is gelijk aan:

$$F_w = \frac{v}{\sqrt{gD}}$$

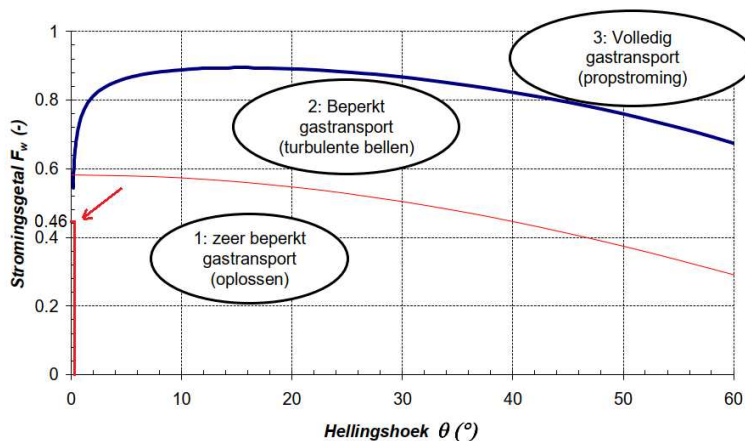
Waarin:

F_w	stromingsgetal (Froude getal)	[-]
v	stroomsnelheid	[m/s]
g	zwaartekrachtversnelling	[m/s ²]
D	leidingdiameter	[m]

Voor de tunnels is zodoende het stromingsgetal gelijk aan $F_w = \frac{v}{\sqrt{gD}} = \frac{2,7}{\sqrt{9,81 \cdot 3,5}} = 0,46$.

In afbeelding 10.16 is een indicatie weergegeven van de transportcapaciteit voor gas die daaruit volgt voor de tunnels in een dalend ontwerp.

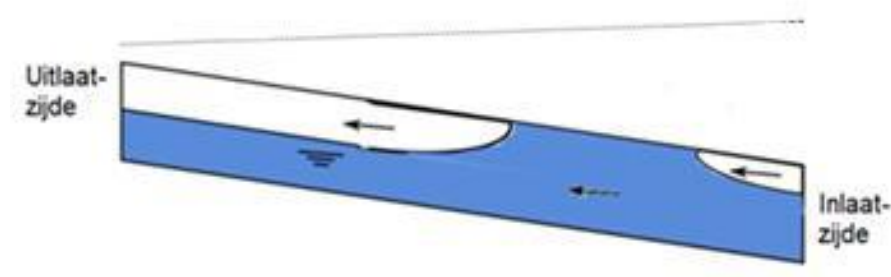
Afbeelding 10.16 Indicatie transportcapaciteit gas van dalende Flood Bypass Valkenburg, (op basis van Tukker et al 2012 [ref. 16])



Uit de afbeelding blijkt dat een ontwerp met een licht dalende de tunnel 'zeer beperkt gastransport' zou hebben. Wanneer er lucht zou worden ingesloten, verdwijnt dit dus moeilijk weer uit de tunnel.

Daarom wordt de ontwerpkeuze gemaakt dat de tunnel licht stijgend wordt aangelegd. In een stijgende tunnel stromen de luchtbelletjes met het water mee, waardoor de tunnel snel kan worden ontluucht bij eventuele luchtinsluiting. Deze ontwerpkeuze is weergegeven in afbeelding 10.17.

Afbeelding 10.17 Ontwerpkeuze stijgende tunnel



Er wordt in het ontwerp gekozen voor een hellingspercentage van 0,2%. Hiermee wordt een balans geslagen tussen:

- enerzijds voldoende verval zodat water en sediment naar het laagste punt kan stromen;
- anderzijds is dit voldoende vlak zodat de vloer van de tunnel moeilijk beloopbaar wordt door gladheid, of dat inlaatschacht onnodig diep hoeft te worden aangelegd.

De ontwerpmaatregel 'stijgende tunnel' is opgenomen in beide hoofdvarianten.

Ontwerpmaatregel 2: Een diepe inlaatschacht

Het aanleggen van een diepe inlaatschacht helpt luchtinsluiting voorkomen.

De tweede ontwerpmaatregel is daarom het aanleggen van een diepe inlaatschacht. Deze maatregel gaat hand in hand met de eerste ontwerpmaatregel; de tunnel licht stijgend aanleggen. Ook die maatregel leidt tot een diepere inlaatschacht.

Het North American Standard Institute heeft op basis van empirisch onderzoek een formule opgesteld om de minimum waterdiepte te bepalen waarbij er geen risico is op luchtinsluiting vanaf het wateroppervlak als gevolg van vortex-vorming. De minimale waterdiepte S wordt berekend aan de hand van [Hecker G.E. 1987]:

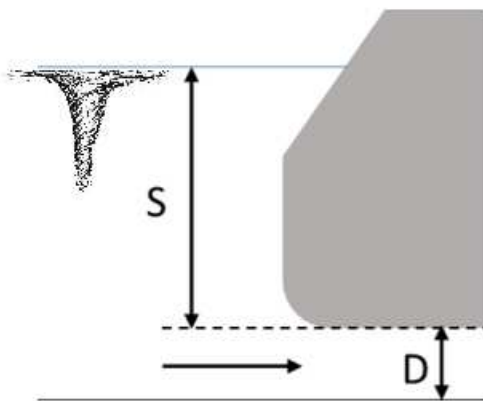
$$S \geq D * (1 + 2,3 * F_w)$$

Waarin:

S	Minimale waterdiepte	[m]
D	leidingdiameter	[m]
F_w	stromingsgetal (Froude getal)	[-]

Deze parameters zijn grafisch weergegeven in afbeelding 10.18.

Afbeelding 10.18 (Op basis van Schliess, 2005)



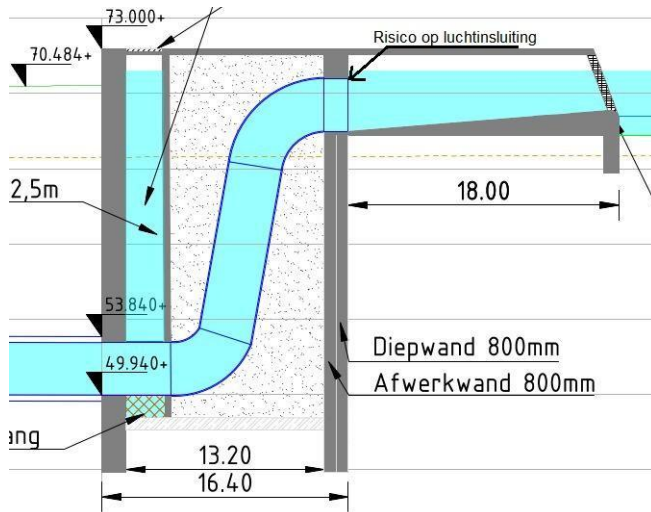
Voor de minimale waterdiepte wordt voor de tunnels berekend:

$$S \geq D * (1 + 2,3 * F_w) = 3,5 * (1 + 2,3 * 0,46) = 7,20 \text{ m}$$

De minimale schachtdiepte voor de inlaat om luchtinsluiting te voorkomen is daarmee $7,20 + 3,50 = 10,70$ m. De ontwerpdiepte van de inlaatschacht is (in beide hoofdvarianten) is circa 17 m. Daarmee is de diepte van de inlaatschacht ruim voldoende om luchtinsluiting als gevolg van vortex-vorming te voorkomen.

De diepe inlaatschacht van 17 m is opgenomen in hoofdvariant I. In hoofdvariant II is de inlaatschacht even diep. Desondanks in dit ontwerp toch sprake van enig risico op luchtinsluiting op de locatie waar het water ingenomen wordt in de buis, omdat in hoofdvariant II deze locatie veel dichterbij het wateroppervlak is dan in hoofdvariant I. Dit is weergegeven in afbeelding 10.19.

Afbeelding 10.19 Locatie met risico op luchtinsluiting in inlaatontwerp hoofdvariant II



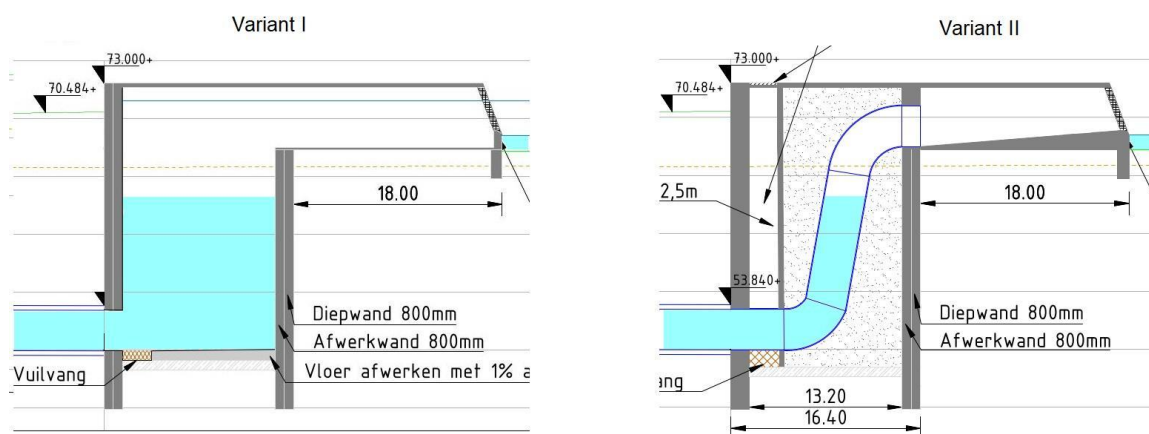
Indien wordt gekozen voor het inlaatontwerp van hoofdvariant II worden daarom aanvullende maatregelen aanbevolen.

Ontwerpmaatregel 3: Tunnel vol wanneer niet in gebruik

Deze ontwerpmaatregel is optioneel en is reeds besproken in paragraaf 10.4.

Het altijd vol laten staan van de tunnel helpt luchtinsluiting voorkomen, omdat het grootste risicomoment voor luchtinsluiting ontstaat bij het vullen van de tunnel. Wanneer de gehele tunnel al vol staat bij in werking treden, is het risico op luchtinsluiting (gegeven de diepte van de inlaatschacht) zeer beperkt. Als de tunnel altijd vol staat is het waterpeil in de inlaatschacht standaard NAP +63,5 m. In afbeelding 10.20 is te zien dat de tunnel dan voor het merendeel vol water staat.

Afbeelding 10.20 Vulling inlaatschacht wanneer niet in gebruik

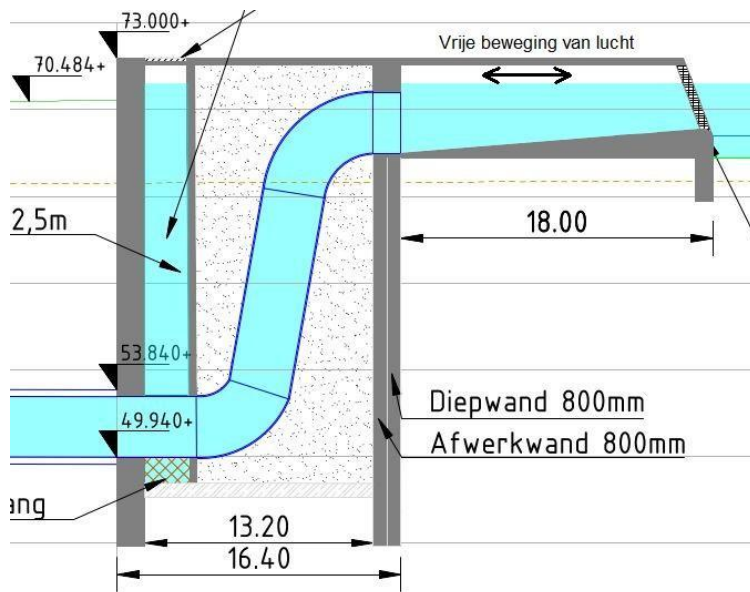


Ontwerpmaatregel 4: Hoog dak in- en uitlaatconstructies

Voor de veiligheid wordt een dak boven de in- en uitlaatconstructies gebouwd. Dit dak (ruim) boven het maximale waterpeil realiseren helpt luchtinsluiting voorkomen en bevordert luchtafvoer.

In afbeelding 10.21 is dit ontwerpprincipe voor de inlaatschacht weergegeven.

Afbeelding 10.21 Ontwerpmaatregel hoogliggend dak



Deze ontwerpmaatregel met een hoogliggend dak is verwerkt in beide hoofdvarianten.

Ontwerpmaatregel 5: Open onderhoudsschachten

In hoofdvariant II is een onderhoudsschacht nodig om bij de tunnels te komen. Deze schacht wordt in het ontwerp direct verbonden met de tunnel. De schacht wordt daarmee een open toren, die vol water staat. Alternatief zou er ook kunnen worden gekozen voor een droge onderhoudsschacht die gescheiden is van de tunnelbuizen. Een open onderhoudsschacht heeft echter de voorkeur om de volgende redenen:

- de lucht die eventueel aan de bovenzijde van de S-bocht kan worden ingesloten kan voor de tunnel weer worden ontlucht via de open onderhoudsschacht;
- een afgesloten, droge onderhoudsschacht is een veiligheidsrisico. Bij onderhoud dient immers het toegangsluik te worden geopend terwijl het onder 20 m druk staat. Dit is geen veilige handeling voor personeel in de toegangsschacht. Daarom zou dit toegangsluik vanaf maaiveld bediend moeten worden. Mocht het luik dan niet goed openen is er geen eenvoudige en veilige mogelijkheid meer voor toegang tot de tunnel;
- de open schacht, gecombineerd met een tunnel die altijd vol staat, geeft ook eenvoudige toegang voor (robot) duikinspecties om de vervuilingsgraad van de tunnel te onderzoeken.

Het belangrijkste nadeel van de open onderhoudsschacht is dat hier stilstaand water in ontstaat. Dit kan echter worden ondervangen door het verversingsdebiet vanuit de Geul op zowel de tunnel als de onderhoudsschacht aan te sluiten. Het principe van de open onderhoudsschacht is te zien in voorgaande afbeelding 10.20.

Samenvatting ontwerpmaatregelen luchtinsluiting

De 5 ontwerpmaatregelen tegen luchtinsluiting komen elk terug in de 2 hoofdvarianten. In tabel 10.4 is samengevat welke van de ontwerpmaatregelen terugkomen in welke van de hoofdvarianten.

Tabel 10.5 Toepassing ontwerpmaatregelen tegen luchtinsluiting per hoofdvariant

Maatregel	Hoofdvariant I (Niet gestroomlijnd)	Hoofdvariant II (Wel gestroomlijnd)
1: stijgende tunnel	✓	✓
2: diepte inlaatschacht	✓	✗
3: tunnel altijd vol	✓/✗ (ontwerpkeuze)	✓/✗ (ontwerpkeuze)
4: hoog dak	✓	✓
5: open onderhoudsschacht	✓	✓

10.7 Ontwerpmaatregelen: Drijfvuil en drijfhout

Bij grote klimaatbuïen kan het water van de Geul veel drijfhout en drijfvuil bevatten. Inloop van drijfvuil en drijfhout in de tunnel wordt bij voorkeur zoveel mogelijk voorkomen. Opbouw van vervuiling in de tunnel, maar ook in het vuilrooster, kan de capaciteit van de tunnel reduceren.

Voor inloop van drijfvuil zijn 2 situaties van belang. De normale situatie en de situatie met een hoge afvoer:

- in de normale situatie dient de tunnel van de Geul gescheiden te zijn om sediment inloop van de bodem en kleine drijvende vervuilingen (takken/bladeren) vanaf de oppervlakte te voorkomen;
- bij een piekafvoer situatie kan groot drijfvuil ontstaan, zoals hele boomstammen, zoals ook plaatsvond in 2021.

Om het risico op drijfvuil en drijfhout in de tunnel en het vuilrooster van de inlaat te minimaliseren worden 2 opties gepresenteerd:

- aanleg drijfvuilkanaal naast inlaatschacht met 6 ontwerpmaatregelen;
- aanleg drijfvuilkanaal middels verwijding van een buitenbocht. Voor dit ontwerp wordt gekeken naar het toegepaste ontwerp in het referentieproject in Sihl, Zwitserland.

Deze 2 opties worden hieronder toegelicht.

10.7.1 Optie 1 - drijfvuilkanaal naast inlaatschacht

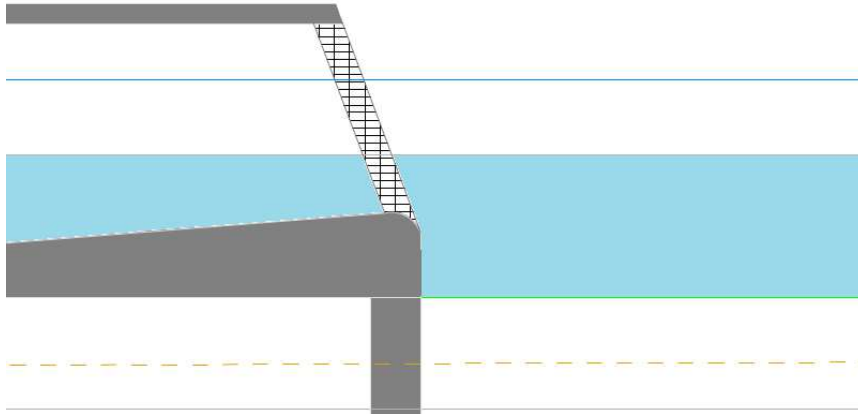
Optie 1 omvat 6 ontwerpmaatregelen

Ontwerpmaatregel 1: Inlaatsdrempel

De inlaat is niet op de bodem van de Geul maar iets daarboven, om bij normale afvoeren inloop van sediment en kleine vervuilingen te voorkomen. Dit is weergegeven in afbeelding 10.21.

Ontwerpmaatregel 2: Schuin vuilrooster

Om inloop van drijfvuil en drijfhout te voorkomen wordt er een vuilrooster geplaatst voor de inlaat. In het ontwerp is ervoor gekozen dit rooster schuin omhoog te laten lopen. Hierdoor kan drijfvuil en drijfhout dat aan het rooster blijft steken (bij voorbeeld een boomstam met takken) omhoog drijven langs het rek terwijl het waterpeil stijgt. Zo wordt het risico op blokkade van de inlaat bij hoogwaterafvoeren geminimaliseerd. Dit is weergegeven in afbeelding 10.22.



Ontwerpmaatregel 3: Aanleg drijfvuilkanaal

Voor de inlaat wordt een kanaal gerealiseerd dat bedoeld is voor het verzamelen van drijfvuil. Dit kanaal loopt van de start van de buitenbocht circa 30 m landinwaarts. Dit kanaal vangt drijfvuil en drijfhout af buiten de loop van de Geul. Het vuil wordt verzameld op 1 locatie, waar het regelmatig kan worden verwijderd in onderhoudsrondes.

Ontwerpmaatregel 4: Strategische locatie inlaat

De inlaat wordt in de buitenbocht gepositioneerd, direct benedenstrooms van het drijfvuilkanaal. Dit hydraulisch de meest gunstige locatie. Tegelijk wordt de inlaat beschermd tegen drijfvuil en drijfhout dat met name langs de buitenbocht zal stromen. Het drijfvuilkanaal zorgt ervoor dat (een belangrijk deel van) het drijfvuil en drijfhout wordt afgevangen en weggevoerd van de inlaat.

Ontwerpmaatregel 5: Drijflijn

Ter hoogte van het drijfvuilkanaal wordt een drijflijn geplaatst. Deze lijn helpt oppervlakkig stromend drijfvuil en drijfhout richting het drijfvuilkanaal te doen bewegen.

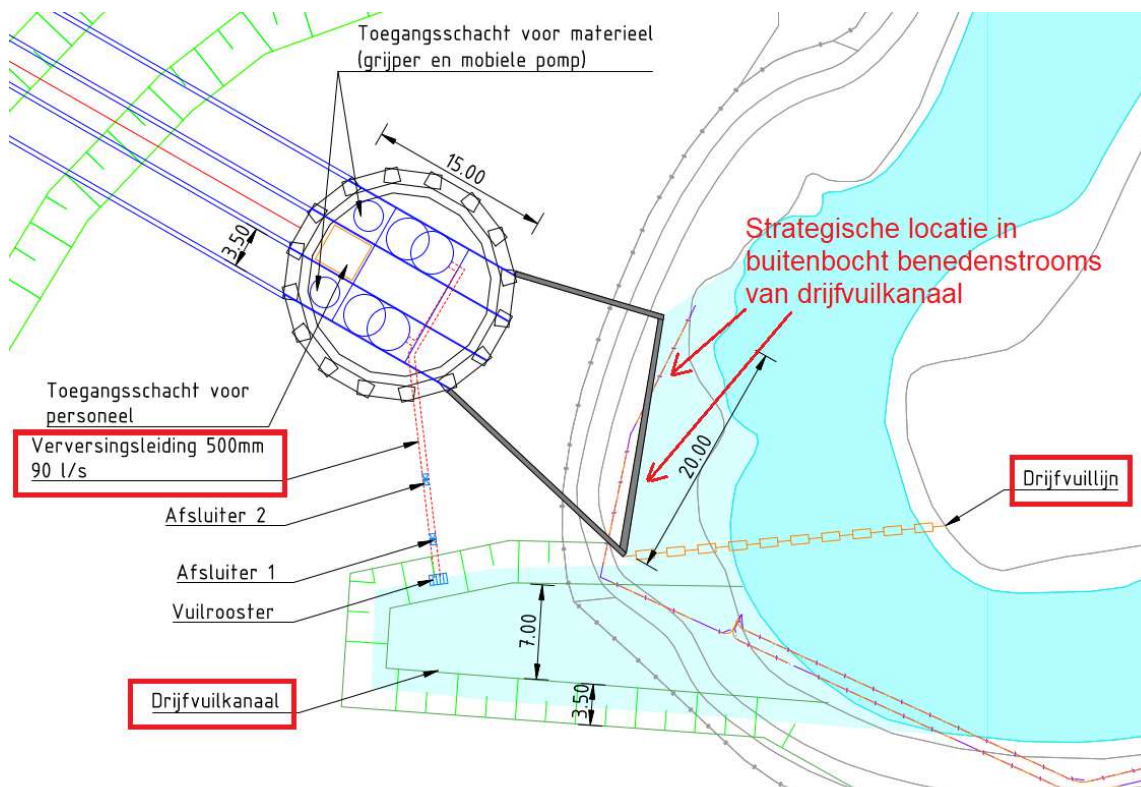
Ontwerpmaatregel 6: Continu doorstroomdebiet vanuit drijfvuilkanaal

Er wordt een continu debiet door het drijfvuilkanaal gerealiseerd door een $\varnothing$ 500 mm verbinding te maken tussen het einde van het kanaal en de inlaat van de bypass. Deze verbinding dient 3 doelen:

- voorkomen van stilstaand water in het drijfvuilkanaal;
- het bevorderen van de doorstroming van drijfvuil en drijfhout naar het einde van het kanaal;
- het verversen van het water in de flood bypass om kwaliteitsproblemen te voorkomen.

Ontwerpmaatregelen 3 t/m 6 zijn in het rood weergegeven in afbeelding 10.23.

Afbeelding 10.23 Ontwerpmaatregelen 2 t/m 5 tegen drijfvuil



Ontwerpmaatregel 7: Bredere inlaatopening

Het is denkbaar dat de inlaatopening breder wordt aangelegd dat noodzakelijk is uit hydraulisch oogpunt. Een bredere inlaatopening zorgt ervoor dat enige vuilophoping in het vuilrek toelaatbaar is, omdat er meer doorstroomopening beschikbaar is voor het water dan strikt hydraulisch noodzakelijk. Dit kan een eventuele ongewenste peilstijging voor de inlaat helpen voorkomen.

De afweging hoeveel breder deze inlaat dan zou moeten zijn is in deze schetsontwerpfase niet gemaakt. Daarom is de maatregel is niet opgenomen in het schetsontwerp, maar wordt wel als aandachtspunt genoteerd voor de VO-fase. De kosten-batenafweging van deze maatregel dient in de VO-fase te worden gemaakt.

10.7.2 Optie 2 - drijfvuilkanaal in buitenbocht (type Sihl)

In optie 2 wordt de lange buitenbocht verbreed zodat deze kan worden ingezet als drijfvuilkanaal. Van deze aanpak is geen ontwerp gemaakt in fase 3+4 maar wordt volstaan met een toelichting op basis van beeldmateriaal van het ontwerp voor Sihl.

De flood bypass in Sihl, Zwitserland wordt momenteel gerealiseerd. Oplevering wordt verwacht in 2026. In het project wordt een bypass gerealiseerd met een capaciteit tot 330 m³/s. De vormgeving van de inlaat is vergelijkbaar met die in andere referentieprojecten, en ook het schetsontwerp voor Valkenburg. Er wordt een lange rechte drempel gerealiseerd, met een grof traliewerk. In afbeelding 10.24 is een artist impression van dit project weergegeven.



Net als in Valkenburg is de inlaat in de buitenbocht voorzien. Om inloop van drijfvuil en drijfhout te minimaliseren wordt in Sihl bovenstrooms van de inlaatconstructie een zijkanaal ("Bypass channel") voor drijfvuil gerealiseerd. Dit is weergegeven in afbeelding 10.25.

Afbeelding 10.25 Drijfvuilkanaal Sihl (Bypass channel) (bron: <https://www.iahr.org/>)

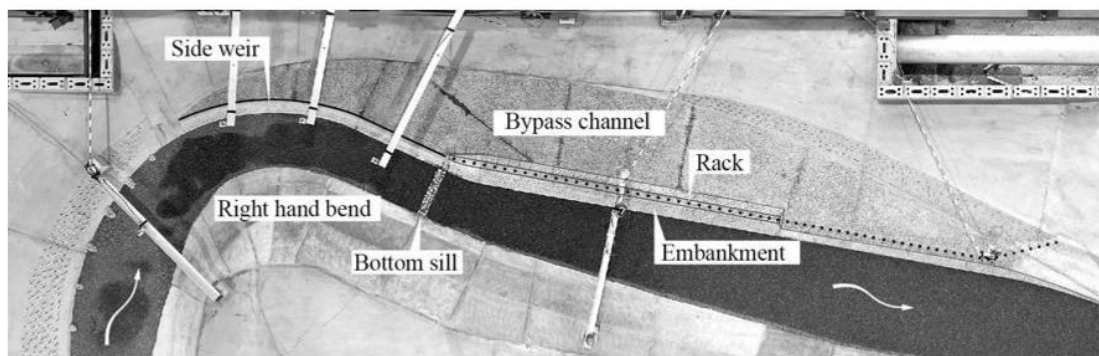
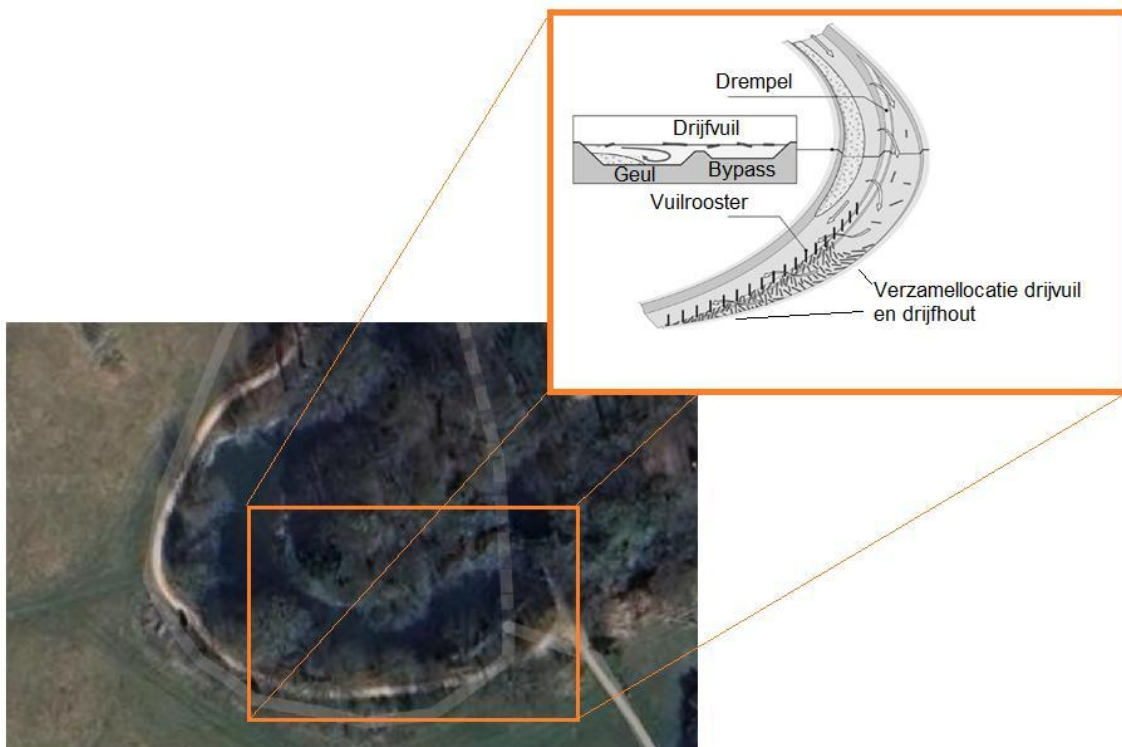


Figure 4 Top view of bypass retention at River Sihl in 1:40 scale model at VAW

De inlaatconstructie in Valkenburg wordt voorzien in een lange buitenbocht, die ruimte biedt voor een vergelijkbare constructie. In afbeelding 10.26 is een impressie van het concept weergegeven en de locatie waar dit concept zou kunnen worden toegepast.



10.7.3 Afweging drijfvuilmaatregelen Optie 1 en Optie 2

Een keuze dient gemaakt te worden tussen Optie 1 en Optie 2. Ook een samengestelde variant is mogelijk. Bij vergelijken van Optie 1 en 2 worden de volgende voor- en nadelen onderscheiden:

- bij Optie 1 is een belangrijk nadeel dat het drijfvuil en drijf hout minder effectief wordt gevangen, omdat de stroomsnelheid in het drijfvuilkanaal laag zal zijn. Dit nadeel is mogelijk te verhelpen door het verversingsdebiet te verhogen;
- bij Optie 1 is het voordeel dat bij hoge waterstanden er geen risico is dat het drijf hout uit het kanaal drijft en alsnog de inlaat verstopt;
- bij Optie 2 is een belangrijk nadeel dat deze vóór de inlaat ligt. Daardoor kan drijf hout dat ontsnapt aan het kanaal mogelijk alsnog de inlaat verstopen. Dit risico kan worden beheerst door het rooster hoog aan te leggen, tot boven NAP +71,5 m;
- bij Optie 2 is het een belangrijk voordeel dat er veel meer water door het rooster wordt gezeefd, en dus dat de vuilafvang effectiever zal zijn.

Voor de voorkeursvariant is Optie 2 geselecteerd. In de voorontwerpfase dienen de optie nader uitgewerkt te worden om te komen tot een optimaal ontwerp voor deze situatie.

10.8 Onderhoudsmethode en -materieel

De verwachte onderhoudsmethode en materieel worden geïnformeerd door de ervaringen bij de San Antonio en Waller Creek Bypasses. Informatie over onderhoudsfrequentie en materieel is reeds besproken in paragraaf 10.2.

10.8.1 Onderhoudsfrequentie Valkenburg

Er is een groot verschil in onderhoudsfrequentie tussen de 2 referentieprojecten. De Waller Creek Bypass wordt eens per 2 jaar gereinigd, terwijl de San Antonio bypass al 25 jaar niet meer is gereinigd. De beslissing hierover wordt door de verantwoordelijke autoriteit in beide gevallen gemaakt op basis van robot duikinspecties. Uit deze ervaring en dit verschil wordt de conclusie getrokken dat de onderhoudsbehoefte specifiek is voor elke bypass en niet op voorhand goed is te voorspellen. De onderhoudsfrequentie zal in de praktijk moeten worden afgestemd op de onderhoudsbehoefte

Er worden 3 mogelijk scenario's onderscheiden, onbekend is welk van toepassing zal zijn op Valkenburg:

- er is bij de frequente, kleinere gebeurtenissen al dermate veel inloop van sediment en vuil dat een relatief hoge onderhoudsfrequentie nodig is, zoals in Waller Creek wordt toegepast;
- inloop van vervuiling door kleinere, frequentere gebeurtenissen is beperkt, waardoor alleen inspectie, en eventueel onderhoud nodig is na grote gebeurtenissen;
- de inloop van vervuiling blijkt beperkt, en er blijkt ook een zelfreinigend vermogen te zijn (de tunnel spoelt schoon in grote buien), waardoor onderhoud nooit nodig is.

Met name in het eerste decennium dient de vervuilingsgraad te worden gemonitord middels (robot) duikinspecties om de vervuilingsofbouw in de gaten te houden. Desondanks is het in dit ontwerpstadium al wel van belang een beeld te hebben van de onderhoudswerkzaamheden, materieel en frequentie. Het ontwerp zelf heeft namelijk ook effect heeft op de onderhoudsbehoefte en - frequentie, en vice versa:

- wanneer zou worden gekozen voor het hydraulisch gestroomlijnde ontwerp, dan:
 - is enerzijds de kans groter dat de tunnel, net als in San Antonio, (voldoende) zelfreinigend is;
 - anderzijds, wanneer regelmatig onderhoud wél nodig blijkt, maakt een hydraulisch gestroomlijnd ontwerp toegang, en dus het onderhoud, lastiger om uit te voeren;
- voor het niet-gestroomlijnde ontwerp geldt het omgekeerde, bij deze ontwerpkeuze:
 - is enerzijds de kans groter dat de tunnel niet zelfreinigend is, als gevolg van de lage stroomsnelheden in de in- en uitlaatschachten (~0,3 m/s). Vervuiling kan gemakkelijk neerslaan in de schachten en zal niet snel gemakkelijk worden meegenomen door de stroming. Regelmatig onderhoud is bij een niet gestroomlijnd ontwerp daarom veel waarschijnlijker;
 - anderzijds is er ruime toegang tot de schachten en tunnels en wordt zo het onderhoud gemakkelijker om uit te voeren dan in het gestroomlijnde ontwerp.

10.8.2 Onderhoudsmethode Valkenburg

Voor beide varianten worden op hoofdlijnen de volgende onderhoudsstappen voorzien:

Stap 1: Afsluiten verversingsleiding

De afsluiters op de verversingsleiding worden gesloten, zodat de tunnel kan worden leeggepompt.

Stap 2: Afzinken mobiele pomp

De tunnel wordt (indien vol) leeggepompt met een mobiele pomp. Er wordt geen vaste pomp in de tunnel geïnstalleerd omdat deze teveel zal vervuilen en kan vastlopen door bezonken vuil en hout.

Stap 3: Ophalen vuil met grijper

Wanneer het meeste water eruit is wordt de eerste grove reinigingstap gezet door een belangrijk deel van het vuil te verwijderen een grijpkraan

Stap 4: Waterpeil verder verlagen en neerlaten schranklader en de uitlaatschacht

De schranklader wordt neergelaten in de uitlaatschacht en rijdt door de tunnel naar de inlaatschacht. Vervuiling in de tunnel wordt zo richting de inlaatschacht geduwd

Stap 5: Toegang personeel

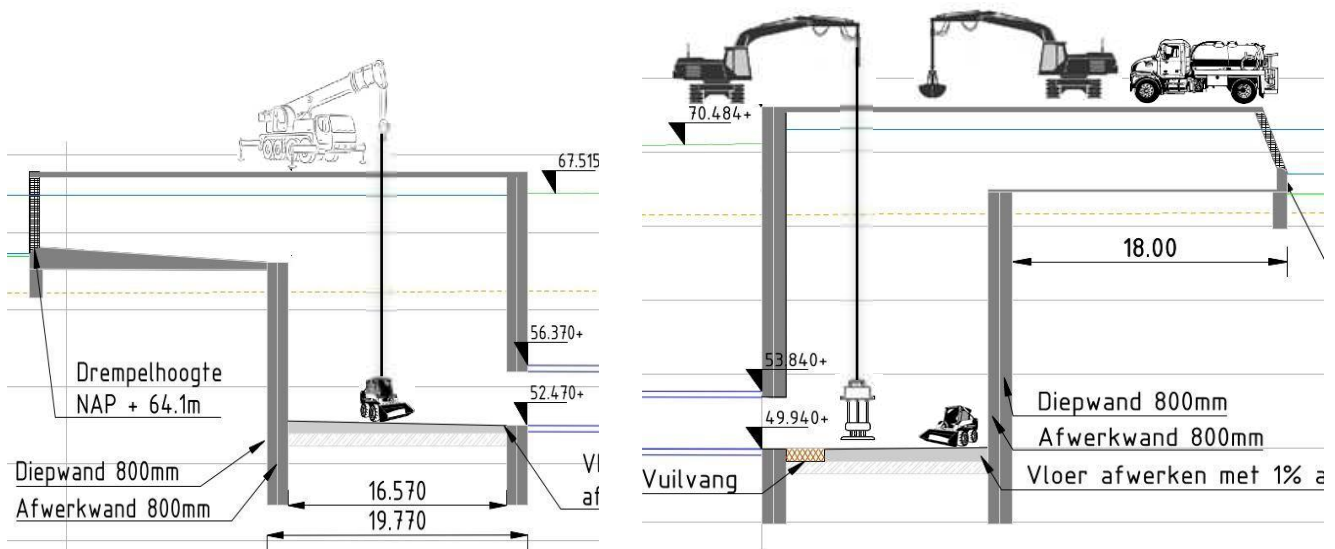
Wanneer het waterpeil voldoende laag is en een belangrijk deel van het vuil reeds verwijderd, daalt personeel af via de toegangsschacht naar de bodem van de inlaatschacht. Het personeel bestuurt de mobiele pomp om de schacht nog droger te krijgen en verwijderd de laatste resten vervuiling met behulp van de grijpkraan.

Stap 6: Afronden

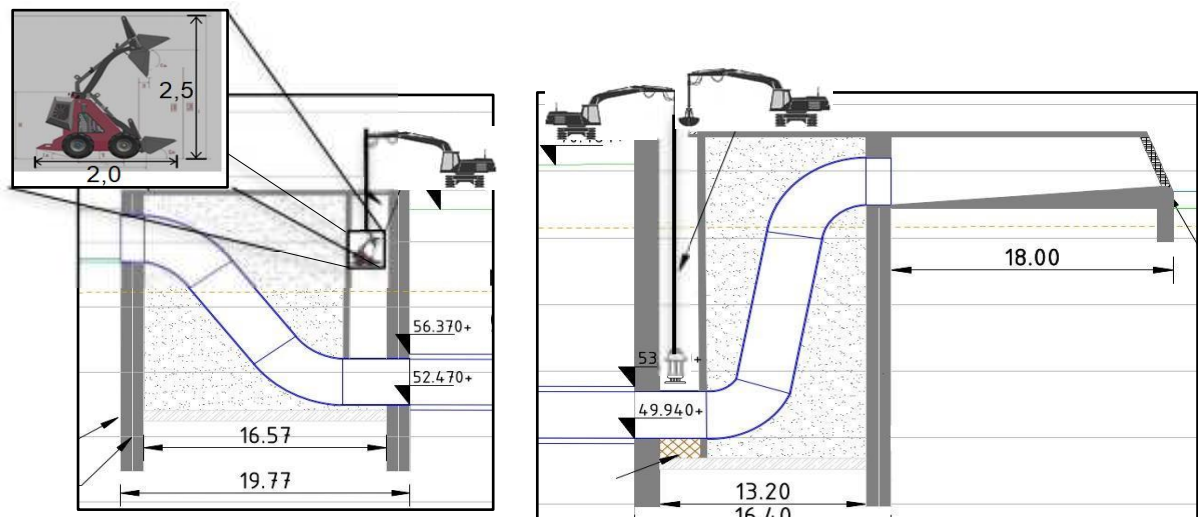
Het personeel bevestigt materiaal aan takels die dit weer opgehesen. Het personeel verlaat de schacht en sluit het toegangsluik, waarna de verversingsleiding open kan worden gezet.

In afbeeldingen 10.27 en 10.28 zijn beeldvormend mogelijke onderhoudsmethodes en onderhoudsmaterieel weergegeven voor hoofdvarianten I en II.

Afbeelding 10.27 Onderhoudsmethode hoofdvariant I (beeldvormend)



Afbeelding 10.28 Onderhoudsmethode hoofdvariant II (beeldvormend)



10.9 Afweging hoofdvarianten en ontwerpkeuzes

10.9.1 Samenvatting hoofdvarianten

In deze Stap 3+4 zijn 2 hoofdvarianten opgesteld:

- hoofdvariant I: Niet hydraulisch gestroomlijnd ontwerp;
- hoofdvariant II: Wel hydraulisch gestroomlijnd ontwerp.

De volledige tekeningenset voor hoofdvariant I is opgenomen in bijlage XXIX. De volledige tekeningenset voor hoofdvariant II is opgenomen in bijlage XXX.

In tabel 10.6 en 10.7 wordt tussen hoofdvarianten I en II een vergelijking gemaakt op basis van kosten en capaciteit.

Tabel 10.6 Kosten en capaciteit hoofdvariant I

Variant	Capaciteit (m ³ /s)	Kosten (SSK-raming) M EUR	Kostenindicator EUR per m ³ /s capaciteit
Hoofdvariant I (Basisvariant - niet gestroomlijnd)	61,5	66,8	1,1 M

Tabel 10.7 Kosten en capaciteit onderdelen hoofdvariant II

Variant	Capaciteit (m ³ /s)	Kosten (SSK-raming) M EUR	Kostenindicator EUR per m ³ /s capaciteit
Basisvariant	61,5	66,8	1,1 M
Meerwerk stroomlijning inlaat	+1,3	+1,3	1,0 M
Meerwerk stroomlijning uitlaat	+3,5	+1,1	0,3 M
Meerwerk Zijkanaal	+2,5	+8,2	3,3 M
Hoofdvariant II - Totaal	65,3¹	77,5	1,2 M

¹ De som van de effecten van elk stroomlijningsonderdeel is kleiner dan de som van alle effecten apart.

Uit de tabellen blijkt dat:

- de kosten per m³/s tunnelcapaciteit voor hoofdvariant I gelijk zijn aan circa 1,1 M EUR per m³/s;
- het meerwerken voor de 'stroomlijning uitlaat' is erg kosteneffectief met 0,3 M EUR per m³/s. Dit werk is dus een relatief goedkope manieren om meer capaciteit te realiseren;
- het meerwerk 'stroomlijning inlaat' is met 1,0 M EUR per m³/s minder kosteneffectief. Daarnaast is de toename in capaciteit door de stroomlijning van de inlaat veel lager dan +1,5 m³/s wanneer andere meerwerken ook worden gerealiseerd. De totaalcapaciteit van hoofdvariant II is daarom niet de som van de capaciteitswinsten van elk separaat meerwerk;
- het meerwerk voor het zijkanaal is met 3,3 M EUR per m³/s niet kosteneffectief in vergelijking met de te behalen capaciteitswinst. Wanneer er wordt gekozen voor een altijd gevulde tunnel is het positieve effect van het zijkanaal beperkt.

De nadere hydraulische berekeningen voor hoofdvarianten I en II zijn opgenomen in bijlage XXXI en XXXII. De SSK-ramingen voor hoofdvarianten I en II zijn opgenomen in bijlage XXXIII.

10.9.2 Keuze Voorkeursvariant

Op 22 augustus is de projectgroep bijeen gekomen om de voorkeursvariant vast te stellen. In tabel 10.8 zijn de ontwerpkeuzes van de projectgroep vastgelegd. In de derde kolom staan de overwegingen voor de keuze vastgelegd.

Tabel 10.8 Samenvatting projectbesluiten Stap 3+4 en onderbouwing

Element	Projectbesluit	Toelichting op besluit
tunnel vol of leeg	tunnel vol laten staan wanneer niet in gebruik	- de tunnel vol laten staan heeft meer technische en meer ecologische voordelen dan nadelen; - de voorkeur van de projectgroep is relatief frequent gebruik. dit gaat samen met een lage inlaatdrempel. bij frequent gebruik is ledigen na elke inzet onpraktisch; - vergelijkbare tunnels in de Verenigde Staten met hoge inzetfrequenties worden ook vol gehouden, met gebruik van een verversingsdebiet. Het richtgetal voor het verversingsdebiet voor Valkenburg is 90 l/s
inzetfrequentie tunnel	hoogte inlaatdrempel gelijk zodat inzetfrequentie gelijk is aan overstortfrequentie van de riooloverstorten	- voorkomen moet worden dat door inzet van de tunnel het overstortende rioolwater in Valkenburg minder wordt vermengd. Met name in buien waar de overstorten nét in werking treden is het belangrijk het debiet door de Geul niet teveel te verlagen. Daarom moet de drempel niet te laag liggen; - tegelijk is het ook belangrijk dat de drempel niet te hoog ligt, om zo goed mogelijk de overstromingsbeschermingsdoelen te blijven behalen het behalen van beide doelen vraagt om een gebalanceerde afweging. Binnen het schetsontwerp is daartoe gekozen voor een drempelhoogte op NAP 69.25 m. De geschatte inzetfrequentie is dan 10-20 dagen per jaar. In de volgende projectfase dient deze keuze met meer nauwkeurigheid te worden gemaakt
inlaatschacht	open schacht zonder stroomlijning	- onderhoudsbehoefte is nog onbekend. het stroomlijnen van de inlaatschacht beperkt mogelijk de toegang voor onderhoud; - luchtinsluiting wordt beter voorkomen; - wanneer de uitlaatschacht wordt gestroomlijnd vervalt een deel van de capaciteitswinst door de gestroomlijnde inlaatschacht
uitlaatschacht	hydraulisch gestroomlijnd	- veel de capaciteitswinst voor weinig meerkosten; - wanneer het water in de uitlaat op snelheid wordt gehouden zal de tunnel meer zelfreinigend zijn. Onderhoud met leegpompen is dan minder nodig, of mogelijk zelfs geheel niet nodig
uitlaatconstructie	directe aansluiting op de geul bij Odapark	- ontwerpkeuze: tunnel mag vol blijven staan; - geen drempel, dit geeft hydraulisch de minste weerstand; - afsluiting met dubbele schotbalken
maatregelen luchtinsluiting	5 stuks	de maatregelen om luchtinsluiting te voorkomen zijn door de projectgroep geaccepteerd
maatregelen drijfvuil en -hout	Type Sihl (optie 2)	- in optie 2 is er meer zekerheid dat er grote hoeveelheden water, en dus ook drijfvuil dat door de buitenbocht stroomt, daadwerkelijk door het drijfvuilkanaal loopt en uit de hoofdstroom wordt gefilterd; - Optie 2 is beter inpasbaar in de omgeving een aandachtspunt bij deze aanpak is dat het afgevangen drijfvuil bij hele hoge waterstanden niet over het vuilrooster heen mag worden getild, om zo alsnog de inlaat te verstopen. Geadviseerd wordt om in de VO fase dit risico te ondervangen door het vuilrooster voldoende hoog aan te leggen (tot boven NAP +71,5 m)

STAP 5+6 - UITWERKING VOORKEURSVARIANT

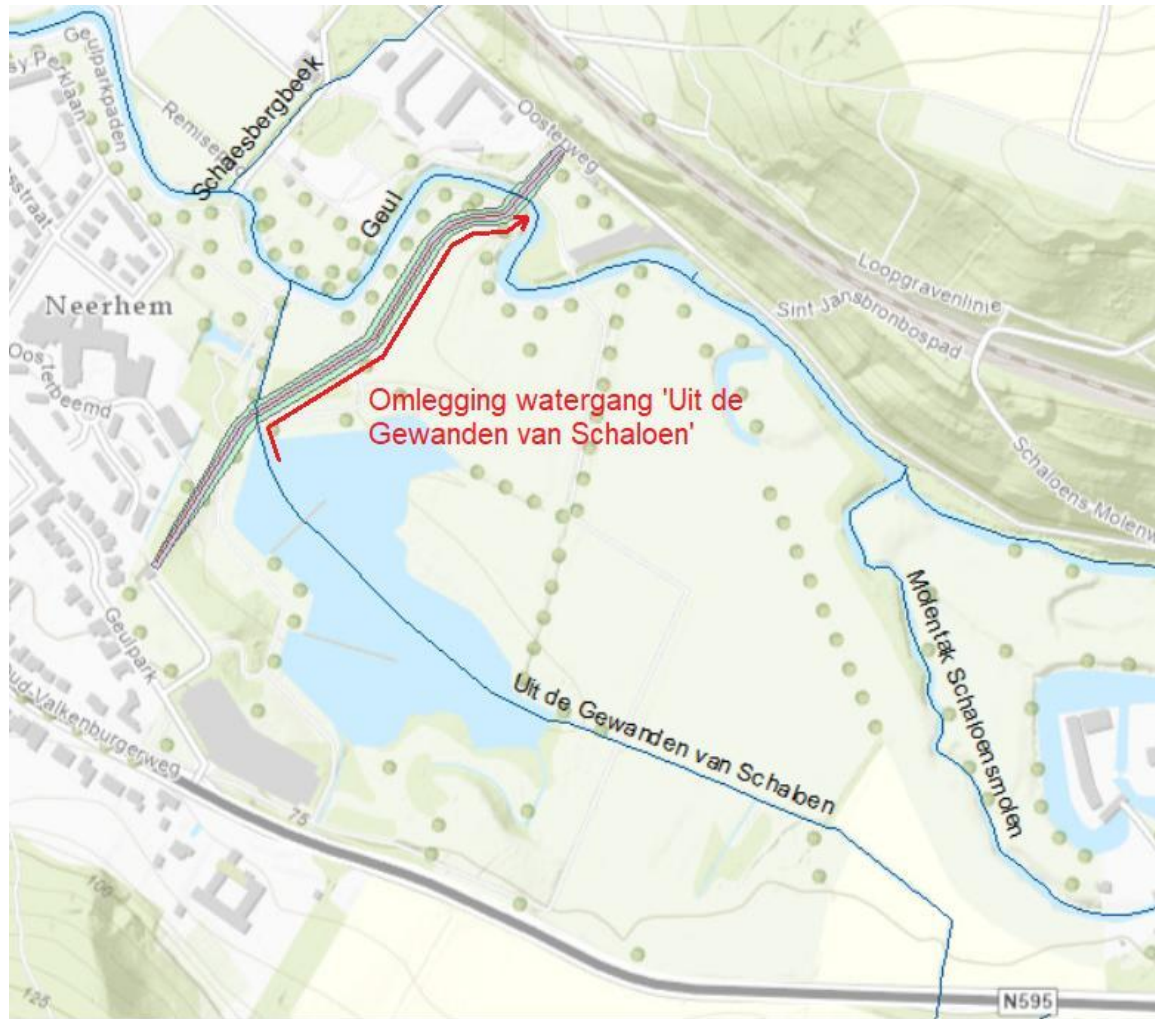
11.1 Samenvatting voorkeursvariant

Het resultaat van fase 3+4 is dat de voorkeursvariant is geselecteerd. In stap 5+6 wordt de voorkeursvariant nader uitgewerkt. De nadere uitwerking wordt in dit hoofdstuk toegelicht.

De voorkeursvariant bestaat op hoofdlijnen uit de volgende lijst ontwerpelementen en ontwerpbeslissingen van de projectgroep.

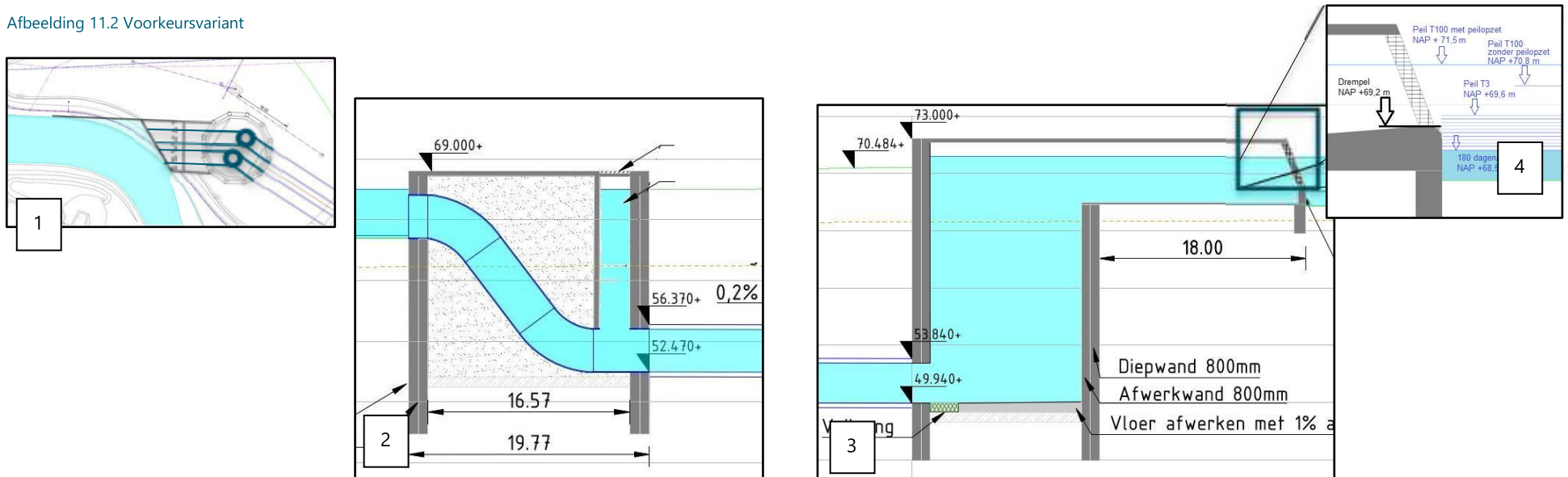
- de tunnel wordt, ook wanneer buiten gebruik, vol gelaten met water;
- inlaatdremmel ligt op NAP +69,25m. Dit geeft een inzetfrequentie van de tunnel van 10-20x per jaar;
- De inlaat is een open schacht, zonder stroomlijning, waarvan de bodem ligt op circa NAP +49,00. De winst door hydraulische stroomlijning is voor de inlaat beperkt en kan mogelijk de onderhoudbaarheid beperken;
- de b.o.b. van de buis op NAP +49,94. De overdiepte van circa 1 m wordt ingezet als vuilvang;
- de tunnel wordt stijgend aangelegd van inlaat naar uitlaat, met een helling van 0,2 %
- de uitlaatschacht wordt hydraulisch gestroomlijnd en wordt voorzien van 3 toegangsschachten. Dat zijn 2 schachten voor toegang tot elk van de 2 buizen en 1 toegangsschacht voor personeel. De hydraulische stroomlijning van de Geul zorgt voor aanzienlijke capaciteitswinst en heeft naar verwachting een positief effect op het zelfreinigend vermogen van de tunnel. De onderhoudsfrequentie kan hierdoor in de praktijk aanzienlijk lager uitpakken dan zonder de stroomlijning het geval zou zijn;
- de buizen worden op bodem niveau aangesloten op de Geul. Tussen de buizen en de Geul wordt een bak aangelegd waardoor het water iets langzamer door een breder veiligheidsrooster kan stromen;
- het veiligheidsrooster wordt gepositioneerd zodat dit kan worden onderhouden vanaf maaiveld en dat er voldoende ruimte is voor opbouw van drijfhout voor het rooster;
- het water in de tunnel wordt in beweging en zuurstofrijk gehouden middels een verversingsleiding. Deze leiding wordt dubbel uitgevoerd zodat bij te lage zuurstofgehalten het verversingsdebiet kan worden verhoogd. Via de afsluiters kan het debiet ook juist worden verlaagd bij extreme droogte;
- er wordt een bouwweg aangelegd vanaf de N595 ten zuiden van het project. Deze route biedt de beste kans op een goede ontsluiting van de werklocatie voor groot materieel;
- in de huidige situatie loopt een watergang genaamd 'Uit de Gewanden van Schaloen' door de beoogde ligging van de strekdam. Deze watergang mag de dam niet doorkruisen en moet daarom worden omgelegd richting de nieuwe doorlaat van de Geul onder de dam. Deze omlegging is verwerkt in de definitieve tekeningenset. De ligging en beoogde omlegging van watergang 'Uit de Gewanden van Schaloen' is weergegeven op afbeelding 11.1. De definitieve tekeningenset is opgenomen in Bijlage XXXVII.

Afbeelding 11.1 Omlegging watergang 'Uit de Gewanden van Schaloen'



In afbeelding 11.2 zijn de bovenstaande projectgroepbesluiten over de ontwerpkeuzes visueel samengevat.

Afbeelding 11.2 Voorkeursvariant



Toelichting per plaatje:

- 1 de uitlaat van de tunnel wordt direct aangesloten op de Geul. De leidingen voor hydraulische stroomlijning eindigen bij de wand van de schacht waarna een uitstroombak wordt geplaatst met een veiligheidsrooster en dubbele schotbalkspanningen voor onderhoud;
- 2 de uitlaatschacht wordt gestroomlijnd met gesegmenteerde bochten en voorzien van toegangsschachten voor onderhoud;
- 3 de inlaatschacht wordt een open bak om voor de toekomst optimale toegang voor onderhoud zeker te stellen;
- 4 de drempelhoogte van de inlaat wordt zodanig gekozen dat de inzetfrequentie van de tunnel ongeveer gelijk is aan die van de overstorten van de gemengde riolering. Dit wordt in deze schetsontwerpfase indicatief berekend op NAP +69,25 m.

11.2 Hydraulisch functioneren Voorkeursvariant

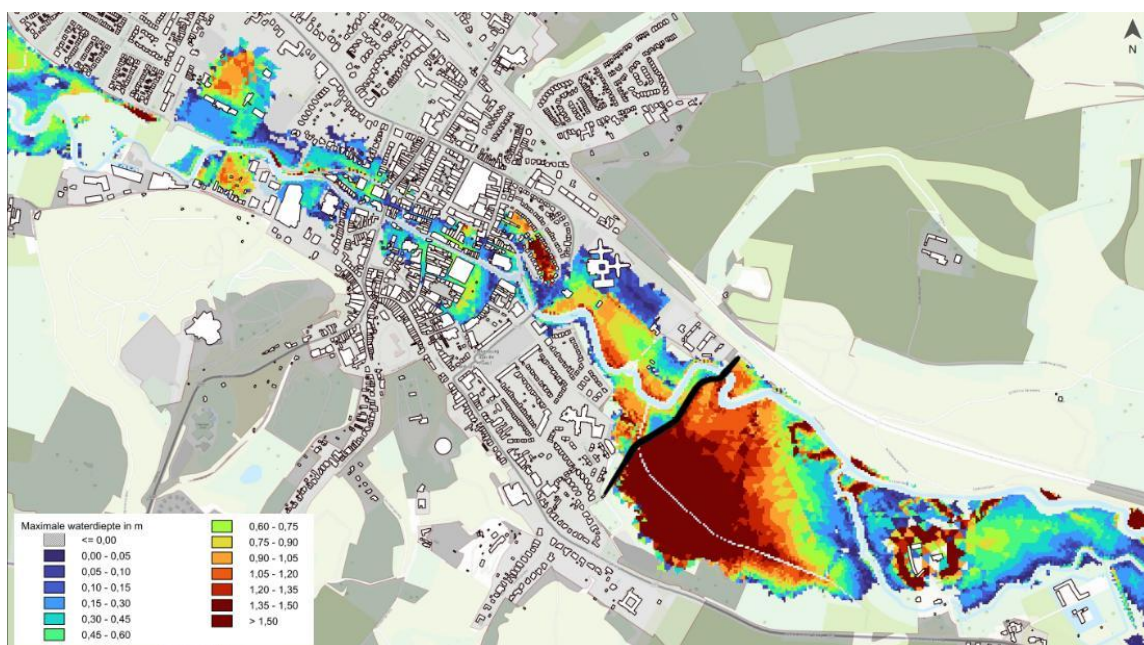
De voorkeursvariant heeft een maximale capaciteit van circa $65 \text{ m}^3/\text{s}$. De definitieve hydraulische berekening hiervan is opgenomen in Bijlage XXXIV.

De voorkeursvariant inclusief de ontwerpkeuzes van de projectgroep zijn in het D-Hydro model verwerkt. Om in het D-Hydro model bij 4m peilverschil $65 \text{ m}^3/\text{s}$ door de tunnel te laten stromen is voor voorkeursvariant de equivalente wandruwheid berekend op $n = 0,0149$.

Deze wandruwheid is lager dan de ruwheden in de scenario's voor tracé 2 en 3 (H7). Dit is het geval omdat in de voorkeursvariant de uitlaat hydraulisch is gestroomlijnd, hetgeen circa 5 % capaciteitswinst oplevert. Daarmee daalt de totale weerstand van het ontwerp en dus de wandruwheidsfactor waar in D-Hydro de in- en uitlaatverliezen in zijn verdisconteerd.

In afbeelding 11.3 is het rekenresultaat voor deze voorkeursvariant weergegeven. Een gedetailleerdere kaart met het rekenresultaat is opgenomen in bijlage XXXV.

Afbeelding 11.3 Rekenresultaat D-Hydro voorkeursvariant



Uit de rekenresultaten blijkt dat in de ontwerpbui de mate van overstrooming in het centrum van Valkenburg sterk afneemt. Wel biedt de voorkeursvariant de beste overstroomingsbescherming, in vergelijking met de andere varianten. In een vervolgfase dient een nadere afweging moeten worden gemaakt rondom enkele nadere onderzoeksvragen, zoals:

- dient de flood bypass, eventueel gecombineerd met de strekdam, bescherming te bieden in de T100-bui volgens klimaat scenario '2085 Lower bound' ($84 \text{ m}^3/\text{s}$), volgens klimaat scenario '2085 Upper bound' ($134 \text{ m}^3/\text{s}$), of ergens daar tussenin?
- dient de beschermingsnorm voor panden op T100 te liggen na uitvoer van de flood bypass?
- is de flood bypass te combineren met andere maatregelen die de laatste restrisico's voor overstrooming wegnemen in de T100 ontwerpbui, zoals meer bovenstroomse berging in het Geuldal om de piekafvoer in de T100 te verlagen of maatregelen om de afvoercapaciteit van de Geul door het centrum van Valkenburg te verhogen?
- is er een situatie mogelijk waarin het wenselijk is de flood bypass te ontwerpen voor een nog grotere capaciteit dan de huidige voorkeursvariant? Hierbij moet gedacht worden aan een situatie waarin:
 - de bescherming voor de panden in Valkenburg minimaal T100 dien te zijn, en óók;

- de klimaatbui '2085 Upper bound' als ontwerpnorm wordt gehanteerd, en óók;
- er géén kosteneffectieve aanvullende maatregelen mogelijk blijken te zijn (bijvoorbeeld berging in het Geuldal of herinrichting Valkenburg centrum) die in combinatie met de voorkeursvariant van de flood bypass deze ontwerpnorm volledig kunnen behalen, en óók;
- de baten van de bescherming van Valkenburg in de ontwerp-bui opwegen tegen de meerkosten van EUR 15M-40M voor een grotere capaciteit
- Klopt de verwachting dat bij andere afvoergolven dan de juli 2021 bui er geen negatieve boven- en benedenstroomse effecten zijn?

11.3 SSK-raming LCC

De investeringskosten van de voorkeursvariant bedragen circa EUR 70 M. De raming van investeringskosten in stap 3+4 is in stap 5+6 uitgewerkt tot een raming van de levenscycluskosten (LCC-raming). De levenscycluskosten bestaan uit de investeringskosten en de instandhoudingskosten (gedurende een periode van 100 jaar).

In Bijlage XXXVI is de SSK-LCC kostenraming opgenomen. De belangrijkste uitgangspunten zijn in de kostenraming opgenomen. In onderstaande afbeelding zijn de resultaten gepresenteerd. De kosten zijn exclusief BTW en er is onderscheid gemaakt in de reële waarde en contante waarde (rekening houdend met een discontovoet van 1,6 %). De kostenraming heeft een variatiecoëfficiënt (bandbreedte) van ±40-50 %.

Afbeelding 11.4 Levenscycluskosten LCC (Investeringskosten + Instandhoudingskosten)

Onderdeel	Investeringskosten	Instandhoudingskosten (reële waarde)	Levenscycluskosten (reële waarde)	Instandhoudingskosten (contante waarde)	Levenscycluskosten (contante waarde)
Voorkeursvariant	M€ 69,9	M€ 30,9	M€ 100,8	M€ 15,1	M€ 85,0

Investeringskosten

De raming van investeringskosten van de voorkeursvariant is samengesteld uit de in stap 3 opgestelde kostenramingen van de Hoofdvarianten. De voorkeursvariant bestaat uit Hoofdvariant I waarbij de schacht van de uitlaat hydraulisch gestroomlijnd uitgevoerd wordt met doorlopende leidingen.

Daarnaast is het korte drijfviulkanaal naast de inlaatschacht in de voorkeursvariant vervangen door een drijfviulkanaal in de buitenbocht. Hierbij wordt het ontwerp-principe gevolgd dat wordt toegepast bij de in aanbouw zijnde flood bypass in Sihl, Zwitserland (330 m³/s). Het ontwerp van dit drijfviulkanaal is voor de kostenraming niet nader uitgewerkt. In de raming voor dit kanaal is rekening gehouden met het verbreden van de geul, het aanbrengen van een palenrij en een opstelplaats voor het verwijderen van het drijfviul.

Als gekozen wordt voor het aanbrengen van buizen en het opvullen van de (start)schacht na aanleg van de tunnels, dan heeft de schacht slechts een tijdelijke functie. Verwacht wordt dat het toekomstige grondonderzoek zal uitwijzen dat de mergel voldoende waterdicht om de schacht te kunnen ontgraven en in de schacht te kunnen werken zonder bodemafdichting. In dat geval kunnen de nu voorziene en geraamde trekankers, onderwaterbetonvloer en constructievloer komen te vervallen. Ook hoeft de schacht minder diep ontgraven te worden. Dat levert een besparing op de bouw-tijd en een kosten-voordeel van circa 1 tot 1,5 miljoen euro ten opzichte van de huidige raming.

Bij de permanente schacht bestaat ook de mogelijkheid dat trekankers en onderwaterbeton (maar niet de constructievloer) kunnen komen te vervallen als het lek-debiet dusdanig klein is dat dit eenvoudig afgepompt kan worden. In dat geval zal de constructievloer drainerend moeten worden uitgevoerd zodat zich geen waterdruk onder de vloer kan opbouwen.

In de huidige raming wordt uitgegaan van het scenario waarin wel rekening wordt gehouden met de trekankers, onderwaterbetonvloer en constructievloer. De mogelijke besparingen in het ontwerp dienen in de voorontwerpfase en ook in het latere DO definitief te worden gerealiseerd.

Instandhoudingskosten

Voor het bepalen van de instandhoudingskosten is rekening gehouden met het reinigen, inspecteren en onderhouden van de tunnel en reserveringen voor nader te detailleren kosten en een risicoreservering. De beschouwde periode is 100 jaar. Er is geen rekening gehouden met het vervangen van de tunnel na de theoretische (ontwerp)levensduur van 100 jaar.

Voor het reinigen en inspecteren is rekening gehouden met onderstaande uitgangspunten:

- reinigen van het drijfviolkanaal en inlaatrooster: 1 keer per jaar drijfvuil en bezinsel verwijderen;
- reinigen van de uitlaatconstructie: 1 keer per 2 jaar;
- reinigen tunnel, inclusief leegpompen en reinigen: 1 keer per 5 jaar
(met inzet van onder andere mobiele pompen, hijskranen, schrankladers, zuigwagens, inzet arbeiders, mangatwachters en kiepwagens voor het afvoeren van slib/vuil);
- visuele (duik)inspectie eerste 10 jaar om inzicht te krijgen in de vuilopbouw en zelfreinigend vermogen van de tunnel: 1 keer per 2 jaar;
- visuele (duik)inspectie na grote buien: 1 keer per 5 jaar;
- technische inspectie van de constructie: 1 keer per 5 jaar.

11.4 Bouwproces, maakbaarheid en werkruimte

In deze paragraaf wordt het bouwproces en het benodigde materieel op hoofdlijnen beschreven. Het bouwproces hangt samen de haalbaarheid en maakbaarheid van de bypass. Tevens volgt uit het bouwproces en het benodigde materieel ook benodigde werkruimte aan de inlaat- en uitlaatzijde.

Zoals in de voorgaande projectstappen wordt ook voor het beschouwen van het bouwproces geboogd op eerdere ervaring met vergelijkbare projecten. Voor deze stap 5+6 wordt met name gekeken naar de ervaringen uit het referentieproject “Ecluse II, stoomleiding onder de Schelde”.

Het project “Ecluse II” kent veel overeenkomsten met de beoogde bypass voor Valkenburg. Daarom kunnen de ervaringen van Ecluse II waardevolle inzichten geven om een realistisch beeld te geven van bouwproces, maakbaarheid en doorlooptijden. Witteveen+Bos is bij de realisatie van dit project, dat momenteel (2025) in uitvoering is, betrokken als ontwerpende en directievoerende partij.

11.4.1 Referentieproject Ecluse II

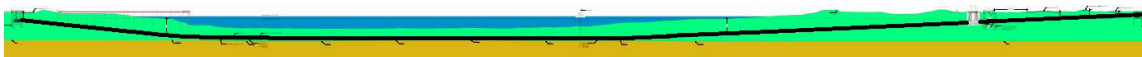
Het project Ecluse II betreft een GFT boring van $\varnothing 3\text{m}$ doorsnede, die wordt uitgevoerd over een lengte van circa 1.300 m. Daarmee is deze boring qua diameter en lengte goed vergelijkbaar met de beoogde boring voor Valkenburg. De boring wordt uitgevoerd in Antwerpen, onder de Schelde. In afbeelding 11.5 is de projectlocatie weergegeven.

Afbeelding 11.5 Projectlocatie Ecluse II



In tegenstelling tot het schetsontwerp voor Valkenburg heeft deze boring het laagste punt in het midden. In afbeelding 11.6 is indicatief het lengteprofiel (zwarte lijn) weergegeven.

Afbeelding 11.6 Lengteprofiel Ecluse II (zwarte lijn)



Ervaringen van het bouwproces voor Ecluse II helpen om een realistisch beeld te vormen van het bouwproces, de maakbaarheid en de doorlooptijden van de beoogde bypass voor Valkenburg.

11.4.2 Bouwproces en schetsontwerp werkterreinen

Het bouwproces van de flood bypass in Valkenburg wordt in deze paragraaf op hoofdlijnen beschreven. Hoewel de projecten 'Ecluse II' en de 'Flood bypass Valkenburg' veel overeenkomsten vertonen is de ondergrond waarin ze worden uitgevoerd een belangrijk verschil. Het project Ecluse II wordt uitgevoerd in zand, op circa 40 m boven de Boomse Klei. De boring voor Valkenburg wordt uitgevoerd in de mergel.

Verwacht wordt dat de uitvoering in de mergel leidt tot een eenvoudiger bouwproces en ontwerp, hetgeen ook zal leiden tot kostenbesparingen. De beoogde besparingen voor Valkenburg, ten opzichte van Ecluse II, hebben betrekking op de diepwanden, de trekankers en de onderwaterbetonvloer. Ondanks de verwachte besparingen wordt uit conservatief oogpunt op dit moment uitgegaan van het bouwproces zoals is doorlopen in het project 'Ecluse II'.

Dit bouwproces is in deze paragraaf per hoofdstap beschreven.

Stap 1: Inrichting werkterrein voor inlaatschacht

De inlaatschacht wordt de ontvangtschacht van de boring en de uitlaatschacht wordt de vertrekschacht. Omdat de inlaatschacht dient als de ontvangtschacht van de boring is het benodigde werkterrein voor de inlaatschacht kleiner, dan voor de uitlaatschacht.

De locatie van de inlaatschacht is gelegen aan de zuidzijde van de Kleine Geul, op een perceel dat in bezit is van Waterschap Limburg. Toegang tot de werklocatie wordt gerealiseerd door op het perceel een bouwweg aan te leggen vanaf de N595. Deze bouwweg kan ook dienstdoen als bouwweg voor de aanleg van de (eventuele) strekdam. Vervolgens kan de weg na de bouwwerkzaamheden worden opgewaardeerd tot onderhoudsweg voor de tunnel. Voor de aanleg van de inlaatschacht wordt rekening gehouden met het volgende ruimtebeslag:

- ruimte direct rond de schacht voor toegang voor 2 bouwkransen (diepwandgrijper + manipulator wapeningskooi) en betonmixers voor de stort van de panelen (3 betonmixers lossen gelijktijdig). Er wordt gerekend op minimaal 10 meter rondom de schacht;
- inrichting bentonietcentrale voor uitvoering diepwanden (silo's en ontzanding containers);
- ruimte voor grondopslag (diepwandsleuven en nadien de volledige bouwput). De grond dient steekvast te zijn om af te voeren. Tijdens het leeghalen van de bouwput is een terreinbeslag nodig ongeveer gelijk in oppervlakte als de bentonietinstallatie. Zeker indien de bovenste zachte grondlagen moeten kunnen uitdrogen voor transport.

Aan de inlaatzijde wordt de inrichting van het werkterrein bepaald door deze uitvoeringsfacetten. Daarnaast is er aan de inlaatzijde ook een ruimtebeslag voor de aanleg van het drijfviulkanaal.

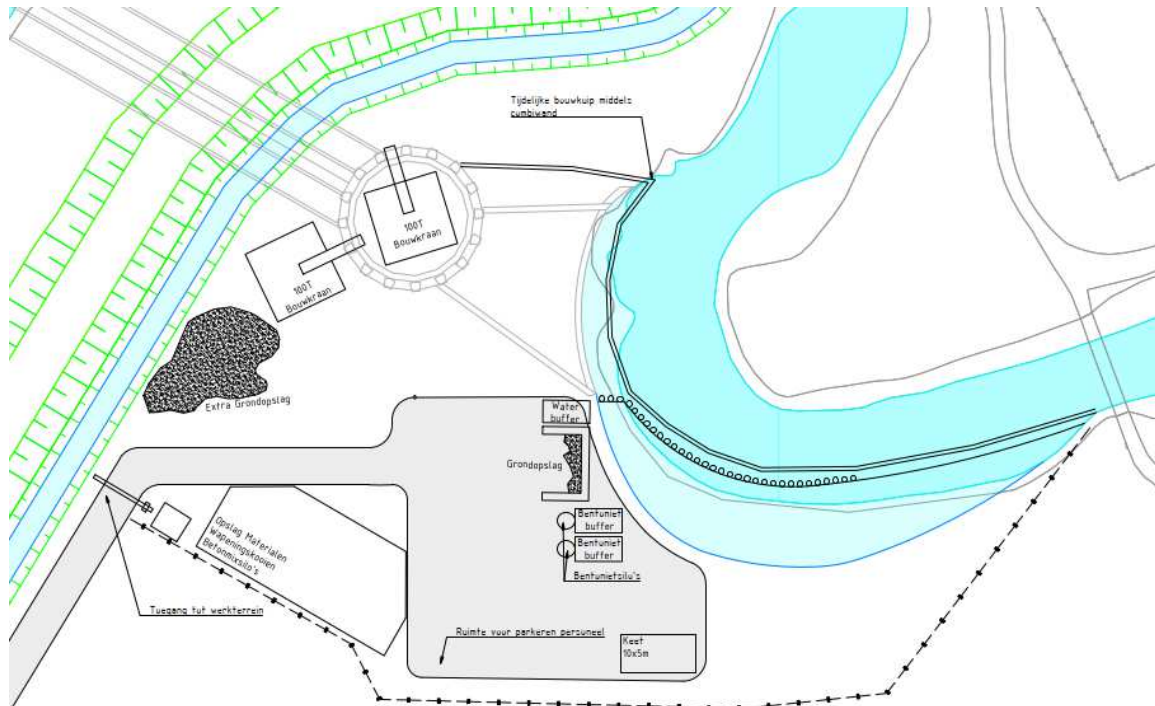
In afbeelding 11.7 is voor een generieke diepwand uitvoering een voorbeeld van een typische terreininrichting weergegeven. Hierbij komt nog een gebied voor tijdelijke opslag van grond, er wordt vanuit gegaan dat dit niet direct kan worden opgeladen en afgevoerd.

Afbeelding 11.7 Typische terreininrichting voor diepwand uitvoering



Op basis van de ervaringen in het project Ecluse II is een indicatieve ontwerptekening gemaakt voor de benodigde werkruimte (inclusief bouwweg) voor de inlaatschacht. In afbeelding 11.8 en bijlage XXXVII is deze ontwerptekening 'Inrichting Werkterrein Inlaatzijde' weergegeven.

Afbeelding 11.8 Schetsontwerp inrichting werkterrein inlaatzijde (Ontvangtschacht)



Stap 2: Inrichting werkterrein voor uitlaatschacht

De fase waarin de tunnel wordt geboord heeft het grootste ruimtegebruik. Voor het Valkenburg project wordt voorzien dat wordt geboord vanaf de uitlaatzijde. Het benodigde werkterrein rondom de uitlaatschacht is daarom groter dan voor de inlaatschacht. Belangrijke elementen bij de inrichting zijn:

- installatie portaalkraan en kraanbalk. Deze staan in het verlengde van schacht voor manipulatie van tunneldelen;
- opslaglocaties voor afvoerleidingen boor, de tussendrukstations en het overige materiaal;
- bentoniet en scheidingsinstallatie;
- grondopslag;
- ruimte voor bewegingen van grote voertuigen (diepladers).

In afbeelding 11.9 is voor Ecluse II de terreininrichting weergegeven voor de vertrekschacht.

Op basis van de ervaring van Ecluse II is een indicatieve ontwerptekening gemaakt voor de terreininrichting rondom de uitlaatschacht (vertrekschacht). Deze tekening 'Inrichting Werkterrein Uitlaatzijde' is opgenomen in de schetsontwerptekeningen in bijlage XXXVII en weergegeven in afbeelding 11.10.

Stap 3: Realiseren diepwanden

Na inrichting van het werkterrein worden de buitenste wanden van de schacht als diepwanden aangelegd. Bij deze techniek wordt een diepe sleuf gegraven van circa 0,8m breed, van maaiveld tot onderzijde schacht. Voor de inlaatschacht is dit dus een diepte van meer dan 20 m.

De sleuf wordt gegraven met een mobiele rupskraan met diepwandgrijper. Instorting of inloop van grondwater wordt voorkomen door de sleuf gevuld te houden met een bentonietmengsel dat zwaarder is dan water en zo inzakking van de grond voorkomt. De bentonietpiegel moet ten alle tijden ongeveer 2 m hoger staan dan de stijghoogte van het grondwater. Om dit te bereiken dient er vaak worden bemaald of een verhoging worden ingericht op het maaiveld. In afbeelding 11.11 is deze bouwmethode weergegeven.

Afbeelding 11.11 Graven diepwand, één diepwandpaneel bestaat uit drie graafgangen



Per gegraven diepwandsegment worden wapeningskooien geplaatst en wordt de sleuf gevuld met onderwaterbeton. Dit proces wordt herhaald tot over de gehele buitenzijde van de schacht een diepwand is geplaatst. Ter hoogte van het boorfront wordt het diepwandpaneel uitgevoerd met glasvezelwapening, zodat hier later doorheen kan worden geboord. In afbeelding 11.12 en afbeelding 11.13 is respectievelijk de plaatsing van een wapeningskooi en het betonneringsproces weergegeven

Afbeelding 11.12 Plaatsen wapeningskooi in diepwandsleuf



Afbeelding 11.13 voor betonning van een diepwand paneel, per paneel (20m diep) zijn een tiental mixers benodigd.



Stap 4: Uitgraven schacht

Nadat de diepwandconstructie is uitgehard wordt de schacht leeggegraven met een grijpkraan en het overtollig materiaal afgevoerd. In afbeelding 11.14 is dit proces weergegeven.

Afbeelding 11.14 Ontgraving schacht



Om de stabiliteit te garanderen kan het nodig zijn de schacht bij te vullen met water om het volumeverlies van de weggenomen grond te compenseren. Indien dit nodig is kan dit water uit de Geul worden opgepompt.

Stap 5: Aanbrengen trekpalen voor schachtvloer

Om een droge schacht te verkrijgen moet deze waterdicht worden gemaakt. Meestal wordt hiervoor een combinatie van een ongewapende onderwater betonvloer en daarop een gewapende constructievloer gebouwd. Afhankelijk van de stijghoogte van het grondwater dienen deze vloeren verankerend te worden tegen opdrijven met trekpalen in de mergelgrond.

Voor de realisatie van de trekpalen wordt boven de schacht (deze staat nog vol water) een werkplatform gebouwd vanwaar een ankerpalenmachine grondankers kan boren. Een grondanker bestaat uit een centrale ankerstaaf van 10+ cm dik waarover ankerplaten worden bevestigd. Deze platen zorgen voor de krachtsafdracht naar het beton dat later gestort wordt. De plaatsing van deze platen wordt uitgevoerd door duikers, die met behulp van drukmeters de exacte hoogte (cm nauwkeurig) kunnen garanderen.

In afbeelding 11.15 is dit proces weergegeven.

Afbeelding 11.15 Plaatsing trekpalen Ecluse II



Stap 6: Aanleggen schachtvloer in onderwaterbeton

Voor het storten van beton worden de wanden van de schacht schoongespoten en wordt het dieptepil van de put gecontroleerd door duikers. De bodem van de put wordt voorzien van een laagje grind waarna het onderwater beton kan worden gestort.

Op het project Ecluse II is er omwille van omgevingsfactoren en de grondsamenstelling gekozen om één (onderwater)betonvloer te storten die direct gewapend was. Voor Valkenburg zal dit wellicht niet nodig zijn en de traditionele aanpak van ongewapend onderwaterbeton (OWB) en een gewapende constructievloer gewenst zijn.

De dikte van de OWB is afhankelijk van de stijghoogte van het grondwater maar wordt verwacht tussen de 1 en 2 m dikte. De stort gebeurt onder begeleiding van duikers om een egaal oppervlak te bewerkstelligen.

In afbeelding 11.16 is het storten van de onderwaterbetonvloer weergegeven.

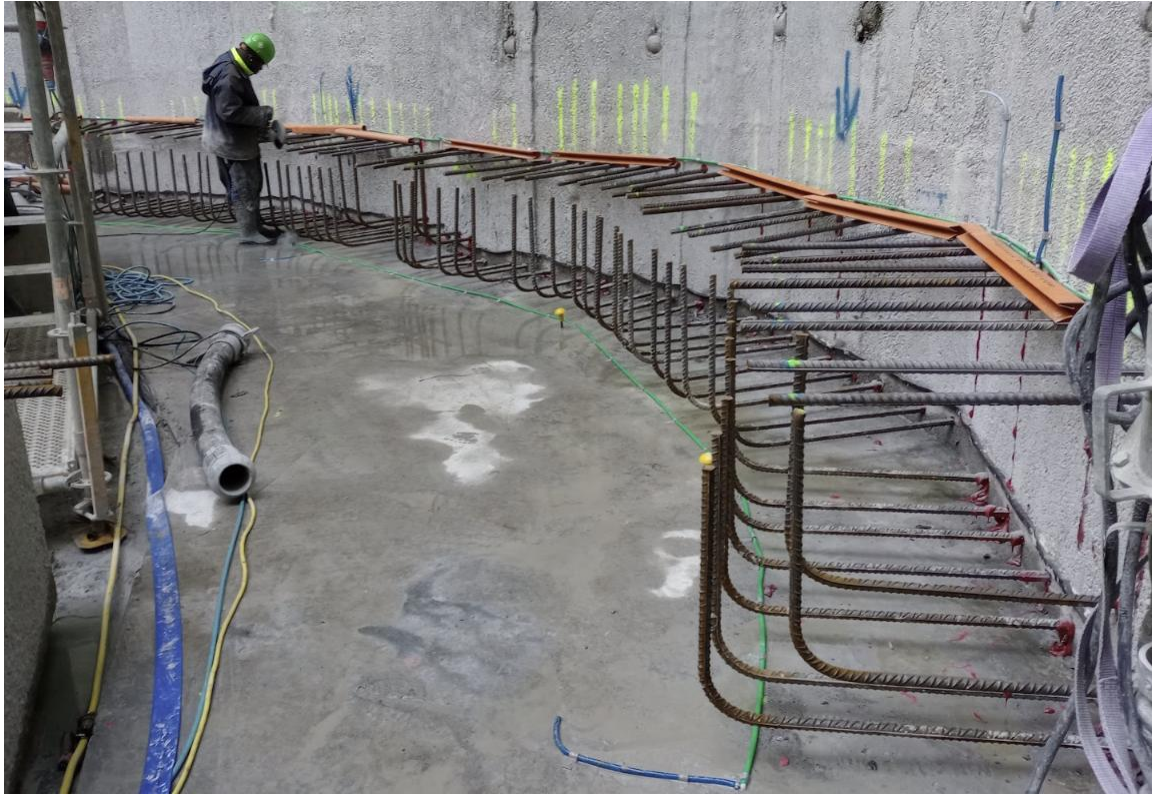


Stap 7: Realiseren constructievloer

Na uitharden van het OWB kan de schacht worden leeggepompt. Op de onderwaterbetonvloer wordt nu een gewapende constructievloer gebouwd (dikte 0,5 tot 1.0 meter). Deze constructievloer wordt verankerd in de diepwand en voorzien van zwelbanden en injectieslangen ter hoogte van de aansluiting met de diepwand. Hiermee wordt een nagenoeg lekdichte schacht gerealiseerd. Na afronding van de werken wordt, indien gewenst, hier overheen een nette afwerkvloer gestort op de juiste ontwerphoogte.

In afbeelding 11.17 is het storten van de onderwaterbetonvloer weergegeven.

Afbeelding 11.17 Inboren van verankering met de diepwand en de injectievoorzieningen (groene slangetjes) Eluse II



Stap 8: Realiseren afwerkwand (optioneel)

Na aanleg van de diepwanden en constructievloer zal de schacht in principe waterdicht te zijn. Desondanks kan het nodig zijn een voorzetwand te plaatsen. Een voorzetwand kan nodig zijn om één of meerdere van de volgende redenen:

- diepwanden zijn onvoldoende waterdicht, er zijn te grote lekkages;
- slechte plaatsing van de wapeningskorven in de diepwanden met onvoldoende betondekking tot gevolg
- noodzaak voor de krachtswerking van de hydraulische persen;
- de geplaatste diepwandpanelen liggen buiten de tolerantie. Dit is bij Ecluse II in 1 schacht voorgekomen (zie afbeelding 18).

Afbeelding 11.18 diepwapaneel uit tolerantie (sprong van 40cm) op project Ecluse II



Er kan ook worden gekozen een voorzetwand te bouwen in de schacht over een bepaalde hoogte. In afbeelding 11.19 wordt de afwerkwand (voorzetwand) getoond. Langs de bovenste 3m is de achterliggende diepwand nog zichtbaar

Afbeelding 11.19 Afwerkwand voor diepwand



Stap 9: Herhaal stap 1-8 voor uitlaatschacht

Met de plaatsing van de afwerkwand en -vloer is de schacht droog en stabiel. Nu wordt aan de inlaatzijde stap 1-8 herhaalt, totdat hier ook een volledige, droge schacht is gerealiseerd.

Stap 10: Realiseren persblok en plaatsen boormachine

De tunnel wordt geboord van de uitlaatschacht naar de inlaatschacht. De boorstelling wordt dus in de uitlaatschacht geplaatst. Deze keuze is met name gemaakt omdat groot materieel gemakkelijker toegang heeft tot de parkeerplaats Oda Park, dan tot het verder afgelegen werkterrein aan de inlaatzijde.

De schacht waar de boorstelling in wordt geplaatst moet groter zijn dan de ontvangtschacht. Daarom is in het ontwerp de interne diameter van de uitlaatschacht (ø18 m) groter dan die van de inlaatschacht (ø15 m).

De schacht van waaruit de hydraulische pers opereert moet bestand zijn tegen hoge perskrachten. Hiervoor wordt een massief afzetblok of persblok gebouwd, dit is weergegeven in afbeelding 11.20.

Afbeelding 11.20 Boormachine in uitlaatschacht met hydraulische pers, rechts het afzet of persblok, links het vertrekblok



Daarnaast is er om een goede afdichting rondom de tunnelbuis nodig. Hiervoor wordt een vertrek- en aankomstblok gerealiseerd waarin een staalplaat wordt geplaatst met dubbele waterdichting: een dichtrubber dat tegen de buis geklemd wordt en een groutzak die opgevuld kan worden. Dit is weergegeven in afbeelding 11.21.

Afbeelding 11.21 Groutzak (blauw) die opgevuld wordt tegen de tunnelbuis om deze waterdicht te maken



Stap 11: Uitvoeren boring

De boormachine start met het doorboren van de afwerk- en diepwand en begint dan aan de boring door de mergel.

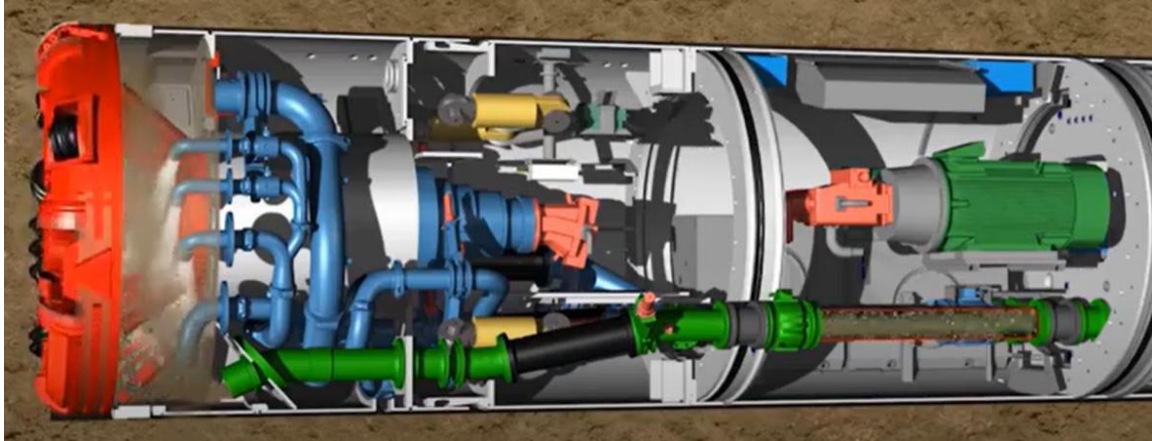
Bij het boorproces vermaakt de boorkop de voorliggende mergel. In afbeelding 11.22 is een voorbeeld van de GFT-boorkop weergegeven van de flood bypass in referentieproject Sarneraa.

Afbeelding 11.22 Boorkop GFT boring (bron: Sarneraa mit Hochwasserentlastungsstollen Ost – Hochwasserschutz Obwalden)



Bij het boren van de grond voor de boorkop wordt het vermalen product in oplossing gebracht met de boorvloeistof. Dit mengsel wordt ververst en op druk gehouden met een pomp. In afbeelding 11.23 is dit proces weergegeven.

Afbeelding 11.23 Boorproces bij boorkop



De boorkop wordt gedurende de boring steeds verder de grond ingedrukt met een hydraulische pers. Wanneer de boorkop voldoende voortgang heeft gemaakt wordt een tunnelelement in de hydraulisch pers geplaatst en wordt dit element achter de boorkop aangeduwd. Op deze wijze wordt de tunnel element voor element het gat ingedrukt, direct achter de boorkop aan. In afbeelding 11.24 is dit proces weergegeven.

Afbeelding 11.24 tunnel element wordt geplaatst in hydraulische pers



Tijdens het indrukken van de steeds langer wordende de tunnel ontstaat steeds meer weerstand op de tunnel. Om de benodigde druk te beperken wordt de tunnelwand gesmeerd met een bentonietmengsel, dat door kleine kraantjes in het tunnelement wordt ingespoten tussen de buiswand en de boorgang. In afbeelding 11.25 is dit weergegeven.

Afbeelding 11.25 Inbrengen bentonietmengsel tussen tunnel element en boorgang



De afgepompte boorvloeistof vermengd met gronddeeltjes wordt door een scheidingsinstallatie gepompt om de gronddeeltjes te scheiden van de vloeistof. Na scheiding van droge stof en vloeistof kan de vrijkomende vloeistof worden hergebruikt in de boorspoeling. De vaste stof wordt gescheiden afgestort en ligt tijdelijk na te drogen op het werkterrein. Vervolgens wordt de gescheiden stof afgevoerd met kiepwagens. In afbeelding 11.26 is de scheidingsinstallatie van Ecluse II weergegeven.

Afbeelding 11.26 Scheidingsinstallatie Ecluse II



De scheidingsinstallatie bevindt zich bij de vertrekschacht van de boring. Deze installatie kan veel geluid veroorzaken. Belangrijk is daarom een positie voor de installatie te vinden bij de terreininrichting, waar deze de minste overlast veroorzaakt. Wanneer geluidoverlast een probleem is op de gewenste locatie kan de scheidingsinstallatie eventueel op enige afstand van het werk te plaatsen, en de vloeistof via tijdelijke buizen ernaartoe te verpompen. Een alternatief is om de richting van de boring te draaien. Deze afweging en de optimale terreininrichting dient in de VO fase nader uitgewerkt te worden.

Ondanks het gebruik van bentoniet als smeermiddel loopt de schuifweerstand van de buiselementen langs de tunnelwand zo ver op dat er een maximum zit op de tunnallengte die de grond in kan worden gedrukt vanaf de hydraulische pers. Wanneer de lengte te groot wordt loopt de druk op de buiselementen zo ver op dat deze kunnen worden verbrijzeld. Bij lange boringen wordt daarom gebruik gemaakt van tussendrukstations. In afbeelding 11.27 is een tussendrukstation van Ecluse II weergegeven.

Afbeelding 11.27 tussendrukstation Ecluse II



Er kunnen meerdere tussendrukstations worden geplaatst in 1 boorlengte. Door elk tussendrukstation één voor één te gebruiken vanaf boorkopzijde naar de inlaatschachtzijde wordt de tunnel 'als een schuifharmonica' ingebracht. In de praktijk is er ook een maximum aantal tussendrukstations dat kan worden ingezet. Daarmee is er uiteindelijk ook een maximum lengte aan de GFT-boring. Dit wordt nader besproken in paragraaf 11.4.3 maakbaarheid en haalbaarheid.

Stap 12: Doorbraak aan ontvangtschacht

De GFT boring doorboort de diepwand en afwerkwand in de ontvangstuip. Daarmee is de boring voltooid. De ontvangst van de boring is weergegeven in afbeelding 11.28.

Afbeelding 11.28 Doorbraak GFT-boring



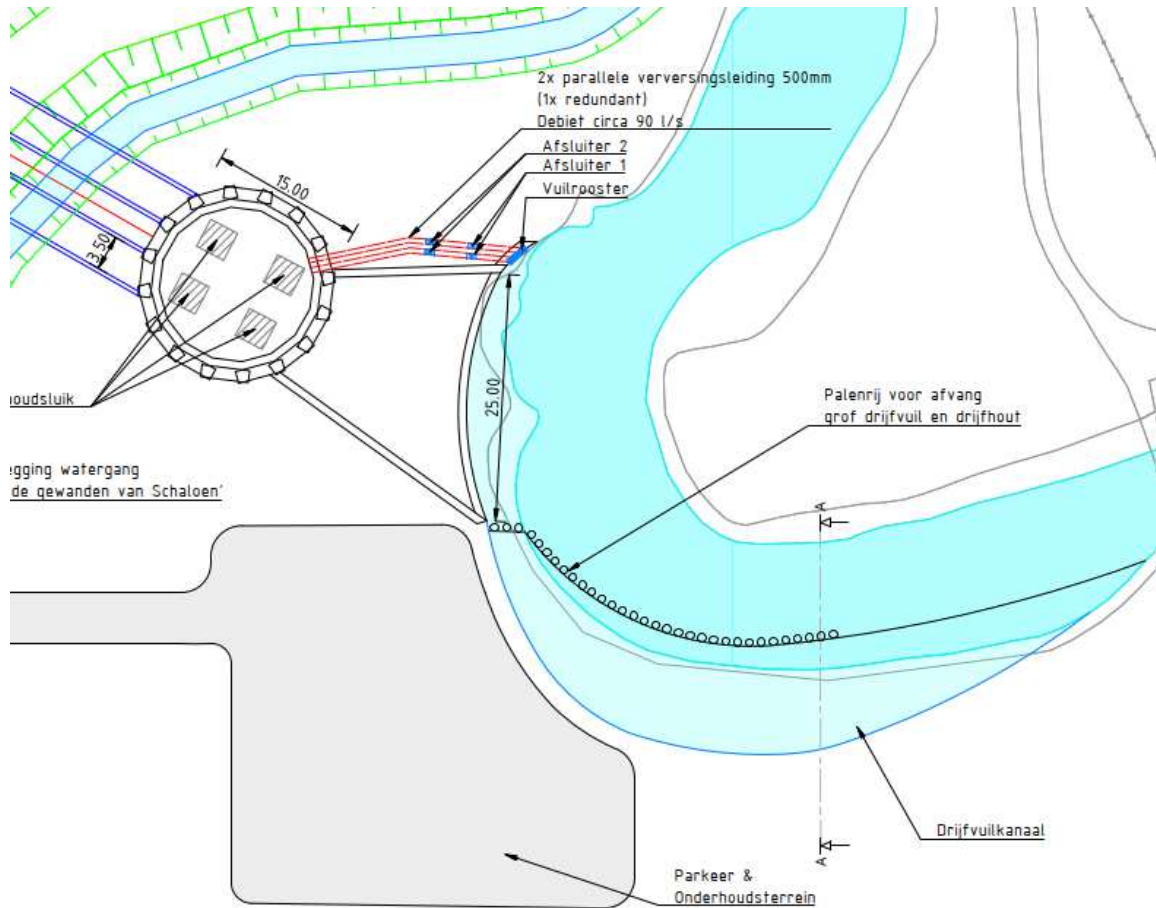
Stap 13: Realiseren in- en uitlaatconstructies en drijvuilkanaal

Na voltooien van de boring wordt de aansluiting van de tunnel op de schachten afgewerkt. Tevens wordt aan de inlaatzijde het drijvuilkanaal gerealiseerd en aan de uitlaatzijde de stroomlijning van de uitlaatschacht.

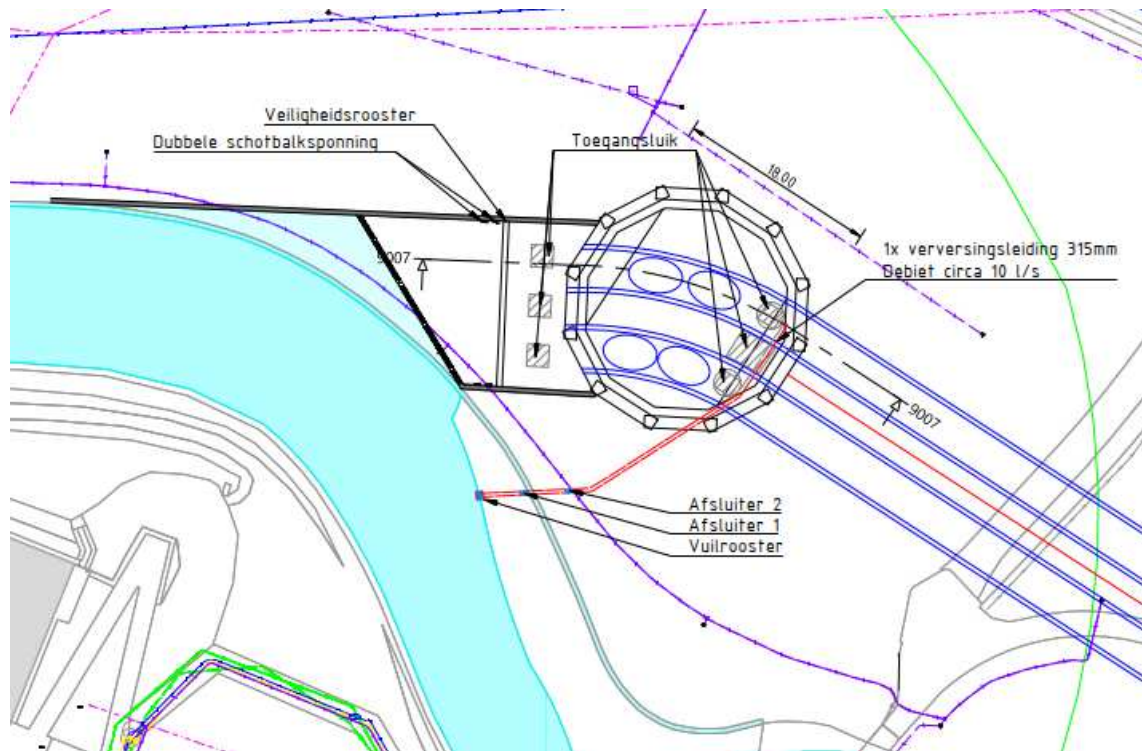
Om de in- en uitlaatconstructies, en het drijvuilkanaal, in den droge te kunnen realiseren wordt een tijdelijke combiwand gebouwd in de Geul. Mogelijk kunnen de palen van deze wand in de permanente situatie ook dienst doen als de grove vuilvang. Aansluitend worden in deze projectfase ook de overige elementen gerealiseerd, zoals het vuilrek, de veiligheidsroosters en de verversingsleidingen.

In afbeeldingen 11.29 en 11.30 zijn de schetsontwerpen van respectievelijk de in- en uitlaatschachten weergegeven.

Afbeelding 11.29 Eindontwerp inlaatschacht



Afbeelding 11.30 Eindontwerp uitlaatschacht



Stap 15: Dakconstructies van de schachten, landschappelijke herinrichting maaiveld en eindafwerking

De in- en uitlaatschachten worden overdekt met een dakconstructie. Aan de inlaatzijde verzekert deze overdekking de veiligheid en kunnen onderhoudsvoertuigen vanaf deze dakconstructie toegang krijgen tot de schacht. De dakconstructies worden voorzien van toegangsluiken.

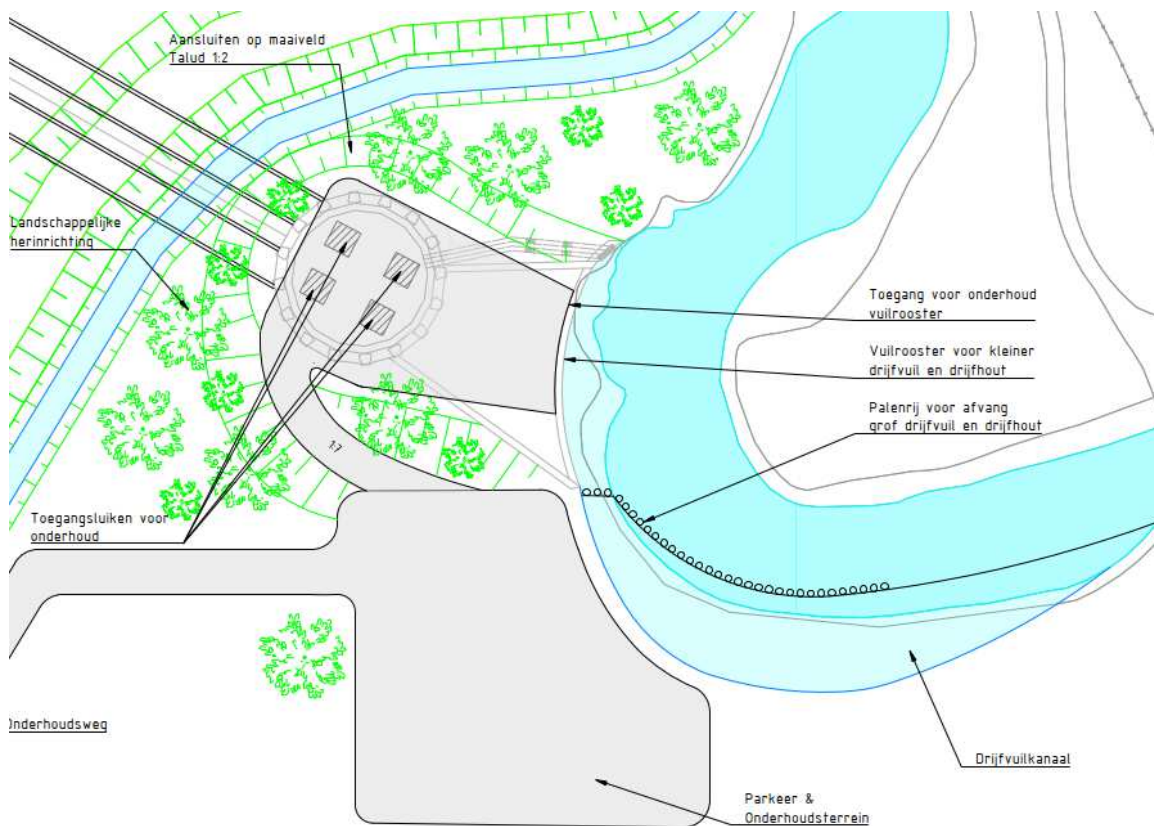
Aan de uitlaatzijde kan de dakconstructie deels worden ingezet voor het terugbrengen van een verhoogd parkeerdek. Zo wordt het aantal verloren parkeerplaatsen in Oda Park beperkt. Een deel van de dakconstructie wordt vrij gehouden van het publiek met een afrastering of hekwerk. Toegang tot dit deel is enkel mogelijk voor beheerders en onderhoudsvoertuigen.

Na voltooiën van de in- en uitlaatconstructies, toegangsschachten en dakconstructies is de tunnel functioneel af. Hierna worden de laatste inrichtingswerkzaamheden op maaiveld uitgevoerd, op hoofdlijnen:

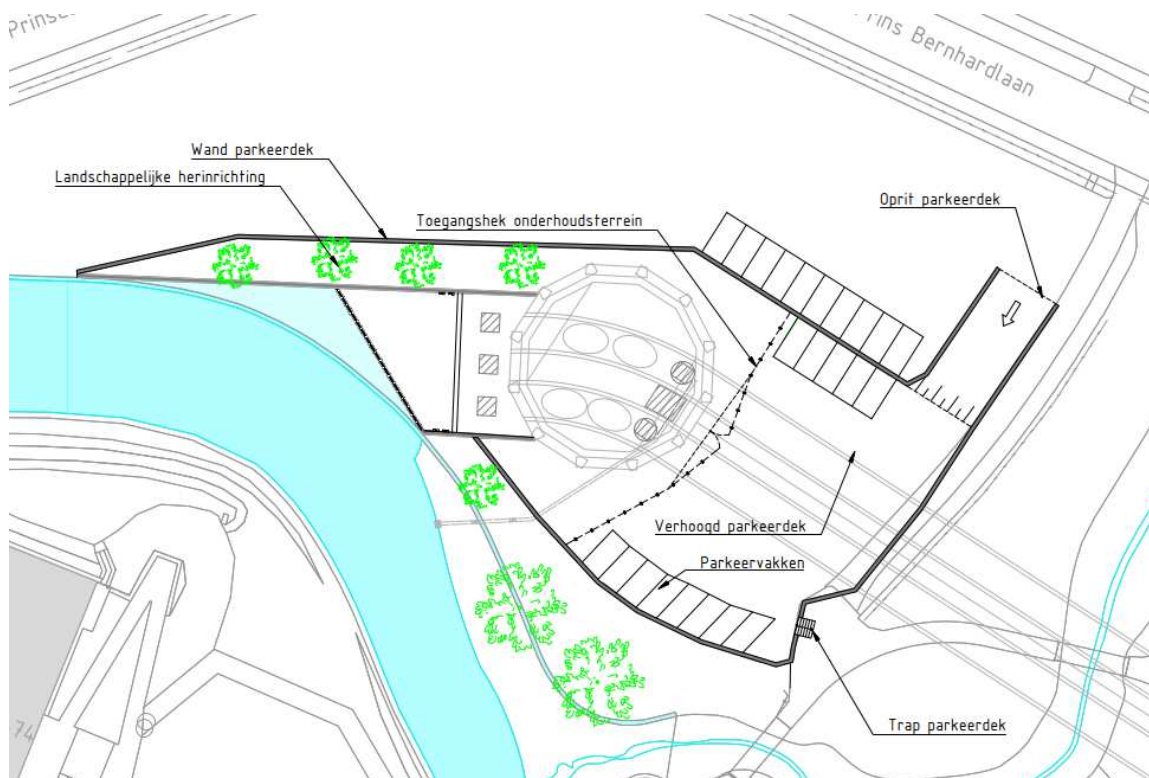
- omlegging watergang 'Uit de Gewanden van Schaloen';
- grondwerk voor taluds en landschappelijke herinrichting (groen);
- asfalteren tijdelijke bouwweg om deze op te waarderen naar permanente onderhoudsweg;
- afwerking parkeer- en onderhoudsterrein voor onderhoudsvoertuigen.

In afbeeldingen 11.31 en 11.32 zijn de beoogde eindtoestanden van respectievelijk de in- en uitlaatschachten weergegeven.

Afbeelding 11.31 Eindinrichting maaiveld inlaatschacht



Afbeelding 11.32 Eindinrichting maaiveld uitlaatschacht



In bijlage XXXVII zijn schetsontwerpen van de eindinrichting van het maaiveld bij de in- en uitlaat zijde opgenomen.

11.4.3 Bemalingsadvies

Het hierboven beschreven proces bevat 2 werkstappen waar omgaan met grondwater (mogelijk) een grote rol speelt. Voor deze werkstappen wordt kort het verwachte effect van grondwater beschreven en een (tentatief) advies gegeven voor bemaling:

Bemalingsmoment 1: Storten onderwaterbetonvloer en uitgraven van de schacht

De vloeren van de in- en uitlaatschachten liggen 15 tot 20 m beneden grondwaterniveau. Dit maakt het omgaan met grondwater in vergelijkbare projecten vaak een grote uitdaging. Daarom is het ontwerp van de schachten en het bouwproces zodanig ingericht dat grondwater geen risico vormt:

- de diepwanden worden in segmenten gegraven en gestort. Tijdens uitgraven, plaatsen wapening en storten beton worden de holtes vol gehouden met bentoniet. Als er minimaal 2m verschil is tussen de bentonietpiegel en de stijghoogte van het grondwater is in deze werkstap is geen bemaling nodig.
- de trekpalen worden geplaatst vóór uitgraven van de schacht of met de schacht vol water. In deze werkstap is dus geen bemaling nodig;
- het uitgraven van de schacht vindt plaats in den natte. in deze werkstap is dus geen bemaling nodig.
- het storten van de onderwaterbetonvloer vindt plaats in den natte. In deze werkstap is dus geen bemaling nodig;
- na uitharden van de vloer kan de schacht worden leeggepompt. Dit wordt beschouwd als een bemaling en is een vergunning voor nodig. De schacht is op dit moment grotendeels waterdicht. Inloop van grondwater vindt alleen plaats door onvolkomenheden in de diepwanden. Met een hele kleinschalige bemalingsinstallatie kan de schacht droog worden gehouden voor aanleg van de afwerkwanden en afwerkvloer;
- na aanleg van de afwerkwanden en afwerkvloer is de schacht droog en is geen bemaling nodig.

Dit bouwproces is ontworpen voor een 'worst-case' scenario waarbij de mergel op grotere diepte watervoerend is.

In de praktijk is het vaak zo dat, in harde, verkitte of gecementeerde gesteente zoals kalksteen de porositeit vaak zeer gering is (Bron: Piet van Rooijen, 1989). Het is dus goed mogelijk dat de porositeit van de mergel zodanig laag is, dat er nauwelijks inloop van grondwater is. Dit zou het bouwproces vereenvoudigen. Het storten van de betonvloer zou dan in den droge kunnen plaatsvinden, en daarmee circa 1,5 M EUR goedkoper kunnen zijn.

Tegelijkertijd kan het bouwproces niet op deze zeer geringe porositeit worden ontworpen. De doorlatendheid van de kalksteen wordt voornamelijk bepaald door de barsten en spleten die in het gesteente zijn ontstaan. Betrouwbare doorlatendheid waarden zijn daarom doorgaans niet te geven (Bron: Piet van Rooijen, 1989).

Wanneer zou worden gewerkt zonder diepwanden of onderwaterbetonvloer bestaat dus een risico dat de schachtputten volstroomt met grondwater. Met nader grondonderzoek (boringen) in de voorontwerpfase kan hier deels een antwoord op worden gevonden. Echter, zelfs als er geen aanwijzingen worden gevonden van barsten en spleten in de mergel op de locaties van de schachten kan het risico op niet geheel worden uitgesloten.

Het bouwproces van de schachten dient daarom hierop ontworpen te worden. Het voornoemde bouwproces en de inrichting van het werkterrein zijn daarom in deze schetsontwerpfase ingericht op het 'worst-case' scenario met potentieel veel inloop van grondwater. Daarbij is de benodigde bemalingsinspanning beperkt.

Bemalingsmoment 2: Aanleg in- en uitlaatconstructies en drijfviulkanaal

De in- en uitlaatconstructies, en het drijfviulkanaal worden aangelegd direct langs de Geul. Om de capaciteit van de Geul in stand te houden en tegelijk droge bouwkuipen beschikbaar te hebben worden wanden geplaatst in de Geul. Hierbij kunnen de wanden redelijk dicht bij het talud van de Geul worden gebouwd, zo blijft de afvoercapaciteit van de Geul tijdens uitvoering (grotendeels) gehandhaafd.

Verwacht worden dat de wanden worden uitgevoerd als combiwanden. Daarbij worden voor stabiliteit palen geboord in de Geul en de onderliggende mergel. Tussen de palen worden wanden aangebracht tot op niveau van de mergel. Inloop van grondwater in de bouwkuip, vanuit de Geul, wordt op deze wijze geminimaliseerd. De resterende inloop van grondwater zal beperkt zijn en de bouwkuip kan met een traditionele bemalingsinstallatie droog worden gehouden. Afvoer van bemalingswater kan direct op de naastliggende Geul.

In de voorontwerpfase dient het ontwerp van de bouwkuipen te worden opgesteld en een bijbehorend volledig bemalingsadvies te worden afgegeven. In deze schetsontwerpfase kan al wel worden geconcludeerd dat de benodigde bemalingsinspanning gering zal zijn.

11.4.4 Haalbaarheid en maakbaarheid

De aanleg van de tunnel heeft een uniek karakter voor Nederland. Het project omvat een aantal speciale werkstappen, waarvan de haalbaarheid en maakbaarheid dient te worden beschouwd voor de specifieke omstandigheden in Valkenburg. Deze speciale werkstappen zijn:

- 1 het realiseren en waterdicht maken van de diepe schachten;
- 2 de GFT-boringen in de mergel over een lengte van 1.260 m ;
- 3 de tijdelijke wanden in de Geul om de inlaat, uitlaatconstructies en het drijfviulkanaal in den droge uit te kunnen voeren.

In deze paragraaf worden deze kritieke werkstappen met het oog op haalbaarheid en maakbaarheid nader beschouwd.

Kritieke stap 1: Het realiseren en waterdicht maken van de diepe schachten

Het aanleggen van de in- en uitlaatschachten op 15 tot 20 m onder grondwaterpeil is een bijzondere werkstap. Bouwkuipen van dergelijke dieptes zijn doorgaans moeilijk droog te houden.

Om deze reden is het bouwproces zodanig ontworpen dat de schachten tijdens realisatie niet droog gehouden hoeven te worden. Elke werkstap kan in den natte worden uitgevoerd. Na realisatie van de diepwanden en onderwaterbetonvloer kunnen de schachten worden drooggepompt en de afwerkwanden- en afwerkvloeren worden gestort om zo de schachten definitief droog te houden.

Deze aanpak is reeds beschreven in voorgaande paragrafen 11.4.2 'bouwproces' en 11.4.3 'Bemalingsadvies'. Het omschreven bouwproces is in voorgaande projecten (zoals Ecluse II) met succes uitgevoerd. In dit project waren de omstandigheden, met name door de grondsamenstelling, uitdagender dan de omstandigheden in van Valkenburg.

De aanwezigheid van de mergel op dieptes van 5m+ biedt voor Valkenburg juist de kans om het bouwproces eenvoudiger, en dus goedkoper te maken. De mergel maakt het potentieel mogelijk om de diepwanden minder diep uit te voeren en om de vloer in den droge te storten.

Samengevat wordt voor Valkenburg geconcludeerd dat de diepe schachten goed haalbaar en maakbaar zijn, en mogelijk op eenvoudigere en goedkopere wijze dan in het referentieproject Ecluse II. Desondanks wordt in de raming van het bouwproces rekening gehouden met het 'worst-case' scenario waarin de mergel toch watervoerend blijkt op grotere diepte.

2. GFT-boringen in de mergel over een lengte van 1.260m

De lengte van de parallelle boringen is 1.260 m elk. Bij een diameter van $\varnothing 3,5$ m zijn dit relatief lange boringen. De vergelijkbare boring in het project Ecluse II is echter met succes uitgevoerd, waarbij de persdrukken binnen de gestelde maxima zijn gebleven. In afbeelding 11.33 zijn de maximaal gemeten persdrukken weergegeven over de lengte van de boring, en uitgezet tegen de limietdrukken.

Afbeelding 11.33 Verloop van de persdruk bij het referentieproject Ecluse II, de persdrukken zijn netjes binnen de vooropgebleven waardes gebleven



Te zien is dat de persdrukken over deze lengte beheersbaar zijn gebleven en de boringen dus goed haalbaar en maakbaar zijn.

3. Tijdelijke bouwkuip in deel van de Geul

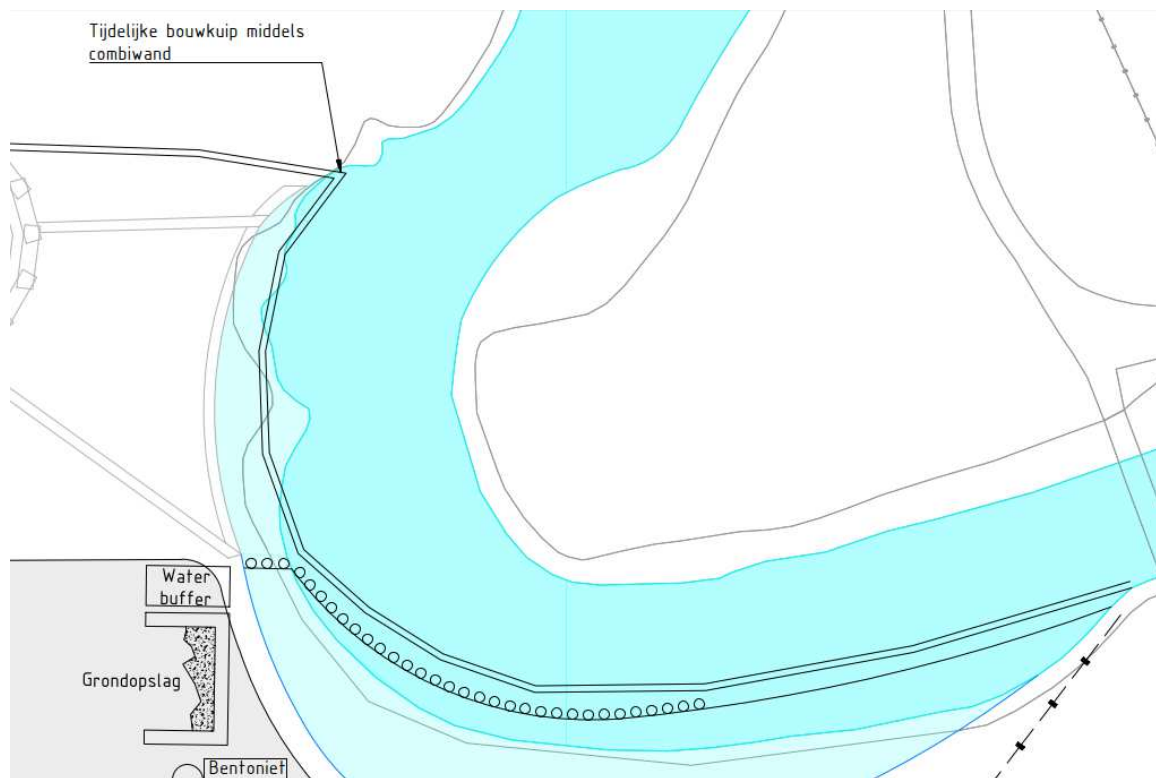
Er worden werkzaamheden uitgevoerd om de in- en uitlaatconstructies te realiseren in de wand van de Geul. Hiervoor moet bij zowel de inlaat als de uitlaat worden gewerkt in de buitenbocht van de Geul. Ook voor de aanleg van het drijfviulkanaal wordt in de watergang van de Geul zelf gewerkt.

Tijdens de werkzaamheden moet de bouwkuip droog zijn en moet tegelijkertijd de Geul ongehinderd kunnen doorstromen. Ook verhoogde debieten in de Geul moeten kunnen worden afgevoerd zonder dat dit een nadelig effect heeft op de werkzaamheden of op het functioneren van de Geul.

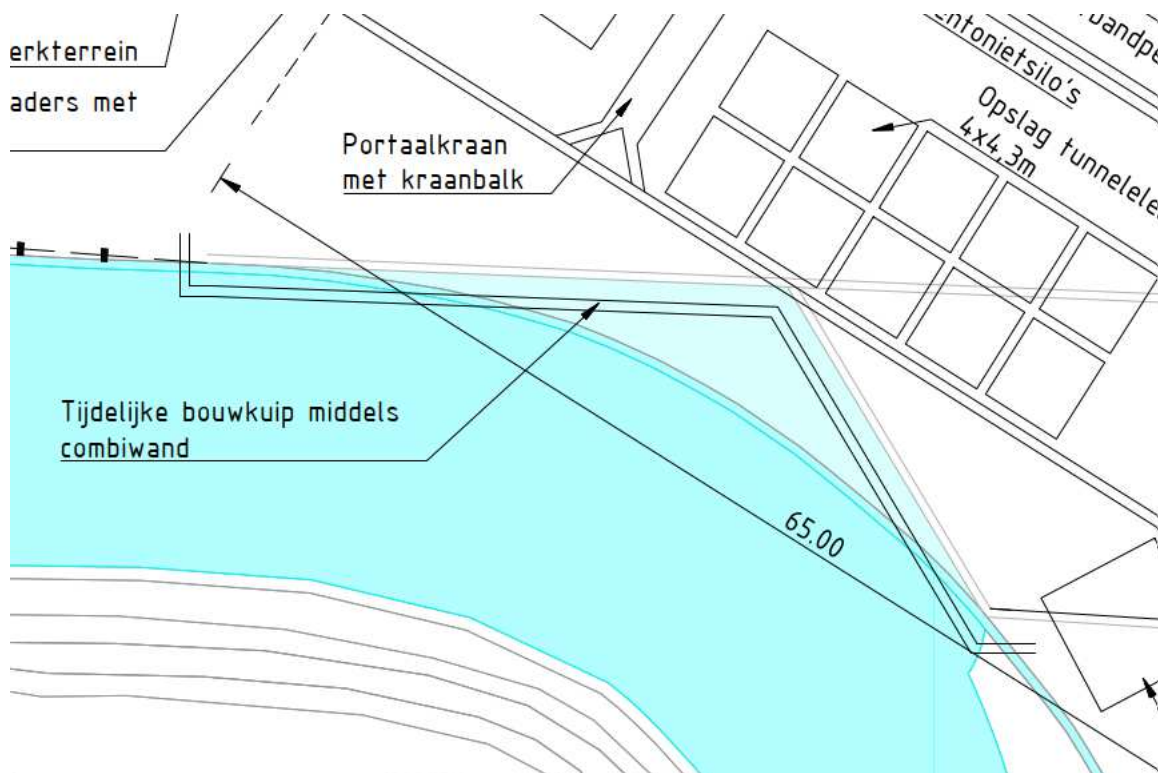
Om dit mogelijk te maken wordt een combiwand aangelegd vlakbij de onderzijde van het talud van de Geul. De palen van de combiwand worden in de mergel geboord en de tussenwanden worden aangelegd tot op niveau van de mergel.

Deze aanpak is reeds beschreven in voorgaande paragrafen 11.4.2 'bouwproces' en 11.4.3 'Bemalingsadvies'. In afbeeldingen 11.34 en 11.35 (en de werkterreintekeningen in Bijlage XXXVII) zijn deze tijdelijke wanden (indicatief) weergegeven.

Afbeelding 11.34 Tijdelijke combiwand inlaatzijde



Afbeelding 11.35 Tijdelijke combiwand uitlaatzijde



Bij deze aanpak is alleen sprake van een beperking op de afvoercapaciteit van de Geul bij hele hoge afvoeren, indicatief vanaf een T10-afvoer of hoger. Dit dient in de voorontwerpfase nader te worden uitgewerkt. Op dit schetsontwerpniveau kan al wel worden geconcludeerd dat de bouwkuipen langs de Geul goed haalbaar en maakbaar zijn, en met een beperkte bemalingsinspanning droog te houden.

Conclusie haalbaarheid en maakbaarheid

Het aanleggen van 15-20 m diepe schachten, het boren van de tunnel en het werken direct langs de Geul brengt bijzondere uitdagingen met zich mee. Uit door voorgaande paragrafen kan echter worden geconcludeerd dat het bouwproces zodanig kan worden ontworpen dat het werk goed haalbaar en maakbaar is in de omstandigheden van Valkenburg. Daarbij is slechts een geringe bemalingsinspanning benodigd.

Bij het opstellen van het bouwproces en de kostenraming is in deze fase rekening gehouden met de inloop van grondwater. Echter lenen de omstandigheden van Valkenburg zich mogelijk voor het vereenvoudigen van het bouwproces en het behalen van aanzienlijke besparingen. Deze kans is eerder benoemd en dient in het voorontwerp nader te worden onderzocht en uitgewerkt.

11.5 Definitief Schetsontwerp Voorkeursvariant

De tekeningenset van het definitieve schetsontwerp van de voorkeursvariant is opgenomen in Bijlage XXXVII.

11.6 Uitvoeringsplanning

Er is een indicatieve uitvoeringsplanning op hoofdlijnen opgesteld voor de realisatie van de flood bypass. Deze uitvoeringsplanning is mede geïnformeerd door de ervaringen van Ecluse II en is opgenomen in Bijlage XXXVIII.

In de uitvoeringsplanning wordt:

- geen rekening gehouden met voorbereidende werkzaamheden zoals:
 - vergunningenprocedures;
 - VO, DO en UO Ontwerpfases;
 - aanbestedingsfase;
- geen rekening gehouden met eventuele aanleg van de strekdam en doorlaatconstructie;
- uitgegaan start bouwwerkzaamheden op 1 januari 2028.

Uit de uitvoeringsplanning blijkt dat de geraamde totale bouwperiode circa 3 jaar is.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In deze rapportage wordt de haalbaarheid van een Flood Bypass voor Valkenburg onderzocht. Daarbij is een schetsontwerp opgesteld van de voorkeursvariant, in overleg met de projectgroep van WRL.

Conclusies

De belangrijkste conclusies van deze ontwerprapportage worden in deze paragraaf samengevat. De **bui van 2021** is **gedefinieerd als de ontwerpbui** voor de toetsing van de flood bypass. Het piekdebiet in 2021 is berekend op 136 m³/s. Het voorkeursstracé voor de bypass heeft een **lengte van 1.260 m** en loopt van de inlaatlocatie achter de beoogde strekdam naar een uitlaat bij Oda Park. De bypass ligt **15-20 m diep onder maaiveld** en loopt door de mergel (Formatie van Maastricht).

In de voorkeursvariant is de **inlaatschacht circa 20 m diep** en deze wordt **niet hydraulisch gestroomlijnd**. Zo wordt maximale toegankelijkheid voor onderhoud geborgd. De **uitlaatschacht is circa 15 m diep** en wordt **wél hydraulisch gestroomlijnd**. Tegen geringe meerkosten levert dit ontwerp aanzienlijke capaciteitswinst.

Het voorkeursontwerp van de **bypass is goed haalbaar en maakbaar**. De realisatie op 15-20 m diepte in de mergel is minder uitdagend dan in andere referentieprojecten het geval is geweest. De mergel beperkt de instroom van grondwater in de bouwkuip aanzienlijk. De **bypass staat vol water wanneer niet in gebruik**. De waterkwaliteit en het zuurstofgehalte worden gewaarborgd middels **verversingsdebiet van circa 90 l/s** vanuit de Geul.

De bypass wordt gerealiseerd als een **GFT-boring** (niet als een segmententunnel). De voorkeursvariant voor de bypass bestaat uit **2 parallelle tunnels van 2x ø3,5 m**. Zonder strekdam en hydraulische stroomlijning van de uitlaat zou de capaciteit 51 m³/s zijn. In het schetsontwerp heeft de voorkeursvariant heeft een capaciteit van circa **65 m³/s** mits;

- de inlaat wordt gesitueerd achter een strekdam op NAP +72.0 m; en
- de uitlaat hydraulisch wordt gestroomlijnd.

In de huidige situatie overstroomt het centrum (statistisch) ongeveer eens per 25 jaar. Dit gebeurt bij debieten die hoger zijn dan **circa 54 m³/s, de huidige capaciteit van de Kleine Geul**. De voorkeursvariant van de flood bypass **beschermst het centrum bij piekdebieten tot 119 m³/s** (54+65). Het piekdebiet in de T100 wordt in 2085 voorspelt tussen 84 m³/s (lower bound) en 134 m³/s (upper bound). De D-Hydro analyse toont aan dat de voorkeursvariant (bypass+strekdam) het centrum Valkenburg in de 2021 bui goed beschermd, maar niet helemaal. Er wordt nog inundatie berekend op enkele locaties (Bijlage XXXV). De verwachte **inzetfrequentie** van de bypass bij kleine debieten is **10-20x per jaar**.

De **CAPEX-kosten** voor de voorkeursvariant worden geraamd op **EUR 70 M**. Het is goed mogelijk dat deze kosten in de vervolgfases lager zullen blijken te liggen omdat enkele kostbare onderdelen van de realisatiewerken niet nodig blijken bij uitvoering in de mergel. Hierbij gaat het met name om de diepwanden, de onderwaterbetonvloer en trekpalen. Een besparing van ca. 2 M Euro op de CAPEX-kosten wordt als realistisch gezien op deze onderdelen als het grondonderzoek aantoont dat de mergel van voldoende kwaliteit is. De netto contante waarde van de aanleg- en instandhoudingskosten is **EUR 85 M**. Deze kosten kunnen worden afgewogen tegen de te verwachten baten over de levensduur van de tunnel.

De onderhoudsbehoefte en -frequentie van de bypass is op voorhand niet goed te voorspellen. Dit wordt teruggezien in de uiteenlopende ervaringen met onderhoud in referentieprojecten in Austin en San Antonio. Voldoende toegang voor onderhoud wordt daarom geborgd door de inlaatschacht niet te stroomlijnen. Indien op bestuurlijk niveau een hoger beschermingsniveau dan 119 m³/s wordt gewenst is dat op verschillende manieren mogelijk:

- herinrichting van de Geul waterlopen door het centrum van Valkenburg;
- aanvullende bovenstroomse dalbodemberging in de Geul;
- door een 3^{de} parallelle GFT boring aan te leggen, óf de tunnel te realiseren met 1 gesegmenteerde tunnel met grotere diameter. In dat geval worden de meerkosten geraamd op **EUR 15-40 M**.

Aanbevelingen

Het programma Waterveiligheid en Ruimte Limburg werkt toe naar één bestuurlijk besluit over een pakket maatregelen voor het gehele stroomgebied van de Geul. De uitkomsten van deze studie helpen dit bestuurlijk besluit te informeren. Om het bestuurlijk besluit te maken dienen de kosten en baten van de maatregelen te worden afgewogen. Om deze afweging mede te informeren worden geadviseerd wordt om binnen het bestuurlijk besluit (onder andere) de onderstaande lijst vragen te beantwoorden. De antwoorden onderbouwen de keuzes voor het pakket maatregelen en tevens de keuze van de definitieve voorkeursvariant van de flood bypass:

- dient de beschermingsnorm voor panden minimaal T100 te zijn na realisatie van de flood bypass?
- dient de flood bypass, eventueel gecombineerd met de strekdam, bescherming te bieden in de T100-bui? En zo ja, van welk klimaatscenario wordt daarbij uitgegaan?
 - volgens klimaat scenario '2085 upper bound' (134 m³/s), of;
 - volgens klimaat scenario '2085 lower bound' (84 m³/s), of;
 - een ontwerpscenario dat ligt tussen deze 2 uitersten (huidig voorkeursontwerp is 119 m³/s).
- is het mogelijk de huidige voorkeursvariant van de flood bypass (beschermingsniveau = 119 m³/s) te combineren met andere maatregelen die de restrisico's voor overstroming wegnemen in de T100 ontwerpbui van 136 m³/s (≈ 2085 'upper bound' scenario)? Bijvoorbeeld dalbodemberging of; maatregelen in het centrum van Valkenburg om de afvoer capaciteit van de Geul lokaal te verhogen.
- is het eventueel wenselijk de flood bypass te ontwerpen voor een nog grotere capaciteit dan de huidige voorkeursvariant? Deze situatie zou zich voor kunnen doen in de volgende situatie:
 - de bescherming voor de panden in Valkenburg dient minimaal T100 te zijn, en óók;
 - de klimaatbui '2085 Upper bound' (134 m³/s) wordt gedefinieerd als de ontwerpnorm, en óók;
 - uit de parallelle maatregelstudies is gebleken dat er géén (kosten)effectieve aanvullende maatregelen mogelijk of wenselijk zijn (bijvoorbeeld dalbodemberging of herinrichting Valkenburg centrum) die in combinatie met de voorkeursvariant van de flood bypass de T100-ontwerpnorm volledig kunnen behalen, en óók;
 - mits de baten van de bescherming van Valkenburg in de T100-ontwerpbui opwegen tegen de geschatte meerkosten van EUR 15M-40M, die volgen uit een nog grotere capaciteit van de bypass;

Tot slot wordt aanbevolen om in de voorontwerpfase speciale aandacht te geven aan de volgende onderwerpen:

- verificatie van diepteligging van kruisende kabels en leidingen bij de kabel- en leidingeigenaren;
- uitvoeren van geofysisch grondonderzoek (Electrical resistivity tomography of Electromagnetic mapping);
- uitvoeren archeologisch bureauonderzoek conform KNA versie 4.2;
- uitvoeren vooronderzoek Ontploffbare Oorlogsresten conform CS-VROO;
- uitvoeren vooronderzoek bodem conform NEN 5725;
- uitvoeren vooronderzoek Flora & Fauna conform Omgevingswet en de Wet Natuurbescherming;
- uitvoeren van geohydrologisch onderzoek om het uitvoeringsmethode en ontwerp nader te informeren;
- uitvoeren van een reeks berekening van de riooloverstorten in Valkenburg om de inzet frequentie en drempelhoogte van de inlaat nader te specificeren;
- uitwerking van het drijvuilontwerp. Onderdeel hiervan is mogelijk het opzetten van een schaalmodel in een hydraulisch laboratorium, om de effectiviteit van het ontwerp te toetsen en optimaliseren;
- berekenen van het opstuwende effect van de schachten op de grondwaterstanden;
- analyseren van het opstuwende effect van tijdelijke wanden in de Geul voor aanleg inlaat- en uitlaat;
- ontwerp bouwkuipen en - methode voor de in- en uitlaatconstructie;
- opstellen volwaardig bemalingsadvies voor de bouwkuipen langs de Geul en de in- en uitlaatschachten;

- ontwerpen van de beste uitvoeringsmethode voor de diepwanden in mergel;
- ontwerpen van de in- en uitlaatconstructies voor vispasseerbaarheid;
- verkrijgen goedkeuring op voorkeustracé langs/onder bijgebouw van Kasteel Oost, de Geulpoort en Kasteel den Halder van de Gemeente en het Rijksmonumentenregister.
- Verificatie van de boven- en benedenstroomse effecten van de tunnel bij andere hoogwatergolven;
- Het identificeren wat de beste aansluitingslocatie is voor de 10kV elektrische installaties die bij de boring benodigd zijn. Dit vormt onderdeel van het VO van de werkterreinen.
- Het maken van een kosten-batenafweging van drijfvuil ontwerpmaatregel 7. Hierin wordt de tunnelinlaat eventueel breder aangelegd dan in het huidige schetsontwerp. Mogelijk kan een bredere inlaat negatieve capaciteitseffecten van drijfvuilophoping voor het vuilrek verminderen.
- Het maken van een nadere afweging over de beste positie van de scheidingsinstallatie en het ontwerpen van de optimale terreininrichtingen. De boorrichting van het schetsontwerp van uitlaat naar inlaat kan eventueel ook worden omgedraaid. De voor- en nadelen van de boorrichtingen dienen dan nader te worden afgewogen, waarbij dieper in wordt gegaan op onder andere:
 - Effect van verkeer en geluidshinder op de bebouwde omgeving;
 - Effect van verkeer en geluidshinder op de natuurlijke omgeving;
 - Effect van aan- en afvoer van materiaal op bestaande verkeersroutes;
 - Bestaande verkeersstromen;
 - Draai- en keerbewegingen van groot materieel (diepladers);
 - Ruimte en terreininrichting.
- De ligging van de Geul ligt niet vast. De positie van de tunnel, en ook de positie van de eventuele dam en het doorlaatmiddel zullen wel vastliggen. In de VO-fase wordt daarom aanbevolen om te onderzoeken op welke wijze en in welke mate de ligging van de Geul kan worden vastgelegd. Dit onderzoek overstijgt de scope van deze rapportage, maar dient projectoverstijgend te worden beschouwd nadat er bestuurlijke beslissingen zijn gemaakt over het aanleggen van de flood bypass en het aanleggen van de dam voor dalbodemberging.

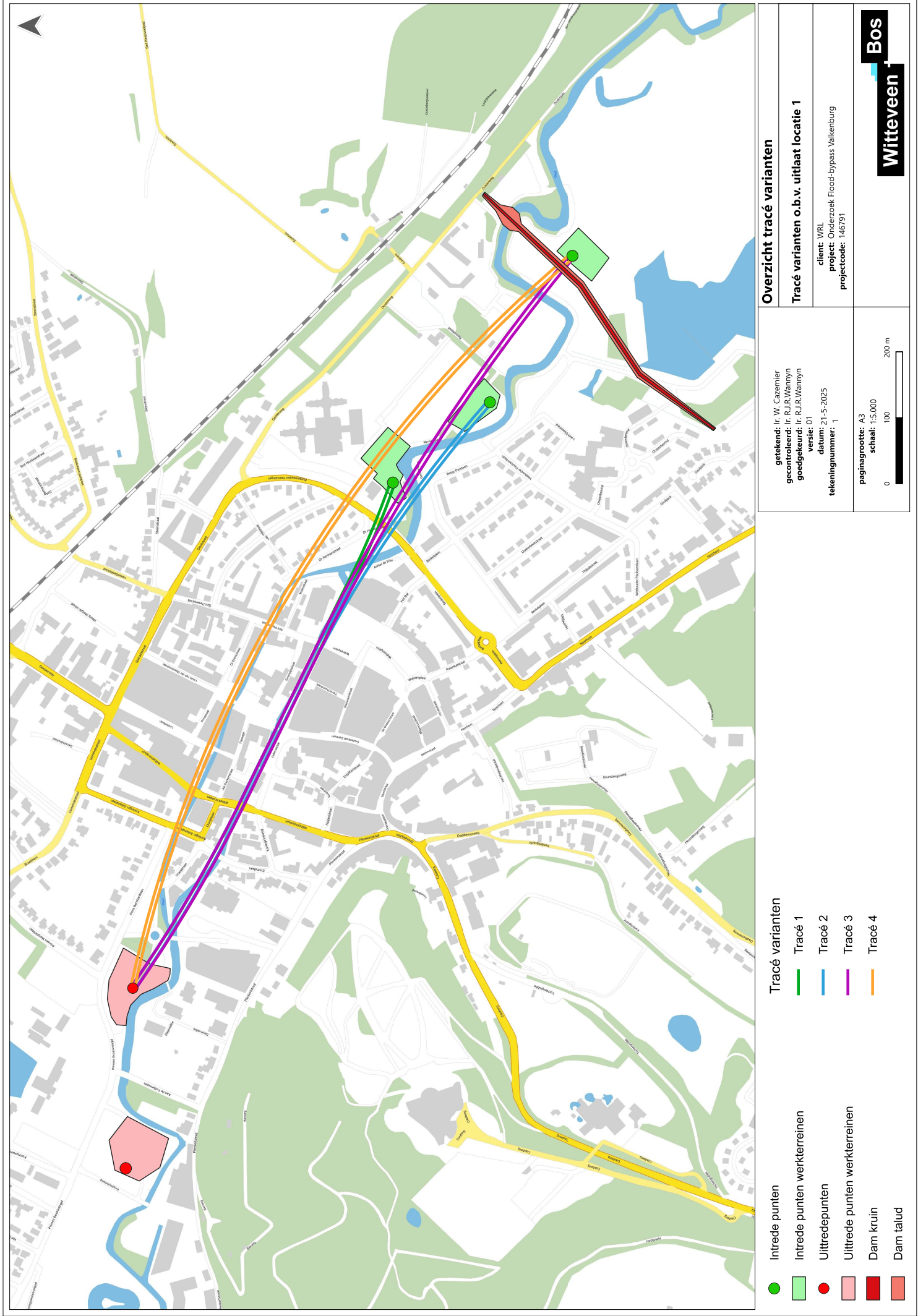
REFERENTIES

1. Actueel Hoogtebestand Nederland 3 (AHN3). Kadaster Pdok, website: <https://www.pdok.nl/introductie/-/article/actueel-hoogtebestand-nederland-ahn3-> (mei 2025).
2. Deltares, 2022. Analyse overstroming Valkenburg. Rapport 11207700-000-ZWS-0014, d.d. 26 april 2022.
3. DINOloket. Website: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens> (mei 2025).
4. Geologie van Nederland. Website: <https://www.geologievannederland.nl/> (mei 2025).
5. GEOViewer van Provincie Limburg. Website: <https://geo.gegevenshuis.nl/?@Mijnbouw&v=5> (mei 2025).
6. Inpijn-Blokpoel ingenieursbureau 2019. Centrumplan op terrein de Leeuw bier brouwerij aan de Prinses Beatrixsingel te Valkenburg a/d Geul. Rapport 02P011834-adv-02, d.d. 23 mei 2019.
7. Krings, S. & Langguth, H.R., 1987. Hydrogeology of the Thermae boreholes (Valkenburg a/d Geul, the Netherlands). Annales de la Société géologique de Belgique, vol. 110, pp. 85-95.
8. Nederlands Hydrologisch Instrumentarium. Website: <https://data.nhi.nu/bekijk> (mei 2025).
9. Provincie Limburg, 2021. Provinciaal Waterprogramma 2022-2027: Vastgesteld door Provinciale Staten van Limburg, d.d. 17 december 2021.
10. Staatstoezicht op de Mijnen, 2014. Na-ijlende gevolgen steenkolenwinning Zuid-Limburg (onderzoeksplan). Rapport april 2014.
11. TNO, 2012. Regionale studie aardwarmtepotentie provincie Limburg. Projectnummer 056.01872, d.d. 18 december 2012.
12. Waterschap Limburg. Leggerkaart, website: <https://ws-limburg.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=491934138032419e9d2aed49b12fe5c3> (mei 2025).
13. Waterschap Limburg. Website: <https://www.waterstandlimburg.nl/> (mei 2025).
14. Witteveen+Bos, 2024. Definitieve herstelmaatregelen Emmalaan: Definitieve ontwerp kademuren. Rapport 133056/24-008.790, d.d. 18 juni 2024.
15. Middendorp, R. 2023. Design of a flood bypass for Valkenburg aan de Geul.
16. Deltares, CAPWAT Handboek versie 2, april 2012.
17. Chen S.H., Hydraulic Structures, 2015.
18. Witteveen+Bos, Conceptrapportage 'Variantenafweging doorlaatmiddel', d.d. 7 augustus 2025

Bijlage(n)



BIJLAGE: OVERZICHT TRACÉVARIANTEN





BIJLAGE: OVERZICHT KABELS EN LEIDINGEN (KLIC)



BIJLAGE: KADASTRALE GEGEVENS

IV

BIJLAGE: PANDEN



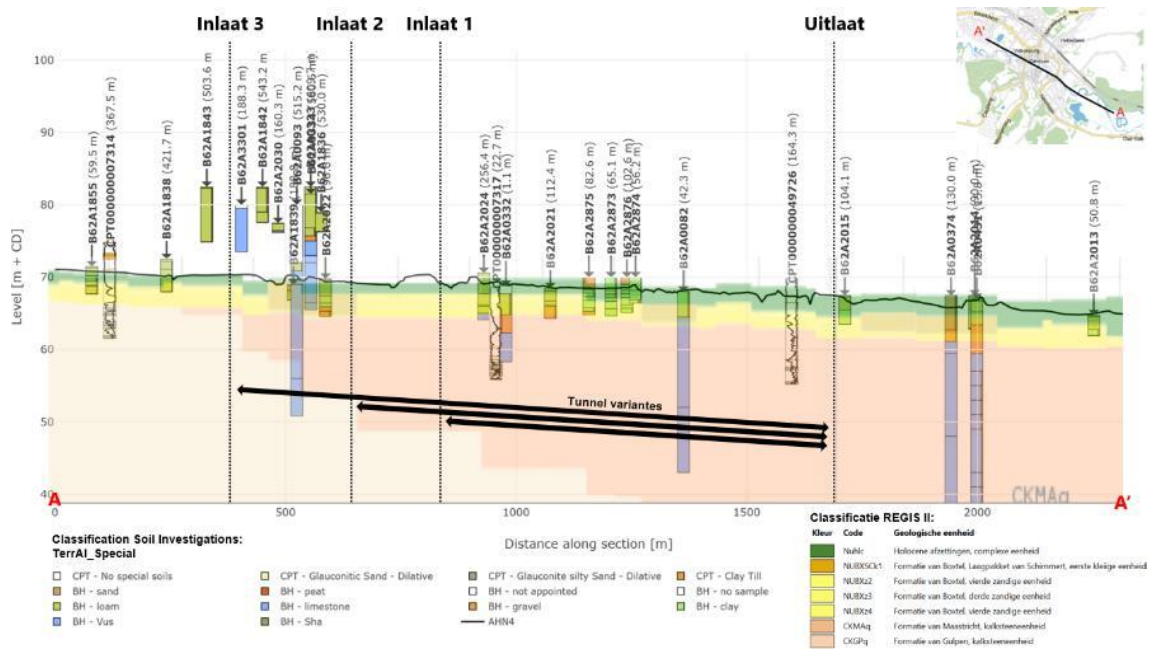
Panden	
getekend: Ir. W. Cazemier	gecontroleerd: Ir. R.J.R. Wannyn
goedkeurd: Ir. R.J.R. Wannyn	versie: 01
datum: 21-5-2025	tekeningnummer: 1
paginagrootte: A3	schaal: 1:5.000
0	100 200 m
Bos Witteveen +	

- Intredepunten
- Intredepunt werkteerein
- Dam kruin
- Dam talud
- Uittredepunten
- Uittredepunt werkteerein
- Panden
- Tracé varianten



BIJLAGE: GEOLOGISCH GRONDMODEL

Afbeelding 13.1 Geologisch lengteprofiel langs het projectgebied met, boven het landelijke REGIS-model (versie II v2.2.3), lokale grondonderzoeken (boringen en sonderingen) uit het DINoloket geplot [ref. 3], geclassificeerd volgens Witteveen+Bos TerrAI_Special classificatie

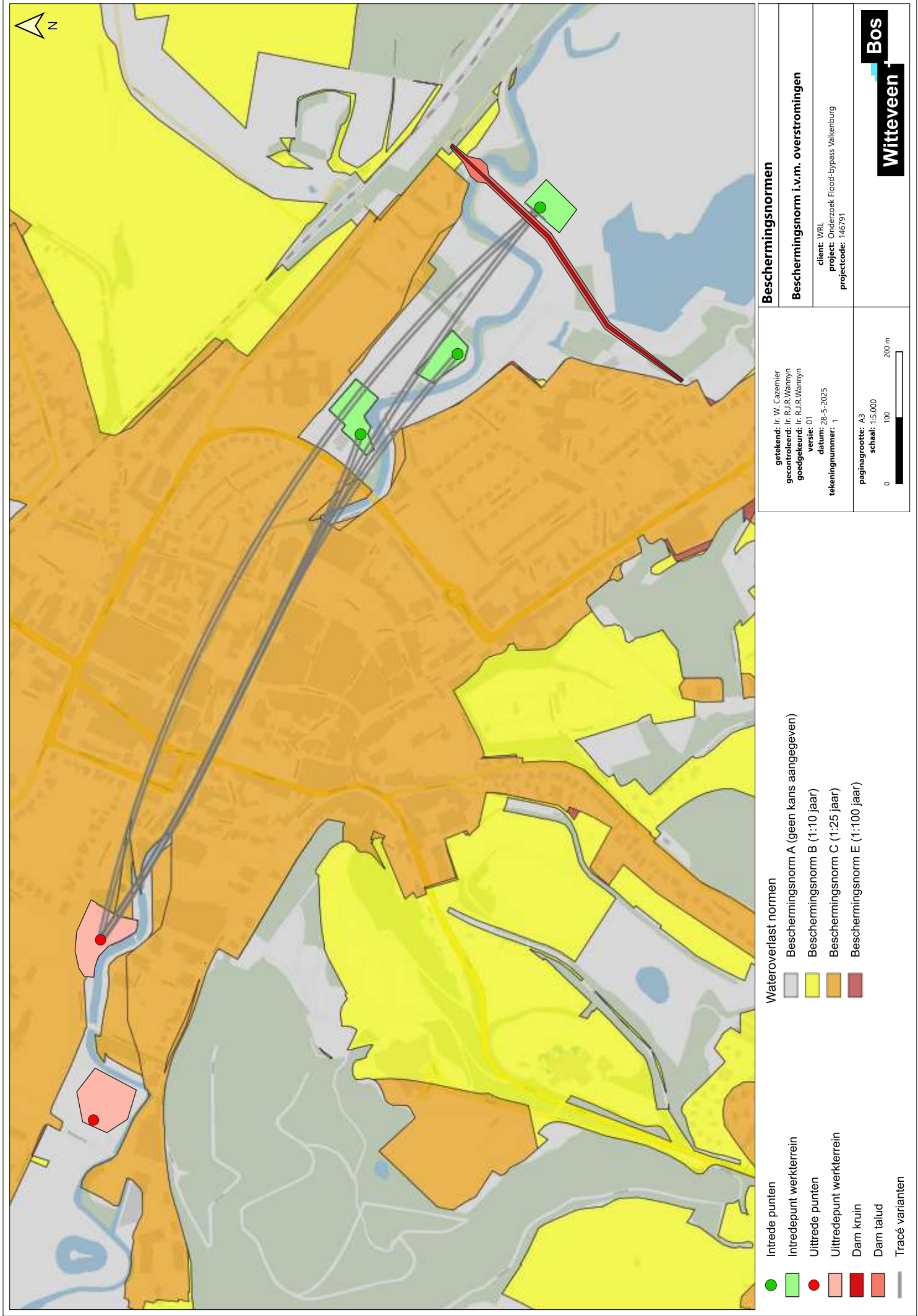


VI

BIJLAGE: LOCATIES GRONDONDERZOEK DINOLOKET

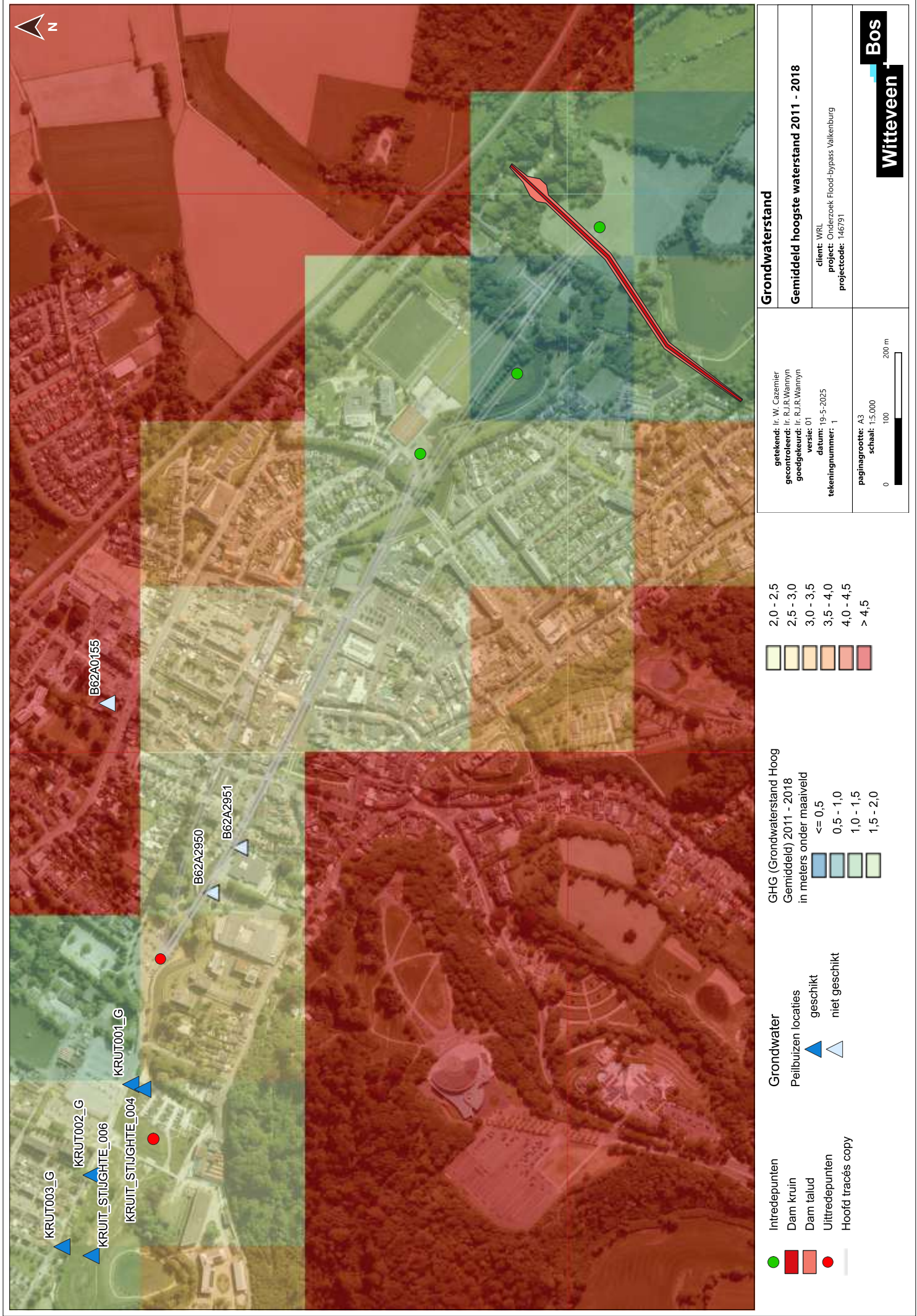
VII

BIJLAGE: BESCHERMINGSNORMEN VALKENBURG EN OMGEVING



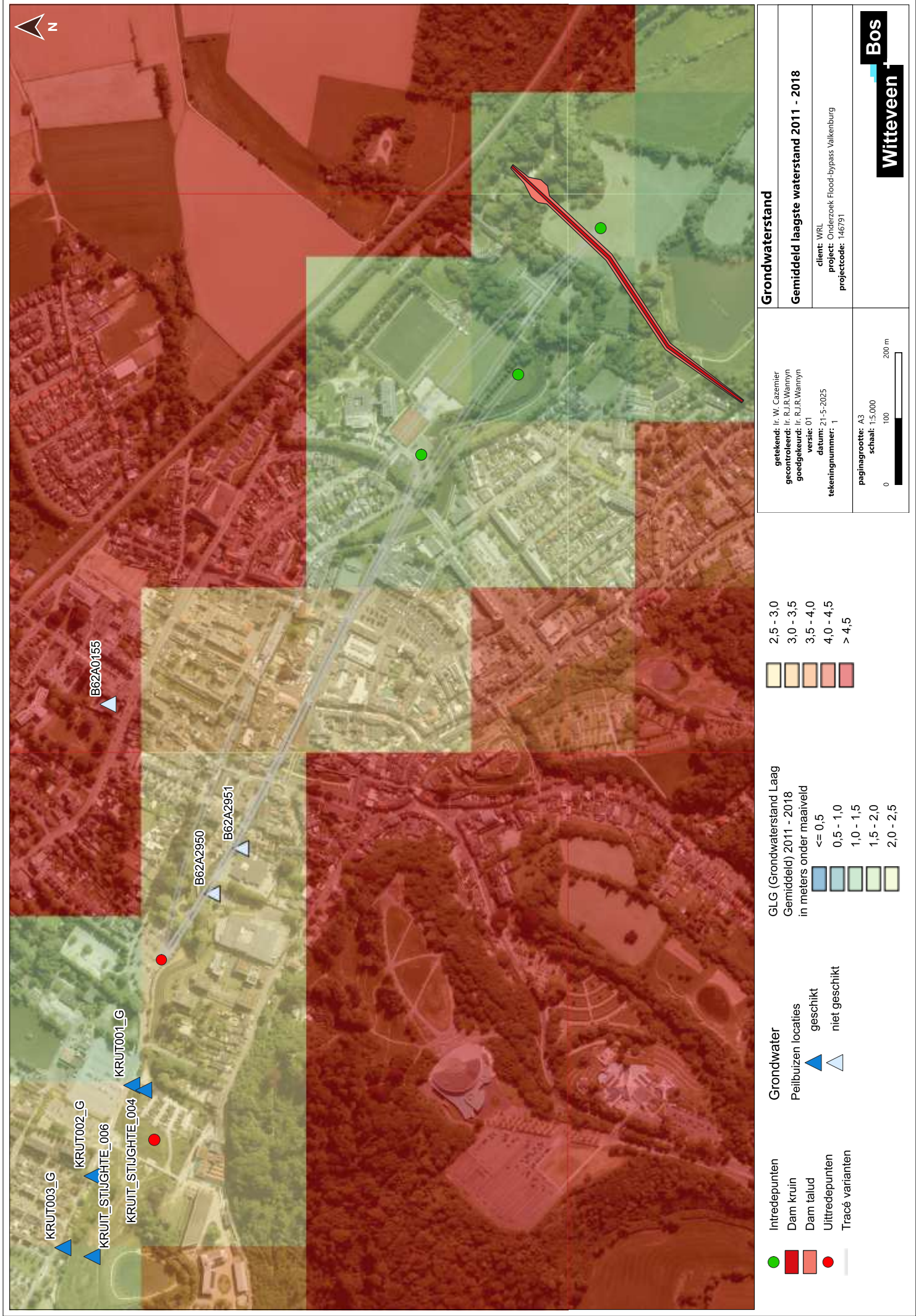
VIII

BIJLAGE: GRONDWATERSTANDEN HOOG



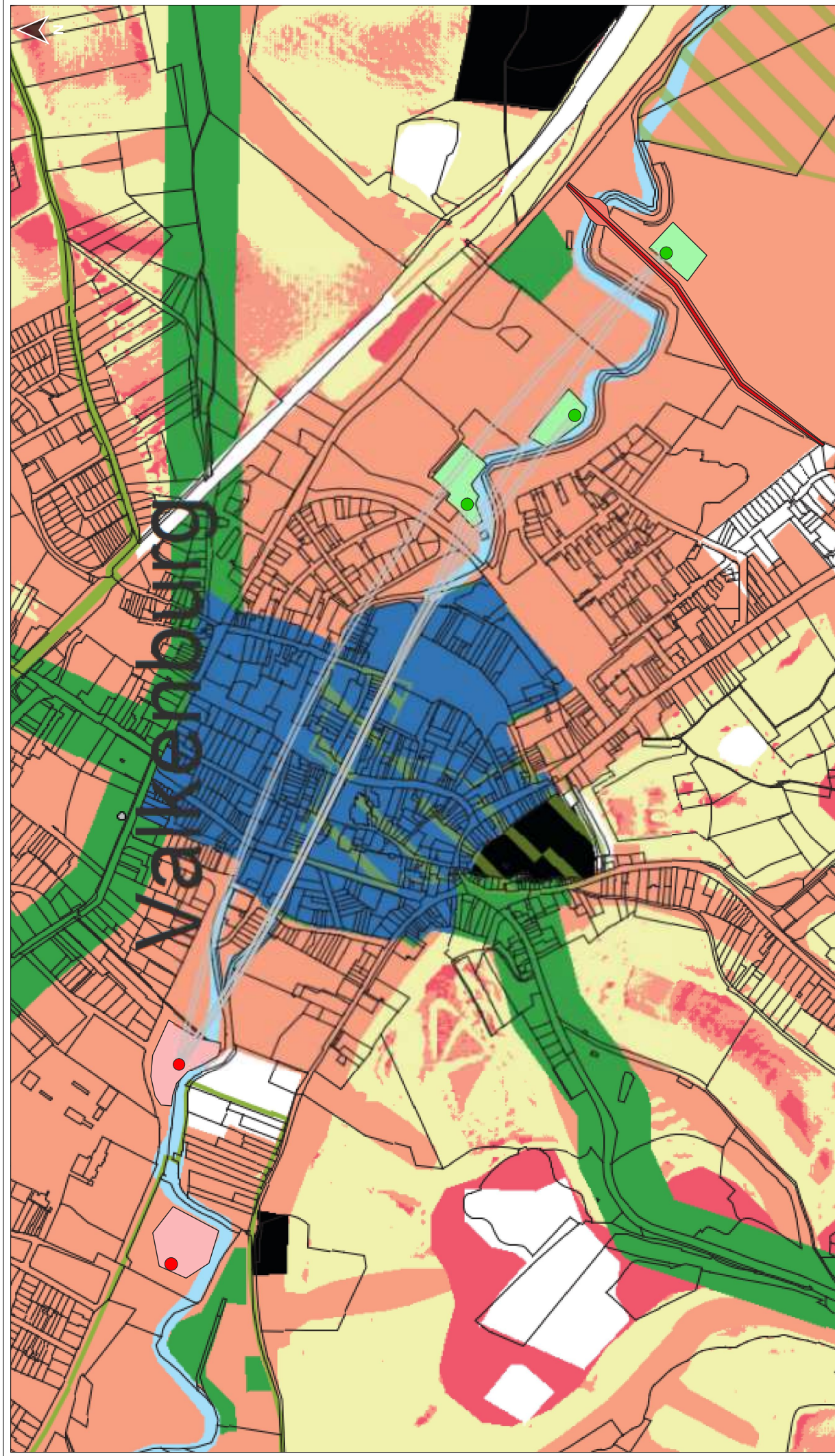


BIJLAGE: GRONDWATERSTANDEN LAAG





BIJLAGE: BELEIDSKAART ARCHEOLOGIE



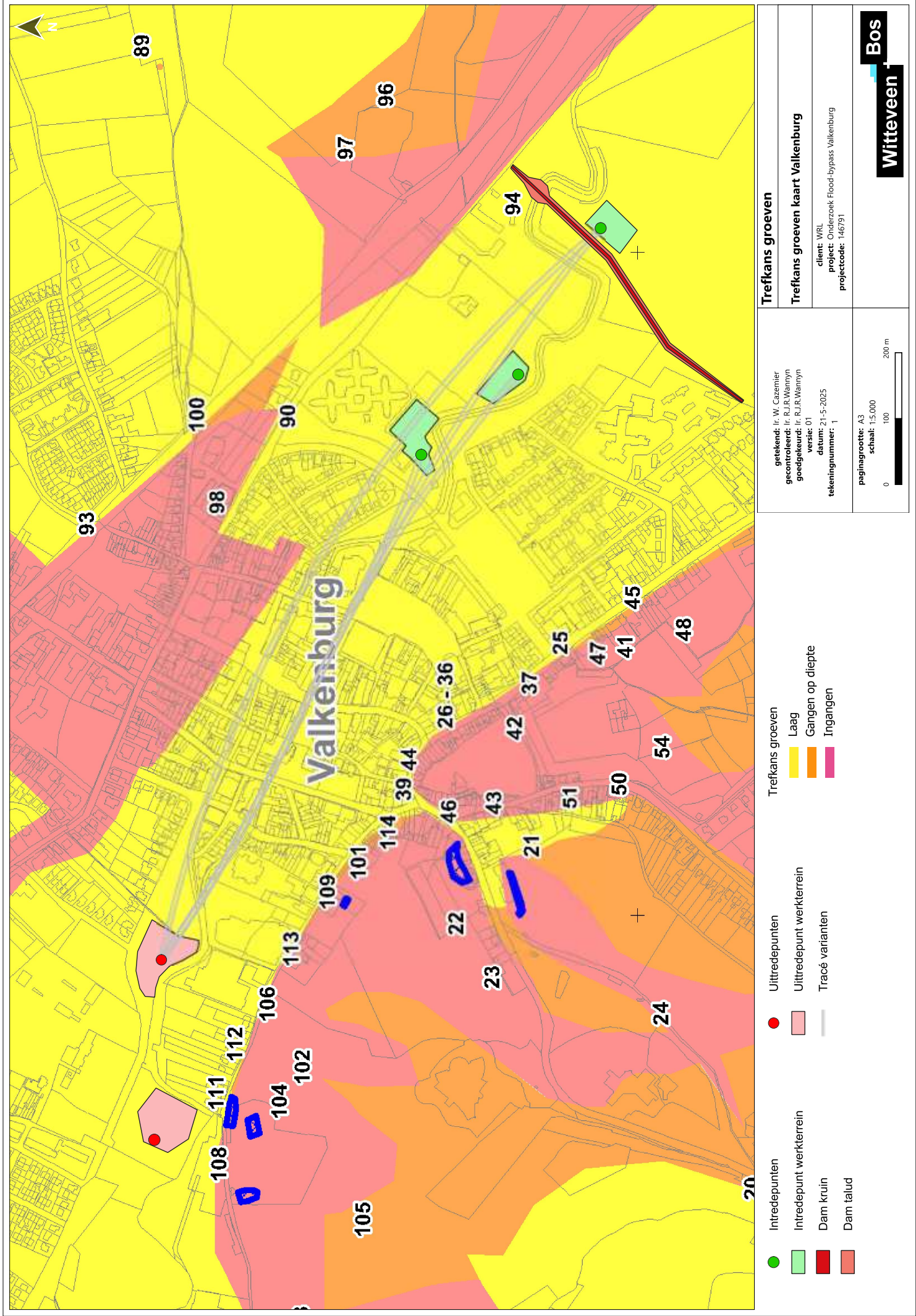
Archeologie	
getekend: Ir. W. Cazemier gecontroleerd: Ir. R.J.R. Wannyn goedgekeurd: Ir. R.J.R. Wannyn versie: 01 datum: 21-5-2025 tekeningnummer: 1	Archeologische beleidskaart Valkenburg
paginagrootte: A3 schaal: 1:5.000 0 100 200 m	client: WRL project: Onderzoek Flood-bypass Valkenburg projectcode: 146791
Bos Witteveen +	

Archeologische beleidswaarde	
Uitredpunten	Archeologische beleidswaarde
Intredpunten	Categorie 1
Intredpunt werkterrein	Categorie 2
Dam kruin	Categorie 3
Dam talud	Categorie 4
	Categorie 5
	Categorie 6
	Categorie 7

Uitredpunten	Uitredpunt werkterrein	Tracé varianten	Beschermd stads- of dorpsgezicht
Intredpunten	Intredpunt werkterrein	Tracé varianten	Beschermd stads- of dorpsgezicht
Intredpunt werkterrein	Intredpunt werkterrein	Tracé varianten	Beschermd stads- of dorpsgezicht
Dam kruin	Dam kruin	Tracé varianten	Beschermd stads- of dorpsgezicht
Dam talud	Dam talud	Tracé varianten	Beschermd stads- of dorpsgezicht

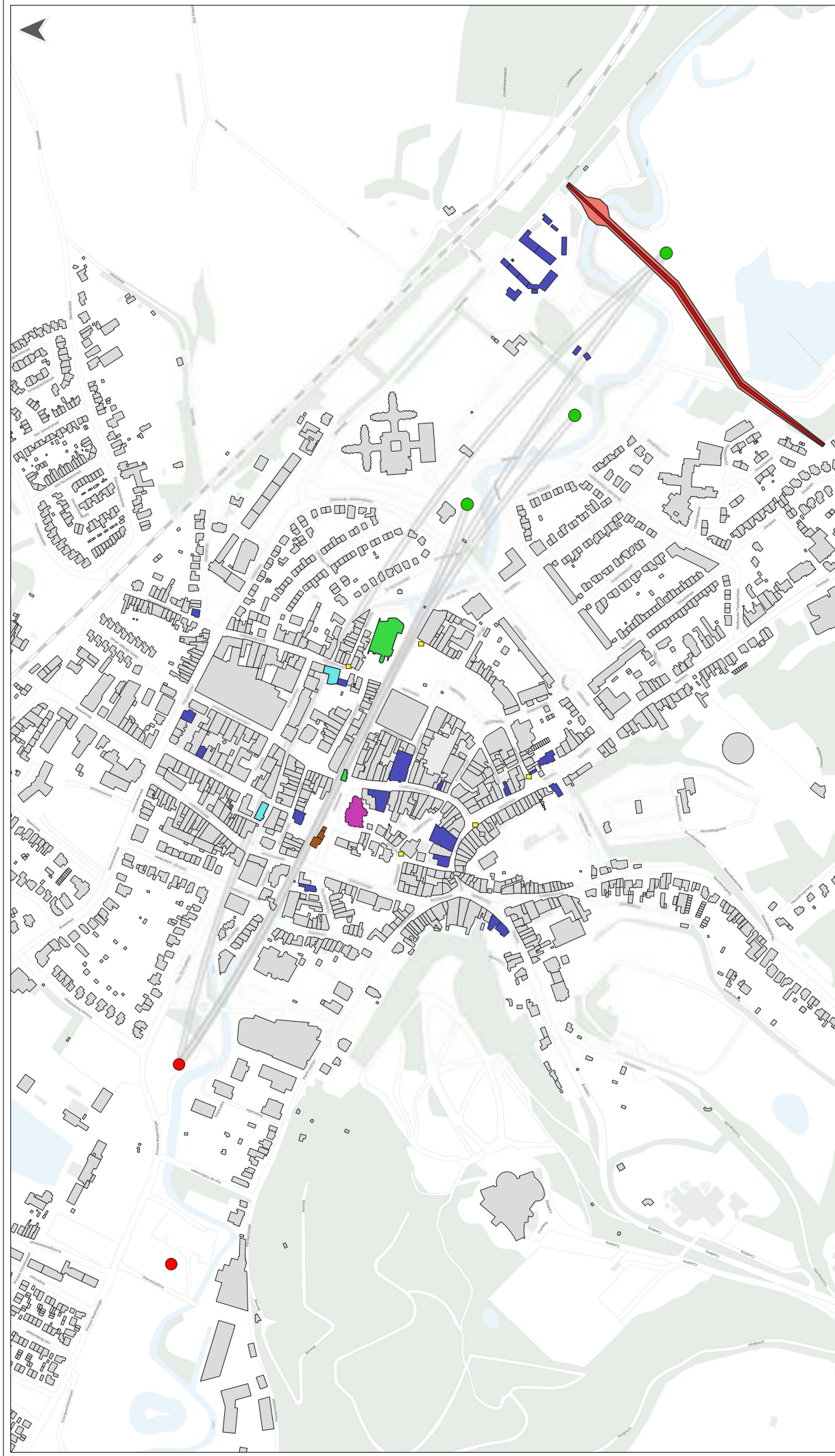
XI

BIJLAGE: TREFKANS ARCHEOLOGIE EN GROEVES



XII

BIJLAGE: GEBOUWEN MET CULTUURHISTORISCHE WAARDE



Cultuurhistorische waardekaart	
Gebouwen met cultuurhistorische waarden	
getekend: Ir. W. Cazeemier gecontroleerd: Ir. R.J.R. Wannyn goedgekeurd: Ir. R.J.R. Wannyn versie: 01 datum: 28-5-2025 tekeningnummer: 1	client: WRL project: Onderzoek Flood-bypass Valkenburg projectcode: 146791
paginagrootte: A3 schaal: 1:5.000 0 100 200 m	Bos Witteveen

XIII

BIJLAGE: BODEMLOKET



XIV

BIJLAGE: UITGEBREIDE NOTITIE OMGEVINGSASPECTEN

NOTITIE

Onderwerp	Omgevingsaspecten Valkenburg
Project	Onderzoek Flood-Bypass Valkenburg
Opdrachtgever	WRL
Projectcode	146791
Projectleider	Ir. R.J.R. Wannyn
Status	Concept 02
Datum	2 juni 2025
Referentie	-
Auteur(s)	Mr. H.C. Meeder
Gecontroleerd door	Mr. J. Tuit
Goedgekeurd door	Mr. J. Tuit
Paraaf	

1 INLEIDING

In 2022 is door Deltares een watersysteemanalyse uitgevoerd. Daarin is de mogelijkheid van een flood-bypass onder Valkenburg bekeken. Een eerste conclusie uit deze analyse was dat een flood-bypass de problemen in Valkenburg tijdens de hoogwatergolf van 2021 grotendeels had kunnen voorkomen. In de watersysteemanalyse werd ook geconcludeerd dat de benedenstroomse waterstandstijging als gevolg van een flood-bypass beperkt zou zijn. In deze notitie wordt ten eerste besproken hoe een flood-bypass zich verhoudt tot het Rijks-, provinciale en regionale beleid. Daarnaast bevat deze notitie een inventarisatie van de mogelijk benodigde vergunningen voor de aanleg van de flood-bypass. Ten slotte wordt ingegaan op overige juridische aspecten, waaronder een eventuele mer-(beoordelings)plicht en de procedure die van toepassing is op de vergunningaanvragen.

2 BELEIDSKADER

2.1 Rijksbeleid

2.1.1 Nationaal Water Programma 2022-2027

Het realiseren van de flood-bypass in Valkenburg sluit goed aan bij hoofdambitie 1 (een veilige en klimaatbestendige delta) van het Nationaal Water Programma 2022-2027 (NWP). Het is een preventieve maatregel die het overstromingsrisico verlaagt, ruimtelijke adaptatie bevordert en inspeelt op de toekomstige gevolgen van klimaatverandering.

In het kader van het streven Nederland te handhaven als de best beschermde delta ter wereld, bouwt het Rijk voort op bestaande strategieën zoals de overstromingsrisicobenadering en het concept van meerlaagsveiligheid. De aanleg van een flood-bypass valt binnen de eerste laag van dit veiligheidsprincipe, gericht op het zoveel mogelijk voorkomen van overstromingen.

In het NWP wordt benoemd dat Nederland uiterlijk in 2050 klimaatbestendig en waterrobuust moet zijn ingericht. Flood-bypass-projecten dragen hieraan bij doordat zij ruimte creëren voor waterafvoer en zodoende de robuustheid van het watersysteem versterken.

De flood-bypass levert een directe bijdrage aan het reduceren van overstromingsrisico's. De aanleg van een flood-bypass is dus beleidsmatig te rechtvaardigen als een passende invulling van de doelstellingen uit het NWP.

2.2 Provinciaal beleid

2.2.1 Omgevingsverordening Limburg

De omgevingsverordening vervangt alle bestaande verordeningen die betrekking hebben op de leefomgeving, zoals de Provinciale Ruimtelijke Verordening (PRV) en de Waterverordeningen. De Omgevingsverordening Limburg is vastgesteld op 1 januari 2024. De laatst gewijzigde versie is op 3 februari 2025 in werking getreden.

Artikel 8.0b, eerste lid, Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl) bepaalt dat bij een aanvraag om een BOPA de provinciale instructieregels het beoordelingskader vormen van een BOPA. Deze instructieregels zijn opgenomen in de provinciale omgevingsverordening van de provincie Limburg. Voor het aanleggen van de flood-bypass zijn de volgende instructieregels van belang:

- artikel 7.1 Bescherming van het Nationaal landschap Zuid-Limburg;
- artikel 7.6 Instructieregels kernkwaliteiten in de groenblauwe mantel;
- artikel 8.2 Instructieregels voor omgevingsplannen Natuurnetwerk Limburg;
- artikel 8.9 Instructieregel ter bescherming van de natuurbekzone.

Voor de vergunningplichten uit de Omgevingsverordening Limburg wordt verwezen naar paragraaf 3.4.

2.3 Regionaal beleid

2.3.1 Klimaatadaptatiestrategie Maas en Mergelland 2023-2027

In de Klimaatadaptatiestrategie Maas en Mergelland 2023-2027 wordt benadrukt dat men streeft naar een klimaatbestendig Heuvelland in 2035, met een primaire focus op het voorkomen van schade door extreme neerslag en overstromingen. De flood-bypass sluit goed aan bij deze ambitie.

2.3.2 Waterketenplan Maas en Mergelland 2023-2027

Een flood-bypass helpt om extreme natte situaties op te vangen. Daarmee draagt het bij aan een klimaatbestendig watersysteem dat past bij het doel "*niet te nat, niet te droog*" uit het Waterketenplan Maas en Mergelland 2023-2027.

3 MOGELIJK BENODIGDE VERGUNNINGEN

3.1 Planologische inpassing

In het ontwerp kunnen voor elk van de drie hoofdonderdelen (inlaat, tunnel en uitlaat) van de flood-bypass verschillende keuzes worden gemaakt. In dit hoofdstuk zal worden toegelicht hoe deze verschillende varianten zich verhouden tot het omgevingsplan van de gemeente Valkenburg.

In het gehele projectgebied is het bestemmingsplan 'Initieel Omgevingsplan Valkenburg aan de Geul 2022' van toepassing. Dit bestemmingsplan is onderdeel van het tijdelijke deel van het omgevingsplan van de gemeente Valkenburg.

3.1.1 Inlaat

Op alle drie de mogelijke locaties van het intredepunt en het werkterrein van de inlaat, geldt de dubbelbestemming 'Waterstaat - Inundatiegebied'. Artikel 65.1 van het Initieel Omgevingsplan Valkenburg aan de Geul 2022 bepaalt dat de voor 'Waterstaat - Inundatiegebied' gronden, behalve voor de daar voorkomende bestemming(en), primair bestemd zijn voor de functie inundatiegebied overeenkomstig de Keur van het Waterschap Limburg. Het realiseren van de inlaat past binnen deze dubbelbestemming en is dus niet in strijd met het omgevingsplan van de gemeente Valkenburg.

3.1.2 Uitlaat

Variant 1: Nevengeul

De grond waarop variant 1 van de uitlaat zou komen, heeft de dubbelbestemming 'Waterstaat - Inundatiegebied'. Het plaatsen van de uitlaat op deze locatie is dus niet in strijd met het omgevingsplan van de gemeente Valkenburg (zie ook paragraaf 3.1.1).

Variant 2: Parkeerterrein Odapark

Op de locatie van variant 2 van de uitlaat, Parkeerterrein Odapark, geldt de bestemming 'Verkeer'. Het aanleggen van een uitlaat is in strijd met deze bestemming. Het omgevingsplan biedt geen binnenplanse wijzigings- of afwijkingsmogelijkheden om de opvang planologisch mogelijk te maken.

Om de uitlaat op deze locatie planologisch mogelijk te maken is een omgevingsvergunning voor een BOPA benodigd. Een BOPA is een activiteit die niet voldoet aan of in strijd is met het (tijdelijke) omgevingsplan. Het Bevoegd Gezag mag de vergunning voor een BOPA alleen verlenen als de activiteit voldoet aan een evenwichtige toedeling van functies aan locaties (artikel 8.0a, eerste lid, Bkl).

Behalve het aanvragen van een omgevingsvergunning voor een BOPA, kan ook worden gekozen voor een wijziging van het omgevingsplan. Gezien de beperkte afwijking van het geldende bestemmingsplan, ligt deze optie echter minder voor de hand vanwege de relatief ingrijpende aard ervan.

Aangezien variant 2 van de uitlaat niet past binnen het geldende bestemmingsplan, kan dit een overweging zijn om te kiezen voor variant 1.

3.2 Natuur

3.2.1 Gebiedsbescherming: Natura 2000

Natura 2000-activiteiten

De minister van Klimaat en Groene Groei (KGG) wijst gebieden aan die deel uitmaken van het Europese netwerk van natuurgebieden: Natura 2000. Activiteiten die invloed hebben op Natura 2000-gebieden worden onder de Omgevingswet Natura 2000-activiteiten genoemd. Een Natura 2000-activiteit wordt gedefinieerd als 'activiteit, inhoudende het realiseren van een project dat niet direct verband houdt met of nodig is voor het beheer van een Natura 2000-gebied, maar afzonderlijk of in combinatie met andere plannen of projecten significante gevolgen kan hebben voor een Natura 2000-gebied'. Natura 2000-activiteiten zijn vergunningplichtig op grond van artikel 5.1 eerste lid, sub e, Omgevingswet.

Indien op voorhand kan worden uitgesloten dat een activiteit significante gevolgen heeft voor een Natura 2000-gebied, is geen vergunning benodigd. Daarnaast zijn er hoofdstuk 11 van het Besluit activiteiten leefomgeving (hierna: Bal) nog andere gevallen aangewezen die zijn vrijgesteld van de vergunningplicht.

Specifiek voor het aspect stikstof geldt dat sinds de rechterlijke uitspraak van de Raad van State van 29 mei 2019¹ de ecologische gevolgen van iedere berekende depositie van 0,01 mol N/ha/jaar of meer beoordeeld

¹ ABRvS 29 mei 2019, ECLI:NL: RVS:2019:1603.

moet worden. Deze voorwaarde geldt voor zowel de aanlegfase als voor de gebruiksfase van een plan of activiteit.

Passende Beoordeling

Op grond van artikel 8.74b, eerste lid, Bkl wordt de omgevingsvergunning voor een Natura 2000-activiteit alleen verleend als uit de passende beoordeling (als bedoeld in artikel 16.53c, eerste lid, Omgevingswet) de zekerheid is verkregen dat het project de natuurlijke kenmerken van het gebied niet zal aantasten.

Bij deze conclusie mag gebruik gemaakt worden van mitigerende maatregelen. Een passende beoordeling wordt enkel opgesteld wanneer significante effecten niet op voorhand uitgesloten kunnen worden.

Als uit de Passende Beoordeling blijkt dat significante gevolgen niet kunnen worden uitgesloten, kan een vergunning enkel worden verleend indien de ADC-toets succesvol wordt doorlopen:

- A: er zijn geen alternatieve oplossingen;
- D: het project is nodig om dwingende redenen van groot openbaar belang;
- C: door middel van compenserende maatregelen wordt gewaarborgd dat de algehele samenhang van Natura 2000 bewaard blijft¹.

Natura 2000-gebieden

Het Natura 2000-gebied Geuldal bevindt zich in de directe nabijheid van het projectgebied. Op Afbeelding 3.1 is de ligging van de locaties van de verschillende varianten ten opzichte van dit Natura 2000-gebied weergegeven. Daarbij geven de donkerblauwe vlakken de locaties van varianten 1 en 2 van de uitlaat weer; de rode vlakken geven de locaties van varianten 1, 2 en 3 van de inlaat weer.

Afbeelding 3.1 Ligging beoogde varianten ten opzichte van Natura 2000-gebied Geuldal



3.2.2 Gebiedsbescherming: Natuurnetwerk Nederland (NNN)

De Omgevingsverordening Limburg bevat regels ten aanzien van het Natuurnetwerk Limburg (onderdeel van het Natuurnetwerk Nederland). Artikel 8.0b lid 1 van het Bkl bepaalt dat deze regels ook van toepassing zijn bij de beoordeling van een aanvraag van een BOPA.

Als voor de aanleg van de flood-bypass een vergunning voor een BOPA wordt aangevraagd, kan deze op grond van artikel 8.2 van de Omgevingsverordening Limburg niet worden verleend als de activiteiten:

¹ Artikel 10.24 Bkl.

- a nadelige gevolgen kunnen hebben voor de wezenlijke kenmerken en waarden van het Natuurnetwerk Limburg; of
- b kunnen leiden tot een vermindering van de kwaliteit, de oppervlakte of de samenhang tussen de gebieden van het Natuurnetwerk Limburg.¹

Artikel 8.3 van de Omgevingsverordening bepaalt dat dit niet geldt als:

- a er sprake is van een groot openbaar belang; en
- b er geen reële andere mogelijkheden zijn om in dit belang te voorzien; en
- c Uit het omgevingsplan blijkt hoe negatieve effecten waar mogelijk worden beperkt; en
- d uit het omgevingsplan blijkt hoe negatieve effecten voor het overige worden gecompenseerd, waarbij:
 - 1 de compensatie niet mag leiden tot verlies van areaal, samenhang en kwaliteit van de wezenlijke kenmerken en waarden;
 - 2 de compensatie tijdig plaatsvindt:
 - i op financiële wijze; of
 - ii in natura in nog niet gerealiseerde delen van het Natuurnetwerk Limburg.

Variant 3 van de inlaat bevindt zich binnen het Natuurnetwerk Limburg. Als voor deze variant een BOPA wordt aangevraagd, moet dus aan de voorwaarden van artikel 8.2 van de Omgevingsverordening worden voldaan.

Bij de aanleg van de flood-bypass is sprake van een groot openbaar belang, namelijk het voorkomen van overstromingen. Als wordt gemotiveerd dat er geen andere opties zijn om in dit belang te voorzien en dat negatieve effecten waar mogelijk worden beperkt en gecompenseerd, kan de vergunning voor de BOPA mogelijk toch worden verleend op grond van artikel 8.3 van de Omgevingsverordening.

3.2.3 Soortenbescherming: flora- en fauna-activiteiten

Een omgevingsvergunning flora- en fauna-activiteit is nodig voor activiteiten met mogelijke gevolgen voor van nature in het wild levende dieren of planten. Op grond van artikel 5.1, tweede lid, onder g, van de Omgevingswet is voor een flora- en fauna-activiteit slechts een vergunning vereist voor zover het gaat om een bij algemene maatregel van bestuur aangewezen geval. Deze gevallen zijn opgenomen in het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal). Een flora- en fauna-activiteit is volgens de bijlage bij artikel 1.1 van de Omgevingswet een '*activiteit met mogelijke gevolgen voor van nature in het wild levende dieren of planten*'. Flora- en fauna-activiteiten zijn als vergunningplichtig aangewezen ter bescherming van soorten op basis van de Vogelrichtlijn (paragraaf 11.2.2 Bal) en de Habitatrichtlijn (paragraaf 11.2.3 Bal), ter bescherming van andere soorten (paragraaf 11.2.4 Bal) en voor handelingen zoals het bijvoeren van bepaalde diersoorten en het uitzetten van specifieke dieren en eieren (paragraaf 11.2.5 Bal).

Uit ecologisch onderzoek moet blijken of een omgevingsvergunning nodig is, of dat in het ontwerp en aanlegplan (via het besluit vastgelegd) voldoende mitigerende maatregelen zijn opgenomen.

3.2.4 Houtopstanden

Paragraaf 11.3.2 van het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) bevat regels ten aanzien van het vellen van houtopstanden. Ten eerste geldt voor het geheel of gedeeltelijk vellen van houtopstanden een meldplicht op grond van artikel 11.126, eerste lid, Bal. Dit houdt in dat ten minste vier weken van tevoren (maar niet eerder dan een jaar) melding worden gedaan. Daarnaast bepaalt artikel 11.129, eerste lid, Bal dat als een houtopstand geheel of gedeeltelijk is geveld, dezelfde grond binnen drie jaar moet worden herbeplant.

¹ De regel uit artikel 8.2 van de Omgevingsverordening Limburg betreft een instructieregel voor het omgevingsplan, maar is op grond van artikel 8.0b, eerste lid, van het Bkl ook van toepassing op een buitenplanse omgevingsplanactiviteit.

De algemene regels over het vellen van houtopstanden uit het Bal zijn onder andere niet van toepassing op houtopstanden met een (totale) oppervlakte van minder dan 10 are en houtopstanden die bestaan uit een rijbeplanting van maximaal 20 bomen (artikel 11.111, tweede lid, onder j, Bal).

Daarnaast zijn de regels alleen van toepassing op houtopstanden buiten de 'bebouwingscontour houtkap' zoals die is opgenomen in het omgevingsplan (artikel 11.111, tweede lid, onder a, Bal). Zolang het omgevingsplan geen bebouwingscontour houtkap aanwijst, geldt de bebouwde kom als bebouwingscontour houtkap (artikel IV, vierde lid, Aanvullingsbesluit natuur).

Voor het vellen van houtopstanden *binnen* de bebouwingscontour houtkap gelden de regels uit het omgevingsplan, in dit geval de regels uit de Verordening Fysieke Leefomgeving (VFLO) van de gemeente Valkenburg (totdat de gemeente Valkenburg een nieuw omgevingsplan heeft vastgesteld, maakt de VFLO deel uit van het tijdelijke deel van het omgevingsplan). Artikel 3.9.1, eerste lid, van de VFLO Valkenburg bevat een verbod om zonder vergunning een houtopstand te vellen of laten vellen. De uitzonderingen op dit verbod zijn opgenomen in het tweede lid van artikel 3.9.1.

3.3 Ontgrondingsactiviteiten

Op grond van artikel 5.1, eerste lid, onder c, van de Omgevingswet is het verboden een ontgrondingsactiviteit te verrichten, tenzij het gaat om een bij algemene maatregel van bestuur aangewezen geval. Als ten behoeve van het project ontgrondingen plaatsvinden en deze niet onder een vrijstelling vallen, is dus een omgevingsvergunning benodigd. De vrijstellingen zijn opgenomen in de artikelen 16.7 en 16.8 van het Bal voor ontgrondingsactiviteiten op land, in regionale wateren en in een winterbed van een rivier in beheer bij het Rijk. Artikel 16.7, onder f, van het Bal is geen vergunning benodigd voor het ontgronden voor het bouwen, in stand houden of slopen van een bouwwerk.

3.4 Vergunningplicht Omgevingsverordening

Op grond van artikel 5.4 van de Omgevingswet is het verboden zonder omgevingsvergunning een activiteit te verrichten wanneer dat in de omgevingsverordening is bepaald.

Artikel 7.4, eerste lid, van de Omgevingsverordening Limburg bevat een verbod om zonder omgevingsvergunning grondwerkzaamheden uit te voeren in een beekdal, in een bron of bronzone in het beschermingsgebied Nationaal Landschap Zuid-Limburg. Variant 3 van de inlaat bevindt zich binnen een beekdal in het beschermingsgebied Nationaal Landschap Zuid-Limburg. Als binnen dit gebied grondwerkzaamheden worden uitgevoerd, is hiervoor dus een vergunning benodigd. Er is geen vergunning vereist als de werkzaamheden niet leiden tot aantasting van het reliëf (artikel 7.4, vierde lid, Omgevingsverordening Limburg).

3.5 Vergunningplicht Waterschapsverordening

Artikel 5.3 van de Omgevingswet bepaalt dat het verboden is zonder omgevingsvergunning een activiteit te verrichten wanneer dat in de waterschapsverordening is bepaald.

Artikel 2.13 van de Waterschapsverordening Limburg bevat een verbod om zonder vergunning een overkluizing aan te leggen in een primair of secundair water. De Geul in Valkenburg is een primair water. Voor het aanleggen van de overkluizing moet dus een vergunning worden aangevraagd.

Op grond van artikel 2.23 van de Waterschapsverordening Limburg is het daarnaast verboden zonder vergunning een bouwwerk aan te leggen in de kernzone, het profiel van de vrije ruimte, een Meanderzone of een inundatiegebied. Zowel variant 1, 2 als 3 van de inlaat bevindt zich in een inundatiegebied. Variant 1 van de uitlaat bevindt zich ook in een inundatiegebied. Varianten 1 en 2 van de inlaat bevinden zich mogelijk in het profiel van de vrije ruimte. Variant 3 van de inlaat bevindt zich ten slotte in de Meanderzone. Deze vergunning moet dus worden aangevraagd.

4 OVERZICHT (EVENTUEEL) BENODIGDE VERGUNNINGEN

In Tabel 4.1 is een overzicht opgenomen van de vergunningen die mogelijk benodigd zijn voor het aanleggen van de flood-bypass. Voor een toelichting op de reguliere en de uitgebreide procedure (uniforme openbare voorbereidingsprocedure) wordt verwezen naar de paragrafen 6.1 en 6.2.

Tabel 4.1 Overzicht eventueel benodigde vergunningen

Thema	Vergunningplicht	Grondslag	Bevoegd gezag	Procedure	Onderdeel
Planologische inpassing*	Buitenplanse omgevingsplan-activiteit	Artikel 5.1, eerste lid, aanhef en onder a Omgevingswet	Gemeente Valkenburg aan de Geul	Regulier	Uitlaat – variant 2 (Odapark)
	Wijziging omgevingsplan	Artikel 4.2, eerste lid, Omgevingswet	Gemeente Valkenburg aan de Geul	Uitgebreid	Alternatief voor uitlaat – variant 2
Natuur	Natura 2000-activiteit	Artikel 5.1, eerste lid, aanhef en onder e Omgevingswet	Provincie Limburg	Uitgebreid	Inlaat, tunnel, uitlaat (alle varianten bij Geuldal)
Natuur	Flora- en fauna-activiteit	Artikel 5.1, tweede lid, aanhef en onder g Omgevingswet	Provincie Limburg	Regulier	Inlaat, tunnel, uitlaat (algemeen)
Natuur	Meldplicht vellen van houtopstanden	Artikel 11.126 Besluit activiteiten leefomgeving (meldplicht vellen houtopstanden) Artikel 11.129 Besluit activiteiten leefomgeving (plicht tot herbeplanting) Artikel 3.9.1 VFLO Valkenburg	Provincie Limburg / gemeente Valkenburg aan de Geul	4 weken van tevoren melden	Inlaat, tunnel, uitlaat (locatieafhankelijk)
Bodem en grondverzet	Ontgrondingsactiviteit	Artikel 5.1, eerste lid, aanhef en onder c Omgevingswet Artikelen 16.7, 16.8 en 16.9 Bal (vrijstellingen)	Provincie Limburg	Regulier	
Milieubeschermingsgebieden	Omgevingsvergunning Omgevingsverordening	Artikel 7.4, eerste lid, Omgevingsverordening Limburg	Provincie Limburg	Regulier	Inlaat – variant 3 (in beekdal Zuid-Limburg)
Water	Omgevingsvergunning Waterschapsverordening	Artikel 5.3 Omgevingswet Artikel 2.13 Waterschapsverordening Limburg	Waterschap Limburg	Regulier	Tunnel - varianten 1, 2, 3
		Artikel 5.3 Omgevingswet Artikel 2.23 Waterschapsverordening Limburg			Inlaat – varianten 1, 2, 3; uitlaat – variant 1

* voor planologische inpassing betreft het een keuze tussen een BOPA of wijziging van het omgevingsplan

5 MER-PLICHT

In Afdeling 16.4 van de Omgevingswet zijn regels opgenomen over de milieueffectrapportage (afgekort mer). Uit artikel 16.36 Ow volgt dat een plan-milieueffectrapport (plan-MER) moet worden gemaakt voor plannen en programma's die het kader vormen voor mer-(beoordelings)plichtige besluiten over projecten als bedoeld in artikel 16.43, eerste lid, Omgevingswet of als voor dat plan of programma op grond van artikel 16.53c Omgevingswet een passende beoordeling moet worden gemaakt.

Specifiek paragraaf 16.4.2 van de Omgevingswet bevat de grondslag voor de mer-(beoordelings)plichtige projecten en besluiten. In bijlage V afdeling 11.2 van het Omgevingsbesluit zijn de projecten en de daarvoor benodigde besluiten waarvoor een mer-(beoordelings)plicht opgenomen. De artikelen 11.6 en 11.8 van het Omgevingsbesluit geven een nadere onderbouwing hiervan.

Bijlage V Omgevingsbesluit geeft in de eerste kolom een omschrijving van het project. In de vierde kolom staan de besluiten genoemd waarvoor mer-verplichtingen gelden. Of er voor het project een mer-plicht of een mer-beoordelingsplicht geldt, volgt uit de tweede en derde kolom. Als het project voldoet aan de voorwaarden van tweede kolom, geldt een mer-plicht. Anders geldt een mer-beoordelingsplicht. Voor de aanleg, wijziging of uitbreiding van werken voor kanalisering en werken ter beperking van overstromingen (bijlage V bij het Omgevingsbesluit, categorie K4) geldt een mer-beoordelingsplicht. De besluiten waarvoor deze mer-beoordelingsplicht geldt, staan in de vierde kolom van bijlage V. In dit geval gaat het om de omgevingsvergunning voor een wateractiviteit.

6 PROCEDURE

Voor de omgevingsvergunning geldt dat de reguliere of de uniforme openbare voorbereidingsprocedure van toepassing kan zijn, afhankelijk van de aard van de activiteit.

6.1 Reguliere procedure

De hoofdregel is dat de reguliere procedure van titel 4.1 van de Algemene wet bestuursrecht wordt gevolgd (artikel 16.62, Omgevingswet). Bij de reguliere procedure beslist het bevoegd gezag normaliter binnen 8 weken (artikel 16.64, eerste lid, Omgevingswet). Deze beslistermijn kan eenmaal met maximaal 6 weken worden verlengd (artikel 16.64, tweede lid, Omgevingswet). Vervolgens kan gedurende 6 weken bezwaar worden ingediend. Daarna is nog beroep mogelijk bij de rechtbank.

6.2 Uniforme openbare voorbereidingsprocedure

In een aantal gevallen, zoals bij een projectbesluit, geldt de uniforme openbare voorbereidingsprocedure van afdeling 3.4 van de Algemene wet bestuursrecht. Bij de uniforme openbare voorbereidingsprocedure beslist het bevoegd gezag binnen 6 maanden na een aanvraag. Deze termijn is eventueel te verlengen met 6 weken. Tijdens deze procedure maakt het bestuursorgaan een ontwerpbesluit, waarover zienswijzen kunnen worden ingediend. Nadat het besluit is genomen, is er gedurende 6 weken beroep bij de rechtbank mogelijk.

Voor sommige besluiten is bepaald dat deze moeten worden voorbereid met de uniforme openbare voorbereidingsprocedure. Dit geldt bijvoorbeeld voor Natura 2000-activiteiten. De uniforme openbare voorbereidingsprocedure is ook van toepassing als de aanvrager hierom heeft verzocht of hiermee heeft ingestemd.

Het bevoegd gezag mag de uniforme openbare voorbereidingsprocedure in principe niet van toepassing verklaren op de aanvraag van een omgevingsvergunning (artikel 16.62, derde lid, Omgevingswet). Dit mag op grond van artikel 16.62, vierde lid, Omgevingswet wel als het gaat om de aanvraag van een omgevingsvergunning voor een buitenplanse omgevingsplanactiviteit die aanzienlijke gevolgen heeft of kan hebben voor de fysieke leefomgeving, en waartegen naar verwachting verschillende belanghebbenden bedenkingen zullen hebben.

Als voor één van de activiteiten binnen een meervoudige aanvraag de uniforme openbare voorbereidingsprocedure van toepassing is, dan geldt de uniforme openbare voorbereidingsprocedure voor alle vergunningen binnen de meervoudige aanvraag.

6.3 Coördinatie onder de Omgevingswet

In afdeling 3.5 van de Algemene wet bestuursrecht (Awb) is de coördinatieregeling opgenomen. Het regelt één uniforme procedure voor de voorbereiding, totstandkoming en rechtsbescherming (zienswijzen en beroep) van besluiten. Een belangrijk voordeel van gecoördineerde besluitvorming is de stroomlijning van procedures, zowel in de voorbereidingsfase als bij het nemen van samenhangende besluiten en de rechtsbescherming daartegen. Deze coördinatie maakt het voor het bestuursorgaan mogelijk om besluiten die noodzakelijk zijn voor de realisatie van een project gelijktijdig, dan wel in korte tijd na elkaar, te nemen. Het coördinerend bestuursorgaan heeft de mogelijkheid om fasering in de besluitvorming aan te brengen, door omwille van een doelmatige besluitvorming verschillende besluiten op te knippen in verschillende fases. Aanvragen hoeven niet allemaal tegelijkertijd te worden ingediend, artikel 3:24 Awb bepaalt dat de laatste aanvraag binnen 6 weken na de indiening van de eerste aanvraag worden ingediend. De beslistermijn gaat pas lopen als de laatste aanvraag is ingediend.

De coördinatie heeft ook betrekking op de rechtsbescherming. Om procedurelasten te beperken, bepaalt artikel 3:29 Awb dat besluiten die met toepassing van Afdeling 3.5 van de Awb zijn voorbereid, als één besluit worden aangemerkt. Daarnaast wordt de rechtsgang in twee instanties beperkt tot de gevallen waarin tegen alle gecoördineerde besluiten beroep in twee instanties openstaat. Zodra tegen één van de besluiten rechtstreeks beroep bij een hogere bestuursrechter openstaat, dan geldt dit voor het gecoördineerde besluit als geheel. Standaard rechtstreeks beroep en een versnelde termijn voor uitspraak bij de Afdeling blijft enkel voorbehouden aan specifieke besluiten binnen het omgevingsrecht (zie artikel 16.87 van de Omgevingswet).

6.3.1 Verplichte coördinatie

In sommige gevallen is toepassing van de coördinatieregeling van afdeling 3.5 van de Algemene wet bestuursrecht verplicht. Dit geldt onder andere voor de besluiten op de aanvragen om een omgevingsvergunning voor een wateractiviteit en een omgevingsvergunning voor een andere activiteit, die de aanvrager gelijktijdig heeft ingediend (artikel 16.7, eerste lid, onder a, Omgevingswet).

Als de aanvraag van een omgevingsvergunning voor het bouwen van een bouwwerk (artikel 2.23 van de Waterschapsverordening Limburg) tegelijkertijd wordt ingediend met de aanvraag van een of meer andere omgevingsvergunningen, moeten deze aanvragen dus gecoördineerd worden behandeld. Het 'andere' bestuursorgaan dan het bevoegd gezag voor de wateractiviteit is dan het coördinerend bestuursorgaan (artikel 10.25 van het Omgevingsbesluit).

6.3.2 Vrijwillige coördinatie

Ook als het gebruik van de coördinatieregeling van afdeling 3.5 Awb niet verplicht is, kan het bestuursorgaan deze toepassen op besluiten op grond van de Omgevingswet. Bestuursorganen kunnen dat zelf beslissen met een coördinatiebesluit. Daarbij kunnen ze er ook voor kiezen om de procedures van deze besluiten te coördineren met besluiten op grond van andere wetten. Wel moet er altijd sprake zijn van samenhangende besluiten. Voor de volgende besluiten is dit expliciet bepaald in artikel 16.8 van de Omgevingswet:

- een omgevingsplan;
- een waterschapsverordening;
- een omgevingsverordening;
- een programma;
- een projectbesluit of een omgevingsvergunning (niet zijnde besluiten ter uitvoering van projectbesluit voor primaire waterkeringen).

De omgevingsvergunningen die benodigd zijn voor de flood-bypass hebben verschillende bevoegde gezagen. Het vrijwillig toepassen van de coördinatieregeling bevordert in zo'n geval een efficiënte en voortvarende besluitvorming.

Daarnaast voorkomt de bundeling van beslis- en beroepsmomenten dat belanghebbenden op verschillende tijdstippen afzonderlijke maar onderling samenhangende besluiten ter discussie kunnen stellen.

Voor de realisatie van de flood-bypass zijn meerdere omgevingsvergunningen vereist, waarbij verschillende bevoegde gezagen betrokken zijn. In een dergelijk geval kan de vrijwillige toepassing van de coördinatieregeling bijdragen aan een doelmatige en efficiënte besluitvorming. Door deze regeling toe te passen, worden de benodigde besluiten gelijktijdig voorbereid, bekendgemaakt en ter inzage gelegd. Dit voorkomt ook dat belanghebbenden op verschillende tijdstippen afzonderlijke maar onderling samenhangende besluiten ter discussie kunnen stellen. De coördinatieregeling draagt op die manier bij aan rechtszekerheid, transparantie en versnelling van de besluitvorming.

6.4 Participatie

Op grond van artikel 7.4 van de Omgevingsregeling moet bij de aanvraag van een omgevingsvergunning worden aangegeven of de aanvrager aan participatie heeft gedaan, met andere woorden: of burgers, bedrijven, maatschappelijke organisaties en bestuursorganen bij de voorbereiding van de aanvraag zijn betrokken. Als dit het geval is, moet ook worden aangegeven hoe zij zijn betrokken en wat de resultaten van de participatie.

Artikel 7.4 van de Omgevingsregeling omvat geen verplichting voor de aanvrager om aan participatie te doen. Het ontbreken van participatie mag er dus niet toe leiden dat het bevoegd gezag de aanvraag buiten behandeling laat of weigert de vergunning te verlenen.

7 CONCLUSIE

In deze notitie is ten eerste gekeken naar het relevante rijks-, provinciale en regionale beleid om te beoordelen in hoeverre het project beleidsmatig inpasbaar is. Gebleken is dat het project goed aansluit bij het Nationaal Water Programma 2022–2027, in lijn is met de Omgevingsverordening Limburg, en bijdraagt aan de doelen van de Klimaatadaptatiestrategie en het Waterketenplan Maas en Mergelland 2023–2027. Daarnaast is in deze notitie onderzocht welke vergunningplichten gelden op basis van de Omgevingswet en onderliggende regelgeving. Voor een aantal onderdelen, zoals de aanleg van de uitlaat op een locatie met een strijdige bestemming, is een vergunning voor een buitenplanse omgevingsplanactiviteit (BOPA) of een wijziging van het omgevingsplan nodig kan zijn. Ook zijn er vergunningen vereist op het gebied van natuurbescherming (zoals voor effecten op Natura 2000-gebieden en beschermde soorten) en voor technische ingrepen zoals ontgroningen of werkzaamheden in inundatiegebieden. Verder zijn specifieke vergunningen benodigd op basis van de Omgevingsverordening Limburg en de Waterschapsverordening Limburg.

Bij de aanleg van de flood-bypass spelen ten slotte verschillende juridische aspecten een rol:

- Mer-(beoordelings)plicht: Er geldt een project-mer-beoordelingsplicht op grond van categorie K4 uit bijlage V bij het Omgevingsbesluit.
- Vergunningprocedures: Afhankelijk van de aard van de aanvraag is de reguliere of de uniforme openbare voorbereidingsprocedure van toepassing.
- Coördinatie: Voor samenhangende vergunningaanvragen kan de coördinatieregeling uit de Awb worden toegepast, al dan niet verplicht.
- Participatie: Hoewel participatie niet verplicht is, moet de aanvrager aangeven of participatie heeft plaatsgevonden en wat de resultaten daarvan zijn.

XV

BIJLAGE: NATURA2000

XVI

BIJLAGE: NATUURNETWERK NEDERLAND



Natuurnetwerk Nederland	
getekend: Ir. W. Cazemier gecontroleerd: Ir. R.J.R. Wannyn goedgekeurd: Ir. R.J.R. Wannyn versie: 01 datum: 21-5-2025 tekeningnummer: 1	Gebied natuurnetwerk nederland rondom Valkenburg
paginagrootte: A3 schaal: 1:7500 0 100 200 m	client: WRL project: Onderzoek Flood-bypass Valkenburg projectcode: 146791
Bos Witteveen +	

- Intredepunten
- Intredepunten werkkerreinen
- Dam kruin
- Dam talud
- Ultraredepunten
- Ultraredepunten werkkerreinen
- Tracé varianten
- Gebied onder NAP + 71,5 m
- Natuurnetwerk Nederland

XVII

BIJLAGE: KRITIEKE FUNDERINGEN



Kritieke infrastructuur

ESRI

Damwand kade

Kritieke funderingen

getekend: Ir. W. Cazenier
gecontroleerd: Ir. R.J.R. Wannyn
goedgekeurd: Ir. R.J.R. Wannyn
versie: 02
datum: 20-8-2025
tekeningnummer: 02

Kritieke funderingen en damwanden
Kritieke funderingen en damwanden in het
projectgebied

client: WLR
project: Onderzoek Flood-Bypass Valkenburg
projectcode: 146791

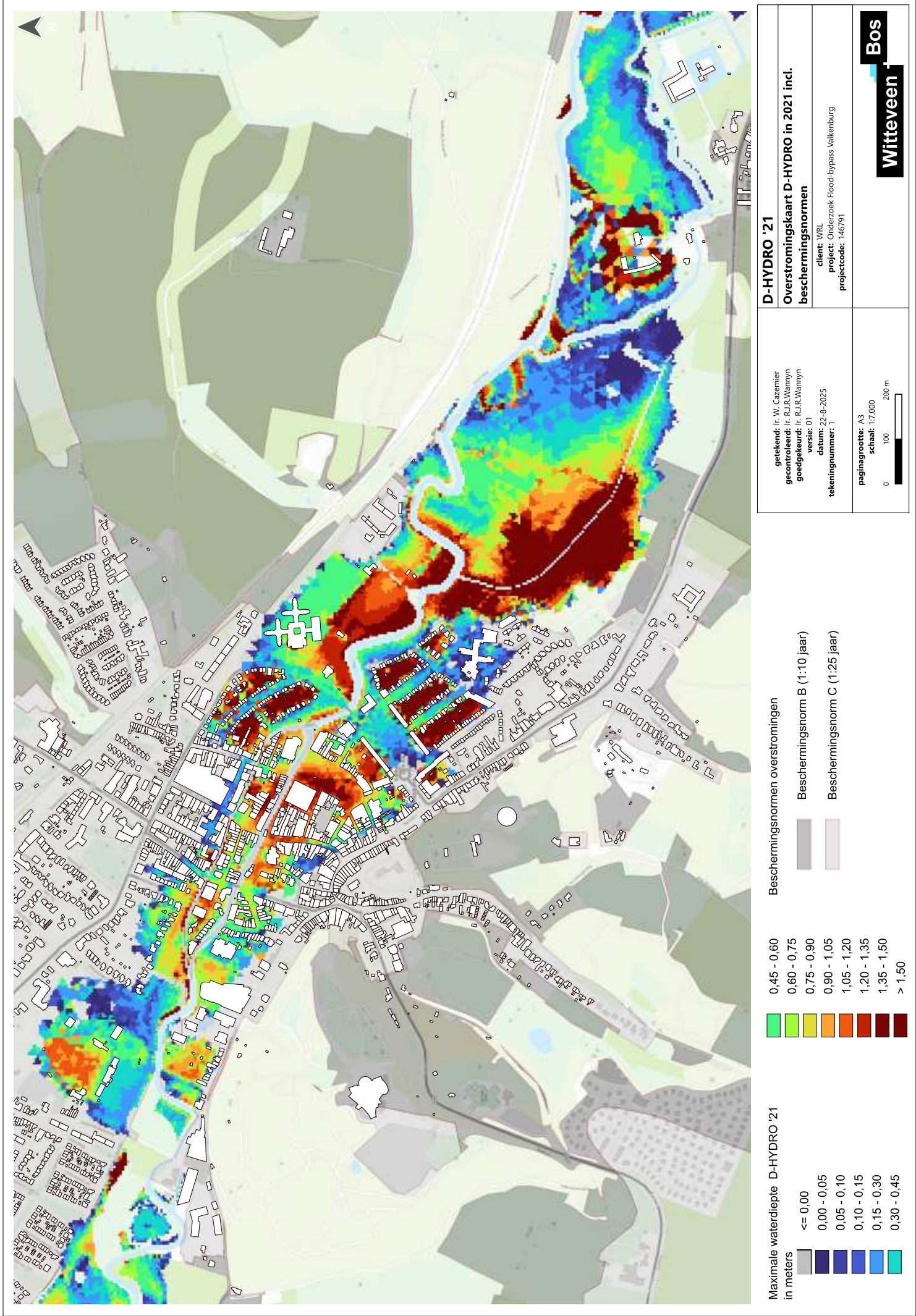
paginagrootte: A4
schaal: 1:2.500

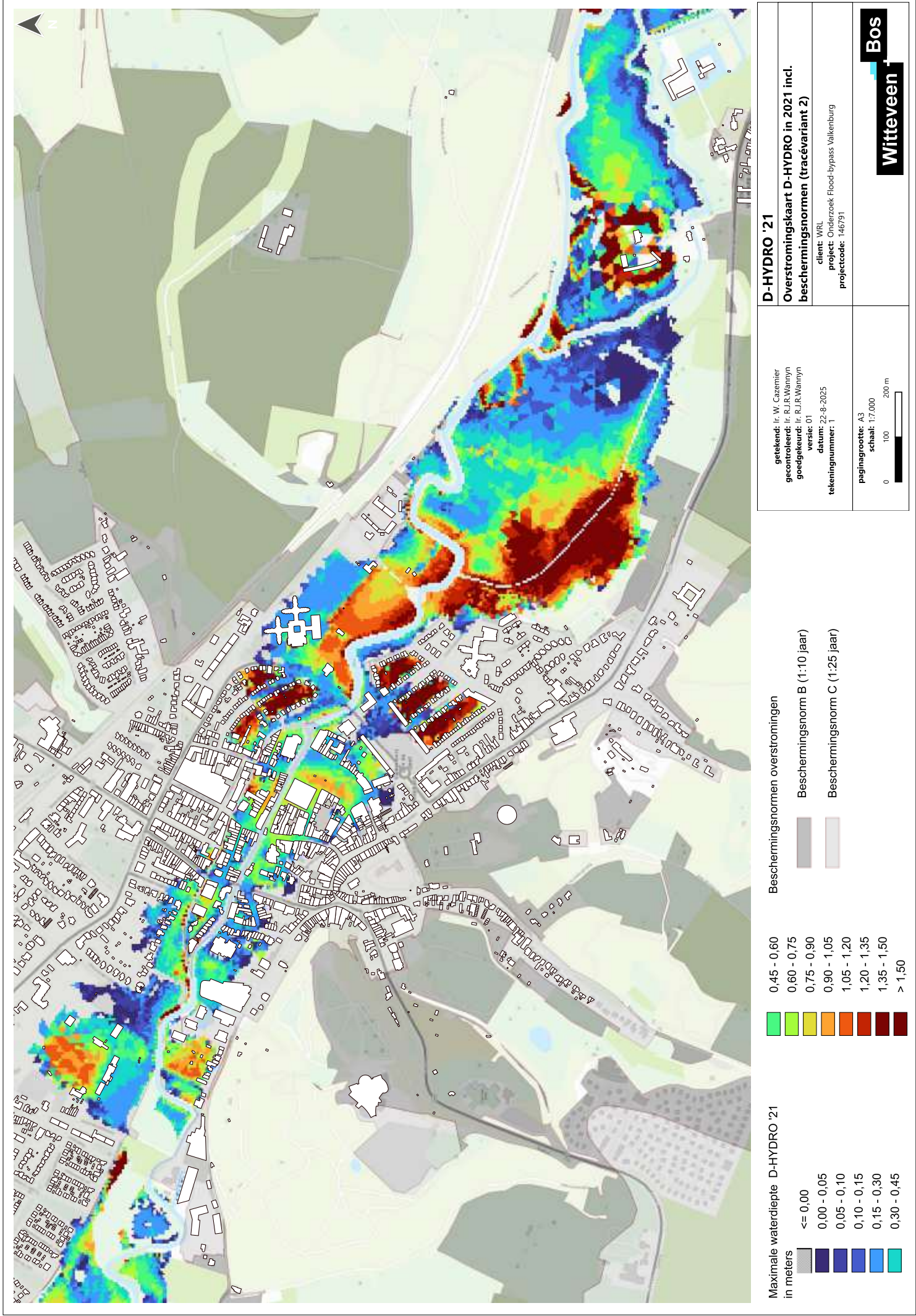


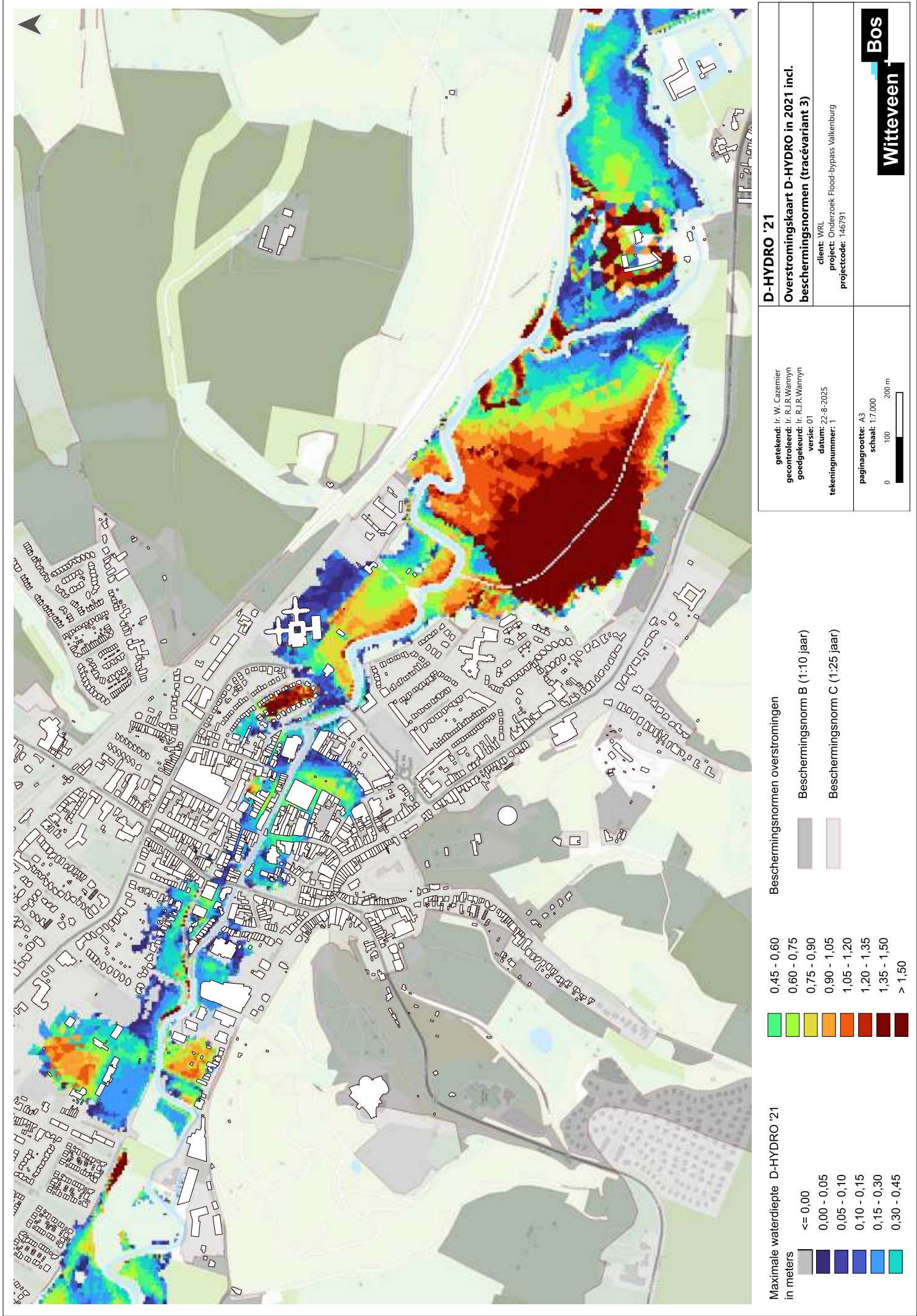
Bos
Witteveen

XVIII

BIJLAGE: D-HYDRO '21 REKENRESULTATEN







XIX

BIJLAGE: HYDMOD BEREKENING TRACÉVARIANT 1 - 2 X Ø3,5 M



Hydraulische berekening

project Onderzoek Flood-bypass Valkenburg WRL
opdrachtgever WRL
projectcode 146791

omschrijving bere Tunnel

kenmerk berekening

opgesteld door Ir. W. Cazemier/Ir. O. Bakker

goedgekeurd door

status Definitief

datum 2-9-2025

Debiet 51,37 m³/s

Totaal peilverschil 2,200 m

Lengte Inlaat 15,00 m

Hoogte Inlaat 2,70 m

Lengte Uitlaat 13,0 m

Hoogte Uitlaat 3,0 m

K-waarde beton 1,00 mm

		Eenheid	systeem param.	Q nom	Verlies	opmerkingen & bronvermelding
	Hoeveelheid water (Qt)	m ³ /h		184932		Debiet in m ³ /h
	Hoeveelheid retourslib (Qr1)	m ³ /h		0		
	Hoeveelheid bypasswater (Qb)	m ³ /h		0		
	hoeveelheid retourslib (Qr2)	m ³ /h		0		
	Startpeil	N.A.P.		67,492		
Module 1	Uitstroom Geul Startpeil Qb(ranch) Qc(ommonchannel) B, Breedte uitlaat H, Hoogte uitlaat Fb(ranch) Qb/Qc Fb/Fc Fc/Fb Xc,b G, versnelling V, stroomsnelheid dh = PEIL .	N.A.P. m ³ /h m ³ /h m2 m m m2 - - - - m/s2 m/s m N.A.P.	9,81 13,0 3,0	67,492 184932 482400 50,7 39 0,38 0,77 1,30 0,155 1,317 0,014 67,506	0,014	Q.b.v. breedte 13 m, hoogte 3,9 m Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze Idelchik, pagina 260, verlies uitstroom branch á 30 graden
Module 2	ROOSTER PEIL . dh = PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P. m N.A.P.		67,506 0,100 67,606	0,100	
Module 3	GOOT UITSTROOM PEIL VOOR ROOSTER Qo = bpo, bodempeil goot b, breedte goot yo1, waterhoogte stuwende afvoer yo2, waterhoogte vrije afvoer yo maatg. einde goot (grootste yo) Ao, natte doorsnede einde goot vo, stroomsnelheid einde goot L, lengte goot k, wandruwheid R, hydraulische straal C, chezy coefficient dh1, energieverlies: L*vo²/C²/R dh2, incidentele verliezen: xi = PEIL BEGIN GOOT	N.A.P. m ³ /h N.A.P. m m m m m² m/s m mm m m ⁴ /s m m N.A.P.	63,500 13,00 30,0 1,00	67,606 184932 4,106 1,167 4,106 53,37 0,96 2,516 79,3 0,000 0,012 67,618	0,012	Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze
Module 4	GOOTVERNAUWING PEIL BEGIN GOOT Q = peil gootbodem b2, breedte goot b1, breedte voor gootverbreding h2, waterdiepte achter gootvernaauwing A2, doorsnede achter vernaauwing v2, snelheid achter gootverbreding h1, vorig h1, nieuw A1, doorsnede voor gootvernaauwing v1, snelheid voor vernaauwing Energieverlies = xi(v1²-v2²)/2g xi = h1, voor gootvernaauwing PEIL VOOR GOOTCONSTRUCTIE	N.A.P. m ³ /h N.A.P. m m m m² m/s m m m² m/s m m N.A.P.	63,500 13,00 20,00	67,618 184932 4,118 53,53 0,96 4,12 4,12 82,46 0,62 0,01 4,12 67,623	0,005	Doorgaande gootbodem.
Module 5	DREMPEL UIT VERTICALE LEIDING PEIL VOOR GOOTCONSTRUCTIE Qo = peil drempel drempellengte (totaal) h3, tov drempelpeil overstortende straal (als volkomen) de overlaat is gewenste reserve reserve reserve ... PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P. m ³ /h N.A.P. m m m m m m m m N.A.P.	63,500 50,27 0,000	67,623 184932 -4,12 0,678 onvolk. -3,671 tekort 67,626	0,003	Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze

		Eenheid	systeem param.	Q nom	Verlies	opmerkingen & bronvermelding
Module 6	VERTICALE LEIDING PEIL VOOR DREMPEL Q = 1 .Qt L, lengte leiding D, inwendige diameter leiding A = v = k, wandruwheid beton C, Chezy coefficient = lambda, l = Energieverliezen: - xi, uittredeverlies - xi, wrijving (xi = l*D/D) - xi, bochten en knikken: Hydraulisch glad(1) of ruw(2) 0 5 °BOCHT 0 60 °BOCHT 1 90 °BOCHT 0 SCHUIFAFSLUITER 0 VLINDERKLEP standaard - xi, intredeverlies ----- - totaal xi = dh = 0,33 .v²/2g PEIL .	N.A.P. m³/h m m m² m/s mm m^(1/2)/s - - 0,01 0,00 0,00 0,32 0,00 0,00 0,00 m N.A.P.	67,626 184932 20 16,00 201,062 0,255 1,00 84,3 0,011 0,01 0,00 0,00 0,32 0,00 0,00 0,00 0,33 0,001 67,627	2 2 2	0,001	Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze module voldoet
Module 7	VERWIJDING PEIL . Qo = 0,5 .Qt dimensionale verwijding (2 of 3) D1, inv. diameter voor verwijding D2, inv. diameter na verwijding A1, oppervlak voor verwijding A2, oppervlak na verwijding v1, snelheid voor verwijding alpha, hoek verwijding k, coefficient xi, verlies dh = 1,00 .v²/2g PEIL VOOR VERWIJDING	N.A.P. m³/h m m m² m² m/s graden mm m^(1/2)/s - m N.A.P.	67,627 92466 3 3,50 16,00 9,621 201,062 2,670 90,00 1,100 0,997 0,362 67,990	0,362	0,362	Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze
Module 8	TUNNEL LEIDING PEIL VOOR VERWIJDING Q = 0,5 .Qt L, lengte leiding D, inwendige diameter leiding A = v = k, wandruwheid beton C, Chezy coefficient = lambda, l = Energieverliezen: - xi, uittredeverlies - xi, wrijving (xi = l*D/D) - xi, bochten en knikken: Hydraulisch glad(1) of ruw(2) 0 45 °BOCHT 0 60 °BOCHT 0 90 °BOCHT 0 SCHUIFAFSLUITER 0 VLINDERKLEP standaard - xi, intredeverlies ----- - totaal xi = dh = 3,62 .v²/2g PEIL .	N.A.P. m³/h m m m² m/s mm m^(1/2)/s - m N.A.P.	67,990 92466 845 3,50 9,621 2,670 1,00 72,4 0,015 0,00 3,62 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 3,62 1,314 69,303	2	1,314	Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze Re » 10.000; turbulente stroming, module voldoet
Module 9	VERNAUWING PEIL . Qo = 0,5 .Qt type vernauwing abrupt (2) D1, inv. diameter voor vernauwing D2, inv. diameter na vernauwing A1, oppervlak voor vernauwing A2, oppervlak na vernauwing v1, snelheid na vernauwing xi, verlies dh = .v²/2g PEIL VOOR VERNAUWING	N.A.P. m³/h m m m² m² m/s m N.A.P.	69,303 92466 2 18,00 3,50 254,469 9,621 2,670 0,481 0,175 69,478	0,175	0,175	Geleidelijke vernauwing via verloopstuk Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze
Module 10	VERTICALE LEIDING PEIL VOOR VERNAUWING Q = 1 .Qt L, lengte leiding D, inwendige diameter leiding A = v = k, wandruwheid beton C, Chezy coefficient = lambda, l = Energieverliezen: - xi, uittredeverlies - xi, wrijving (xi = l*D/D) - xi, bochten en knikken: Hydraulisch glad(1) of ruw(2) 0 45 °BOCHT 0 60 °BOCHT 1 90 °BOCHT 0 SCHUIFAFSLUITER 0 VLINDERKLEP standaard - xi, intredeverlies ----- - totaal xi = dh = 0,33 .v²/2g PEIL .	N.A.P. m³/h m m m² m/s mm m^(1/2)/s - m N.A.P.	69,478 184932 20 16,00 254,469 0,202 1,00 85,2 0,011 0,01 0,00 0,00 0,32 0,00 0,00 0,33 0,001 69,479	0,001	0,001	Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze Re » 10.000; turbulente stroming, module voldoet
Module 11	DREMPEL IN VERTICALE LEIDING PEIL . Qo = 1 Qt peil drempel drempellengte (totaal) h3, tov drempelpeil overstortende straal (als volkomen) de overlaat is gewenste reserve reserve reserve ... PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P. m³/h N.A.P. m m m m m m N.A.P.	69,479 184932 67,000 63,62 -2,48 0,579 onvolk. 0,000 -2,093 tekort 69,484	0,005	0,005	Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze

		Eenheid	systeem param.	Q nom	Verlies	opmerkingen & bronvermelding
Module 12	GOOT INSTROOM PEIL VOOR DREMPEL $Q_o = 1 \cdot Q_t$ bpo, bodempcil goot b, breedte goot yo1, waterhoogte stuwende afvoer yo2, waterhoogte vrije afvoer yo maatg. einde goot (grootste yo) Ao, natte doorsnede einde goot vo, stroomsnelheid einde goot L, lengte goot k, wandruwheid R, hydraulische straal C, chezy coefficient dh1, energieverlies: $L \cdot v_o^2 / C^2 R$ dh2, incidentele verliezen: xi = PEIL BEGIN GOOT	N.A.P. m^3/h N.A.P. m m m m m m^2 m/s m mm m $m^{1/2}/s$ m m m N.A.P.	67,000 15,00 10,0 1,00	69,484 184932 2,484 1,061 2,484 37,26 1,38 1,866 77,0 0,002 0,024 69,510	0,026	Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze
Module 13	HEFDEUR PEIL BEGIN GOOT $Q = 1 \cdot Q_t$ B, breedte inlaat H, hoogte inlaat Af, wetted area Us, stroomsnelheid over de overstort Ce, Discharge coefficient G, versnelling Verliezen: $dh = ((Us/ce)^2) / 2g$ PEIL VOOR VERDRONKEN DOORLAAT	N.A.P. m^3/h m m m^2 m/s - m/s^2 m N.A.P.	15,0 2,7 1,00 9,81	69,510 184932 40,50 1,27 0,082 69,592	0,082	Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze Aanname: beschikbare stroomoppervlakte tussen bovenkant overstortrand en onderkant plafond wordt volledig gebruikt
Module 14	ROOSTER PEIL VOOR VERDRONKEN DOORLAAT dh = PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P. m N.A.P.		69,592 0,100 69,692	0,100	

XX

BIJLAGE: HYDMOD BEREKENING TRACÉVARIANT 1 - 1 X Ø5,0 M



Hydraulische berekening

project Onderzoek Flood-bypass Valkenburg WRL
opdrachtgever WRL
projectcode 146791
omschrijving best Tunnel
kernteam berekening opgesteld door R. W. Czemmerlin, O. Bakker
goedkeuring door
status Definitief
datum 2-9-2025
Debiet 59,02 m3/s
Totaal peilverschil 2,200 m
Lengte Inlaat 15,00 m
Lengte Uitlaat 2,70 m
Lengte Uitlaat 13,0 m
Lengte Uitlaat 3,0 m
K-waarde beton 1,00 mm

		Eenheid	systeem param.	Q nom	Verlies	opmerkingen & bronvermelding
	Hoofdeheid water (Q0)	m³/s		219472		Debiet in m³/s
	Hoofdeheid retourstels (Q01)	m³/s		0		
	Hoofdeheid bypasswater (Q0a)	m³/s		0		
	hoofdeheid retourstels (Q02)	m³/s		0		
	Startpeil	N.A.P.		67,482		
Module 1	Uitstroom Geul					
	Startpeil	N.A.P.		67,492		
	Q0 (branch)	m³/s		219472		
	Q0 (monomchannel)	m³/s		482400		
	Q0 (monomchannel)	m²		50,7		
	B, Breedte uitlaat	m	13,0			O.b.v. breedte 13 m, hoogte 3,9 m
	H, Hoogte uitlaat	m	3,0			Ontwerpskeuze
	F0 (branch)	m²				Ontwerpskeuze
	Q0 (C)	m²		39		
	F0 (C)	-		0,44		
	F0 (C)	-		0,77		
	F0 (C)	-		1,36		
	K0 (C)	-		0,263		
	G, versnelling	m/s²	9,81			Idelchik, pagina 260, verlies uitstroom branch à 30 graden
	V, stroomsnelheid	m/s		1,513		
	dh =	m		0,031		
	PEIL -	N.A.P.		67,523	0,031	
Module 2	ROOSTER					
	PEIL -	N.A.P.		67,523		
	dh =	m		0,100		
	PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P.		67,623	0,100	
Module 3	GOOT UITSTROOM					
	PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P.		67,623		
	Q0 =	m³/s		219472		
	b0, bodempell goot	m	63,500			
	b, breedte goot	m	13,00			Ontwerpskeuze
	v01, waterhoogte stovende afvoer	m		4,123		Ontwerpskeuze
	v02, waterhoogte vrije afvoer	m		1,280		
	v0, maat, einde goot (aristotische vol)	m		4,123		
	A0, natte doorsnede einde goot	m²		53,58		
	v0, stroomsnelheid einde goot	m/s		1,10		
	L, lengte goot	m	30,0			Ontwerpskeuze
	k, wandruwheid	mm	1,00			
	R, hydraulische straal	m		2,523		
	C, Chezy coefficient	m¹/³/s		79,3		
	dh1, energieverlies: L*v³/C²R	m		0,860		
	dh2, incidentale verliezen:	m		0,015		
	xi =	N.A.P.		67,638	0,016	
Module 4	GOOTVERNAUWING					
	PEIL BEGIN GOOT	N.A.P.		67,638		
	Q =	m³/s		219472		
	peil gootbodem	N.A.P.	63,500			
	b2, breedte goot	m	13,00			
	b1, breedte voor gootverbreding	m	20,00			
	h2, waterdiepte achter gootvernaauwing	m		4,138		
	A2, doorsnede achter vermaauwing	m²		53,80		
	v2, snelheid achter gootverbreding	m/s		1,10		
	h1, voorlig	m		4,15		
	h1, nieuw	m		4,15		
	A1, doorsnede voor gootvernaauwing	m²		82,91		
	v1, snelheid voor vermaauwing	m/s		0,71		
	Energieverlies = xi*v¹/v2¹/2a	m		0,01		
	xi =	m		0,01		
	h1, voor gootvernaauwing	m		4,15		
	PEIL VOOR GOOTCONSTRUCTIE	N.A.P.		67,645	0,007	
Module 5	DREMPEL UIT VERTICALE LEIDING					
	PEIL VOOR GOOTCONSTRUCTIE	N.A.P.		67,645		
	Q =	m³/s		219472		
	peil drempel	N.A.P.	63,500			
	drempelpellende (totaal)	m	50,27			Ontwerpskeuze
	h3, tov drempelpell	m		-4,15		Ontwerpskeuze
	overstortende straal (als volkomen)	m		0,744		
	de overlaat is ...	m		onvolk.		
	gewenste reserve	m	0,000			
	reserve	m		-3,650		
	PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P.		67,649	0,004	
Module 6	VERTICALE LEIDING					
	PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P.		67,649		
	Q =	m³/s		219472		
	L, lengte leiding	m	20			Ontwerpskeuze
	D, inwendige diameter leiding	m	16,00			Ontwerpskeuze
	A =	m²	201,082			
	v =	m/s		0,294		
	k, wandruwheid	mm	1,00			Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
	C, Chezy coefficient =	m¹/³/s	84,3			
	lambda, l =	-	0,011			
	Energieverliezen:					
	- xi, uitredoverlies		0,01			
	- xi, wrijving (xi = f*L/D)					
	- xi, bochten en knikken:					
	Hydraulisch glad(1) of ruw(2)					
	0 5 °BOCHT		0,00			
	0 60 °BOCHT		0,00			
	1 90 °BOCHT		0,32			
	0 SCHUIFAFSLUITER		0,00			
	0 VUNDERKLEP		0,00			
	- xi, intredevlies		0,00			
	- totaal xi =		0,33			
	dh =	m	0,33			
	PEIL	N.A.P.		67,651	0,001	
Module 7	VERWIJING					
	PEIL -	N.A.P.		67,651		
	Q =	m³/s		106236		
	dimansionale verwijding (2 of 3)	m	3			
	D1, zw. diameter voor verwijding	m	3,50			Ontwerpskeuze
	D2, zw. diameter na verwijding	m	16,00			Ontwerpskeuze
	A1, oppervlak voor verwijding	m²	9,621			
	A2, oppervlak na verwijding	m²	201,082			
	v1, snelheid voor verwijding	m/s		3,087		
	alpha, hoek verwijding	graden	90,00			
	k, coefficient	mm	1,100			
	xi, verlies	m	0,997			
	dh =	m		0,478		
	PEIL VOOR VERWIJING	N.A.P.		68,129	0,478	
Module 8	TUNNEL LEIDING					
	PEIL VOOR VERWIJING	N.A.P.		68,129		
	Q =	m³/s		219472		
	L, lengte leiding	m	846			Ontwerpskeuze
	D, inwendige diameter leiding	m	5,00			Ontwerpskeuze
	A =	m²	19,635			
	v =	m/s		3,006		
	k, wandruwheid	mm	1,00			Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
	C, Chezy coefficient =	m¹/³/s	75,2			
	lambda, l =	-	0,014			
	Energieverliezen:					
	- xi, uitredoverlies		0,00			
	- xi, wrijving (xi = f*L/D)		2,35			
	- xi, bochten en knikken:					
	Hydraulisch glad(1) of ruw(2)					
	0 45 °BOCHT		0,00			
	0 60 °BOCHT		0,00			
	0 90 °BOCHT		0,00			
	0 SCHUIFAFSLUITER		0,00			
	0 VUNDERKLEP		0,00			
	- xi, intredevlies		0,00			
	- totaal xi =		2,35			
	dh =	m	1,081			
	PEIL -	N.A.P.		69,210	1,081	

		Eenheid	systeem param.	Q nom	Verlies	opmerkingen & bronvermelding
Module 9	VERNAUWING PEIL - Qo = 0,5 Qt type vernauwing abrupt (2) D1, inv. diameter voor vernauwing D2, inv. diameter na vernauwing A1, oppervlak voor vernauwing A2, oppervlak na vernauwing v1, snelheid na vernauwing xi, verlies dh = PEIL VOOR VERNAUWING	N.A.P. m/h m m m² m² m/s m N.A.P.	2 18,00 3,50 254,469 8,621 0,481 0,331 69,441	69,215 106236 3,067 69,441	0,231	Getoedelijke vernauwing via verloopstuk Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze
Module 10	VERTICALE LEIDING PEIL VOOR VERNAUWING Q = 1 Qt L, lengte leiding D, inwendige diameter leiding A = v = k, wandruwheid C, Chezy coefficient = lambda, l = Energieverliezen: - xi, uitredeverlies - xi, wrijving (xi = f L/D) - xi, bochten en knikken: Hydraulisch glad(1) of ruw(2) 0 45 °BOCHT 0 60 °BOCHT 1 90 °BOCHT 0 SCHUIFASLUITER 0 VUINDERKLEP standaard - xi, intredeverlies - totaal xi = dh = PEIL	N.A.P. m³/h m m m² m/s mm m³/(s)² - 0,01 0,00 0,00 0,32 0,00 0,00 m N.A.P.	20 18,00 254,469 0,232 1,00 85,2 0,011 0,01 0,00 0,00 0,32 0,00 0,00 0,33 0,001 69,442	69,441 212472 0,232 2	0,001	Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
Module 11	DREMPEL IN VERTICALE LEIDING PEIL - peil drempel drempellengte (totaal) h3, tov drempelpeil overstortende straal (als volkomen) de overlaat is ... gewenste reserve reserve reserve PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P. m/h N.A.P. m m m m N.A.P.	67,000 63,63 0,000	69,442 212472 -2,44 0,635 onvoel. -2,018 16,001 69,449	0,007	Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze
Module 12	GOOT INSTROOM PEIL VOOR DREMPEL Qo = 1 Qt B0o, bodempelig goot B, breedte goot vo1, waterhoogte stuwende afvoer vo2, waterhoogte vrije afvoer vo maatp. einde goot (grootste vol) Ao, matte doorsnede einde goot vo, stroomsnelheid einde goot L, lengte goot k, wandruwheid B, hydraulische straal C, chezy coefficient dh1, energieverlies: L*vo³/C²/R dh2, incidentele verliezen xi = PEIL BEGIN GOOT	N.A.P. m³/h N.A.P. m m m m m² m/s m mm m m³/(s)² m m m N.A.P.	67,000 15,00 10,0 1,00 1,846 76,9 0,002 0,033 69,484	69,449 212472 2,449 1,154 2,449 36,73 1,61 1,00 1,846 76,9 0,002 0,033 69,484	0,035	Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze
Module 13	HEFDEUR PEIL BEGIN GOOT Q = 1 Qt B, breedte inlaat H, hoogte inlaat A1, wettable area Us, stroomsnelheid over de overstort Cx, Discharge coefficient G, vernedding Verliezen: dh = ((Us/cx)²/2)g PEIL VOOR VERDRONKEN DOORLAAT	N.A.P. m³/h m m m² m/s - m² m N.A.P.	15,0 2,7 40,50 1,46 1,00 9,81 0,108 69,592	69,484 212472 40,50 1,46 1,00 9,81 0,108 69,592	0,108	Ontwerpkeuze Ontwerpkeuze Aanname: beschikbare stroomoppervlakte tussen bovenkant overstortrand en onderkant plafond wordt volledig gebruikt
Module 14	ROOSTER PEIL VOOR VERDRONKEN DOORLAAT dh = PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P. m N.A.P.	69,592 0,100 69,692	69,592 0,100 69,692	0,100	

XXI

BIJLAGE: HYDMOD BEREKENING TRACÉVARIANT 2 - 2 X Ø3,5 M



Hydraulische berekening

project Onderzoek Flood-bypass Valkenburg WRL
opdrachtgever WRL
projectcode 146791
omschrijving best Tunnel
kenniskat berekening
opgesteld door R. W. Czemielin, O. Bakker
goedgekeurd door
status Definitief
datum 2-9-2025
Debiet 51,58 m3/s
Totaal peilverschil 2,500 m
Lengte Inlaat 15,00 m
Lengte Uitlaat 2,70 m
Lengte Uitlaat 13,0 m
Lengte Uitlaat 3,0 m
K-waarde beton 1,00 mm

		Eenhed	systeem param.	Q nom	Verlies	opmerkingen & bronvermelding
	Hoofdeenhed water (Qo)	m³/h		185688		Debiet in m³/s
	Hoofdeenhed retourstels (Qr1)	m³/h		0		
	Hoofdeenhed bypasswater (Qb)	m³/h		0		
	hoofdeenhed retourstels (Qr2)	m³/h		0		
	Startpeil	N.A.P.		67,482		
Module 1	Uitstroom Geul					
	Startpeil	N.A.P.		67,492		
	Q (branch)	m³/h		185688		
	Q (ommonchannal)	m³/h		482400		
	Q (ommonchannal)	m²		50,7		
	B, Breedte uitlaat	m	13,0			O.b.v. breedte 13 m, hoogte 3,9 m
	H, Hoogte uitlaat	m	3,0			Ontwerpskeuze
	F (branch)	m²		39		Ontwerpskeuze
	Ch/Dc	-		0,38		
	Fb/Fc	-		0,77		
	Fc/Fb	-		1,26		
	Xc/Dc	-		0,159		
	G, versnelling	m/s²	9,81	1,323		Idelchik, pagina 260, verlies uitstroom branch à 30 graden
	V, stroomsnelheid	m/s				
	dh =	m		0,014		
	PEIL -	N.A.P.		67,566	0,014	
Module 2	ROOSTER					
	PEIL -	N.A.P.		67,556		
	dh =	m		0,100		
	PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P.		67,656	0,100	
Module 3	GOOT UITSTROOM					
	PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P.		67,656		
	Q =	m³/h		185688		
	bpo, bodempell goot	N.A.P.	63,500			
	b, breedte goot	m	13,00			Ontwerpskeuze
	vo1, waterhoogte stuwende afvoer	m		4,106		Ontwerpskeuze
	vo2, waterhoogte vrije afvoer	m		1,170		
	vo maata, einde goot (oroortste vol)	m		4,106		
	Ao, natte doorsnede einde goot	m²		53,36		
	vo, stroomsnelheid einde goot	m/s		0,97		
	L, lengte goot	m	30,0			Ontwerpskeuze
	k, wandruwheid	mm	1,00			
	R, hydraulische straal	m		2,516		
	C, chezy coefficient	m¹/³/s		79,3		
	dh1, energieverlies: L.v²/C²/R	m		0,060		
	dh2, incidentale verliezen:	m		0,012		
	xi =	m		0,012		
	PEIL BEGIN GOOT	N.A.P.		67,618	0,012	
Module 4	GOOTVERNAUWING					
	PEIL BEGIN GOOT	N.A.P.		67,618		
	Q =	m³/h		185688		
	peil gootbodem	N.A.P.	63,500			
	b2, breedte goot	m	13,00			Doorgaande gootbodem.
	b1, breedte voor gootverbreding	m	20,00			
	h2, waterdiepte achter gootvernaauwing	m		4,118		
	A2, doorsnede achter vermauwing	m²		53,54		
	v2, snelheid achter gootverbreding	m/s		0,96		
	h1, voorig	m		4,12		
	h1, nieuw	m		4,12		
	A1, doorsnede voor gootvernaauwing	m²		82,47		
	v1, snelheid voor vermauwing	m/s		0,63		
	Energieverlies = xi.v¹.v²/2g	m		0,01		
	xi =	m		0,01		
	h1, voor gootvernaauwing	m		4,12		
	PEIL VOOR GOOTCONSTRUCTIE	N.A.P.		67,624	0,005	
Module 5	DREMPEL UIT VERTICALE LEIDING					
	PEIL VOOR GOOTCONSTRUCTIE	N.A.P.		67,624		
	Q =	m³/h		185688		
	peil drempel	N.A.P.	63,500			
	drempelpellende (totaal)	m	50,27			Ontwerpskeuze
	h3, tov drempelpell	m		-4,12		Ontwerpskeuze
	overstortende straal (als volkomen)	m		0,680		
	de overlaat is ...	m		omvolk.		
	gewenste reserve	m	0,000			
	reserve	m		-3,670		
	reserve	m		takort		
	PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P.		67,627	0,003	
Module 6	VERTICALE LEIDING					
	PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P.		67,627		
	Q =	m³/h		185688		
	L, lengte leiding	m	20			Ontwerpskeuze
	D, inwendige diameter leiding	m	16,00			Ontwerpskeuze
	A =	m²	201,082			
	v =	m/s		0,257		
	k, wandruwheid	mm	1,00			Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
	C, Chezy coefficient =	m¹/³/s	84,3			
	lambda, l =	-	0,011			
	Energieverliezen:					
	- xi, uitredoverlies		0,01			
	- xi, wrijving (xi = f.L/D)					
	- xi, bochten en knikken:					
	Hydraulisch glad(1) of ruw(2)					
	0 5 °BOCHT		0,00			
	0 60 °BOCHT		0,00			
	1 90 °BOCHT		0,32			
	0 SCHUIFAFSLUITER		0,00			
	0 VUNDERKLEP		0,00			
	- xi, intredevlies		0,00			
	- totaal xi =		0,33			
	dh =	m		0,301		
	PEIL	N.A.P.		67,628	0,001	
Module 7	VERWIJDING					
	PEIL -	N.A.P.		67,628		
	Q =	m³/h		92844		
	dimansionale verwijding (2 of 3)	m	3			
	D1, inh. diameter voor verwijding	m	3,50			Ontwerpskeuze
	D2, inh. diameter na verwijding	m	16,00			Ontwerpskeuze
	A1, oppervlak voor verwijding	m²	9,621			
	A2, oppervlak na verwijding	m²	201,082			
	v1, snelheid voor verwijding	m/s		2,681		
	alpha, hoek verwijding	graden	90,00			
	k, coefficient		1,100			
	xi, verlies		0,997			
	dh =	m		0,365		
	PEIL VOOR VERWIJING	N.A.P.		67,993	0,365	
Module 8	TUNNEL LEIDING					
	PEIL VOOR VERWIJING	N.A.P.		67,993		
	Q =	m³/h		92844		
	L, lengte leiding	m	1000			Ontwerpskeuze
	D, inwendige diameter leiding	m	3,50			Ontwerpskeuze
	A =	m²	9,621			
	v =	m/s		2,681		
	k, wandruwheid	mm	1,00			Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
	C, Chezy coefficient =	m¹/³/s	72,4			
	lambda, l =	-	0,015			
	Energieverliezen:					
	- xi, uitredoverlies		0,00			
	- xi, wrijving (xi = f.L/D)		4,41			
	- xi, bochten en knikken:					
	Hydraulisch glad(1) of ruw(2)					
	0 45 °BOCHT		0,00			
	0 60 °BOCHT		0,00			
	0 90 °BOCHT		0,00			
	0 SCHUIFAFSLUITER		0,00			
	0 VUNDERKLEP		0,00			
	- xi, intredevlies		0,00			
	- totaal xi =		4,41			
	dh =	m		1,614		
	PEIL -	N.A.P.		69,608	1,614	

		Eenheid	systeem param.	Q nom	Verlies	opmerkingen & bronvermelding
Module 9	VERNAUWING PEIL - Qo = 0,5 Qt type vernauwing abrupt (2) D1, inv. diameter voor vernauwing D2, inv. diameter na vernauwing A1, oppervlak voor vernauwing A2, oppervlak na vernauwing v1, snelheid na vernauwing xi, verlies dh = PEIL VOOR VERNAUWING	N.A.P. m/h m m m² m² m/s m N.A.P.	2 18,00 3,50 254,469 8,621 0,481 0,176 69,784	69,658 92844 2,681 0,176 69,784	0,176	Geleidelijke vernauwing via verlooptek Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze
Module 10	VERTICALE LEIDING PEIL VOOR VERNAUWING Q = 1 Qt L, lengte leiding D, inwendige diameter leiding A = v = k, wandruwheid C, Chezy coefficient = lambda, l = Energieverliezen: - xi, uitredeverlies - xi, wrijving (xi = f L/D) - xi, bochten en knikken: Hydraulisch glad(1) of ruw(2) 0 45 °BOCHT 0 60 °BOCHT 1 90 °BOCHT 0 SCHUIFASLUITER 0 VUNDEKLEP standaard - xi, intredevlies - totaal xi = dh = PEIL	N.A.P. m³/h m m m² m/s mm m³/(s)² - 0,01 0,00 0,00 0,32 0,00 0,00 m N.A.P.	20 18,00 254,469 1,00 85,2 0,011 0,01 0,00 0,00 0,32 0,00 0,00 0,33 0,001 69,784	69,784 195688 0,203 2	0,001	Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
Module 11	DREMPEL IN VERTICALE LEIDING PEIL - peil drempel drempelhante (totaal) h3, tov drempelpeil overstortende straal (als volkomen) de overlaat is ... gewenste reserve reserve reserve PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P. m/h N.A.P. m m m m N.A.P.	67,000 63,63 -2,78 0,581 onvolk. -2,397 tekort 69,789	69,784 195688 -2,78 0,581 onvolk. -2,397 tekort 69,789	0,004	Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze
Module 12	GOOT INSTROOM PEIL VOOR DREMPEL Qo = 1 Qt B0o, bodempell goot B, breedte goot vo1, waterhoogte stuwende afvoer vo2, waterhoogte vige afvoer vo maat, einde goot (grootste vol) Ao, matte doorsnede einde goot vo, stroomsnelheid einde goot L, lengte goot k, wandruwheid B, hydraulische straal C, chezy coefficient dh1, energieverlies: L*vo³/C²R dh2, incidentele verliezen xi = PEIL BEGIN GOOT	N.A.P. m³/h N.A.P. m m m m m² m/s m mm m m³/(s)² m m m N.A.P.	67,000 15,00 2,789 1,064 2,789 41,83 1,23 10,0 1,00 2,033 77,7 0,901 0,019 69,809	69,789 195688 2,789 1,064 2,789 41,83 1,23 10,0 1,00 2,033 77,7 0,901 0,019 69,809	0,021	Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze
Module 13	HEFDEUR PEIL BEGIN GOOT Q = 1 Qt B, breedte inlaat H, hoogte inlaat A1, wettel area Us, stroomsnelheid over de overstort Cx, Discharge coefficient Q, vernellling Verliezen: dh = ((Us/cx)²/2)g PEIL VOOR VERDRONKEN DOORLAAT	N.A.P. m³/h m m m² m/s - m² m N.A.P.	15,0 2,7 40,50 1,27 1,00 9,81 0,083 69,892	69,809 195688 40,50 1,27 1,00 9,81 0,083 69,892	0,082	Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze Aanname: beschikbare stroomoppervlakte tussen bovenkant overstortrand en onderkant plafond wordt volledig gebruikt
Module 14	ROOSTER PEIL VOOR VERDRONKEN DOORLAAT dh = PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P. m N.A.P.	69,892 0,100 69,992	69,892 0,100 69,992	0,100	

XXII

BIJLAGE: HYDMOD BEREKENING TRACÉVARIANT 2 - 1 X Ø5,0 M



Hydraulische berekening

project Onderzoek Flood-bypass Valkenburg WRL
opdrachtgever WRL
projectcode 146791
omschrijving best Tunnels
kernteam berekening
opgesteld door R. W. Czemielin, O. Bakker
goedgekeurd door
status Definitief
datum 2-9-2025
Debiet 59,95 m3/s
Totaal peilverschil 2.500 m
Lengte Inlaat 15,00 m
Lengte Uitlaat 2,70 m
Lengte Uitlaat 13,0 m
Lengte Uitlaat 3,0 m
K-waarde beton 1,00 mm

	Eenhed	systeem param.	Q nom	Verlies	opmerkingen & bronvermelding
	m³/h		219820		Debiet in m³/h
Hoofdeheid water (Q0)	m³/h		0		
Hoofdeheid retourstels (Q01)	m³/h		0		
Hoofdeheid bypasswater (Q0a)	m³/h		0		
Hoofdeheid retourstels (Q0g)	m³/h		0		
Startpeil	N.A.P.		67,482		
Module 1					
Uitstroom Geul					
Startpeil	N.A.P.		67,492		
Q(branch)	m³/h		219820		
Q(ommonchannal)	m³/h		482400		
Q(ommonchannal)	m²		50,7		
B, Breedte uitlaat	m	13,0			O.b.v. breedte 13 m, hoogte 3,9 m
H, Hoogte uitlaat	m	3,0			Ontwerpskeuze
Q(branch)	m²		38		Ontwerpskeuze
Qbdc	-		0,46		
Flb/c	-		0,77		
Flb/c	-		1,36		
Flb/c	-		0,275		
Q, versnelling	m/s²	9,81	1,537		Idelchik, pagina 260, verlies uitstroom branch à 30 graden
V, stroomsnelheid	m/s		0,033		
dh =	m		0,033	0,033	
PEIL -	N.A.P.		67,525		
Module 2					
ROOSTER					
PEIL -	N.A.P.		67,525		
dh =	m		0,100		
PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P.		67,625	0,100	
Module 3					
GOOT UITSTROOM					
PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P.		67,625		
Q =	m³/h		219820		
bpo, bodempell goot	N.A.P.	63,500			
b, breedte goot	m	13,00			Ontwerpskeuze
vo1, waterhoogte stovende afvoer	m		4,125		Ontwerpskeuze
vo2, waterhoogte vrije afvoer	m		1,294		
vo maata, einde goot (oroostste vol)	m		4,125		
A0, natte doorsnede einde goot	m²		53,63		
vo, stroomsnelheid einde goot	m/s		1,12		
L, lengte goot	m	30,0			Ontwerpskeuze
k, wandruwheid	mm	1,00			
R, hydraulische straal	m		2,524		
C, chezy coefficient	m¹/³/s		79,3		
dh1, energieverlies: L.v²/C²/R	m		0,000		
dh2, incidentale verliezen:	m		0,016		
xi =	N.A.P.		67,641	0,016	
PEIL BEGIN GOOT					
Module 4					
GOOTVERNAUWING					
PEIL BEGIN GOOT	N.A.P.		67,641		
Q =	m³/h		219820		
peil gootbodem	N.A.P.	63,500			
b2, breedte goot	m	12,00			Doorgaande gootbodem.
b1, breedte voor gootverbreding	m	20,00			
h2, waterdiepte achter gootvernaauwing	m		4,141		
A2, doorsnede achter vernauwing	m²		53,63		
v2, snelheid achter gootverbreding	m/s		1,11		
h1, vorig	m		4,15		
h1, nieuw	m		4,15		
A1, doorsnede voor gootvernaauwing	m²		82,87		
v1, snelheid voor vernauwing	m/s		0,72		
Energieverlies = xi.v¹.v²/2a	m		0,01		
xi =	m		0,01		
h1, voor gootvernaauwing	m		4,15		
PEIL VOOR GOOTCONSTRUCTIE	N.A.P.		67,640	0,007	
Module 5					
DREMPEL UIT VERTICALE LEIDING					
PEIL VOOR GOOTCONSTRUCTIE	N.A.P.		67,640		
Q =	m³/h		219820		
peil drempel	N.A.P.	63,500			
drempelplaat (totaal)	m	50,27			Ontwerpskeuze
h3, tov drempelpeil	m		-4,15		Ontwerpskeuze
overstortende straal (als volkomen)	m		0,751		
de overlaat is ...	m		onvolk.		
gewenste reserve	m	0,000			
reserve	m		-3,648		
reserve	m		takort		
PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P.		67,653	0,004	
Module 6					
VERTICALE LEIDING					
PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P.		67,653		
Q =	m³/h		219820		
L, lengte leiding	m	20			Ontwerpskeuze
D, inwendige diameter leiding	m	16,00			Ontwerpskeuze
A =	m²	201,082			
v =	m/s		0,288		
k, wandruwheid	mm	1,00			Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
C, Chezy coefficient =	m¹/³/s	84,3			
lambda, l =	-	0,011			
Energieverliezen:					
- xi, uitredoverlies					
- xi, wrijving (xi = f.L/D)					
- xi, bochten en knikken:					
Hydraulisch glad(1) of ruw(2)					
0 5 °BOCHT		0,00			
0 60 °BOCHT		0,00			
1 90 °BOCHT		0,32			
0 SCHUIFASLUITER		0,00			
0 VUNDERKLEP		0,00			
standaard		0,00			
- xi, intredevlies					
- totaal xi =			0,33		
dh =	m		0,302		
PEIL	N.A.P.		67,654	0,002	
Module 7					
VERWIJING					
PEIL -	N.A.P.		67,654		
Q =	m³/h		107910		
dimansionale verwijding (2 of 3)	m	3			
D1, zw. diameter voor verwijding	m	3,50			Ontwerpskeuze
D2, zw. diameter na verwijding	m	16,00			Ontwerpskeuze
A1, oppervlak voor verwijding	m²	9,621			
A2, oppervlak na verwijding	m²	201,082			
v1, snelheid voor verwijding	m/s		3,116		
alpha, hoek verwijding	graden	90,00			
k, coefficient		1,100			
xi, verlies		0,997			
dh =	m		0,493		
PEIL VOOR VERWIJING	N.A.P.		68,148	0,493	
Module 8					
TUNNEL LEIDING					
PEIL VOOR VERWIJING	N.A.P.		68,148		
Q =	m³/h		219820		
L, lengte leiding	m	1000			Ontwerpskeuze
D, inwendige diameter leiding	m	5,00			Ontwerpskeuze
A =	m²	19,635			
v =	m/s		3,053		
k, wandruwheid	mm	1,00			Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
C, Chezy coefficient =	m¹/³/s	75,2			
lambda, l =	-	0,014			
Energieverliezen:					
- xi, uitredoverlies		0,00			
- xi, wrijving (xi = f.L/D)		2,86			
- xi, bochten en knikken:					
Hydraulisch glad(1) of ruw(2)					
0 45 °BOCHT		0,00			
0 60 °BOCHT		0,00			
0 90 °BOCHT		0,00			
0 SCHUIFASLUITER		0,00			
0 VUNDERKLEP		0,00			
standaard		0,00			
- xi, intredevlies					
- totaal xi =			2,86		
dh =	m		1,359		
PEIL -	N.A.P.		69,507	1,359	

		Eenheid	systeem param.	Q nom	Verlies	opmerkingen & bronvermelding
Module 9	VERNAUWING PEIL - Qo = 0,5 Qt type vernauwing abrupt (2) D1, inv. diameter voor vernauwing D2, inv. diameter na vernauwing A1, oppervlak voor vernauwing A2, oppervlak na vernauwing v1, snelheid na vernauwing xi, verlies dh = PEIL VOOR VERNAUWING v²/2g	N.A.P. m/h m m m² m² m/s m N.A.P.	2 18,00 3,50 254,469 8,621 0,481	69,507 107910 3,116 0,338 69,745	0,238 0,238	Geteeldelijke vernauwing via verloopstuk Ontwerperkeuze Ontwerperkeuze
Module 10	VERTICALE LEIDING PEIL VOOR VERNAUWING Q = 1 Qt L, lengte leiding D, inwendige diameter leiding A = v = k, wandruwheid C, Chezy coefficient = lambda, l = Energieverliezen: - xi, uitredeverlies - xi, wrijving (xi = f L/D) - xi, bochten en knikken: Hydraulisch glad(1) of ruw(2) 0 45 °BOCHT 0 60 °BOCHT 1 90 °BOCHT 0 SCHUIFASLUITER 0 VUNDEKLEP standaard - xi, intredeverlies - totaal xi = dh = PEIL - 0,33 v²/2g	N.A.P. m³/h m m m² m/s mm m³/s² - 0,01 0,00 0,00 0,32 0,00 0,00 m N.A.P.	20 18,00 254,469 1,00 85,2 0,011 0,01 0,00 0,00 0,32 0,00 0,00 0,33 0,001 69,746	69,745 219820 0,236 2 0,001	0,001 0,001	Ontwerperkeuze Ontwerperkeuze Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
Module 11	DREMPEL IN VERTICALE LEIDING PEIL - peil drempel drempellengte (totaal) k3, tov drempelpeil overstortende straal (als volkomen) de overlaat is ... gewenste reserve reserve reserve PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P. m/h N.A.P. m m m m N.A.P.	67,000 63,63 0,000	69,746 219820 -2,75 0,642 onvolk. -2,318 tekort 69,752	0,006 0,006	Ontwerperkeuze Ontwerperkeuze
Module 12	GOOT INSTROOM PEIL VOOR DREMPEL Qo = 1 Qt B00, bodempel goot B, breedte goot vo1, waterhoogte stuwende afvoer vo2, waterhoogte vige afvoer vo maat, einde goot (grootste vol) Ao, matte doorsnede einde goot vo, stroomsnelheid einde goot L, lengte goot k, wandruwheid B, hydraulische straal C, chezy coefficient dh1, energieverlies: L vo³/C/R dh2, incidentele verliezen xi = PEIL BEGIN GOOT 0,26	N.A.P. m³/h N.A.P. m m m m m² m/s m mm m m³/s² m m m N.A.P.	67,000 15,00 10,0 1,00 2,013 77,6 0,902 0,027 69,761	69,752 219820 2,752 1,176 2,752 41,26 1,46 1,00 2,013 77,6 0,902 0,027 69,761	0,029 0,029	Ontwerperkeuze Ontwerperkeuze Ontwerperkeuze
Module 13	HEFDEUR PEIL BEGIN GOOT Q = 1 Qt B, breedte inlaat H, hoogte inlaat A1, wettable area Us, stroomsnelheid over de overstort Cx, Discharge coefficient G, vernedding Verliezen: dh = ((Us/cx)²/2)g PEIL VOOR VERDRONKEN DOORLAAT	N.A.P. m³/h m m m² m/s - m² m N.A.P.	15,0 2,7 40,50 1,48 1,00 9,81	69,761 219820 40,50 1,48 0,112 69,892	0,112 0,112	Ontwerperkeuze Ontwerperkeuze Aanname: beschikbare stroomoppervlakte tussen bovenkant overstortrand en onderkant plafond wordt volledig gebruikt
Module 14	ROOSTER PEIL VOOR VERDRONKEN DOORLAAT dh = PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P. m N.A.P.	69,892 0,100 69,992	0,100 0,100	0,100	

XXIII

BIJLAGE: HYDMOD BEREKENING TRACÉVARIANT 3 - 2 X Ø3,5 M



project	Onderzoek Flood-bypass Valkenburg WRL
opdrachtgever	WRL
projectcode	146791

describing the Tunnel

opgesteld door Ir. W. Cazemienfr. O. Bakker

good standard for

status	Definitief
datum	2-9-2025
Dakriet	61,14 m3/s
Totaal peilverschil	4,000 m
Lengte Inlaat	15,00 m
Hoogte Inlaat	2,70 m
Lengte Uitlaat	13,0 m
Hoogte Uitlaat	3,0 m
K-waarde beton	1,00 mm

Hydraulische berekening

[illegible]

C:\Users\BAK02\Downloads\Hydmod\KlaarTunnel Valkenburg HYDMOD Trace\variant 3 - 2 x 3.5 m

XXIV

BIJLAGE: HYDMOD BEREKENING TRACÉVARIANT 3 - 1 X Ø5,0 M



Hydraulische berekening

project Onderzoek Flood-bypass Valkenburg WRL
opdrachtgever WRL
projectcode 146791
omschrijving best Tunnel
kernteam berekening opgesteld door K. W. Czemielarz, O. Bakker
goedkeurd door
status Definitief
datum 2-9-2025
Debiet 71,94 m3/s
Totaal peilverschil 4,000 m
Lengte Inlaat 15,00 m
Hoogte Inlaat 2,70 m
Lengte Uitlaat 13,0 m
Hoogte Uitlaat 3,0 m
K-waarde beton 1,00 mm

		Eenheid	systeem param.	Q nom	Verlies	opmerkingen & bronvermelding
	Hoofdeenheden water (Q0)	m³/h		298984		Debiet in m³/s
	Hoofdeenheden retourstels (Q01)	m³/h		0		
	Hoofdeenheden bypasswater (Q02)	m³/h		0		
	Hoofdeenheden retourstels (Q03)	m³/h		0		
	Startpeil	N.A.P.		67,482		
Module 1	Uitstroom Geul					
	Startpeil	N.A.P.		67,482		
	Q0 (branch)	m³/h		298984		
	Q0 (monomanchannel)	m³/h		482400		
	Q0 (monomanchannel)	m²		50,7		
	B, Breedte uitlaat	m	13,0			O.b.v. breedte 13 m, hoogte 3,0 m
	H, Hoogte uitlaat	m	3,0			Ontwerpskeuze
	F0 (branch)	m²		39		Ontwerpskeuze
	Q0 (c)	-		0,44		
	F0 (c)	-		0,77		
	F0 (c)	-		1,30		
	K0 (c)	-		0,406		
	G, versnelling	m/s²	9,81			Idelchik, pagina 260, verlies uitstroom branch à 30 graden
	V, stroomsnelheid	m/s		1,845		
	dh =	m		0,070		
	PEIL -	N.A.P.		67,562	0,070	
Module 2	ROOSTER					
	PEIL -	N.A.P.		67,562		
	dh =	m		0,100		
	PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P.		67,662	0,100	
Module 3	GOOT UITSTROOM					
	PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P.		67,662		
	Q0 =	m³/h		298984		
	b0, bodempell goot	N.A.P.	63,500			Ontwerpskeuze
	b, breedte goot	m	13,00			Ontwerpskeuze
	v01, waterhoogte stovende afvoer	m		4,162		
	v02, waterhoogte vrije afvoer	m		1,461		
	v0, maat, einde goot (oro-topste vol)	m		4,162		
	A0, natte doorsnede einde goot	m²		54,11		
	v0, stroomsnelheid einde goot	m/s		1,33		
	L, lengte goot	m	30,0			Ontwerpskeuze
	k, wandruwheid	mm	1,00			
	R, hydraulische straal	m		2,537		
	C, Chezy coefficient	m¹/³/s		79,4		
	dh1, energieverlies: L*v³/2g	m		0,000		
	dh2, incidentale verliezen:	m		0,023		
	xi =	N.A.P.		67,685	0,023	
	PEIL BEGIN GOOT	N.A.P.				
Module 4	GOOTVERNAUWING					
	PEIL BEGIN GOOT	N.A.P.		67,685		
	Q =	m³/h		298984		
	peil gootbodem	N.A.P.	63,500			Doorgaande gootbodem.
	b2, breedte goot	m	13,00			
	b1, breedte voor gootverbreding	m	20,00			
	h2, waterdiepte achter gootvernaauwing	m		4,185		
	A2, doorsnede achter vermaauwing	m²		54,41		
	v2, snelheid achter gootverbreding	m/s		1,32		
	h1, vorig	m		4,20		
	h1, nieuw	m		4,20		
	A1, doorsnede voor gootvernaauwing	m²		83,91		
	v1, snelheid voor vermaauwing	m/s		0,86		
	Energieverlies = xi*v³/2g	m		0,01		
	xi =	m		0,01		
	h1, voor gootvernaauwing	m		4,20		
	PEIL VOOR GOOTCONSTRUCTIE	N.A.P.		67,685	0,010	
Module 5	DREMPEL UIT VERTICALE LEIDING					
	PEIL VOOR GOOTCONSTRUCTIE	N.A.P.		67,685		
	Q =	m³/h		298984		
	peil drempel	N.A.P.	63,500			Ontwerpskeuze
	drempellengte (totaal)	m	50,27			Ontwerpskeuze
	h3, top drempelpell	m		-4,20		
	overstortende straal (als volkomen)	m		0,848		
	de overlaat is ...	m		omvool.		
	gewenste reserve	m	0,000			
	reserve	m		-3,630		
	reserve	m		takort		
	PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P.		67,701	0,006	
Module 6	VERTICALE LEIDING					
	PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P.		67,701		
	Q =	m³/h		298984		
	L, lengte leiding	m	20			Ontwerpskeuze
	D, inwendige diameter leiding	m	16,00			Ontwerpskeuze
	A =	m²	201,082			
	v =	m/s		0,368		
	k, wandruwheid	mm	1,00			Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
	C, Chezy coefficient =	m¹/³/s	84,3			
	lambda, l =	-	0,011			
	Energieverliezen:					
	- xi, uitredevieries					
	- xi, wrijving (xi = f*L/D)					
	- xi, bochten en knikken:					
	Hydraulisch glad(1) of ruw(2)					
	0 5 °BOCHT					
	0 60 °BOCHT					
	1 90 °BOCHT					
	0 SCHUIFAFSLUITER					
	0 VUNDERKLEP					
	standaard					
	- xi, intredevieries					
	- totaal xi =					
	dh =	m		0,33		
	PEIL	N.A.P.		0,302		
				67,704	0,002	
Module 7	VERWIJDING					
	PEIL	N.A.P.		67,704		
	Q =	m³/h		129492		
	dimansionale verwijding (2 of 3)	m	3			
	D1, zw. diameter voor verwijding	m	3,50			Ontwerpskeuze
	D2, zw. diameter na verwijding	m	16,00			Ontwerpskeuze
	A1, oppervlak voor verwijding	m²	9,621			
	A2, oppervlak na verwijding	m²	201,082			
	v1, snelheid voor verwijding	m/s		3,739		
	alpha, hoek verwijding	graden	90,00			
	k, coefficient		1,100			
	xi, verlies		0,997			
	dh =	m		0,710		
	PEIL VOOR VERWIDING	N.A.P.		68,414	0,710	
Module 8	TUNNEL LEIDING					
	PEIL VOOR VERWIDING	N.A.P.		68,414		
	Q =	m³/h		298984		
	L, lengte leiding	m	1200			Ontwerpskeuze
	D, inwendige diameter leiding	m	5,00			Ontwerpskeuze
	A =	m²	19,635			
	v =	m/s		3,664		
	k, wandruwheid	mm	1,00			Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
	C, Chezy coefficient =	m¹/³/s	75,2			
	lambda, l =	-	0,014			
	Energieverliezen:					
	- xi, uitredevieries					
	- xi, wrijving (xi = f*L/D)					
	- xi, bochten en knikken:					
	Hydraulisch glad(1) of ruw(2)					
	0 45 °BOCHT					
	0 60 °BOCHT					
	0 90 °BOCHT					
	0 SCHUIFAFSLUITER					
	0 VUNDERKLEP					
	standaard					
	- xi, intredevieries					
	- totaal xi =					
	dh =	m		3,58		
	PEIL	N.A.P.		2,452		
				70,866	2,452	

		Eenheid	systeem param.	Q nom	Verlies	opmerkingen & bronvermelding
Module 9	VERNAUWING PEIL - Qo = 0,5 Qt type vernauwing abrupt (2) D1, inv. diameter voor vernauwing D2, inv. diameter na vernauwing A1, oppervlak voor vernauwing A2, oppervlak na vernauwing v1, snelheid na vernauwing xi, verlies dh = PEIL VOOR VERNAUWING	N.A.P. m/h m m m² m² m/s m N.A.P.	2 18,00 3,50 254,469 8,621 0,481 0,343 71,208	70,866 129492 3,739 0,343 71,208	0,343	Geteeldelijke vernauwing via verloopstuk Ontwerperkeuze Ontwerperkeuze
Module 10	VERTICALE LEIDING PEIL VOOR VERNAUWING Q = 1 Qt L, lengte leiding D, inwendige diameter leiding A = v = k, wandruwheid C, Chezy coefficient = lambda, l = Energieverliezen: - xi, uitredeverlies - xi, wrijving (xi = f L/D) - xi, bochten en knikken: Hydraulisch glad(1) of ruw(2) 0 45 °BOCHT 0 60 °BOCHT 1 90 °BOCHT 0 SCHUIFASLUITER 0 VUNDEKLEP standaard - xi, intredevlies - totaal xi = dh = PEIL	N.A.P. m3/h m m m² m/s mm m³/(s)k - 0,01 0,00 0,00 0,32 0,00 0,00 m N.A.P.	20 18,00 254,469 1,00 85,2 0,011 0,01 0,00 0,00 0,32 0,00 0,00 0,33 0,001 71,210	71,208 258984 0,283 2 0,33 0,001 0,001	0,001	Ontwerperkeuze Ontwerperkeuze Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
Module 11	DREMPEL IN VERTICALE LEIDING PEIL - peil drempel drempellengte (totaal) k3, tov drempelpeil overstortende straal (als volkomen) de overlaat is ... gewenste reserve reserve reserve PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P. m/h N.A.P. m m m m N.A.P.	67,000 63,63 -4,21 0,775 onvoik. -3,726 takort 71,213	71,210 258984 0,004	0,004	Ontwerperkeuze Ontwerperkeuze
Module 12	GOOT INSTROOM PEIL VOOR DREMPEL Qo = 1 Qt B00, bodempel goot B, breedte goot vo1, waterhoogte stuwende afvoer vo2, waterhoogte vige afvoer vo maat, einde goot (grootste vol) Ao, matte doorsnede einde goot vo, stroomsnelheid einde goot L, lengte goot k, wandruwheid B, hydraulische straal C, chezy coefficient dh1, energieverlies: L*vo³/C/R dh2, incidentele verliezen xi = PEIL BEGIN GOOT	N.A.P. m/h N.A.P. m m m m m² m/s m mm m m³/s²k m m m N.A.P.	67,000 15,00 4,213 1,338 4,213 63,20 1,14 10,0 1,00 2,698 79,8 0,901 0,017 71,231	71,213 258984 0,017	0,017	Ontwerperkeuze Ontwerperkeuze Ontwerperkeuze
Module 13	HEFDEUR PEIL BEGIN GOOT Q = 1 Qt B, breedte inlaat H, hoogte inlaat A1, wettel area Us, stroomsnelheid over de overstort Cx, Discharge coefficient G, vernedding Verliezen: dh = ((Us/cx)²/2)g PEIL VOOR VERDRONKEN DOORLAAT	N.A.P. m/h m m m² m/s - m/s² m N.A.P.	15,0 2,7 40,50 1,78 1,00 9,81 0,161 71,202	71,231 258984 0,161	0,161	Ontwerperkeuze Ontwerperkeuze Aanname: beschikbare stroomoppervlakte tussen bovenkant overstortrand en onderkant plafond wordt volledig gebruikt
Module 14	ROOSTER PEIL VOOR VERDRONKEN DOORLAAT dh = PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P. m N.A.P.	71,302 0,100 71,492	0,100		

XXV

BIJLAGE: HYDMOD BEREKENING TRACÉVARIANT 3 - 2 X Ø3,5 M



Hydraulische berekening

project Onderzoek Flood-bypass Valkenburg WRL
opdrachtgever WRL
projectcode 146791
omschrijving best Tunnel
kennmerk berekening
opgesteld door K. W. Czemierlik, O. Bakker
goedgekeurd door
status Definitief
datum 2-9-2025
Debiet 60,79 m3/s
Totaal peilverschil 4,000 m
Lengte Inlaat 15,00 m
Hoogte Inlaat 2,70 m
Lengte Uitlaat 13,0 m
Hoogte Uitlaat 3,0 m
K-waarde beton 1,00 mm

		Eenhed	systeem param.	Q nom	Verlies	opmerkingen & bronvermelding
	Hoofdeelhuid water (Q0)	m³/h		218844		Debiet in m³/s
	Hoofdeelhuid retourstels (Q01)	m³/h		0		
	Hoofdeelhuid bypasswater (Q0a)	m³/h		0		
	hoofdeelhuid retourstels (Q02)	m³/h		0		
	Startpeil	N.A.P.		67,482		
Module 1	Uitstroom Geul					
	Startpeil	N.A.P.		67,492		
	Q(branch)	m³/h		218844		
	Q(olomonchannal)	m³/h		482400		
	Q(olomonchannal)	m²		50,7		
	B, Breedte uitlaat	m	13,0			O.b.v. breedte 13 m, hoogte 3,9 m
	H, Hoogte uitlaat	m	3,0			Ontwerpskeuze
	F(branch)	m²		38		Ontwerpskeuze
	cb/cd	-		0,46		
	Fb/Fc	-		0,77		
	Fc/Fd	-		1,36		
	Xc/b	-		0,286		
	Q, versnelling	m/s²	9,81			Idelchik, pagina 260, verlies uitstroom branch à 30 graden
	V, stroomsnelheid	m/s		1,559		
	dh =	m		0,035		
	PEIL -	N.A.P.		67,527	0,035	
Module 2	ROOSTER					
	PEIL -	N.A.P.		67,527		
	dh =	m		0,100		
	PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P.		67,627	0,100	
Module 3	GOOT UITSTROOM					
	PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P.		67,627		
	Q =	m³/h		218844		
	bpo, bodempell goot	m	63,500			
	b, breedte goot	m	13,00			Ontwerpskeuze
	vo1, waterhoogte stuwende afvoer	m		4,127		Ontwerpskeuze
	vo2, waterhoogte vrije afvoer	m		1,306		
	vo maatp. einde goot (oroetste vol)	m		4,127		
	A0, natte doorsnede einde goot	m²		53,66		
	vo, stroomsnelheid einde goot	m/s		1,13		
	L, lengte goot	m	30,0			Ontwerpskeuze
	k, wandruwheid	mm	1,00			
	R, hydraulische straal	m		2,524		
	C, chezy coefficient	m¹/³/s		79,3		
	dh1, energieverlies: L.v²/C²R	m		0,860		
	dh2, incidentale verliezen:	m		0,016		
	xi =	N.A.P.		67,644	0,016	
	PEIL BEGIN GOOT					
Module 4	GOOTVERNAUWING					
	PEIL BEGIN GOOT	N.A.P.		67,644		
	Q =	m³/h		218844		
	peil gootbodem	N.A.P.	63,500			
	b2, breedte goot	m	13,00			
	b1, breedte voor gootverbreding	m	20,00			
	h2, waterdiepte achter gootvernaauwing	m		4,144		
	A2, doorsnede achter vermauwing	m²		53,87		
	v2, snelheid achter gootverbreding	m/s		1,13		
	h1, vorig	m		4,15		
	h1, nieuw	m		4,15		
	A1, doorsnede voor gootvernaauwing	m²		83,03		
	v1, snelheid voor vermauwing	m/s		0,73		
	Energieverlies = xi(v¹-v²)²/2a	m		0,01		
	xi =	m		0,01		
	h1, voor gootvernaauwing	m		4,15		
	PEIL VOOR GOOTCONSTRUCTIE	N.A.P.		67,651	0,008	
Module 5	DREMPEL UIT VERTICALE LEIDING					
	PEIL VOOR GOOTCONSTRUCTIE	N.A.P.		67,651		
	Q =	m³/h		218844		
	peil drempel	N.A.P.	63,500			
	drempelpellende (totaal)	m	50,27			
	h3, tov drempelpell	m		-4,15		
	overstortende straal (als volkomen)	m		0,758		
	de overlaat is ...	m		onvolk.		
	gewenste reserve	m	0,000			
	reserve	m		-3,646		
	reserve	m		takort		
	PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P.		67,656	0,004	
Module 6	VERTICALE LEIDING					
	PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P.		67,656		
	Q =	m³/h		218844		
	L, lengte leiding	m	20			
	D, inwendige diameter leiding	m	16,00			
	A =	m²	201,082			
	v =	m/s		0,302		
	k, wandruwheid	mm	1,00			
	C, Chezy coefficient =	m¹/³/s	84,3			
	lambda, l =	-	0,011			
	Energieverliezen:					
	- xi, uitredoverlies		0,01			
	- xi, wrijving (xi = fL/D)					
	- xi, bochten en knikken:					
	Hydraulisch glad(1) of ruw(2)					
	0 5 °BOCHT		0,00			
	0 60 °BOCHT		0,00			
	1 90 °BOCHT		0,32			
	0 SCHUIFAFSLUITER		0,00			
	0 VUNDERKLEP		0,00			
	- xi, intredevlies		0,00			
	- totaal xi =		0,33			
	dh =	m	0,302			
	PEIL	N.A.P.		67,657	0,002	
Module 7	VERWIJDING					
	PEIL -	N.A.P.		67,657		
	Q =	m³/h		109422		
	dimansionale verwijding (2 of 3)	m	3			
	D1, zw. diameter voor verwijding	m	3,50			
	D2, zw. diameter na verwijding	m	16,00			
	A1, oppervlak voor verwijding	m²	9,621			
	A2, oppervlak na verwijding	m²	201,082			
	v1, snelheid voor verwijding	m/s		3,159		
	alpha, hoek verwijding	graden	90,00			
	k, coefficient		1,100			
	xi, verlies		0,997			
	dh =	m		0,507		
	PEIL VOOR VERWIDING	N.A.P.		68,164	0,507	
Module 8	TUNNEL LEIDING					
	PEIL VOOR VERWIDING	N.A.P.		68,164		
	Q =	m³/h		109422		
	L, lengte leiding	m	1310			
	D, inwendige diameter leiding	m	3,50			
	A =	m²	9,621			
	v =	m/s		3,159		
	k, wandruwheid	mm	1,00			
	C, Chezy coefficient =	m¹/³/s	72,4			
	lambda, l =	-	0,015			
	Energieverliezen:					
	- xi, uitredoverlies		0,00			
	- xi, wrijving (xi = fL/D)		5,61			
	- xi, bochten en knikken:					
	Hydraulisch glad(1) of ruw(2)					
	0 45 °BOCHT		0,00			
	0 60 °BOCHT		0,00			
	0 90 °BOCHT		0,00			
	0 SCHUIFAFSLUITER		0,00			
	0 VUNDERKLEP		0,00			
	- xi, intredevlies		0,00			
	- totaal xi =		5,61			
	dh =	m	2,852			
	PEIL -	N.A.P.		71,017	2,852	

		Eenheid	systeem param.	Q nom	Verlies	opmerkingen & bronvermelding
Module 9	VERNAUWING PEIL - type vernauwing D1, inv. diameter voor vernauwing D2, inv. diameter na vernauwing A1, oppervlak voor vernauwing A2, oppervlak na vernauwing v1, snelheid na vernauwing xi, verlies dh = PEIL VOOR VERNAUWING	0,5 .Qt abrupt (2) m m m² m² m/s m N.A.P.	m³/h 2 18,00 3,50 254,469 8,621 0,481 0,345 71,261	71,017 109422 3,159 0,245 71,261	0,245	Gedeeltelijke vernauwing via verlooptek Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze
Module 10	VERTICALE LEIDING PEIL VOOR VERNAUWING Q = L, lengte leiding D, inwendige diameter leiding A = v = k, wandruwheid C, Chezy coefficient = lambda, l = Energieverliezen: - xi, uitredeverlies - xi, wrijving (xi = f*L/D) - xi, bochten en knikken: Hydraulisch glad(1) of ruw(2) 0 45 °BOCHT 0 60 °BOCHT 1 90 °BOCHT 0 SCHUIFASLUITER 0 VUNDEKLEP standaard - xi, intredeverlies - totaal xi = dh = PEIL	1 .Qt m³/h m m m² m/s mm m³/(s)k - 0,01 0,00 0,00 0,32 0,00 0,00 0,33 .v²/2g m N.A.P.	m³/h 20 18,00 254,469 0,239 1,00 85,2 0,011 0,01 0,00 0,00 0,32 0,00 0,00 0,001 71,262	71,261 218844 0,239 2 0,33 0,001 71,262	0,001	Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
Module 11	DREMPEL IN VERTICALE LEIDING PEIL - peil drempel drempellengte (totaal) k3, tov drempelpeil overstortende straal (als voorkomen) de overlaat is ... gewenste reserve reserve reserve PEIL VOOR DREMPEL	1 .Qt N.A.P. m³/h m m m m m N.A.P.	m³/h 67,000 63,63 -4,26 0,648 0,000 -3,830 takort 71,265	71,262 218844 -4,26 0,648 0,000 -3,830 takort 71,265	0,003	Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze
Module 12	GOOT INSTROOM PEIL VOOR DREMPEL Q = B00, bodempel goot b, breedte goot vo1, waterhoogte stuwende afvoer vo2, waterhoogte vige afvoer vo maat, einde goot (grootste vol) Ao, matte doorsnede einde goot vo, stroomsnelheid einde goot L, lengte goot k, wandruwheid R, hydraulische straal C, chezy coefficient dh1, energieverlies: L*vo³/C/R dh2, incidentele verliezen xi = PEIL BEGIN GOOT	1 .Qt N.A.P. m³/h N.A.P. m m m m m² m/s m mm m m³/s²k m m m N.A.P.	m³/h 67,000 15,00 m m m m m² m/s 10,0 1,00 m m m m m m N.A.P.	71,265 218844 15,00 4,265 1,187 4,265 63,97 0,36 10,0 1,00 2,719 79,9 0,901 0,012 71,277	0,012	Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze
Module 13	HEFDEUR PEIL BEGIN GOOT Q = B, breedte inlaat H, hoogte inlaat A1, wettel area Us, stroomsnelheid over de overstort Cx, Discharge coefficient G, vernedding Verliezen: dh = ((Us/cx)²/2)g PEIL VOOR VERDRONKEN DOORLAAT	1 .Qt N.A.P. m³/h m m m² m/s - m² m N.A.P.	m³/h 15,0 2,7 40,50 1,50 1,00 9,81 0,115 71,262	71,277 218844 40,50 1,50 1,00 9,81 0,115 71,262	0,115	Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze Aanname: beschikbare stroomoppervlakte tussen bovenkant overstortrand en onderkant plafond wordt volledig gebruikt
Module 14	ROOSTER PEIL VOOR VERDRONKEN DOORLAAT dh = PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P. m N.A.P.	m³/h 71,392 0,100 71,492	71,392 0,100 71,492	0,100	

XXVI

BIJLAGE: HYDMOD BEREKENING TRACÉVARIANT 4 - 1 X Ø5,0 M



Hydraulische berekening

project Onderzoek Flood-bypass Valkenburg WRL
opdrachtgever WRL
projectcode 146791
omschrijving best Tunnel
kernteam berekening
opgesteld door R. W. Czemielin, O. Bakker
goedgekeurd door
status Definitief
datum 2-9-2025
Debiet 71,59 m3/s
Totaal peilverschil 4,000 m
Lengte Inlaat 15,00 m
Lengte Uitlaat 2,70 m
Lengte Uitlaat 13,0 m
Lengte Uitlaat 3,0 m
K-waarde beton 1,00 mm

		Eenheid	systeem param.	Q nom	Verlies	opmerkingen & bronvermelding
	Hoofdeheid water (Q0)	m³/s		257724		Debiet in m³/s
	Hoofdeheid retourstels (Q01)	m³/s		0		
	Hoofdeheid bypasswater (Q0a)	m³/s		0		
	hoofdeheid retourstels (Q0g)	m³/s		0		
	Startpeil	N.A.P.		67,482		
Module 1	Uitstroom Geul					
	Startpeil	N.A.P.		67,492		
	Q(branch)	m³/s		257724		
	Q(ommonchannal)	m³/s		482400		
	Q(ommonchannal)	m²		50,7		
	B, Breedte uitlaat	m	13,0			O.b.v. breedte 13 m, hoogte 3,9 m
	H, Hoogte uitlaat	m	3,0			Ontwerpskeuze
	F(branch)	m²		39		Ontwerpskeuze
	cb/cd	-		0,53		
	Fb/Fc	-		0,77		
	Fc/Fd	-		1,30		
	Xc/b	-		0,463		
	Q, versnelling	m/s²	9,81			Idelchik, pagina 260, verlies uitstroom branch à 30 graden
	V, stroomsnelheid	m/s		1,836		
	dh =	m		0,069		
	PEIL -	N.A.P.		67,561	0,069	
Module 2	ROOSTER					
	PEIL -	N.A.P.		67,561		
	dh =	m		0,100		
	PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P.		67,661	0,100	
Module 3	GOOT UITSTROOM					
	PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P.		67,661		
	Q =	m³/s		257724		
	bpo, bodempell goot	N.A.P.	63,500			Ontwerpskeuze
	b, breedte goot	m	13,00			Ontwerpskeuze
	vo1, waterhoogte stovende afvoer	m		4,161		
	vo2, waterhoogte vrije afvoer	m		1,456		
	vo maata, einde goot (oroetste vol)	m		4,161		
	A0, natte doorsnede einde goot	m²		54,10		
	vo, stroomsnelheid einde goot	m/s		1,32		
	L, lengte goot	m	30,0			Ontwerpskeuze
	k, wandruwheid	mm	1,00			
	R, hydraulische straal	m		2,537		
	C, chezy coefficient	m¹/³/s		79,4		
	dh1, energieverlies: L.v²/C²R	m		0,060		
	dh2, incidentale verliezen:	m		0,022		
	xi =	N.A.P.		67,664	0,022	
	PEIL BEGIN GOOT					
Module 4	GOOTVERNAUWING					
	PEIL BEGIN GOOT	N.A.P.		67,664		
	Q =	m³/s		257724		
	peil gootbodem	N.A.P.	63,500			Doorgaande gootbodem.
	b2, breedte goot	m	13,00			
	b1, breedte voor gootverbreding	m	20,00			
	h2, waterdiepte achter gootvernaauwing	m		4,184		
	A2, doorsnede achter vernauwing	m²		54,39		
	v2, snelheid achter gootverbreding	m/s		1,32		
	h1, voorig	m		4,19		
	h1, nieuw	m		4,19		
	A1, doorsnede voor gootvernaauwing	m²		83,88		
	v1, snelheid voor vernauwing	m/s		0,85		
	Energieverlies = xi.v¹.v²/2a	m		0,01		
	xi =	m		0,01		
	h1, voor gootvernaauwing	m		4,19		
	PEIL VOOR GOOTCONSTRUCTIE	N.A.P.		67,664	0,010	
Module 5	DREMPEL UIT VERTICALE LEIDING					
	PEIL VOOR GOOTCONSTRUCTIE	N.A.P.		67,664		
	Q =	m³/s		257724		
	peil drempel	N.A.P.	63,500			Ontwerpskeuze
	drempellengte (totaal)	m	50,27			Ontwerpskeuze
	h3, tov drempelpell	m		-4,19		
	overstortende straal (als volkomen)	m		0,846		
	de overlaat is ...	m		onvolk.		
	gewenste reserve	m	0,000			
	reserve	m		-3,630		
	PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P.		67,700	0,006	
Module 6	VERTICALE LEIDING					
	PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P.		67,700		
	Q =	m³/s		257724		
	L, lengte leiding	m	20			Ontwerpskeuze
	D, inwendige diameter leiding	m	16,00			Ontwerpskeuze
	A =	m²	201,082			
	v =	m/s		0,366		
	k, wandruwheid	mm	1,00			Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
	C, Chezy coefficient =	m¹/³/s	84,3			
	lambda, l =	-	0,011			
	Energieverliezen:					
	- xi, uitredesverlies					
	- xi, wrijving (xi = f.L/D)					
	- xi, bochten en knikken:					
	Hydraulisch glad(1) of ruw(2)					
	0 5 °BOCHT					
	0 60 °BOCHT					
	1 90 °BOCHT					
	0 SCHUIFASLUITER					
	0 VUNDERKLEP					
	standaard					
	- xi, intredevies					
	- totaal xi =					
	dh =	m		0,33		
	PEIL	N.A.P.		67,702	0,002	
Module 7	VERWIJDING					
	PEIL -	N.A.P.		67,702		
	Q =	m³/s		128862		
	dimansionale verwijding (2 of 3)	m	3			
	D1, inh. diameter voor verwijding	m	3,50			Ontwerpskeuze
	D2, inh. diameter na verwijding	m	16,00			Ontwerpskeuze
	A1, oppervlak voor verwijding	m²	9,621			
	A2, oppervlak na verwijding	m²	201,082			
	v1, snelheid voor verwijding	m/s		3,720		
	alpha, hoek verwijding	graden	90,00			
	k, coefficient	mm	1,100			
	xi, verlies	m	0,997			
	dh =	m		0,704		
	PEIL VOOR VERWIDING	N.A.P.		68,405	0,704	
Module 8	TUNNEL LEIDING					
	PEIL VOOR VERWIDING	N.A.P.		68,405		
	Q =	m³/s		257724		
	L, lengte leiding	m	1310			Ontwerpskeuze
	D, inwendige diameter leiding	m	5,00			Ontwerpskeuze
	A =	m²	19,635			
	v =	m/s		3,646		
	k, wandruwheid	mm	1,00			Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
	C, Chezy coefficient =	m¹/³/s	75,2			
	lambda, l =	-	0,014			
	Energieverliezen:					
	- xi, uitredesverlies					
	- xi, wrijving (xi = f.L/D)					
	- xi, bochten en knikken:					
	Hydraulisch glad(1) of ruw(2)					
	0 45 °BOCHT					
	0 60 °BOCHT					
	0 90 °BOCHT					
	0 SCHUIFASLUITER					
	0 VUNDERKLEP					
	standaard					
	- xi, intredevies					
	- totaal xi =					
	dh =	m		3,64		
	PEIL -	N.A.P.		2,466		
	PEIL -	N.A.P.		70,871	2,466	

		Eenheid	systeem param.	Q nom	Verlies	opmerkingen & bronvermelding
Module 9	VERNAUWING PEIL - Qo = 0,5 Qt type vernauwing abrupt (2) D1, inv. diameter voor vernauwing D2, inv. diameter na vernauwing A1, oppervlak voor vernauwing A2, oppervlak na vernauwing v1, snelheid na vernauwing xi, verlies dh = PEIL VOOR VERNAUWING	N.A.P. m/h m m m² m² m/s m N.A.P.	2 18,00 3,50 254,469 8,621 0,481 0,339 71,210	70,871 126862 3,720 0,339 71,210	0,339 0,339	Gedeidelijke vernauwing via verlooptek Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze
Module 10	VERTICALE LEIDING PEIL VOOR VERNAUWING Q = 1 Qt L, lengte leiding D, inwendige diameter leiding A = v = k, wandruwheid C, Chezy coefficient = lambda, l = Energieverliezen: - xi, uitredeverlies - xi, wrijving (xi = f L/D) - xi, bochten en knikken: Hydraulisch glad(1) of ruw(2) 0 45 °BOCHT 0 60 °BOCHT 1 90 °BOCHT 0 SCHUIFASLUITER 0 VUINDERKLEP standaard - xi, intredevlies - totaal xi = dh = PEIL	N.A.P. m³/h m m m² m/s mm m³/(s)² - 0,01 0,00 0,00 0,32 0,00 0,00 m N.A.P.	20 18,00 254,469 1,00 85,2 0,011 0,01 0,00 0,00 0,32 0,00 0,00 0,33 0,001 71,212	71,210 257724 0,281 2 0,001 0,001	0,001 0,001	Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze Re = 10.000; turbulente stroming, module voldoet
Module 11	DREMPEL IN VERTICALE LEIDING PEIL - peil drempel drempellengte (totaal) k3, tov drempelpeil overstortende straal (als volkomen) de overlaat is ... gewenste reserve reserve PEIL VOOR DREMPEL	N.A.P. m/h N.A.P. m m m m N.A.P.	67,000 63,63 -4,21 0,723 onvolk. -3,750 tekort 71,215	71,212 257724 0,004	0,004	Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze
Module 12	GOOT INSTROOM PEIL VOOR DREMPEL Qo = 1 Qt B00, bodempel goot b, breedte goot vo1, waterhoogte stuwende afvoer vo2, waterhoogte vige afvoer vo maat, einde goot (grootste vol) Ao, matte doorsnede einde goot vo, stroomsnelheid einde goot L, lengte goot k, wandruwheid B, hydraulische straal C, chezy coefficient dh1, energieverlies: L*vo³/C²R dh2, incidentele verliezen xi = PEIL BEGIN GOOT	N.A.P. m³/h N.A.P. m m m m m² m/s m mm m m³/(s)² m m m N.A.P.	67,000 15,00 4,215 1,324 4,215 63,23 1,13 10,0 1,00 2,699 79,8 0,901 0,016 71,233	71,215 257724 0,017	0,017	Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze
Module 13	HEFDEUR PEIL BEGIN GOOT Q = 1 Qt B, breedte inlaat H, hoogte inlaat A1, wettable area Us, stroomsnelheid over de overstort Cx, Discharge coefficient G, vernedding Verliezen: dh = ((Us/cx)²/2)g PEIL VOOR VERDRONKEN DOORLAAT	N.A.P. m³/h m m m² m/s - m² m N.A.P.	15,0 2,7 40,50 1,77 1,00 9,81 0,159 71,262	71,233 257724 0,169	0,169	Ontwerpskeuze Ontwerpskeuze Aanname: beschikbare stroomoppervlakte tussen bovenkant overstortrand en onderkant plafond wordt volledig gebruikt
Module 14	ROOSTER PEIL VOOR VERDRONKEN DOORLAAT dh = PEIL VOOR ROOSTER	N.A.P. m N.A.P.	71,392 0,190 71,492	0,190 0,190	0,190	

XXVII

BIJLAGE: KOSTENRAMINGEN

2 x 3,5 m parallel	840	1030	1290	1390
Engineering	€ 1,500,000	€ 1,500,000	€ 1,500,000	€ 1,500,000
Vertrekschacht 18 m diameter, 19 diep, ruwbouw	€ 3,752,962	€ 3,752,962	€ 3,752,962	€ 3,417,911
Aankomstschacht 16 m diameter, 19m diep, ruwbouw	€ 3,317,380	€ 3,317,380	€ 3,317,380	€ 3,023,327
Start- en ontvangstvoorzieningen	€ 500,000	€ 500,000	€ 500,000	€ 500,000
Terreininrichting	€ 1,500,000	€ 1,500,000	€ 1,500,000	€ 1,500,000
Tunnelboorinstallaties	€ 1,000,000	€ 1,000,000	€ 1,000,000	€ 1,000,000
Mob/demob	€ 500,000	€ 500,000	€ 500,000	€ 500,000
Ontwerp en productie Ringen	€ 3,224,502	€ 3,931,235	€ 4,898,343	€ 5,270,308
Boorkosten incl. leegruimen	€ 5,880,000	€ 7,210,000	€ 9,030,000	€ 9,730,000
Afbouw, schuiven, installaties, aanpassing waterloop, etc.	€ 5,000,000	€ 5,000,000	€ 5,000,000	€ 5,000,000
Onvoorzien en onbenoemd 15%	€ 3,176,227	€ 3,481,737	€ 3,899,803	€ 3,966,232
Opslag AK, W&R 30%	€ 8,805,321	€ 9,507,994	€ 10,469,546	€ 10,622,333
TOTAAL	€ 38,156,393	€ 41,201,308	€ 45,368,035	€ 46,030,111

2 x 3,5 m parallel	840	1030	1290	1390
Engineering	€ 1,500,000	€ 1,500,000	€ 1,500,000	€ 1,500,000
Vertrekschacht 14 m diameter, 26 diep, ruwbouw	€ 3,492,995	€ 3,492,995	€ 3,492,995	€ 3,238,998
Aankomstschacht 12 m diameter, 26m diep, ruwbouw	€ 3,003,221	€ 3,003,221	€ 3,003,221	€ 2,788,336
Start- en ontvangstvoorzieningen	€ 500,000	€ 500,000	€ 500,000	€ 500,000
Terreininrichting	€ 1,500,000	€ 1,500,000	€ 1,500,000	€ 1,500,000
Tunnelboorinstallaties	€ 1,000,000	€ 1,000,000	€ 1,000,000	€ 1,000,000
Mob/demob	€ 500,000	€ 500,000	€ 500,000	€ 500,000
Ontwerp en productie Ringen	€ 3,224,502	€ 3,931,235	€ 4,898,343	€ 5,270,308
Boorkosten incl. leegruimen	€ 5,880,000	€ 7,210,000	€ 9,030,000	€ 9,730,000
Afbouw, schuiven, installaties, aanpassing waterloop, etc.	€ 5,000,000	€ 5,000,000	€ 5,000,000	€ 5,000,000
Onvoorzien en onbenoemd 15%	€ 3,090,108	€ 3,395,618	€ 3,813,684	€ 3,904,146
Opslag AK, W&R 30%	€ 8,607,248	€ 9,309,921	€ 10,271,473	€ 10,479,536
TOTAAL	€ 37,298,075	€ 40,342,990	€ 44,509,716	€ 45,411,324

1 x 5,0 m	840	1030	1290	1390
Engineering	€ 2,000,000	€ 2,000,000	€ 2,000,000	€ 2,000,000
Vertrekschacht 25 m diameter, 21m diep, ruwbouw	€ 5,747,441	€ 5,747,441	€ 5,747,441	€ 5,261,476
Aankomstschacht 14 m diameter, 21m diep, ruwbouw	€ 3,069,666	€ 3,069,666	€ 3,069,666	€ 2,815,668
Start- en ontvangstvoorzieningen, geen dichtblok nodig	€ 2,000,000	€ 2,000,000	€ 2,000,000	€ 2,000,000
Terreininrichting	€ 4,000,000	€ 4,000,000	€ 4,000,000	€ 4,000,000
Tunnelboorinstallaties	€ 12,000,000	€ 12,000,000	€ 12,000,000	€ 12,000,000
Mob/demob	€ 4,000,000	€ 4,000,000	€ 4,000,000	€ 4,000,000
Ontwerp en productie segmenten	€ 6,027,876	€ 7,221,681	€ 8,855,309	€ 9,483,628
Boorkosten incl. leegruimen	€ 4,200,000	€ 5,150,000	€ 6,450,000	€ 6,950,000
Afbouw, schuiven, installaties, aanpassing waterloop, etc.	€ 5,000,000	€ 5,000,000	€ 5,000,000	€ 5,000,000
Onvoorzien en onbenoemd 15%	€ 6,456,747	€ 6,778,318	€ 7,218,362	€ 7,276,616
Opslag AK, W&R 30%	€ 16,350,519	€ 17,090,132	€ 18,102,234	€ 18,236,216
TOTAAL	€ 70,852,249	€ 74,057,238	€ 78,443,012	€ 79,023,604

3 x 3,5 m parallel + gestapeld	840	1030	1290	1390
Engineering	€ 1,500,000	€ 1,500,000	€ 1,500,000	€ 1,500,000
Vertrekschacht 18 m diameter, 26 diep, ruwbouw	€ 4,534,747	€ 4,534,747	€ 4,534,747	€ 4,199,697
Aankomstschacht 16 m diameter, 26m diep, ruwbouw	€ 4,003,504	€ 4,003,504	€ 4,003,504	€ 3,709,451
Start- en ontvangstvoorzieningen	€ 750,000	€ 750,000	€ 750,000	€ 750,000
Terreininrichting	€ 1,500,000	€ 1,500,000	€ 1,500,000	€ 1,500,000
Tunnelboorinstallaties	€ 1,000,000	€ 1,000,000	€ 1,000,000	€ 1,000,000
Mob/demob	€ 750,000	€ 750,000	€ 750,000	€ 750,000
Ontwerp en productie Ringen	€ 4,786,754	€ 5,846,853	€ 7,297,514	€ 7,855,461
Boorkosten incl. leegruimen	€ 8,820,000	€ 10,815,000	€ 13,545,000	€ 14,595,000
Afbouw, schuiven, installaties, aanpassing waterloop, etc.	€ 5,000,000	€ 5,000,000	€ 5,000,000	€ 5,000,000
Onvoorzien en onbenoemd 15%	€ 4,146,751	€ 4,605,016	€ 5,232,115	€ 5,378,941
Opslag AK, W&R 30%	€ 11,037,527	€ 12,091,536	€ 13,533,864	€ 13,871,565
TOTAAL	€ 47,829,283	€ 52,396,656	€ 58,646,745	€ 60,110,115

XXVIII

BIJLAGE: MULTI-CRITERIA ANALYSES STAP 1+2

Trade- off-Matrix Flood Bypass Valkenburg: Inlaat locatie varianten

Opgesteld door:	Witteveen+Bos
Versie:	1
Datum:	18-6-2025
Object:	Flood Bypass Valkenburg

Variantenafweging

1 = zeer goed	2 = goed	2 = redelijk	3 = matig	4 = slecht
++ = zeer goed	+ = goed	+/- = redelijk	- = matig	-- = slecht

Varianten

Inlaat locatie 1	Inlaat locatie 2	Inlaat locatie 3
Naast tennisbaan	Naast voetbalveld	Achter strekdam

Aspecten	Sub-aspecten			
Hydraulische aspecten				
	Capaciteit Geul + Tunnel	105	106	115
	Prestatie in T25 (54 m3/s)	++	++	++
	Prestatie in T100 (2014) (84 m3/s)	++	++	++
	Prestatie in T100 (2085) (tot 134 m3/s)	+/-	+/-	+
	Prestatie bescherming Betsy Perklaan	+/-	+	++
	Rekenresultaten D-Hydro	-	-	+
	Betrouwbaarheid	n.o.	n.o.	n.o.
	Onderhoud	n.o.	n.o.	n.o.
	Flexibiliteit	+	+	++
	Mogelijkheid leegzetten tunnel	n.o.	n.o.	n.o.
	Beheersbaarheid	n.o.	n.o.	n.o.
	Drijfvuil/Hout	-	+/-	++
	Robuustheid	n.o.	n.o.	n.o.
	Sediment	n.o.	n.o.	n.o.
Realisatie en werkterrein				
	Werk- en bouwruimte	+/-	+/-	++
	Bereikbaarheid	++	+/-	+/-
	Risico's bij realisatie	++	++	+
	Hinder en geluidshinder	-	+/-	+
Omgevingsaspecten				
	Kabels en leidingen	+/-	++	-
	Kadastrale eigendomssituatie percelen	n.o.	n.o.	n.o.
	Kadastrale eigendomssituatie panden	n.o.	n.o.	n.o.
	Geologie	n.o.	n.o.	n.o.
	Geohydrologie	n.o.	n.o.	n.o.
	Archeologie	n.o.	n.o.	n.o.
	Cultuurhistorie	++	++	-
	Milieuhygiënische situatie	+	++	++
	Natura 2000 en NNN	++	++	+/-
	Inpasbaarheid in omgeving en esthetische waarde	-	+	-
Uitbreidbaarheid (3de tunnel) en toekomstbestendigheid		+	+	++
Toekomstige beperkingen		++	+	+/-
Kosten (M EUR)		38	41	45

Toelichting
De totaalcapaciteit van het systeem, net voor overstroming plaatsvind, is vanaf inlaat locatie variant 3 circa 10 m3/s (=10%) hoger dan varianten 1 en 2
Alle inlaat locatie varianten geven een totaalcapaciteit ruim boven de T25
Alle inlaat locatie varianten geven een totaalcapaciteit ruim boven de T100 (klimaat 2014)
Alle inlaat locatie varianten geven een totaalcapaciteit onder de T100 (klimaat 2085 'upper'), maar ruim boven 2085 'lower'
Variant 3 biedt meer bescherming aan de overstromingsgevoelige wijk bij de Betsy Perklaan, dan varianten 2 en 1. Variant 1 biedt de minste bescherming aan deze wijk (zonder aanvullende maatregelen)
Inlaatlocatie 3, gecombineerd met de strekdam, bied betere bescherming aan Valkenburg dan inlaatlocaties 1 en 2
De inlaat locatie varianten kennen geen onderscheid op gebied van betrouwbaarheid
De inlaat locatie varianten kennen geen onderscheid op gebied van onderhoud. Hoewel locatie 2 en 3 niet goed bereikbaar zijn op dit moment, zal dit verschil na realisatie niet meer bestaan. Elke locatie zal worden voorzien van een eigen onderhoudsweg
Inlaatlocatie 1 en 2 zijn niet te combineren met trace 4. Dit geeft een beperkt verschil in waardering
De locatie varianten hebben geen effect op de mogelijkheid om de tunnel eventueel leeg te zetten
De beheersbaarheid van het debiet wordt bepaald door het ontwerp van de inlaat, niet door de gekozen de locatie. Er is daarom geen onderscheid op dit aspect tussen de varianten
Drijfvuil en hout zal met name via de buitenbocht stromen. Bij locatie 2 kan het drijfvuil iets gemakkelijker rechtdoor stromen, met de Geul mee, dan op locatie 1. Locatie 3 is het meest gunstig voor drijfvuil/hout omdat de snelheid uit het water is en de inlaat het makkelijkst te ontwerpen om hiertegen te beschermen. Het belangrijkste is om in de uitwerking van het ontwerp goed rekening dient te houden met drijfvuil en hout.
De robuustheid van de inlaat wordt bepaald door het ontwerp van de inlaat, niet door de gekozen locatie. Er is daarom geen onderscheid op dit aspect tussen de varianten
Het risico op sedimentinloop van het debiet wordt met name bepaald door het ontwerp van de inlaat. De locatie speelt ook een rol. Echter, elke variant is zodanig te ontwerpen dat sedimentinloop van de bodem voorkomen kan worden . Zwend sediment zal in alle ontwerpvarianten doorstromen naar de tunnel en leiden tot (enige) onderhoudsopgave
Inlaat locatie varianten 1 en 2 hebben minder werkruimte beschikbaar dan locatie 3. Voor locatie 1 moeten de tennisbaan en het jeugdhonk wordt verplaatst. Voor locatie 2 moet een deel van de toegang tot de padelbaan worden heringericht
Inlaat locatie variant 1 heeft een goede bereikbaarheid, want is direct gelegen aan een doorgaande weg. Voor variant 2 en 3 zijn werkzaamheden benodigd om het terrein bereikbaar te maken voor groot materieel
Vanaf inlaatvariant 3 is een langere boring benodigd (1290 m). Hoewel deze lengte nog goed haalbaar is, geeft dat iets grotere risico's bij realisatie dan de kortere varianten vanaf 1 en 2.
Varianten 1 en 2 (met name 1) geven meer hinder en geluidshinder als gevolg van de locaties. Op locatie 1 wordt een tennisbaan, een parkeerplaats en een jeugdhonk verplaatst. Op locatie 2 wordt de inrit van de padelbaan heringericht. Variant 3 geeft de minste hinder
Inlaat locatie variant 1 heeft enkele kabels en leidingen bij de inlaat. Bij locatie variant 2 zijn er geen bestaande kabels en leidingen. Bij locatie bij variant 3 wordt een overstortleiding en een hoge druk gas leiding overkruist met de strekdam
De inlaat locatie varianten kennen geen onderscheid op gebied van onderkruisingen van percelen (Bijlage III)
De inlaat locatie varianten kennen geen onderscheid op gebied van onderkruisingen van panden (Bijlage IV)
De inlaat locatie varianten kennen geen onderscheid op gebied van geologie (Bijlage VI)
De inlaat locatie varianten kennen geen onderscheid op gebied van geohydrologie (Bijlage VIII en IX)
De inlaat locatie varianten kennen geen onderscheid op gebied van archeologie (Bijlage X)
Inlaat variant 3 heeft een ongunstig effect op de aanblik van Rijksmonument Kasteel Oost (Bijlage XII). Dit ongunstige effect is echter het gevolg van de aanleg van de strekdam, niet van de tunnelinlaat. Dit ongunstige effect wordt daarom buiten beschouwing gelaten in de afweging
De inlaat locatie varianten 2 en 3 zijn minder verdacht dan locatie 1 (Bijlage XIII)
Inlaat locatie variant 3 heeft effect op Natura2000 en NNN gebieden. Dit betekent minimaal extra vergunningsplichten (Bijlage XV en XVI). Dit ongunstige effect wordt daarom buiten beschouwing gelaten in de afweging
Voor inlaat locatie variant 1 dient het jeughonk en de tennisbaan te worden verplaatst en ligt dicht bij woonhuizen. Variant 2 bevindt zich op een locatie die wat verder van de bebouwing afstaat en in een gebied dat wordt heringericht, zodoende kan de inlaat met deze herinriching inpasbaar worden gemaakt. In Variant 3 wordt de technische constructie aangelegd in een natuurgebied. Dit is ongunstig, maar er is gelegenheid deze inpasbaar te ontwerpen met de strekdam. Het ongunstige effect van locatie 3 op de inpasbaarheid met de natuurlijke omgeving, het Natura 2000 gebied en de cultuurhistorische waarde van Kasteel Oost wordt buiten beschouwing gelaten in de afweging, omdat dit het gevolg is van het realiseren van berging in het Geuldal, niet van de aanleg van de inlaat
Op inlaat locatie 3 is de meeste ruimte beschikbaar voor eventuele uitbreiding. Locaties 1 en 2 hebben hier echter ook voldoende ruimte voor, daarom is het verschil in waardering beperkt
Hoe langer het tracé hoe meer beperking op toekomstige ontwikkelingen dit geeft, als gevolg van het zakelijk recht dat zal worden gevestigd boven de tunnel. Echter loopt in alle varianten de tunnel voor een belangrijk deel onder de Geul, waardoor geen van de varianten hier slecht op scoort
Er is geen onderscheidend kostenverschil voor de bouw van de inlaat op 1 van de 3 locatie varianten. Wel leiden de locatie varianten tot verschillende tracé lengtes. Dit kostenverschil is daaom in deze afweging lengtes meegenomenEen tracé vanaf inlaat locatie variant 3 is 10% duurder dan variant 2 en 20% duurder dan variant 1. De kosten van de strekdam zijn daarin niet meegenomen

Trade- off-Matrix Flood Bypass Valkenburg: Inlaat ontwerp varianten

Opgesteld door:	Witteveen+Bos
Versie:	1
Datum:	18-8-2025
Object:	Flood Bypass Valkenburg

Variantenafweging

1 = zeer goed	2 = goed	2 = redelijk	3 = matig	4 = slecht
++ = zeer goed	+ = goed	+/- = redelijk	- = matig	-- = slecht

Varianten

Inlaat ontwerp variant 1	Inlaat ontwerp variant 2	Inlaat ontwerp variant 3	Inlaat ontwerp variant 4
Rechte drempel	Rechte drempel met woelbak	Mechanische schuif	Opdrijfschot

Aspecten	Sub-aspecten				
Hydraulische aspecten					
	Capaciteit Geul + Tunnel	+	+/-	++	+
	Prestatie in T25 (54 m3/s)	++	++	++	++
	Prestatie in T100 (2014) (84 m3/s)	++	++	++	++
	Prestatie in T100 (2085) (tot 134 m3/s)	+	+	+	+
	Prestatie bescherming Betsy Perklaan	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Rekenresultaten D-Hydro				
	Betrouwbaarheid	++	++	+	-
	Onderhoud	++	++	+/-	-
	Flexibiliteit	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Mogelijkheid leegzetten tunnel	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Beheersbaarheid	-	-	++	-
	Drijfviul/Hout	+	-	+	++
	Robuustheid	++	+	+/-	--
	Sediment	+	+	+/-	+/-
Realisatie en werkterrein					
	Werk- en bouwruimte	+	+/-	++	+
	Bereikbaarheid	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Risico's bij realisatie	+	++	+/-	+
	Hinder en geluidshinder	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
Omgevingsaspecten					
	Kabels en leidingen	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Kadastrale eigendomssituatie percelen	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Kadastrale eigendomssituatie panden	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Geologie	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Geohydrologie	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Archeologie	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Cultuurhistorie	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Milieuhygiënische situatie	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Natura 2000 en NNN	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
Inpasbaarheid in omgeving en esthetische waarde		++	+	+/-	++
Uitbreidbaarheid (3de tunnel) en toekomstbestendigheid		n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
Toekomstige beperkingen		+	+/-	++	+
Kosten (M EUR)		n.o.	n.o.	n.o.	n.o.

Toelichting					
De mechanische schuif is hydraulisch het meest gunstig, omdat hiermee het gehele doorstromende oppervlakte te openen is. De doorlaat en rechte drempel zijn hydraulisch iets minder gunstig. De rechte doorlaat met woelbak is nog iets minder gunstig omdat hierbij een aanvullend verlies is over de hoogwaterberm. Onderlinge verschillen in hydraulische verliezen zijn te beperken zijn door juiste dimensionering in het schetsontwerp.					
Alle ontwerpvarianten geven een totaalcapaciteit ruim boven de T25					
Alle ontwerpvarianten geven een totaalcapaciteit ruim boven de T100 (klimaat 2014)					
Alle ontwerpvarianten geven een totaalcapaciteit onder de T100 (klimaat 2085 'upper'), maar ruim boven 2085 'lower'					
De keuze voor de ontwerpvarianten heeft geen onderscheidend effect op de bescherming van de Betsy Perklaan					
Het hydraulische verschil tussen de ontwerpvarianten is niet in D-Hydro scenario's vergeleken					
De passieve varianten 1 en 2 zijn veel betrouwbaarder dan de mechanische hefdeur. Ook het opdrijfschot is minder betrouwbaar, omdat de schotten kunnen vastzitten door roest of vervuiling, of zelfs dicht zouden kunnen worden gedrukt door de waterdruk. Het opdrijfschot wordt gezien als het minst betrouwbaar, omdat de schotten zouden vast kunnen komen te zitten door drijf hout of de waterdruk. Alleen het waterpeil stuurt dit schot aan. De mechanische hefdeur is hydraulisch en daarmee een robuuster, betrouwbaar systeem dan het opdrijfschot. De open drempel is het meest betrouwbaar. Tevens is er een relatief snelle reactietijd van het systeem vereist, ivm de snelheid waarmee het waterpeil in de Geul kan stijgen. Dit geeft een korte tijd voor menselijk ingrijpen, mocht een mechanisch systeem falen					
De mechanische hefdeur en het opdrijfschot hebben meer onderhoud nodig dan de passieve varianten. Het drijfschot heeft het meeste onderhoud nodig omdat deze het gevoeligst is om vast komen te zitten. . De hefdeur vergt ook meer onderhoud omdat daat werktuigbouwkundige en elektrotechnische onderdelen aan zitten.					
De inlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op het gebied van flexibiliteit. Elk ontwerp is met elk trace te combineren					
De inlaat ontwerp varianten hebben weinig effect op de mogelijkheid om de tunnel eventueel leeg te zetten. Wanneer de diepgelegen opdrijfschot variant of hefdeur variant de tunnel goed afsluit is de tunnel met alle inlaat ontwerpvarianten afsluitbaar aan de inlaatzijde					
De mechanische hefdeur geeft de meeste beheersbaarheid van het debiet door de tunnel en de frequentie van inzet. Bij de andere 3 varianten is er geen sprake van beheersing. De beheersbaarheid wordt in overleg met de projectgroep niet als belangrijk aspect gezien. Een laagliggende inlaat die relatief vaak in werking treedt wordt gezien als een voordeel					
De variant met de woelbak geeft het risico dat drijf vuil of hout in de woelbak wordt 'gevangen'. In het referentieproject in Lyss is de situatie anders dan in Valkenburg: in Lyss is sprake van een smalle hoofdstroom die over een lange afstand rechtdoor stroomt. Bij inzet van de tunnel wordt de hoofdstroom deels gesloten met een mechanische schuif. In die situatie blijft drijf vuil of hout bovenstroms van de schuif steken, waardoor de woelbak afstand tot het vuil creëert. In de situatie van Valkenburg kan bij de inzet van een rechte drempel, of hefdeur, parallel geplaatst aan de stroming het drijf vuil gemakkelijk verder stroomafwaarts stromen. Het opdrijfschot geeft de beste beveiliging tegen drijf vuil omdat de waterspiegel altijd tegen het drijfschot aan staat					
De drempel is het meest robuust omdat dit enkel een betonnen constructie is. De variant met woelbak is iets minder robuust omdat de hoogwaterberm beschadigd kan raken. De mechanische hefdeur is ook robuust , maar het faalrisico bij deze complexere constructie is iets hoger dan bij een eenvoudige constructie. Er bestaat het risico dat op termijn de onderhoudsinspanning van de hefdeur onvoldoende is, waardoor de faalkans van het systeem toeneemt. De opdrijfschotten tot slot zijn het minst robuust omdat deze ook bij harde wind of golven nadelig effect op de werking kunnen ondervinden.					
De mechanische hefdeur en het opdrijfschot hebben beide iets meer kans op sediment inloop, omdat de bodem van de inlaat dieper in het water ligt. De sedimentinloop van de bodem is te beheersen met een sedimentschot. Zwevend sediment zal in alle ontwerpvarianten doorstromen naar de tunnel, daarom is het verschil in waardering beperkt					
De woelbak-variant heeft een groter werkterrein nodig dan de andere varianten omdat deze meer ruimte in beslag neemt. De hefdeur neemt de minste ruimte in beslag					
De inlaat ontwerpvarianten hebben geen effect op de bereikbaarheid					
De woelbak variant heeft het minste risico bij realisatie omdat de belangrijkste werktuigbouwkundige en civiele werkzaamheden verder van de Geul worden uitgevoerd. Voor de andere 3 varianten dienen aanzienlijke civiele werken direct aan de hoofdstroom uitgevoerd te worden, waarbij dit bij de hefdeur het meest het geval is					
De inlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van hinder / geluidshinder					
De inlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van kabels en leidingen					
De inlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van onderkruisingen van percelen (Bijlage III)					
De inlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van onderkruisingen van panden (Bijlage IV)					
De inlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van geologie (Bijlage VI)					
De inlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van geohydrologie (Bijlage VIII en IX)					
De inlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van archeologie (Bijlage X)					
De inlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van cultuurhistorie (Bijlage XII)					
De inlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van milieuhygiëne (Bijlage XIII)					
De inlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van Natura2000 en NNN (Bijlage XV en XVI)					
De rechte drempel en het opdrijfschot zijn het makkelijkst inpasbaar in de omgeving, indien het van belang is om de minste visuele impact te hebben. Alle varianten zijn esthetisch inpasbaar te maken met een architectonisch ontwerp of gebiedsplan. De mechanische hefdeur heeft echter wel de meeste visuele impact omdat de constructie hiervan het hoogst boven het maaiveld uit zal steken					
De locatiekeuze en beschikbare ruimte voor uitbreiding speelt een veel belangrijkere rol in de uitbreidbaarheid dan de leuze voor de inlaat ontwerpvariant. Daarom zijn deze als 'niet-onderscheidend' gewaardeerd					
Het ontwerp voor de hefdeur variant is enigszins kleiner dan de andere 3 ontwerpen. De woelbak variant neemt de meest ruimte in beslag en geeft daardoor de meeste toekomstige beperkingen					
Voor de rechte drempel is de civiele constructie groter enerzijds. Bij de hefdeur variant zijn er kosten voor de mechanische en elektrotechnische installaties anderszids. In een eerdere studie [ref. 15] zijn de totaalkosten van de 2 varianten met een passieve rechte drempel en een mechanische hefdeur als vergelijkbaar ingeschat. Ook voor de variant met de woelbak en de opdrijfschotten is de verwachting dat de totaalkosten niet al te ver uit elkaar zullen liggen. De kosten voor de inlaatvariant wordt daarom niet onderscheidend beschouwd					

Trade- off-Matrix Flood Bypass Valkenburg: Uitlaat locatie varianten

Opgesteld door:	Witteveen+Bos
Versie:	1
Datum:	18-6-2025
Object:	Flood Bypass Valkenburg

Variantenafweging

1 = zeer goed	2 = goed	2 = redelijk	3 = matig	4 = slecht
++ = zeer goed	+ = goed	+/- = redelijk	- = matig	-- = slecht

Varianten

Uitlaat locatie 1	Uitlaat locatie 2
Nevengeul	Odapark

Aspecten	Sub-aspecten		
Hydraulische aspecten			
	Capaciteit Geul + Tunnel	114	115
	Prestatie in T25 (54 m3/s)	++	++
	Prestatie in T100 (2014) (84 m3/s)	++	++
	Prestatie in T100 (2085) (tot 134 m3/s)	+	+
	Prestatie bescherming Betsy Perklaan	n.o.	n.o.
	Rekenresultaten D-Hydro		
	Betrouwbaarheid	n.o.	n.o.
	Onderhoud	+/-	++
	Flexibiliteit	--	++
	Mogelijkheid leegzetten tunnel	++	+/-
	Beheersbaarheid	n.o.	n.o.
	Drijfvuil/Hout	n.o.	n.o.
	Robuustheid	n.o.	n.o.
	Sediment	n.o.	n.o.
Realisatie en werkerterrein			
	Werk- en bouwruimte	++	++
	Bereikbaarheid	+/-	++
	Risico's bij realisatie	--	+
	Hinder en geluidshinder	+	--
Omgevingsaspecten			
	Kabels en leidingen	++	+
	Kadastrale eigendomssituatie percelen	++	++
	Kadastrale eigendomssituatie panden	+	+
	Geologie	n.o.	n.o.
	Geohydrologie	n.o.	n.o.
	Archeologie	n.o.	n.o.
	Cultuurhistorie	n.o.	n.o.
	Milieuhygiënische situatie	n.o.	n.o.
	Natura 2000 en NNN	++	++
Inpasbaarheid in omgeving en esthetische waarde		-	++
Uitbreidbaarheid (3de tunnel) en toekomstbestendigheid		n.o.	n.o.
Toekomstige beperkingen		+	+/-
Kosten (M EUR)		n.o.	n.o.

Toelichting

De berekening voor beide varianten is uitgevoerd bij trace variant 4, omdat deze variant de variant is de meest realisatische variant is om door te trekken naar de nevengeul. In de nevengeul is er lager waterpeil op het maatgevende moment van de bui dan bij Odapark (NAP + 67,0 m i.p.v. NAP 67,5 m), Daarmee is er 0,5 m extra drukhoogte beschikbaar in de nevengeul variant, ten opzichte van Odapark. De weergegeven totaalcapaciteiten zijn dan hoger dan de waarden in de rapportage. Uit de vergelijkingen van de rekenresultaten blijkt dat de het nadeel van de extra tunnelling (en dus extra weerstand), het voordeel van de extra 0,5m drukhoogte ongeveer opheft. De varianten zijn daarom op dit aspect niet onderscheidend
Beide uitlaatlocaties geven een totaalcapaciteit ruim boven de T25
Beide uitlaatlocaties geven een totaalcapaciteit ruim boven de T100 (klimaat 2014)
Beide uitlaatlocaties geven een totaalcapaciteit onder de T100 (klimaat 2085 'upper'), maar ruim boven 2085 'lower'
De keuze voor de uitlaatlocatie heeft geen onderscheidend effect op de bescherming van de Betsy Perklaan
Berekeningen volgen later
De locatie varianten voor de uitlaat hebben geen effect op de betrouwbaarheid van de bypass, en kennen daarom geen onderscheid
Uitlaatlocatie 1 heeft meer onderhoud nodig van de nevengeul, doordat het vaker en langer nat is in de nevengeul, dan het geval is in de huidige situatie
De nevengeul locatie is alleen te combineren met trace variant 4. Het trace van varianten 1, 2 en 3 naar de nevengeul zou namelijk onder meer percelen en panden lopen aan de Polfermolen. Dit is voormalig moerasgebied en mogelijk zijn deze panden op palen gefundeerd. Door deze omstandigheden is het veel minder gunstig om via trace 1, 2 of 3 naar de nevengeul te boren.
Voor de Odapark variant is de mogelijkheid van het leegzetten van de tunnel afhankelijk van het ontwerp van de uitlaat. Bij de nevengeul locatie is de tunnel gemakkelijk leeg te zetten, omdat de nevengeul normaliter droog is
De keuze van de uitlaatlocatie heeft geen effect op beheersbaarheid van het uitlaatsysteem
De keuze van de uitlaatlocatie heeft geen effect op inloop of versturende werking van drijfvuil
De keuze van de uitlaatlocatie heeft geen effect op robuustheid
De keuze van de uitlaatlocatie heeft geen effect op inloop of versturende werking van sediment
Beide varianten hebben voldoende bouwruimte
De nevengeul heeft een iets minder goede bereikbaarheid voor groot materieel omdat deze (momenteel) alleen benaderbaar is via twee bruggetjes. Odapark is zeer goed bereikbaar via de Prins Bernhardlaan
De uitlaatlocatie nevengeul scoort minder gunstig omdat voor deze locatie een langere boring nodig is dan voor Odapark (1.590 m vs 1.310m). Het heeft de voorkeur om de lengte van de doorpersing te beperken tot 1.200 a 1.300 m. Bij langere lengtes neemt het risico bij realisatie toe.
Werkzaamheden op Odapark beperken geduren langere tijd de parkeermogelijkheden in Valkenburg. Het parkeerterrein zal worden ingezet als werkerterrein. Tevens is er geluidshinder van de scheidingsinstallatie. De afstand van locatie 1 (nevengeul) tot het centrum en het woongebied betekent dat er op deze locatie minder hinder is
In Odapark zijn iets meer kabels en leidingen aanwezig dan in de nevengeul. Er ligt echter geen hoofdinfrastructuur in Odapark
Beide uitlaatlocaties bevinden zich geheel op terrein van de Gemeente
Beide uitlaatlocaties hebben geen effect op panden
De uitlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van geologie (Bijlage VI)
De uitlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van geohydrologie (Bijlage VIII en IX)
De uitlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van archeologie (Bijlage X)
De uitlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van cultuurhistorie (Bijlage XII)
De uitlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van milieuhygiene (Bijlage XIII)
Welke variant heeft het minste een ongunstig effect op Natura 2000 en NNN gebieden, beide hebben geen raakvlak met Natura2000 of NNN gebieden
Het civieltechnische kunstwerk is beter inpasbaar in een stedelijke omgeving van Odapark, dan de natuurlijke omgeving van de nevengeul
Er is geen onderscheid tussen de uitlaatlocaties op grond van uitbreidbaarheid
De uitlaatlocatie in de nevengeul is buiten het ontwikkelde gebied van Valkenburg en heeft daar minder toekomstige beperkingen dan de Odapark locatie. De Odapark locatie gaat ten koste van de hoeveelheid parkeerplaatsen en toekomstige ontwikkelmogelijkheden op Odapark. Aan de andere kant geeft de nevengeul locatie een langere boring, en daarmee een groter gebied dat zal worden gedefinieerd als 'overkluizing' waarboven ontwikkelingen beperkt zullen zijn. In balans wordt de nevengeul locatie als gezien als 'minder beperkend' dan Odapark
Er is op dit detailniveau (schetsontwerp) geen onderscheidend verschil vast te stellen tussen de uitlaatlocaties op grond van kosten

Trade- off-Matrix Flood Bypass Valkenburg: Uitlaat ontwerp varianten

Opgesteld door:	Witteveen+Bos
Versie:	1
Datum:	18-6-2025
Object:	Flood Bypass Valkenburg

Variantenafweging

1 = zeer goed	2 = goed	2 = redelijk	3 = matig	4 = slecht
++ = zeer goed	+ = goed	+/- = redelijk	= matig	-- = slecht

Varianten

Uitlaat ontwerp variant 1	Uitlaat ontwerp variant 2	Uitlaat ontwerp variant 3
Rechte drempel	Vrije uitstroom	Halfronde koepel

Aspecten	Sub-aspecten			
Hydraulische aspecten				
	Capaciteit Geul + Tunnel	+	++	--
	Prestatie in T25 (54 m3/s)	++	++	++
	Prestatie in T100 (2014) (84 m3/s)	++	++	++
	Prestatie in T100 (2085) (tot 134 m3/s)	+	+	+
	Prestatie bescherming Betsy Perklaan	n.o.	n.o.	n.o.
	Rekenresultaten D-Hydro	n.o.	n.o.	n.o.
	Betrouwbaarheid	n.o.	n.o.	n.o.
	Onderhoud	n.o.	n.o.	n.o.
	Flexibiliteit	+	+	-
	Mogelijkheid leegzetten tunnel	++	-	++
	Beheersbaarheid	n.o.	n.o.	n.o.
	Drijfvuil/Hout	+/-	++	+/-
	Robuustheid	n.o.	n.o.	n.o.
	Sediment	n.o.	n.o.	n.o.
Realisatie en werkkerrein				
	Werk- en bouwruimte	+	+	++
	Bereikbaarheid	n.o.	n.o.	n.o.
	Risico's bij realisatie	+	+	+/-
	Hinder en geluidshinder	-	+/-	+/-
Omgevingsaspecten				
	Kabels en leidingen	n.o.	n.o.	n.o.
	Kadastrale eigendomssituatie percelen	n.o.	n.o.	n.o.
	Kadastrale eigendomssituatie panden	n.o.	n.o.	n.o.
	Geologie	n.o.	n.o.	n.o.
	Geohydrologie	n.o.	n.o.	n.o.
	Archeologie	n.o.	n.o.	n.o.
	Cultuurhistorie	n.o.	n.o.	n.o.
	Milieuhygiënische situatie	n.o.	n.o.	n.o.
	Natura 2000 en NNN	n.o.	n.o.	n.o.
Inpasbaarheid in omgeving en esthetische waarde		+/-	+	++
Uitbreidbaarheid (3de tunnel) en toekomstbestendigheid		+	+	+/-
Toekomstige beperkingen		-	+	++
Kosten (M EUR)		+	+	-

Toelichting

De uitstroom direct op de bocht in de Geul is hydraulisch het gunstigst omdat dit het minste verlies geeft. De halfronde koepel is hydraulisch zeer ongunstig omdat deze verder bovenstrooms ligt en het water erna meer bochten moet maken. Het is onwenselijk om een hydraulisch ongunstig ontwerp te maken terwijl tegelijkertijd een mogelijke uitbreiding in de toekomst benodigd is als gevolg van beperkte capaciteit
Alle ontwerpvarianten geven een totaalcapaciteit ruim boven de T25
Alle ontwerpvarianten geven een totaalcapaciteit ruim boven de T100 (klimaat 2014)
Alle ontwerpvarianten geven een totaalcapaciteit onder de T100 (klimaat 2085 'upper'), maar ruim boven 2085 'lower'
De keuze voor de ontwerpvarianten heeft geen onderscheidend effect op de bescherming van de Betsy Perklaan
Het hydraulische verschil tussen de ontwerpvarianten is niet in D-Hydro scenario's vergeleken
Alle uitlaat ontwerp varianten zijn passief en dus niet onderscheidend op het gebied van betrouwbaarheid
Alle ontwerp varianten hebben een vergelijkbare hoeveelheid onderhoud nodig aan de uitlaatzijde. Dit is daarmee geen onderscheidend aspect
De halfronde koepel kan op slechts 1 locatie worden gerealiseerd en kan niet worden gecombineerd met trace 4.De andere 2 ontwerpen zijn minder beperkt wat betreft mogelijke combinaties met locatie en tunnel trace
De rechte drempel en halfronde koepelen staan toe dat de tunnel tussentijds wordt droog gezet. Bij de vrije uitstroom is dit niet het geval. Wanneer het de voorkeur heeft om de tunnel tussentijds vaak droog te zetten is er bij de vrije uitstroom variant een aanvullende ontwerpmaatregel nodig, zoals een parallel kanaal aan de Geul, of een drempel die de vrij uitstroom gedeeltelijk afsluit. Dit gaat ten koste van de capaciteit. De vrij uitstroom wordt daarmee een rechte drempel
De keuze voor het uitlaat ontwerp heeft geen effect op beheersbaarheid van het debiet en de frequentie van de inzet van de bypass
Een vrije uitstroom heeft iets minder onderhoud nodig dan de andere varianten, omdat er minder gemakkelijk drijfvuil blijft liggen achter de uitlaat
Het uitlaatonwerp heeft geen effect op de robuustheid van het systeem
Het uitlaatonwerp heeft geen effect op het risico van sedimentinloop in het systeem
Alle varianten hebben een vergelijkbaar gebied aan werkkerrein nodig. De halfronde koepel wordt het versts van de parkeerplaats gebouwd. Deze variant gaat daarom het minst te koste van het gebruik van het parkeerterrein tijdens de realisatie
Er is geen onderscheid tussen de uitlaatonwerp varianten op grond van bereikbaarheid
Voor de halfronde koepel zijn uitgebreidere en langdurigere werkzaamheden benodigd direct aan de Geul. Dit geeft meer risico bij een eventuele hoogwatergolf tijdens de uitvoering
Variant 1 geeft de meeste hinder omdat deze aan de westzijde van de parkeerplaats Odapark wordt gerealiseerd. Variant 2 en 3 geven iets minder hinder door de ligging. Dit onderscheid geldt alleen voor de Odapark locatie. Op de nevegeul locatie is er geen onderscheid
De uitlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van kabels en leidingen
De uitlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van onderkruisingen van percelen (Bijlage III)
De uitlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van onderkruisingen van panden (Bijlage IV)
De uitlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van geologie (Bijlage VI)
De uitlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van geohydrologie (Bijlage VIII en IX)
De uitlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van archeologie (Bijlage X)
De uitlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van cultuurhistorie (Bijlage XII)
De uitlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van milieuhygiene (Bijlage XIII)
De uitlaat ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van Natura2000 en NNN (Bijlage XV en XVI)
De esthetische waarde van de varianten is afhankelijk van het architectonisch ontwerp. Bij de halfronde koepel ligt dit het meest voorhanden, maar omdat hier nog invloed op is uit te oefenen worden de varianten niet heel verschillend gewaardeerd op dit aspect. Variant 1 heeft wel de grootste negatieve effect op de inzet van het parkeerterrein naar de toekomst toe
De halfronde koepel is moeilijker uitbreidbaar indien er in de toekomst een 3de tunnel wordt bijgeboord
De halfronde koepel ligt het verste van Odapark vandaan en heeft daarmee de minste toekomstige beperkingen, als het gaat om de eventuele ontwikkeling van Odapark in de toekomstig. De rechte drempel geeft door de ligging de meeste beperkingen
De kwalitatieve inschatting is dat de halfronde koepel het duurst zal zijn. De andere varianten zullen vergelijkbare kosten hebben

Trade- off-Matrix Flood Bypass Valkenburg: Tracé Varianten

Opgesteld door:	Witteveen+Bos
Versie:	1
Datum:	18-6-2025
Object:	Flood Bypass Valkenburg

Varianten

Tracé Variant 1	Tracé Variant 2	Tracé Variant 3	Tracé Variant 4
Korte variant	Middellange variant	Lange variant met strekdam via zuidtak Geul	Lange variant met strekdam via noordtak Geul

Aspecten	Sub-aspecten				
Hydraulische aspecten					
	Capaciteit Geul + Tunnel	105	106	115	115
	Prestatie in T25 (54 m3/s)	++	++	++	++
	Prestatie in T100 (2014) (84 m3/s)	++	++	++	++
	Prestatie in T100 (2085) (tot 134 m3/s)	+/-	+/-	+	+
	Prestatie bescherming Betsy Perklaan	+/-	+	++	++
	Rekenresultaten D-Hydro	-	-	+	+
	Betrouwbaarheid	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Onderhoud	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Flexibiliteit	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Mogelijkheid leegzetten tunnel	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Beheersbaarheid	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Drijfvuil/Hout	-	+/-	++	++
	Robuustheid	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Sediment	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
Realisatie en werkkerrein					
	Werk- en bouwruimte	+/-	++	++	++
	Bereikbaarheid	++	+/-	+/-	+/-
	Risico's bij realisatie	++	++	+	+
	Hinder en geluidshinder	-	+/-	+	+
Omgevingsaspecten					
	Kabels en leidingen	+/-	++	-	-
	Kadastrale eigendomssituatie percelen	32 tot 55	32 tot 55	37 tot 60	45 tot 60
	Kadastrale eigendomssituatie panden	2 tot 5	2 tot 6	2 tot 5	22 tot 29
	Geologie	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Geohydrologie	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Archeologie	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
	Cultuurhistorie	++	++	--	--
	Milieuhygiënische situatie	+	+	++	++
	Natura 2000 en NNN	++	++	-	-
Inpasbaarheid in omgeving en esthetische waarde		-	++	-	-
Uitbreidbaarheid (3de tunnel) en toekomstbestendigheid		-	+	++	++
Toekomstige beperkingen		++	+	+/-	+/-
Kosten (M EUR)		38	41	45	46

Variantenafweging

1 = zeer goed	2 = goed	2 = redelijk	3 = matig	4 = slecht
++ = zeer goed	+ = goed	+/- = redelijk	- = matig	-- = slecht

Toelichting
De totaalcapaciteit van het systeem, net voor overstroming plaatsvind, ligt bij varianten 3 en 4 (met strekdam) circa 10 m3/s (=10%) hoger dan varianten 1 en 2
Alle tracé varianten geven een totaalcapaciteit ruim boven de T25
Alle tracé varianten geven een totaalcapaciteit ruim boven de T100 (klimaat 2014)
Alle tracé varianten geven een totaalcapaciteit onder de T100 (klimaat 2085 'upper'), maar ruim boven 2085 'lower'
Varianten 3 en 4 bieden meer bescherming aan de overstromingsgevoelige wijk bij de Betsy Perklaan, dan varianten 2 en 1. Variant 1 bied de minste bescherming aan deze wijk (zonder aanvullende maatregelen)
Tracé 3 en 4, gecombineerd met de strekdam, bieden betere bescherming aan Valkenburg dan tracé 1 en 2
De tracé varianten kennen geen onderscheid op gebied van betrouwbaarheid
De tracé varianten kennen geen onderscheid op gebied van onderhoud
De tracé varianten kennen geen onderscheid op gebied van flexibiliteit
De tracé varianten hebben geen effect op de mogelijkheid om de tunnel eventueel leeg te zetten
De tracé varianten kennen geen onderscheid op gebied van beheersbaarheid
Drijfvuil en hout zal met name via de buitenbocht stromen. Bij locatie 2 kan het drijfvuil iets gemakkelijker rechtdoor stromen, met de Geul mee, dan op locatie 1. Locatie 3 is het meest gunstig voor drijfvuil/hout omdat de snelheid uit het water is en de inlaat het makkelijkst te ontwerpen om hiertegen te beschermen. Het belangrijkste is echter om in de uitwerking van het ontwerp goed rekening dient te houden met drijfvuil en hout.
De tracé varianten kennen geen onderscheid op gebied van robuustheid
De tracé varianten kennen geen onderscheid op gebied van risico op sedimentinloop
Tracé varianten 2, 3 en 4 hebben aan de inlaatzijde meer werk en bouwruimte dan variant 1
Tracé varianten 1 heeft een goede bereikbaarheid, want is direct gelegen aan een doorgaande weg. Voor variant 2, 3 en 4 dient een bouwweg (en onderhoudsweg) te worden gerealiseerd om voldoende bereikbaar te zijn
Tracé variant 3 en 4 zijn langere boringen. Hoewel de lengtes nog goed haalbaar zijn, geven de langer lengtes iets grotere risico's bij realisatie dan de kortere varianten 1 en 2.
Tracé varianten 1 en 2 (met name 1) geven meer hinder en geluidshinder als gevolg van de locatie van de inlaten. Op locatie 1 wordt een tennisbaan, een parkeerplaats en een jeugdhonk verwijderd. Op locatie 2 wordt de inrit van de padelbaan heringericht. Varianten 3 en 4 geven de minste hinder
Tracé variant 1 heeft enkele kabels en leidingen bij de inlaat. Variant 2 heeft er geen. In variant 3 en 4 wordt een 700 mm overstortleiding en een hoge druk gas leiding overkruist met de strekdam
Tracé variant 4 onderkruist meer percelen dan varianten 1, 2 en 3, maar het is niet significant meer. Alle varianten scoren gelijk
Tracé variant 4 onderkruist veel meer panden dan varianten 1, 2 en 3
De tracé varianten kennen geen onderscheid op gebied van geologie
De tracé varianten kennen geen onderscheid op gebied van geohydrologie
De tracé varianten kennen geen onderscheid op gebied van archeologie
Tracé varianten 3 en 4 hebben een ongunstig effect op de aanblik van Rijksmonument Kasteel Oost
De inlaat locaties van tracé varianten 2, 3 en 4 zijn minder verdacht dan locatie 1
Tracé varianten 3 en 4 hebben effect op Natura2000 en NNN gebieden. Dit betekent minimaal extra vergunningsplichten
Voor trace variant 1 dient het jeugdhonk en de tennisbaan te worden afgebroken. Variant 2 start in een gebied dat wordt heringericht, zodoende kan de inlaat met deze herinrichting inpasbaar worden gemaakt. Voor variant 3 is de inlaat moeilijker inpasbaar te maken met de huidige aanblik van de natuurlijke omgeving
Voor een eventuele toekomstige uitbreiding is bij trace varianten 3 en 4 de meeste ruimte beschikbaar. Op locatie 1 de ruimte het meest beperkt
De langere tracé varianten geven meer beperking op toekomstige ontwikkelingen dan de kortere varianten als gevolg van het zakelijk recht dat wordt gevestigd op het leiding trace
Tracé varianten 3 en 4 zijn circa 10% duurder dan varianten 1 en 2. De kosten van de strekdam zijn daarin niet meegenomen

Trade- off-Matrix Flood Bypass Valkenburg: Tunnel ontwerp varianten

Opgesteld door:	Witteveen+Bos
Versie:	1
Datum:	18-6-2025
Object:	Flood Bypass Valkenburg

Variantenafweging

1 = zeer goed	2 = goed	2 = redelijk	3 = matig	4 = slecht
++ = zeer goed	+ = goed	+/- = redelijk	- = matig	-- = slecht

Varianten

Tunnel ontwerp Variant 1	Tunnel ontwerp Variant 2	Tunnel ontwerp Variant 3
2x ø3,5m Parallel	2x ø3,5m Gestapeld	1x ø5,0m

Aspecten	Sub-aspecten			
Hydraulische aspecten				
	Capaciteit Geul + Tunnel	105-113	106-113	115-126
	Prestatie in T25 (54 m3/s)	++	++	++
	Prestatie in T100 (2014) (84 m3/s)	++	++	++
	Prestatie in T100 (2085) (tot 134 m3/s)	+/-	+/-	+
	Prestatie bescherming Betsy Perklaan	n.o.	n.o.	n.o.
	Rekenresultaten D-Hydro			
	Betrouwbaarheid	n.o.	n.o.	n.o.
	Onderhoud	++	--	++
	Flexibiliteit	n.o.	n.o.	n.o.
	Mogelijkheid leegzetten tunnel	n.o.	n.o.	n.o.
	Beheersbaarheid	n.o.	n.o.	n.o.
	Drijfvuil/Hout	n.o.	n.o.	n.o.
	Robuustheid	n.o.	n.o.	n.o.
	Sediment	n.o.	n.o.	n.o.
Realisatie en werkterrein				
	Werk- en bouwruimte	++	++	-
	Bereikbaarheid	n.o.	n.o.	n.o.
	Risico's bij realisatie	+	+	++
	Hinder en geluidshinder	+	+	-
Omgevingsaspecten				
	Kabels en leidingen	n.o.	n.o.	n.o.
	Kadastrale eigendomssituatie percelen	55-60	32 tot 37	32 tot 37
	Kadastrale eigendomssituatie panden	5 a 6	2	2
	Geologie	n.o.	n.o.	n.o.
	Geohydrologie	n.o.	n.o.	n.o.
	Archeologie	n.o.	n.o.	n.o.
	Cultuurhistorie	n.o.	n.o.	n.o.
	Milieuhygiënische situatie	n.o.	n.o.	n.o.
	Natura 2000 en NNN	n.o.	n.o.	n.o.
Inpasbaarheid in omgeving en esthetische waarde		n.o.	n.o.	n.o.

Toelichting

De totaalcapaciteit van het systeem ligt bij variant 3 circa 10% hoger dan bij variant 1 en 2. Daarbij is het bij variant 3 ook mogelijk om tegen beperkte meerkosten een capaciteit van 134 m3/s te behalen, door de segmententunnel iets groter aan te leggen (ongeveer ~ø5,4 m)
Alle ontwerpvarianten geven een totaalcapaciteit ruim boven de T25
Alle ontwerpvarianten geven een totaalcapaciteit ruim boven de T100 (klimaat 2014)
Alle ontwerpvarianten geven een totaalcapaciteit onder de T100 (klimaat 2085 'upper'). Met een iets grotere diameter kan in variant 3 het debiet van 134 m3/s in de de T100 (klimaat 2085 'upper') worden behaald.
De keuze voor de ontwerpvarianten heeft geen onderscheidend effect op de bescherming van de Betsy Perklaan
Berekeningen volgen later
De tunnel ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van betrouwbaarheid
De gestapelde variant is veel moeilijker onderhoudbaar dan de parallelle persing of de gesegmenteerde tunnel. De b.o.b. van de bovenste persing zou 4 tot 5 m boven de bodem van de (onderhouds-)schacht liggen. Dit maakt onderhoud complexer, duurder en minder veilig
De tunnel ontwerp varianten zijn met alle traces, inlaat en uitlaatvarianten te combineren en kennen daarom geen onderscheid op gebied van flexibiliteit
De tunnel ontwerpvarianten hebben geen effect op de mogelijkheid om de tunnel eventueel leeg te zetten
De tunnel ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van beheersbaarheid
De tunnel ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van drijfvuil / hout
De tunnel ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van robuustheid
De tunnel ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van sedimentinloop
De gesegmenteerde tunnelvariant heeft een veel grotere schacht en veel meer werk en bouwruimte nodig dan de doorpersingen
De tunnel ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van bereikbaarheid
Bij de gesegmenteerde variant is bij een lengte van > 1,0 km minder risico. Er is dus onderscheid, maar het risico is in alle gevallen beperkt
De gesegmenteerde tunnelvariant is een veel gecompliceerder en langdurige bouwproces. Dit leid tot meer hinder dan de doorpersingen
De tunnel ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van kabels en leidingen
De gestapelde 2x ø3,5 m en enkele gesegmenteerde ø5,0 m leiding onderkruisen veel minder panden dan de parallelle leidingen voor trace varianten 1, 2 en 3. Voor variant 4 liggen deze waarden aanzienlijk hoger
De gestapelde 2x ø3,5 m en enkele gesegmenteerde ø5,0 m leiding onderkruisen iets minder panden dan de parallelle leidingen
De tunnel ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van geologie
De tunnel ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van geohydrologie
De tunnel ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van archeologie
De tunnel ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van cultuurhistorie
De tunnel ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van milieuhygienische situatie
De tunnel ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van Natura2000 en NNN
De tunnel ontwerp varianten kennen geen onderscheid op gebied van inpasbaarheid en esthetische waarde

Uitbreidbaarheid (3de tunnel) en toekomstbestendigheid	+/-	+	++	De gesegmenteerde tunnelvariant kan bij aanleg iets groter worden aangelegd, bijvoorbeeld ~ø5,4 m i.p.v. ø5,0 m. Daarmee wordt tegen geringe meerkosten direct de gehele 134 m³/s afgevoerd . Voor deze optie is uitbreidbaarheid daardoor niet langer relevant. Zowel de gestapelde, als de parallel 2xø3,5 varianten zijn uitbreidbaar mits de schacht op voorhand voldoende groot wordt aangelegd. Echter is daarbij voor de gestapelde variant een kleinere schacht benodigd dan de parallele variant De parallele 2xø3,5 variant geeft iets meer toekomstige beperkingen omdat het trace van de overkluizing, en daarmee de zakelijk rechtstrook, breder is dan in de andere 2 varianten De gesegmenteerde tunnelvariant is circa 2x zo duur als de varianten met de doorpersingen
Toekomstige beperkingen	+/-	++	++	
Kosten (M EUR)	36-42	35-42	72-78	

XXIX

BIJLAGE: SCHETSONTWERP TEKENINGEN HOOFDVARIANT I



LEGENDA

- | | | |
|------------------------|--------------------|-----------------------|
| — Bovenaanzicht | Trace Flood-Bypass | Panden |
| — Hertijl Flood-Bypass | BGT | Rijksmonument |
| — Perceelgrens | Watergang | Gemeentelijk monument |
| — Dam | Takud | Waternol |
| — Geul | | Kerk |
| | | Kastel |

OPMERKINGEN

- Meten in meters (m), tenzij anders vermeld.
- Hoogtematen in meters (m) ten opzichte van N.A.P., tenzij anders vermeld.
- Hoekmaten in graden (°), tenzij anders vermeld.
- Coördinaten in meters (m) in het RD-systeem (Nederlands RD, oblique stereographic projectie).

Wp	Gekend	Staat	Omschrijving
A			
B			
C			

DOCUMENT IN BEWERKING

Opdrachtgever WRL		Status Document in bewerking		Gedownload 14-08-2025	T. Smit R. Wieringa
Project Onderzoek Flood-Bypass Valkenburg		Schiedam		Projectcode 146791	Tekeningnummer 1001
Onderwerp Bovenaanzicht Variant 1		Schiedam		Projectcode 146791	Tekeningnummer 1001
Status Document in bewerking		Schiedam		Projectcode 146791	Tekeningnummer 1001
Datum 14-08-2025		Schiedam		Projectcode 146791	Tekeningnummer 1001
Formaat A0		Schiedam		Projectcode 146791	Tekeningnummer 1001
Schiedam		Schiedam		Projectcode 146791	Tekeningnummer 1001

Bovenaanzicht variant I
Schiedam 1:1500

