

Memo

Datum

10 januari 2020

Referentie

1804499-00314

Versie

2.0

Bladnummer

1/10

Bestemd voor

Waterschap Drents Overijsselse Delta

Onderwerp

Stadsdijken Zwolle: Onderbouwing uitgangspunt kritiek overslagdebiet

1 Inleiding

In het ontwerp van de waterkering is het kritieke overslagdebiet (maat voor de sterkte van de dijk, uitgedrukt in het maximale overslagdebiet waarbij nog net geen falen van de dijk optreedt) de bepalende factor voor de benodigde kruinhoogte van de waterkering en daarmee het benodigde ruimtebeslag.

Het aan te houden overslagdebiet volgt uit de maatgevende waarde van de volgende drie criteria:

- 1) De BGT-eis zoals geformuleerd door WDOD (bij welk overslagdebiet is de dijk nog te beheren?)
→ Hoofdstuk 2
- 2) Wat kan de bekleding op de dijk maximaal aan (falen van de bekleding en daarmee van de dijk)?
→ Hoofdstuk 3
- 3) Welk waterbezwaar is maximaal acceptabel in het achterland en wat zijn daarbij de maatgevende omstandigheden (overstroming achterland)?
→ Hoofdstuk 4

In dit document worden bovenstaande situaties beoordeeld en wordt het gekozen uitgangspunt met betrekking tot het kritiek overslagdebiet voor project Stadsdijken Zwolle onderbouwd. In hoofdstuk 4 worden de conclusies gepresenteerd en in hoofdstuk 5 worden de raakvlakken behandeld.

2 Eisen WDOD voor BGT-situatie

Voor de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) is door WDOD in de Basisspecificatie Dijk [ref. 2] een eis gesteld aan het toelaatbaar overslagdebiet. Deze mag maximaal 1,0 l/s/m bedragen bij een waterstand met een kans van 1/100 per jaar (indien afvoer gedomineerd) of bij 8 Bft (17-21 m/s) (indien storm gedomineerd).

WDOD heeft eveneens aangegeven dat de UGT-eisen voor waterveiligheid (criteria 2 en 3) leidend zijn boven de BGT-eis met betrekking tot het beheer. Op grond van dit standpunt wordt de BGT-eis daarom niet beschouwd ter bepaling van de benodigde kruinhoogte voor het ontwerp van de dijkversterking.

Afweging uitgangspunt modellering sterkte grasbekleding kruin en binnentalud

Er zijn drie aspecten van belang voor een zorgvuldige keuze van de modellering van de sterkte van de grasbekleding van de kruin en het binnentalud (deze sterkte wordt uitgedrukt in het kritiek overslagdebiet):

1. De ondergrond waarop het gras groeit (klei of zand)
2. De kwaliteit van de graszode (open of gesloten)
3. De modelleerwijze (semi-probabilistisch of volledig probabilistisch)

1 Ondergrond

De door MOS uitgevoerde handboringen [ref. 1] op kruin en binnentalud in het projectgebied (niet beschikbaar voor deeltraject 3) zijn geanalyseerd. Uit de analyseresultaten (zie Bijlage A) blijkt voor vrijwel het gehele traject te gelden dat er onvoldoende erosiebestendig (zandig) materiaal in de toplaag aanwezig is om grote overslagdebieten (>1 l/s/m) te kunnen weerstaan. Daarom is het uitgangspunt dat wanneer wordt ontworpen op grote(re) overslagdebieten er een volledig nieuwe deklaag van voldoende erosiebestendige klei op kruin en binnentalud voorzien wordt.

2 Zodekwaliteit

De aan te houden zodekwaliteit voor het ontwerp heeft een sterke relatie met de door WDOD uit te voeren beheerinspanning. Een open zode is namelijk met minder inspanning voor een langere periode te garanderen dan een gesloten zode. Door WDOD is aangegeven dat ingezet wordt op een gesloten zode gedurende de ontwerplevensduur middels enerzijds de juiste randvoorwaarden (goede bewortelingslaag, geen schaduwwerking, etc.) en anderzijds adequaat beheer (visuele inspectie, het uitvoeren van wortelonderzoek). Derhalve wordt voor het ontwerp uitgegaan van de sterkteparameters voor een gesloten zode.

3 Modelleerwijze

Het kritieke overslagdebiet kan in de faalkansberekeningen op verschillende manieren worden gemodelleerd:

1. Deterministisch (toepassing van een vaste rekenwaarde)
2. Probabilistisch (toepassing stochastische rekenwaarde)
Bij het modelleren van het kritieke overslagdebiet als een stochast (gemiddelde waarde en standaard afwijking) wordt de onzekerheid in de sterkte en belasting expliciet meegenomen. In het algemeen levert een probabilistische modellering in het ontwerp (meest waarschijnlijke punt van falen) een minder conservatieve waarde van de sterkte op dan de deterministische rekenwaarde.
3. Semi-Probabilistisch
Semi-probabilistische rekenwaarden zijn over het algemeen conservatieve inschattingen van de werkelijk aanwezige sterkte. De onzekerheid wordt namelijk niet expliciet meegenomen via een standaardafwijking maar wordt afgedekt door een reductiefactor die wordt toegepast op de gemiddelde waarde van de sterkte en belasting.

Tot voor kort was het voor HWBP projecten nog niet gangbaar de benodigde kruinhoogte te bepalen middels een probabilistisch berekening. Echter aangezien deze methode tot een significant lagere benodigde kruinhoogte kan leiden vraagt de programmadirectie aan elk project (tot einde planstudie) te verkennen wat probabilistisch rekenen betekent voor de benodigde kruinhoogte [ref. 8].

Er is daartoe een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar het effect van de wijze van modelleren (semi-probabilistisch of probabilistisch) op het berekende Hydraulisch Belasting Niveau (HBN). Uit de gevoeligheidsanalyse is gebleken dat het probabilistisch bepalen van het HBN een significant lagere kruinhoogte oplevert dan een semi-probabilistische bepaling. Derhalve is het probabilistisch bepalen van het HBN als uitgangspunt genomen voor het ontwerp. Dit proces en bijbehorende afweging is in lijn met de redeneerlijn van het HWBP [ref. 8].

Er zijn twee relevante documenten waaraan de parameters van de kansverdeling van het kritieke overslagdebiet worden beschreven, namelijk de schematiseringshandleiding grasbekleding (SHG), behorende bij het wettelijke beoordelingsinstrumentarium 2017 (WBI2017) [ref. 4] en het document 'Onderbouwing kansverdeling kritiek overslagdebiet ten behoeve van het OI2014v4' [ref. 5]. Het uitgangspunt is dat wordt gerekend met de parameters uit de schematiseringshandleiding grasbekleding [ref. 4], omdat deze parameters conservatiever zijn dan de waarden uit [ref. 5] inclusief het effect van geometrische overgangen. Deze waarden zijn daarom realistisch maar toch voldoende veilig om het dijkontwerp mee op te stellen.

De relevante waarden zijn samengevat in Tabel 1, waarbij wordt opgemerkt dat wordt uitgegaan van golfhoogteklasse 0-1 m. Uit de systeemanalyse [ref. 9] blijkt namelijk dat de indicatieve golfhoogte maximaal 0,6-0,7 m bedraagt.

Tabel 1 Verwachtingswaarde en standaardafwijking kritieke overslagdebiet bij probabilistische modellering

Zodekwaliteit	Bron kansverdeling	Verwachtingswaarde [l/s/m]	Standaardafwijking [l/s/m]
Gesloten zode	Schematiseringshandleiding Grasbekleding, WBI2017	225	250

3 Afweging uitgangspunt acceptabel waterbezwaar (overstromingscriterium in UGT)

Overslaand water zorgt voor waterbezwaar in het achterland en kan vanaf een bepaalde waarde worden gezien als overstroming (zonder dat de dijk is bezweken). De resulterende overlast in het achterland is derhalve direct afhankelijk van de kruinhoogte van het ontwerp en het daarbij volgende overslagdebiet. Het is de vraag welk waterbezwaar in het achterliggende gebied acceptabel is en vanaf welk overslagdebiet het resulterende waterbezwaar in het achterland aanleiding geeft tot het naar beneden bijstellen van het kritiek overslagdebiet.

Voor het bepalen van het acceptabel waterbezwaar zijn twee aspecten relevant:

1. Hoeveelheid overslaand water (oorzaak van overstroming)
2. De faalkanseis voor dit faalmechanisme (gebaseerd op schade, gevolgen van overstroming)

1 Overslagdebiet behorende bij overstroming

Conform de KPR-factsheet 'Omgang met waterbezwaar' [ref. 6] en Grondslagen voor hoogwaterbescherming [ref. 7] kan een gemiddelde waterdiepte van 0,2 m in een viercijferig postcodegebied (PC4) aangehouden worden als praktische grens waarbij nog gesproken kan worden over waterbezwaar (wateroverlast). Hierboven is al snel sprake van een overstroming waarbij de kans op substantiële schade en slachtoffers snel toeneemt.

Uit de eenvoudige analyse (stap 1 uit de KPR-factsheet 'Omgang met waterbezwaar' [ref. 6]) is gebleken dat een optredend overslagdebiet van 10 à 20 l/s/m leidt tot een innundatiediepte van 0,2 m. Omdat dit minder is dan het verwachte kritieke overslagdebiet dat hoort bij de sterkte van een gesloten zode, is een gedetailleerde analyse uitgevoerd; stap 2 uit [ref 6].

Van de dijken binnen het projectgebied van Stadsdijken Zwolle is op basis van de maatgevende windrichting (van dit gebied dat storm gedomineerd is) bepaald waar onder maatgevende omstandigheden overslag plaats vindt. De trajecten waar overslag plaats vindt bij de maatgevende (storm) omstandigheden zijn in Figuur 1 rood weergegeven en het traject waar geen overslag plaatsvindt (overwegend strijkende golven) zijn groen weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Invloedsgebieden overslag

Het projectgebied is vervolgens onderverdeeld in twee invloedsgebieden van overslag ('bakjes') die niet met elkaar in verbinding staan:

1. Het bedrijventerrein Voorst. Dit is het gebied rondom het bedrijventerrein wat omsloten wordt door de dijk binnen deeltrajecten 1 en 2 aan de noordwest- en noordoostzijde, de A28 aan de zuidoostzijde en de N331 aan de zuidwest zijde. Dit gebied is aangeduid met '1' in Figuur 1.
2. Het gebied met woonwijk Holtenbroek en de woonwijk Aa-landen en het landelijke gebied ten noorden van deze woonwijken. Dit gebied is aangeduid met '2' in Figuur 1.

Vervolgens is een analyse uitgevoerd met Tygron naar de gemiddelde inundatiediepte per viercijferig postcodegebied (PC4). Hierbij zijn drie verschillende waarden voor het overslagdebiet beschouwd. De analyse is beschreven in [ref. 9] en tevens bijgevoegd als bijlage B. De gemiddelde inundatiedieptes in het gebied bij het beschouwde overslagdebiet zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Samenvatting resultaten per PC4-gebied, per overslagdebiet

PC4-gebied	Gemiddelde inundatiediepte (cm) per overslagdebiet		
	10 l/s/m	20 l/s/m	40 l/s/m
8031 (Holtenbroek + landelijk gebied)	17	31	55
8041 (industriegebied Voorst)	18	33	57

Hieruit volgt dat, gegeven de definitie van een overstroming conform de Grondslagen voor Hoogwaterbescherming (20 cm water op maaiveld gemiddeld per PC4-gebied), een probabilistisch overslagdebiet groter dan 10 l/s/m aangehouden zou kunnen worden; de inundatiedieptes liggen immers nog onder de 20 cm. Echter, uit de analyses volgt ook dat bij een overslagdebiet van 20 l/s/m inundatiedieptes van orde grootte 30 cm volgen; ruim groter dan 20 cm. Verder verfijnen tussen 10 en 20 l/s/m wordt niet zinvol geacht vanwege het detailniveau van deze analyse en de schijnnaauwkeurigheid die een verfijning zou opleveren. Daarom wordt uit deze analyses geconcludeerd dat vanuit het perspectief van waterbezwaar in het achter de dijk gelegen gebied maximaal een overslagdebiet van 10 l/s/m gehanteerd kan worden.

2 Redeneerlijn bepaling faalkanseis overstromingscriterium

Voor bepaling van de toelaatbare faalkanseis voor het overstromingscriterium is onderzocht wat de economische schade is als gevolg van gemiddeld 20 cm water in een postcodegebied; volgend uit het overslagcriterium van 10 l/s/m. Dit is uitgevoerd met de Waterschadeschatter van STOWA. De resultaten uit deze analyse zijn opgenomen als bijlage C. Deze schade is vergeleken met de gevolgen van het doorbreken van een regionale kering, conform stap 3 van de KPR-factsheet [ref. 6].

Tabel 3: Economische schade en geaccepteerde overstromingskansen behorend bij de IPO-veiligheidsklassen [ref. 6]

Veiligheidsklasse	Directe economische schade [M€]	Overstromingskans [per jaar]
I	8	1/50 tot 1/100
II	8 – 25	1/150 tot 1/300
III	25 – 80	1/500 tot 1/1.000
IV	80 – 250	1/1.500 tot 1/3.000
V	>250	1/5.000 tot 1/10.000

Uit de berekeningen die met de Waterschadeschatter zijn uitgevoerd blijkt dat de schade ordegrrootte 80 M€ bedraagt bij een optredend overslagdebiet van 10 l/s/m. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat toepassing van de trajectnorm (1/3.000 per jaar) een goed evaluatiecriterium is voor het overstromingscriterium. Verdere verfijning van de faalkanseis naar aanleiding van de IPO-normtabel (lees: versoepeling) levert een schijnzekerheid die we binnen dit project niet zinvol achten verder te onderzoeken.

4 Conclusie

In het ontwerp van de waterkering is het kritieke overslagdebiet de bepalende factor voor de benodigde kruinhoogte van de waterkering en daarmee het benodigde ruimtebeslag. Daartoe is in dit document een afweging gemaakt op basis van drie criteria:

- 1) De BGT-eis zoals geformuleerd door WDOD (bij welk overslagdebiet is de dijk nog te beheren?)
- 2) Wat kan de bekleding op de dijk maximaal aan (falen van de bekleding en daarmee van de dijk)
- 3) Welk waterbezwaar is maximaal acceptabel in het achterland en wat zijn daarbij de maatgevende omstandigheden

Ad. 1) Door WDOD is aangegeven dat de UGT-eisen voor waterveiligheid leidend zijn ten opzichte van de bruikbaarheidseisen voor het bepalen van het benodigde HBN. Dit criterium is daardoor niet verder beschouwd.

Ad. 2) Uit de afweging volgt dat voor het faalmechanisme 'falen van de grasbekleding' het probabilistisch modelleren van het kritiek overslagdebiet met de parameters uit de schematiserings- handleiding gras op basis van de gesloten zode op klei het meest passende uitgangspunt is. Het probabilistisch bepalen van het HBN is in lijn met de redeneerlijn van het HWBP.

Ad. 3) Op basis van een gedetailleerde overstromingsanalyse met Tygron en berekeningen van de optredende schade met de Waterschadeschatter is geconcludeerd dat een kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m bij de trajectnorm (1/3.000 per jaar) het meest accurate evaluatiecriterium is voor het overstromingscriterium.

We bepalen het HBN derhalve door de hoogste waarde te nemen van;

- ofwel het HBN in het zichtjaar, behorend bij een kansverdeling van de sterkte van de grasmat en gesloten zode (resultaat criterium 2)
- ofwel het HBN op basis van een probabilistisch overslagdebiet in het zichtjaar van 10 l/s/m (1/3.000 per jaar) die het gevolg is van het overstromingscriterium (resultaat criterium 3)

5 Raakvlakken

Overgangen en NWO's

Het kritieke overslagdebiet voor de graszode bij niet-waterkerende objecten (NWO's) en overgangen op kruin en binnentalud is lager dan voor het dijklichaam [ref. 5]. Voorkeur bij het raakvlakontwerp met objecten op de kruin en binnentalud is dat waterveiligheid leidend is en dat middels een lokale ontwerpmaatregel de erosiebestendigheid van het object of de overgang wordt gegarandeerd. Het besluit tot het toepassen van een lokale ontwerpmaatregel wordt echter altijd genomen op basis van een integrale afweging.

Nieuwe kleibekledingslaag

Tot slot wordt opgemerkt dat is uitgegaan van een nieuw aan te leggen kleilaag op kruin en binnentalud. Uit analyse van het beschikbare grondonderzoek voor de deklaag onder de grasbekleding in de huidige situatie blijkt voor vrijwel het gehele traject te gelden dat op dit moment onvoldoende erosiebestendig (zandig) materiaal in de toplaag aanwezig is om grote overslagdebieten ($>1 \text{ l/s/m}$) te kunnen weerstaan.

Een indicatieve berekening van de directe kosten (materiaal, transport) toont aan dat een nieuwe kleilaag onder kruin en binnentalud ca. 40% goedkoper is dan de dijk op een veel kleiner overslagdebiet te ontwerpen (en de kruin bijgevolg 50-70 cm hoger aan te leggen). Hierin zijn indirecte kosten voor inpassing nog niet eens meegenomen. Op basis hiervan wordt verwacht dat het aanleggen van een nieuw aan te leggen kleilaag onder kruin en binnentalud hiermee de meest kosteneffectieve oplossing lijkt.

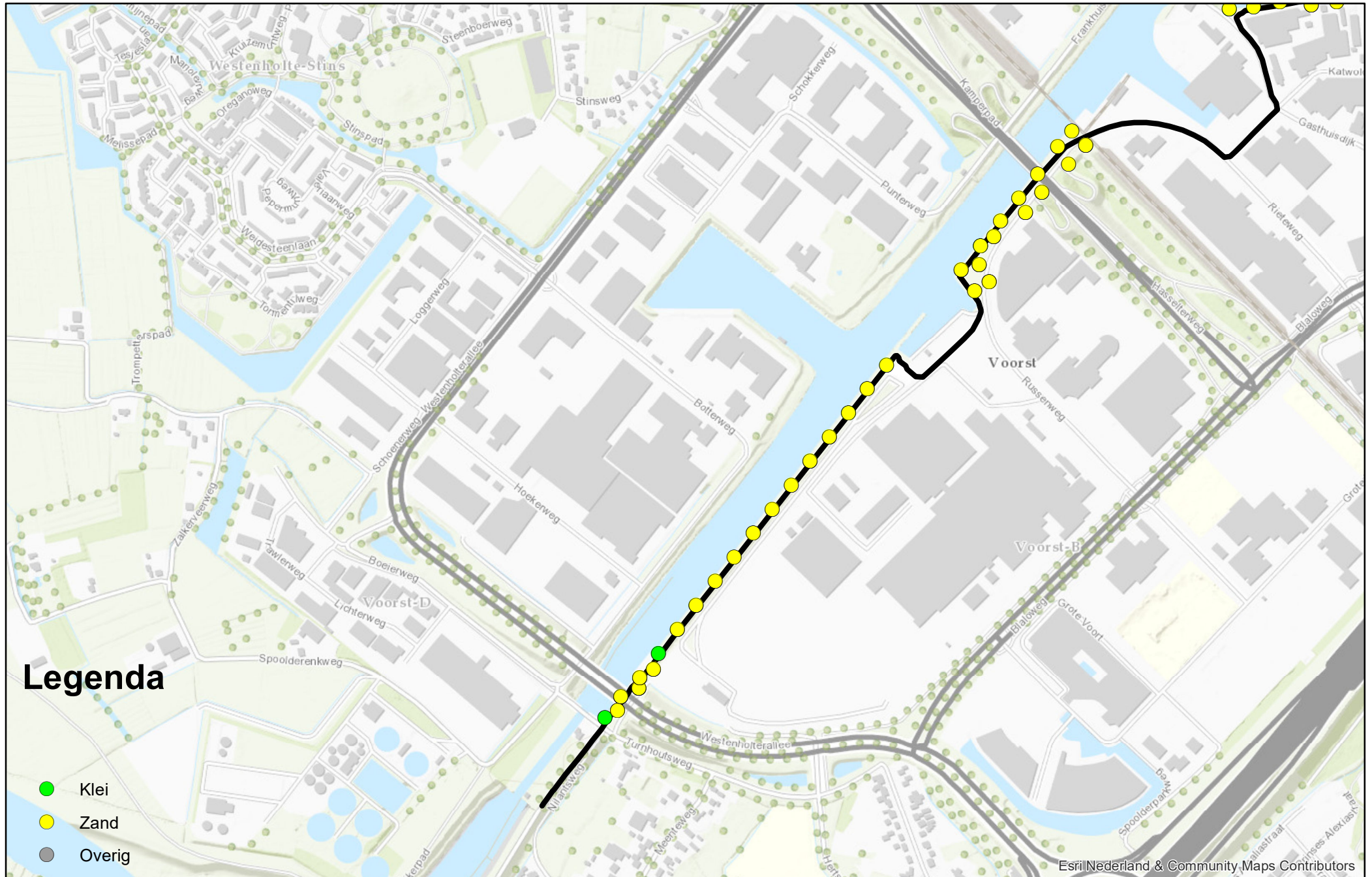
6 Referenties

- [ref. 1] Resultaten grondonderzoek en labonderzoek project “Dijkonderzoek HWBP Stadsdijken”, MOS Grondmechanica B.V. , 8 februari 2019
- [ref. 2] Basisspecificatie Dijk (concept), WDOD, juni 2019
- [ref. 3] Handreiking ontwerpen met overstromingskans OI2014v4, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, februari 2017
- [ref. 4] Schematiseringshandleiding grasbekleding WBI2017, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 28 november 2019
- [ref. 5] Onderbouwing kansverdelingen kritiek overslagdebiet ten behoeve van het OI2014v4, Deltares, februari 2017
- [ref. 6] Factsheet Omgang met waterbezwaar, KPR, 15 oktober 2018
- [ref. 7] Grondslagen voor hoogwaterbescherming, Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW), december 2016
- [ref. 8] Redeneerlijn probabilistisch bepalen kruinhoogte, Hoogwaterbeschermingsprogramma, November 2019
- [ref. 9] Waterbezwaar als gevolg van overslag: modellering met Tygron, versie 1.0, Dijkteam Zwolle, 21 november 2019

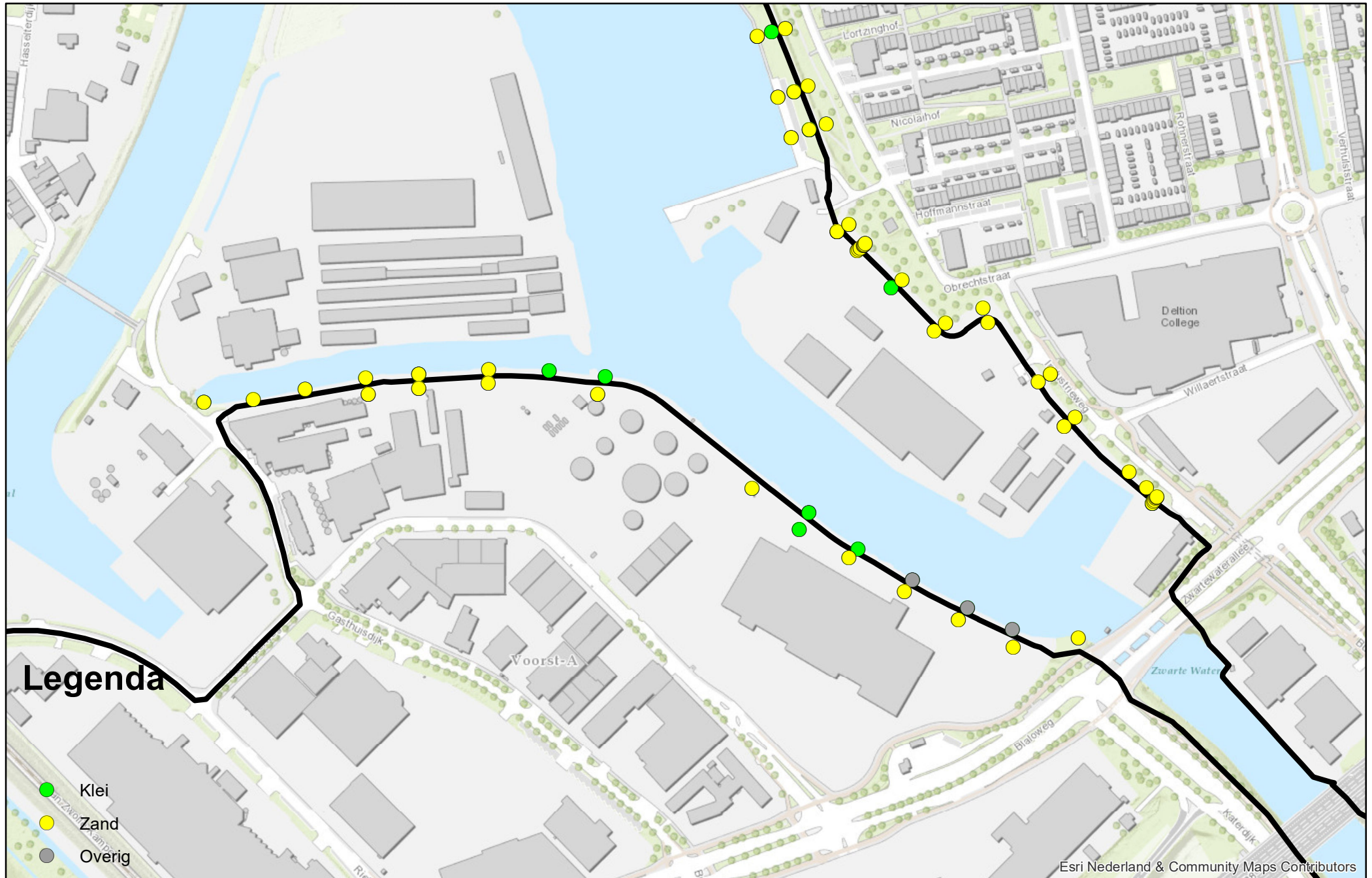
Bijlage A: Resultaten analyse bestaande bekleding (o.b.v. handboringen)

Op de volgende 4 pagina's zijn kaarten opgenomen met de resultaten van een GIS-analyse naar de dikte en samenstelling van de bovenste meter van de opbouw van de dijk/deklaag.

Grondsoort onder grasbekleding



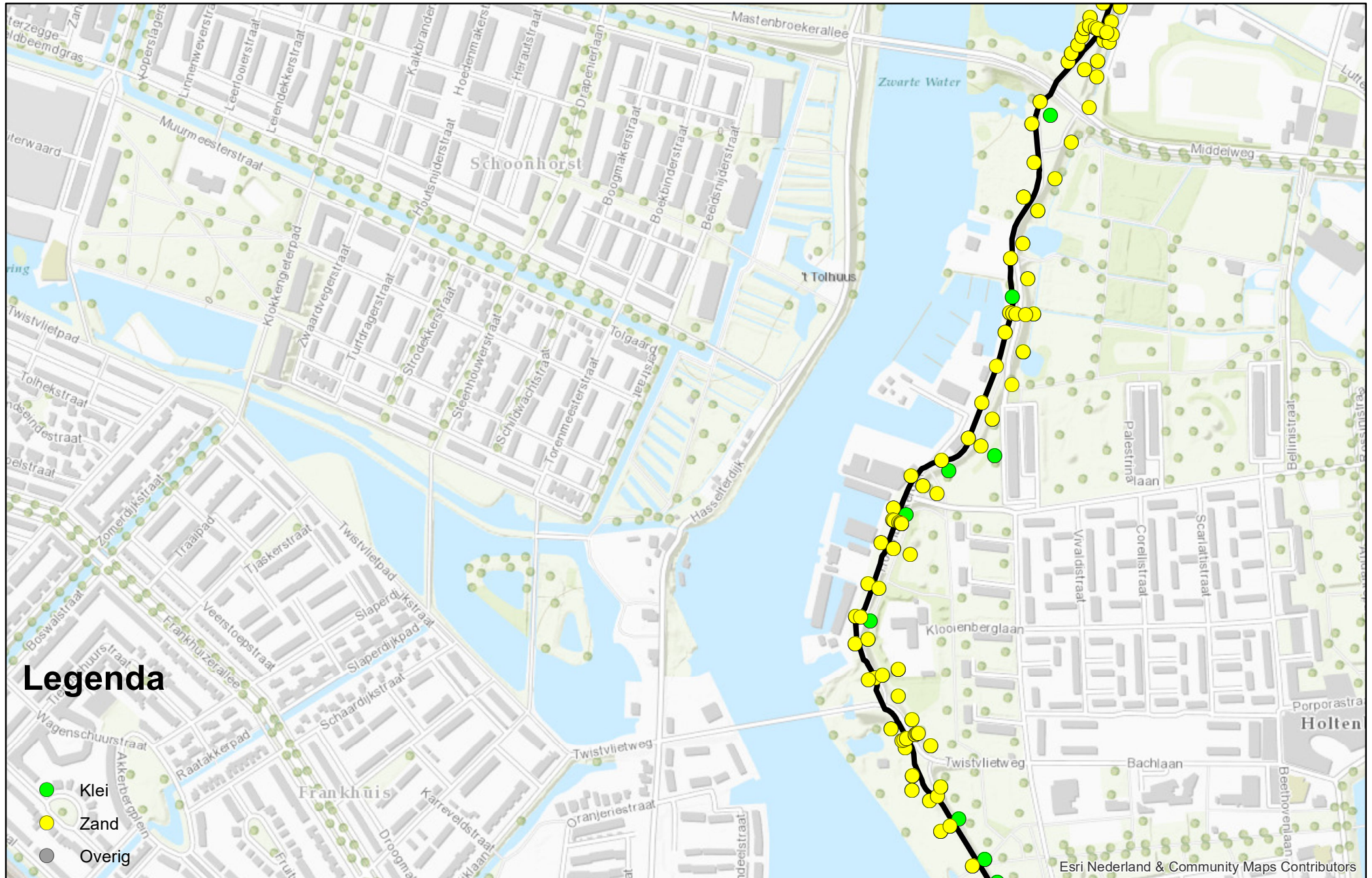
Grondsoort onder grasbekleding



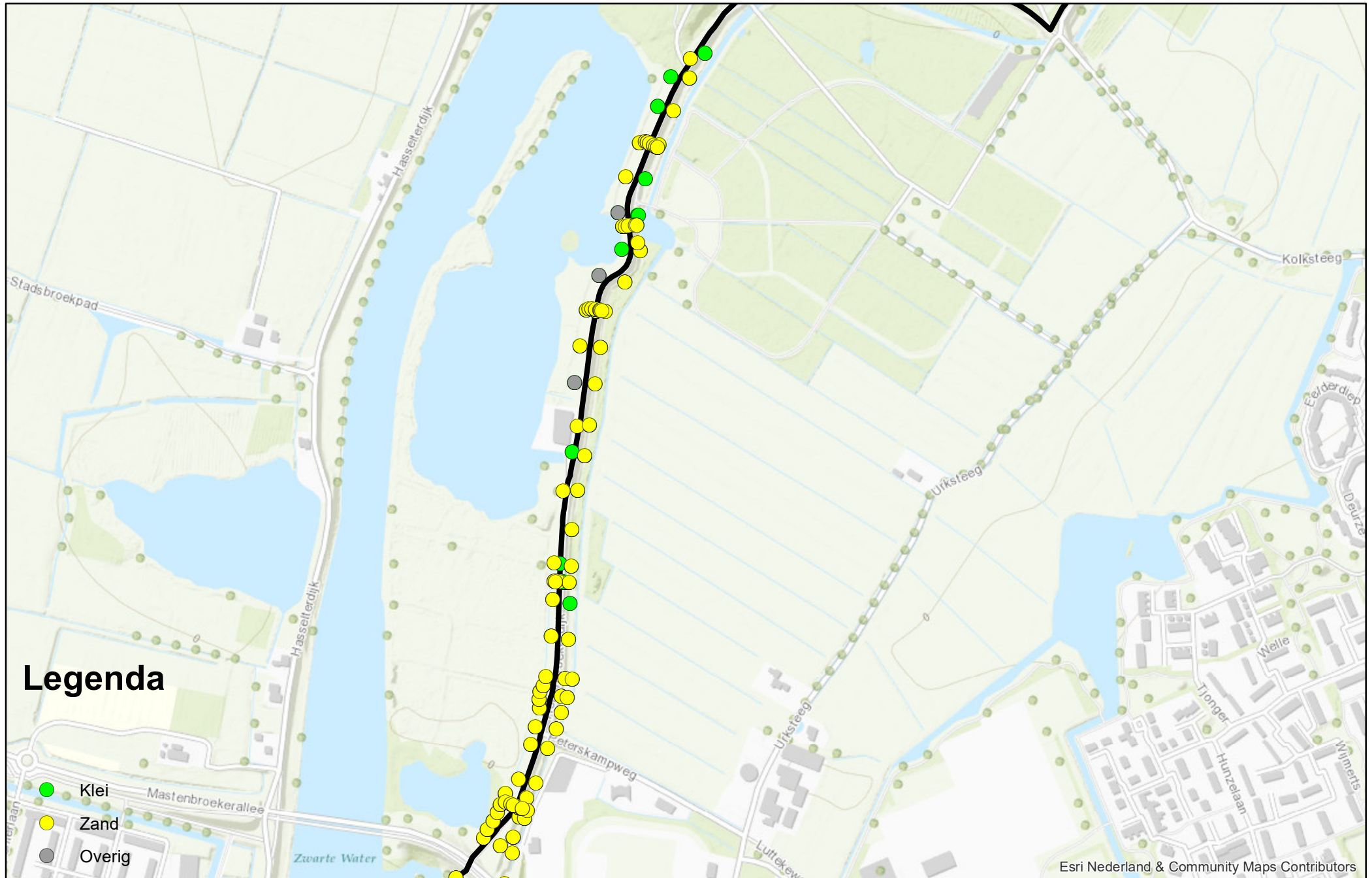
Grondsoort onder grasbekleding

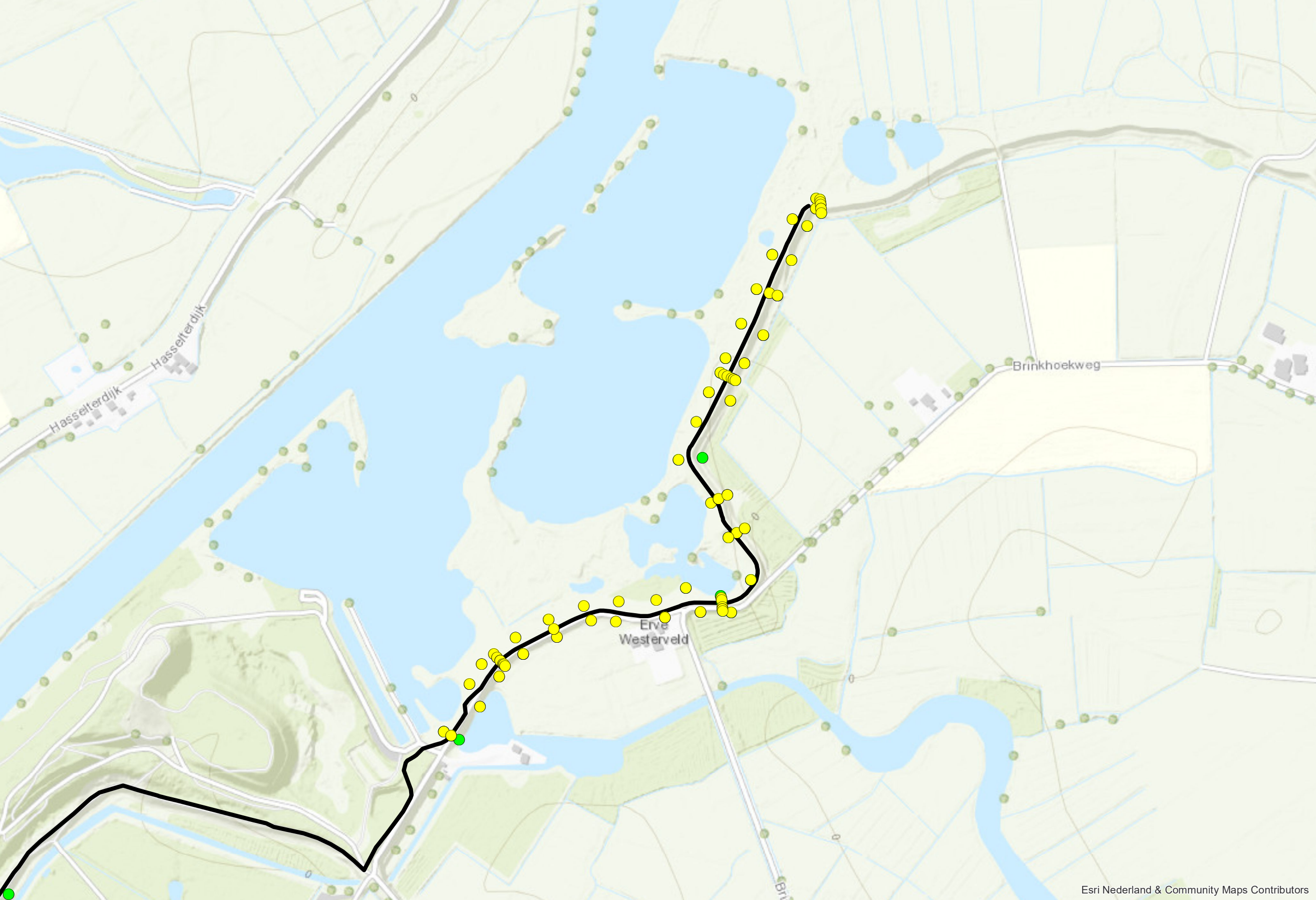


Grondsoort onder grasbekleding



Grondsoort onder grasbekleding







Waterbezwaar als gevolg van overslag Modellering met Tygron

1804499-00979

Colofon

Opdrachtgever Waterschap Drents Overijsselse Delta
 Opdrachtnemer Dijkteam Alliantie Zwolle
 Documentnaam Waterbezwaar als gevolg van overslag:
 modellering met Tygron
 Versie 1.0
 Versie datum 19-12-2019
 Status Definitief

Werkpakket 48
 Object [Object]
 Activiteittype [Activiteittype]

Documenthistorie

Versie	Datum	Opsteller	Toetser	Vrijgave	Omschrijving
0.1	5-11-2019	Lisa de Gee	Arjan Weijnenborg		
1.0	21-11-2019	Lisa de Gee	Arjan Weijnenborg	Arend Pool	

Distributielijst

organisatie	Projectrol	aantal	Analoog (ja/nee)

Projectgegevens:

Contactgegevens Opdrachtnemer:

Dijkzone Alliantie Zwolle

Combinatie Dura Vermeer - Ploegam

t.a.v. de heer R. Lormans

R.Lormans@duravermeer.nl

Bezoekadres: Taurusavenue 100, Hoofddorp

Postadres: Postbus 111, 2130 AC Hoofddorp

Contactgegevens Opdrachtgever:

Waterschap Drents Overijsselse Delta

t.a.v. de heer P. Staats

PeterStaats@wdodelta.nl

Bezoekadres: Dokter van Deenweg 186, 8025 BM Zwolle

Postadres: Postbus 60, 8000 AB Zwolle

Referentie Waterschap Drents Overijsselse Delta: HWBP Stadsdijken Zwolle

Kenmerk Waterschap Drents Overijsselse Delta: Z/18/016154-85369

Projectlocatie Stadsdijken Zwolle

Dokter van Deenweg 162-184

8025 BM Zwolle

Opgesteld: Lisa de Gee		Gecontroleerd: Arjan Weijnenborg		Geautoriseerd: R. Lormans		Geautoriseerd: P. Staats	
Projectrol: Adviseur Waterveiligheid		Projectrol: Adviseur Waterveiligheid		Projectrol: Manager Techniek en Realisatie		Projectrol: Projectmanager	
Paraaf:		Paraaf:		Paraaf:		Paraaf:	
Datum:		Datum:		Datum:		Datum:	

Inhoud

1.	Inleiding	5
1.1	Vaststellen overslagdebiet voor ontwerp.....	5
1.2	Vervolg: bepalen benodigde kruinhoogte.....	5
2.	Uitgangspunten	6
2.1	Uitgangspunten Tygron en modelkeuzes.....	6
2.2	Uitgangspunten overslag.....	7
2.3	Evaluatie: waterstanden op maaiveld.....	7
3.	Resultaten	9
3.1	Overslagdebiet 10 L/s/m'.....	9
3.2	Overslagdebiet 20 L/s/m'.....	9
3.3	Overslagdebiet 40 L/s/m'.....	10
3.4	Samenvatting en conclusie.....	11

1. Inleiding

1.1 Vaststellen overslagdebiet voor ontwerp

Het optredend overslagdebiet is een bepalend uitgangspunt bij het afleiden van de minimaal benodigde kruinhoogte voor een dijk. Het maximaal toelaatbaar overslagdebiet wordt bepaald door:

1. de sterkte van de grasbekleding op de kruin en het binnentalud en
2. het maximale waterbezwaar dat in het achterland nog niet leidt tot een overstroming

Om inzicht te hebben in het overslagdebiet dat hoort bij een overstroming van het achterland door 'waterbezwaar', wordt een analyse uitgevoerd om te bepalen welk overstromingsbeeld bij verschillende waarden van het overslagdebieten volgt. Deze analyse wordt uitgevoerd met het softwarepakket Tygron, waarmee de stroming op het maaiveld als gevolg van overslag over de dijk gemodelleerd kan worden.

Hoe hier mee om te gaan is niet expliciet in het OI2014 opgenomen. Wel heeft het KPR een factsheet opgesteld om hier handvatten voor te geven: *Hoe om te gaan met waterbezwaar als gevolg van hoge overslagdebieten?* Op basis van deze factsheet wordt voor de definitie van een overstroming de definitie uit de *Grondslagen voor Hoogwaterbescherming* (ENW, december 2016) aangehouden: er is sprake van een overstroming wanneer "de gemiddelde waterdiepte in een gebied of buurt met gelijke viercijferige postcode (op basis van de wijk- en buurtkaart van het CBS)" groter is dan 0,2 meter.

1.2 Vervolg: bepalen benodigde kruinhoogte

Deze rapportage beschrijft de stappen en resultaten voor het doorlopen van stap 2 conform de eerdergenoemde KPR-factsheet: "Voer een uitgebreidere inundatie berekening uit ('simulatie') en ga na of de diepte beneden de 20 cm blijft". Daarnaast wordt ook verder doorgekeken en input verzameld voor stap 3 conform deze KPR-factsheet: "Bereken de schade bij het inundatie scenario (in stap 2) en vergelijk het inundatierisico met het risico als gevolg van het doorbreken van een regionale kering en kortdurende hevige regenval ('piekbuien')".

De resultaten uit deze analyse zijn vervolgens input (naast input vanuit de sterkte van de grasbekleding) om te bepalen welk overslagdebiet daadwerkelijk binnen het ontwerp aangehouden wordt om de benodigde kruinhoogte van de dijk te bepalen.

2. Uitgangspunten

2.1 Uitgangspunten Tygron en modelkeuzes

De waterverdeling over maaiveld wordt bepaald op basis van de Saint Venantvergelijking, stromingsvergelijkingen die uitgaan van behoud van massa en impuls ook wel ondiepwatervergelijking (shallow water equations) genoemd. Toepassing van deze methode is standaard voor dit soort stromingsmodellen (zoals Tygron en 3Di).

Voor een realistische modellering van waterstromingen over maaiveld zijn keuzes ten aanzien van ruwheden van het maaiveld, hoogteverschillen en de aanwezigheid van watergangen bepalend. Deze uitgangspunten worden in de volgende alinea's toegelicht.

Ruwheden

Tygron maakt voor de ruwheden per type oppervlak gebruik van de ruwheden zoals opgenomen in de *Guide for selecting manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains* (U.S. Department of Transportation, 1984)¹.

Het type maaiveld(gebruik) wordt afgeleid uit de BRP (Basisregistratie gewaspercelen), aangevuld met informatie uit de BGT (Basisregistratie grootschalige topografie) en de TOP10NL (het digitale topografische basisbestand van het Kadaster).

Maaiveldhoogte

De maaiveldhoogte wordt afgeleid op basis van een geschoond maaiveldbestand (o.b.v. interpolatie) gebaseerd op de AHN3. Waar het maaiveldbestand niet toereikend is (bijv. tunnels en onderdoorgangen), is dit bestand visueel aangepast. Voor het schematiseren van taludhellingen van de watergangen wordt gebruik gemaakt van de AHN3 in combinatie met de BRO (Basisregistratie ondergrond).

Modellering kunstwerken

Uitgangspunt is dat stroming over maaiveld plaats vindt. Daarom worden enkel duikers en tunnels in hoge elementen gemodelleerd. Voor de duikers worden de afmetingen overgenomen uit de legger van WDOdelta en van tunnels worden de afmetingen ingeschat op basis van luchtfoto's en Cyclomedia Streetsmart. De invloed van stuwen wordt ingeschat als verwaarloosbaar, er vindt immers stroming over maaiveld plaats. Datzelfde geldt voor de afvoercapaciteit van gemalen en uitlaten, omdat deze beperkt is ten opzichte van het instromende water. Deze kunstwerken worden daarom niet meegenomen in de schematisering van het achterliggende gebied.

Daarnaast is ook de rioolcapaciteit niet meegenomen. Deze wordt 'gereserveerd' voor neerslag, wat niet is gemodelleerd.

¹ Zie ook: <http://wikiengineer.com/Water-Resources/ManningRoughnessCoefficients>

2.2 Uitgangspunten overslag

Schematisering overslag

Overslag over de dijk is in Tygron geschematiseerd door overslagpunten op de dijk om de 5m te modelleren. De ingevoerde overslagdebieten (uitgedrukt in L/s/m') worden daarnaar teruggerekend. Uitgangspunt is dat stroming enkel landinwaarts plaats kan vinden en dus nooit terugstroming de rivier in. Aangenomen wordt, op basis van het waterstandsverloop, dat gedurende 4 uur overslag plaats vindt onder maatgevende omstandigheden. Hierbij wordt aangenomen dat een gedurende deze 4 uur een constant overslagdebiet optreedt.

Beschouwde overslagdebieten

Binnen dit verkennende onderzoek wordt het waterbezwaar in het achterliggende gebied gemodelleerd voor overslagdebieten van 10, 20 en 40 L/s/m'.

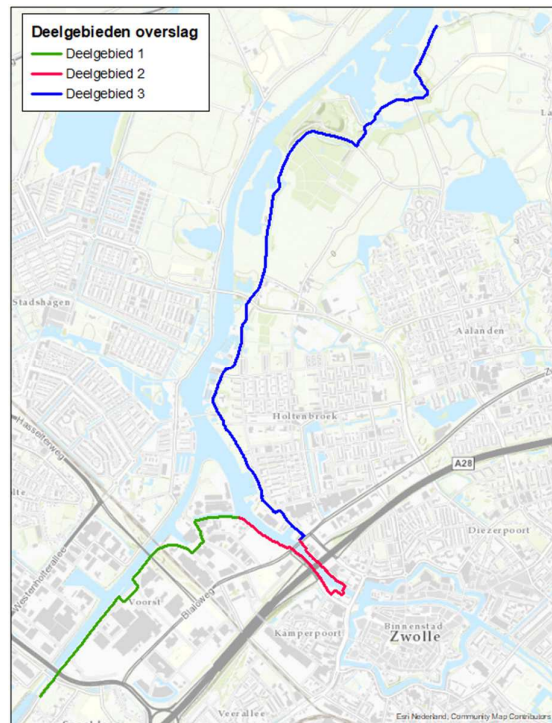
Op basis van een systeemanalyse (zie bijlage 1) zijn drie deelgebieden te onderscheiden:

Deelgebied 1: trajecten 1 t/m 2b

Deelgebied 2: trajecten 2c t/m 3

Deelgebied 3: trajecten 4a t/m 5b

Vanwege de oriëntatie van de dijk binnen deze deelgebieden zal de dijk binnen deelgebied 2 nooit tegelijk overstromen als de dijk binnen deelgebieden 1 en 3. Voor het bepalen van het waterbezwaar is de situatie waarbij overslag plaats vindt binnen de deelgebieden 1 en 3 maatgevend. Deze situatie is daarom beschouwd in deze analyse. Dat betekent dat het overslagdebiet van 10, 20 of 40 L/s/m' geschematiseerd wordt bij deelgebieden 1 en 3 en dat bij deelgebied 2 geen overslag geschematiseerd wordt.

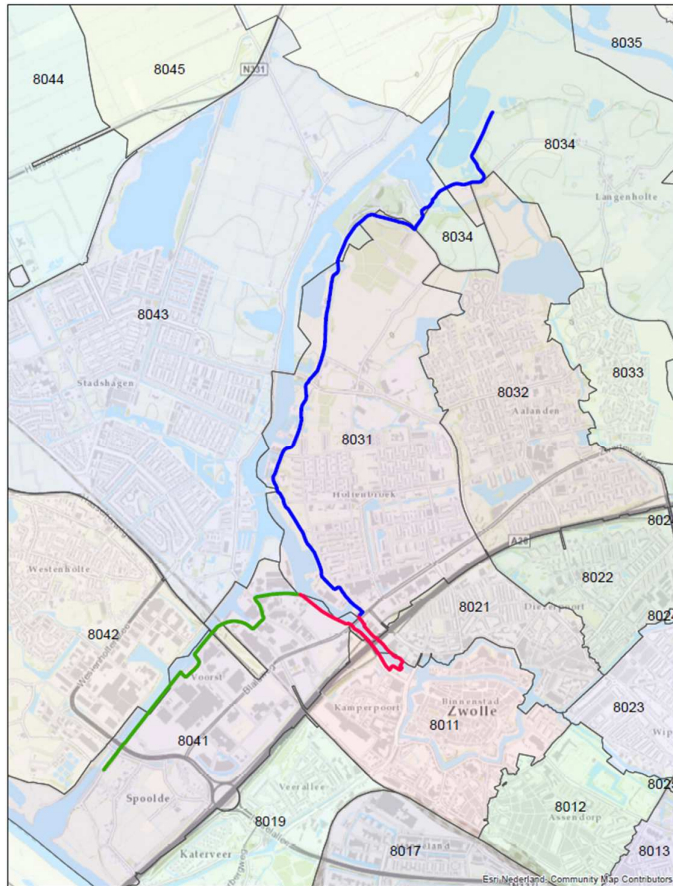


Figuur 2.1 Deelgebieden overslag

2.3 Evaluatie: waterstanden op maaiveld

Met bovenstaande uitgangspunten berekent de software Tygron de stroming van het instromende debiet (equivalent van de hoeveelheid overslaand water over de dijk). De hoeveelheid water op maaiveld (na 4 uur overslag) wordt vervolgens getoetst aan het overstromingscriterium conform de *Grondslagen voor Hoogwaterbescherming* (ENW, december 2016): er is sprake van een overstroming wanneer "de gemiddelde waterdiepte in een gebied of buurt met gelijke viercijferige postcode (op basis van de wijk- en buurtkaart van het CBS)" groter is dan 0,2 meter. Hierbij wordt opgemerkt dat voor dit gebied het oppervlak van de buitendijks gelegen delen van deze postcodegebieden (zoals de Kop van Voorst) niet zijn meegenomen in de bepaling van de gemiddelde waterdiepte over het postcodegebied.

Onderstaande figuur geeft een kaart met 4 cijferige postcodegebieden (PC4-gebieden), met ook de deelgebieden voor overslag. In de basis vindt het grootste waterbezwaar plaats binnen de PC-gebieden 8041 en 8031. Voor PC4-gebied 8041 wordt opgemerkt dat enkel het deel wat aan het traject binnen Stadsdijken Zwolle valt, wordt meegenomen in de bepaling van het gemiddelde. Het stukje grenzend aan de IJssel en het Zwolle-IJsselkanaal aan de IJsselszijde van de Spooldersluis wordt dus niet meegenomen.



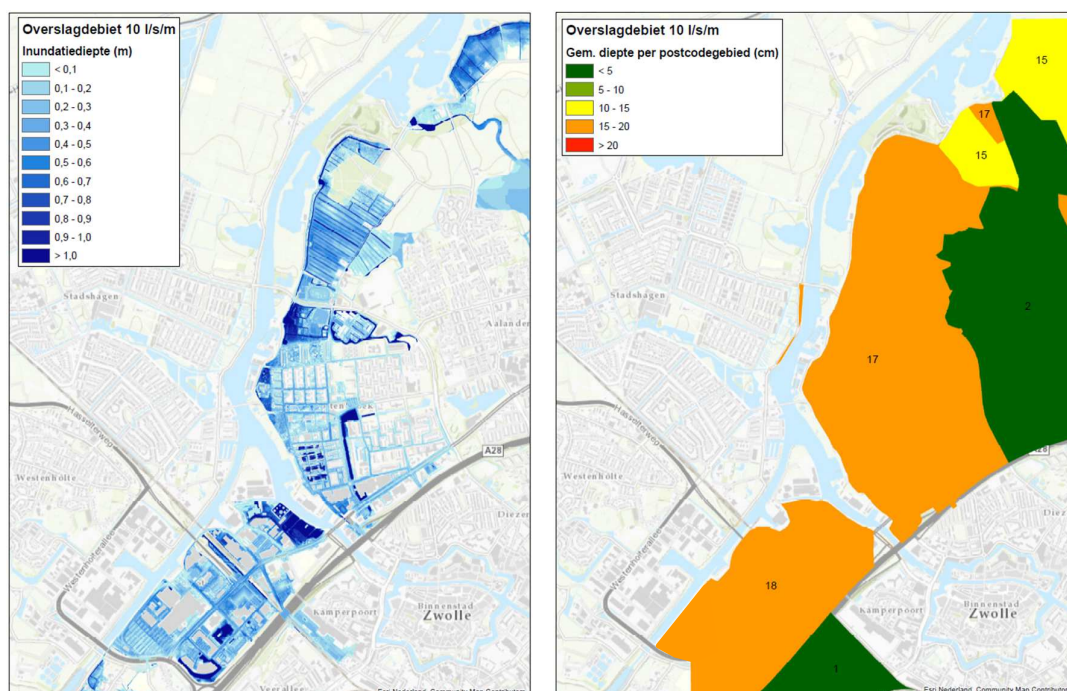
Figuur 2.2 PC4-gebieden (CBS)

3. Resultaten

Onderstaande paragrafen geven per waarde van het overslagdebiet (10, 20 of 40 L/s/m') het overstromingsbeeld.

3.1 Overslagdebiet 10 L/s/m'

Figuur 3.1 geeft het overstromingsbeeld (inundatiediepte na 4uur overslag) en de gemiddelde waterdiepte per postcodegebied bij een overslagdebiet van 10 L/s/m'.

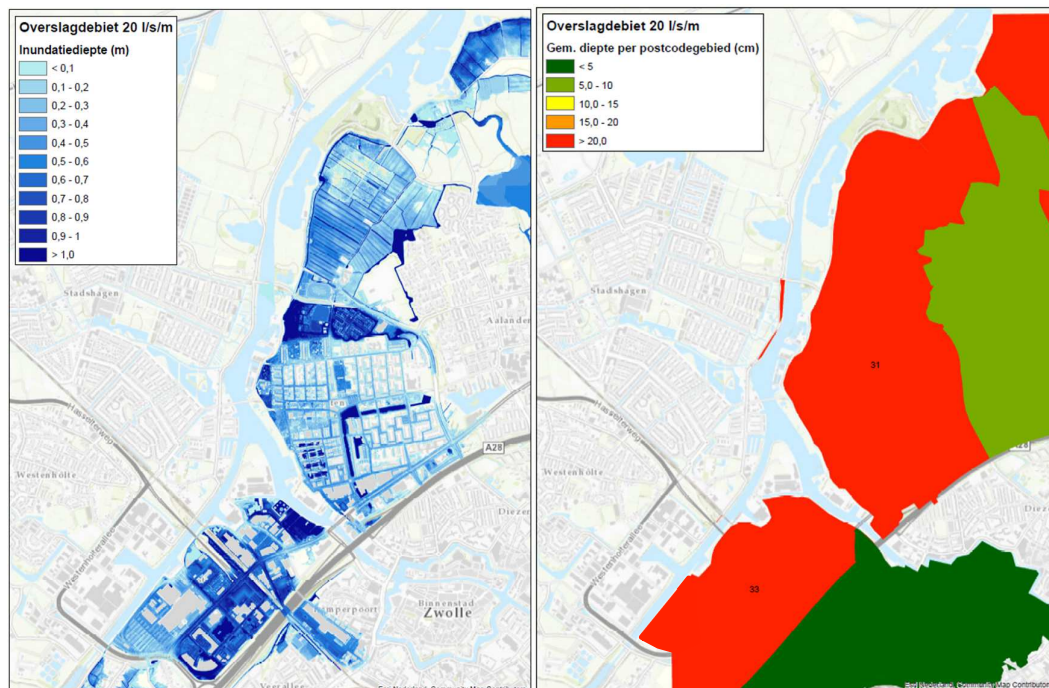


Figuur 3.1 $q = 10 \text{ L/s/m'}$: overstromingsbeeld (links) en gemiddelde waterdiepte over per postcodegebied (rechts)

Hiermee volgt een waterdiepte achter de dijk variërend van enkele centimeters tot net iets meer dan een meter op enkele locaties verspreid over het gebied. Er zijn gemiddeld gezien geen grote verschillen in waterdieptes zichtbaar langs het traject. Uit deze analyse volgt bij een overslagdebiet van 10 L/s/m' voor de aangrenzende postcodegebieden langs de dijk gemiddelde waterdieptes van 18 cm (8041: industriegebied Voorst) en 17 cm (8031: woonwijk Holtenbroek + aansluitende landelijk gebied).

3.2 Overslagdebiet 20 L/s/m'

Figuur 3.2 geeft het overstromingsbeeld (inundatiediepte na 4uur overslag) en de gemiddelde waterdiepte per postcodegebied bij een overslagdebiet van 20 L/s/m'.

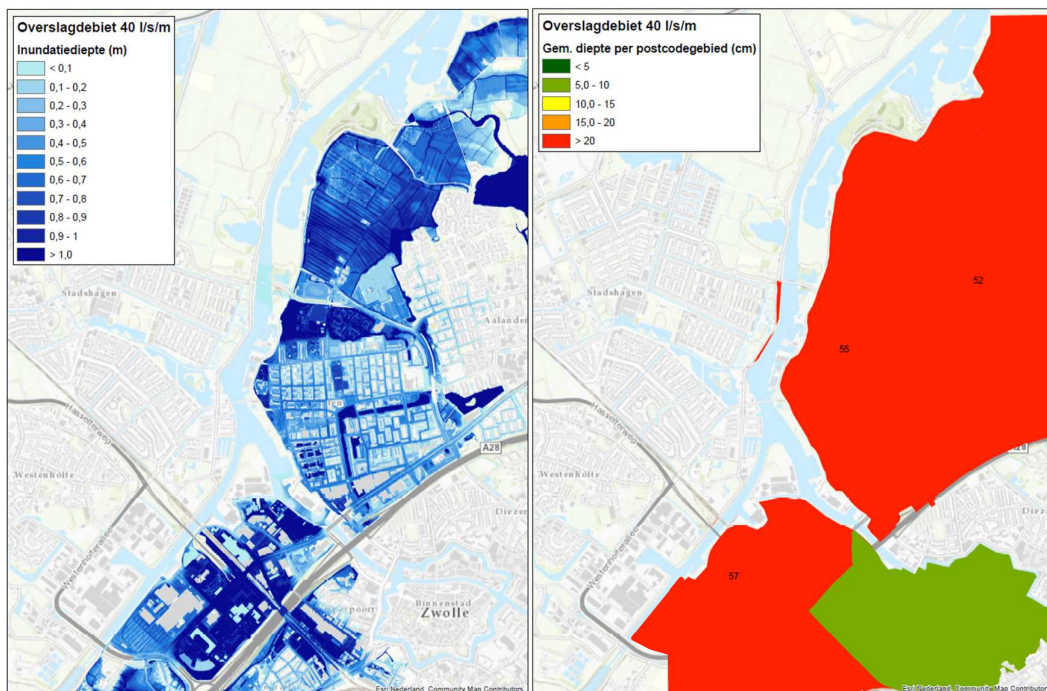


Figuur 3.2 $q = 20 \text{ L/s/m'}$: overstromingsbeeld (links) en gemiddelde waterdiepte over per postcodegebied (rechts)

Hiermee volgt een waterdiepte achter de dijk variërend van enkele decimeters tot circa 1,5 meter verspreid over het gebied (zowel bij Industriegebied Voorst als bij de woonwijk Holtenbroek). Bij een overslagdebiet van 20 L/s/m' zijn duidelijk locaties zichtbaar (donkere plekken) waar de diepte groter is dan de omliggende gebieden. Uit deze analyse volgt bij een overslagdebiet van 20 L/s/m' voor de aangrenzende postcodegebieden langs de dijk gemiddelde waterdieptes van 33 cm (8041: industriegebied Voorst) en 31 cm (8031: woonwijk Holtenbroek + aansluitende landelijk gebied). Opgemerkt dat opvalt dat PC4-gebied 8034 ook rood kleurt. Dit is echter te duiden door het feit dat slecht een klein deel van dit PC4-gebied is meegenomen in de modellering, waardoor het beeld enigszins vertekend en hier geen conclusies aan te verbinden zijn.

3.3 Overslagdebiet 40 L/s/m'

Figuur 3.3 geeft het overstromingsbeeld (inundatiediepte na 4 uur overslag) en de gemiddelde waterdiepte per postcodegebied bij een overslagdebiet van 40 L/s/m' .



Figuur 3.3 $q = 40 \text{ L/s/m'}$: overstromingsbeeld (links) en gemiddelde waterdiepte over per postcodegebied (rechts)

Hiermee volgt een waterdiepte achter de dijk variërend van enkele decimeters tot circa 1,8 meter verspreid over het gebied (zowel bij Industriegebied Voorst als bij de woonwijk Holtenbroek). Bij een overslagdebiet van 40 L/s/m' zijn duidelijk locaties zichtbaar (donkere plekken) waar de diepte groter is dan de omliggende gebieden. Deze zones zijn logischerwijs groter dan bij een overslagdebiet van 20 L/s/m' . Uit deze analyse volgt bij een overslagdebiet van 40 L/s/m' voor de aangrenzende postcodegebieden langs de dijk gemiddelde waterdieptes van 57 cm (8041: industriegebied Voorst) en 55 cm (8031: woonwijk Holtenbroek + aansluitende landelijk gebied). Opgemerkt wordt dat opvalt dat naast PC4-gebied 8034 ook 8032 rood kleurt. In tegenstelling tot 8034 zit dit PC4-gebied wel voor het grootste deel binnen het gemodelleerde gebied, waardoor het realistisch is te verwachten dat de gemiddelde inundatiediepte van 20 centimeter op maaiveld inderdaad wordt overschreden.

3.4 Samenvatting en conclusie

Onderstaande tabel geeft de samenvatting van de resultaten, per PC4-gebied, per overslagdebiet.

Tabel 3.1 Samenvatting resultaten per PC4-gebied, per overslagdebiet

PC4-gebied	Gemiddelde inundatiediepte (cm) per overslagdebiet		
	10 L/s/m'	20 L/s/m'	40 L/s/m'
8031 (Holtenbroek + landelijk gebied)	17	31	55
8041 (industriegebied Voorst)	18	33	57

Hieruit volgt dat, wanneer men vasthoudt aan de definitie van een overstroming conform de Grondslagen voor Hoogwaterbescherming (20 cm water op maaiveld gemiddeld per PC4-gebied) een overslagdebiet groter dan 10 L/s/m' aangehouden zou kunnen worden; de inundatiedieptes liggen immers nog onder de 20 cm. Bij dit overslagdebiet is de gemiddelde inundatiediepte immers nog kleiner dan 20 cm. Echter, uit de analyses volgt ook dat bij een overslagdebiet van 20 L/s/m' inundatiedieptes van orde grootte 30 cm volgen; ruim groter dan 20 cm. Verder verfijnen tussen 10 en 20 L/s/m' wordt niet zinvol geacht vanwege het detailniveau van deze analyse en de schijnnaauwkeurigheid die een verfijning zou opleveren. Daarom wordt uit deze analyses geconcludeerd dat vanuit het perspectief van waterbezwaar in het achter de dijk gelegen gebied maximaal een overslagdebiet van 10 L/s/m' gehanteerd kan worden. Dit is dan ook het resultaat uit stap 2 conform de eerdergenoemde KPR-factsheet: "Voer een uitgebreidere inundatie berekening uit ('simulatie') en ga na of de diepte beneden de 20 cm blijft".

De hierboven beschreven resultaten vormen hiernaast ook input voor het doorlopen van stap 3 conform de KPR-factsheet: "Bereken de schade bij het inundatie scenario (in stap 2) en vergelijk het inundatierisico met het risico als gevolg van het doorbreken van een regionale kering en kortdurende hevige regenval ('piekbuien)". Het resultaat hiervan is beschreven in de memo "Stadsdijken Zwolle: Onderbouwing uitgangspunt kritiek overslagdebiet" met doc-ID 180449-00314.

Bijlage 1. Watersysteemanalyse

In deze bijlage is een analyse van de illustratiepunten uitgevoerd. Een illustratiepunt is het punt dat de grootste faalkansbijdrage levert. In eerste instantie is de focus van de analyse op het beoordelingsspoor GEKB. Doel van deze analyse van de illustratiepunten is om de dominante invloeden op de faalkans voor het deelmechanisme GEKB te identificeren. Op basis van dit inzicht is vervolgens een indeling van deelgebieden gemaakt waarvoor de kritieke waarde voor het overslagdebiet is bepaald.

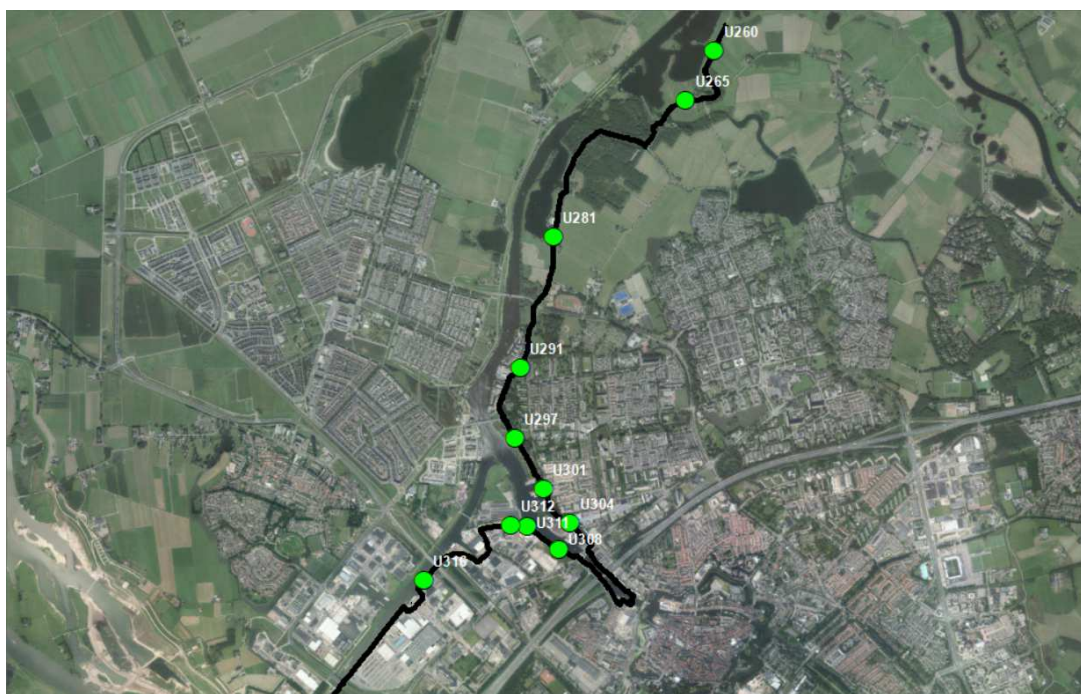
B1.1 Uitgangspunten

B1.1.1 Software en hydraulische randvoorwaarden database

De analyse van de illustratiepunten is uitgevoerd met Ringtoets, versie 18.1.1.3, omdat hier een volledig probabilistische berekening kan worden uitgevoerd. Er is gebruik gemaakt van de hydraulische randvoorwaarden database "WBI2017_Vechtdelta_53-3_v01.sqlite".

B1.1.2 Locaties

De analyse is uitgevoerd voor 11 uitvoerpunten binnen het projectgebied (zie Figuur B1.1-1). De geselecteerde locaties zijn bepaald door eerst het traject op te knippen op basis van oriëntatie, en vervolgens voor elk van de relevante oriëntaties 1 of 2 willekeurige uitvoerpunten te berekenen. Voor een systeemanalyse is willekeurige keuze te verantwoorden, gezien het systeemniveau groot is en lokale verschillen (op uitvoerpuntniveau) dus niet relevant zijn voor analyse om systeemniveau.



Figuur B1.1-1 Locaties illustratiepuntenanalyse (U-codering staat voor nummer van uitvoerpunt)

B1.1.3 Geometrie

Er is uitgegaan van een uniform profiel met een helling van 1v:3h en een kruinhoogte van NAP+3,0 m. Alleen de oriëntatie is verschillend. Het gebruik van een uniform profiel is passend voor een systeemanalyse, gezien een uniform profiel voorkomt dat lokale geometrische invloeden invloed kunnen uitoefenen op de berekeningsresultaten.

B1.1.4 Sterkteparameters gras

Er is uitgegaan van de default waarden uit het WBI voor een gesloten zode op klei. Hiervoor geldt een verwachtingswaarde van 225 l/s/m' en een standaardafwijking van 250 l/s/m'. Dit conform aanbeveling van KPR en uitgangspunt conform Technische Uitgangspunten (TUN) [1].

B1.1.5 Zichtjaar

Het is met Ringtoets alleen mogelijk om te rekenen voor 2023. De systeemanalyse is daarom uitgevoerd voor dit zichtjaar.

B1.1.6 Omgang met onzekerheden

Binnen het WBI worden onzekerheden als stochast meegenomen. Er worden hierbij twee bronnen van onzekerheid onderscheiden, namelijk statistische onzekerheid (van de parameter, als gevolg van bijv. ruimtelijke variabiliteit) en modelonzekerheid (als gevolg van het maken van een predictie door een model). Voor de statistische onzekerheid worden de onzekerheid van het debiet van de Vecht (meting bij Dalfsen), de onzekerheid over de waterstand en de onzekerheid omtrent de windsnelheid meegenomen. Met betrekking tot de modelonzekerheid worden twee stochasten onderscheiden, namelijk de modelonzekerheid voor de predictie van de waterstand en de modelonzekerheid voor de predictie van de golfparameters (hoogte, periode).

B1.2 Resultaten

B1.2.1 Afhankelijkheid windgolven

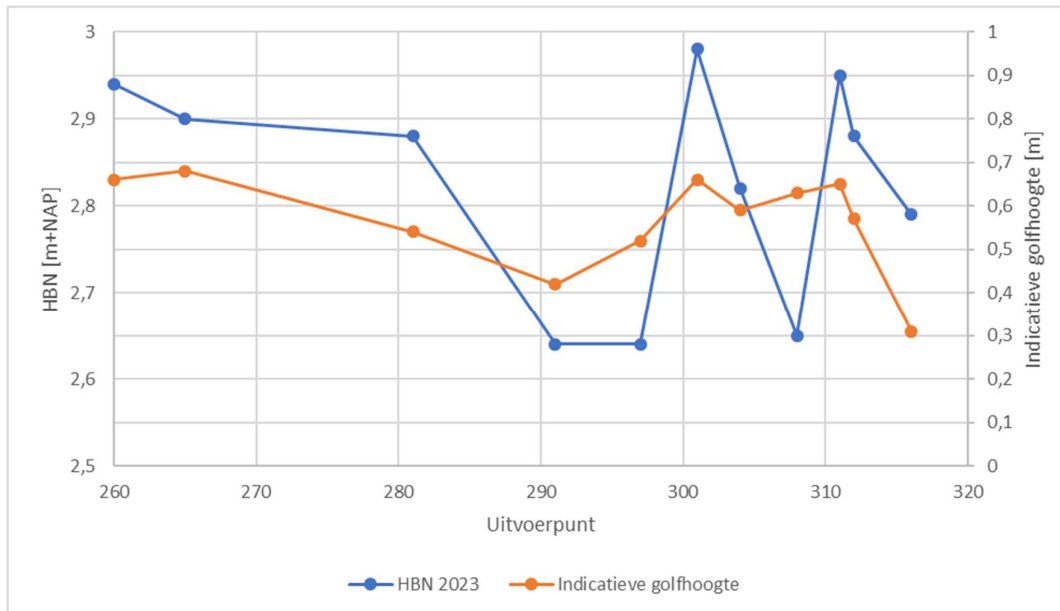
Het berekende HBN en aanvullende informatie uit de illustratiepunten is weergegeven in Tabel B1.2-1. De indicatieve golfhoogte kan worden geïnterpreteerd als een benadering van de golfhoogte die hoort bij het aandeel van de golf in het HBN in het illustratiepunt. Tevens is de maatgevende windrichting in het illustratiepunt bepaald. Door deze te vergelijken met de oriëntatie van het dijklichaam (onder de aanname dat de golfrichting gelijk is aan de windrichting) kan een indruk worden verkregen van de afhankelijkheid van het HBN van de windgolven.

Tabel B1.2-1 Berekend HBN en maatgevende windrichting

Locatie	HBN [m+NAP]	Indicatieve golfhoogte [m]	Maatgevende windrichting	Oriëntatie dijklichaam
U260	2,94	0,66	WNW	NNW
U265	2,90	0,68	NW	NNW
U281	2,88	0,54	NW	WNW
U291	2,64	0,42	WNW	WNW
U297	2,64	0,52	WNW	WZW
U301	2,98	0,66	WNW	WZW
U304	2,82	0,59	NW	ZW
U308	2,65	0,63	NW	NO

Locatie	HBN [m+NAP]	Indicatieve golfhoogte [m]	Maatgevende windrichting	Oriëntatie dijklichaam
U311	2,95	0,65	NW	NNO
U312	2,88	0,57	NW	N
U316	2,79	0,31	WNW	NW

Uit vergelijking van het HBN met golfgegevens volgt een duidelijke correlatie (zie Figuur B1.2-1). Het verloop van het HBN dat wordt gevonden is volgt het verloop van de indicatieve golfhoogte. Dit is niet het geval voor uitvoerpunt 308, dat vrijwel haaks op de maatgevende windrichting is georiënteerd.



Figuur B1.2-1 Relatie tussen HBN en indicatieve golfhoogte

B.1.2.2 Invloedsfactoren

Om het relatieve effect van de verschillende invloeden uit hoofdstuk 1.2 te kunnen bepalen zijn in Tabel 3.2 de invloedsfactoren voor de verschillende stochasten uitgewerkt. Dit zijn de invloedsfactoren α die de relatie tussen de waarde van de parameter i in het ontwerp punt X_i relateren aan de kansdichtheidsverdeling (μ_i, σ_i) en de betrouwbaarheidsindex β : $X_i = \mu_i - \alpha_i \beta \sigma_i$.

Tabel 3.2 Invloedsfactoren (α^2) per stochast per locatie

Locatie	Q_{vecht} Dalfsen	U_{10} Schiphol	MP IJsselmeer
U260	2,5 %	16,0%	41,5%
U265	2,5 %	14,0%	45,2%
U281	2,1 %	17,1%	43,5%
U291	2,3 %	8,6%	55,9%
U297	2,8 %	6,0%	57,4%
U301	2,0 %	27,7%	34,8%
U304	1,5 %	20,4%	41,7%

U308	1,7 %	11,9%	44,9%
U311	2,6 %	14,7%	43,5%
U312	2,3 %	13,5%	47,6%
U316	2,3 %	6,2%	47,6%

Uit tabel 3 kan worden geconcludeerd dat het meerpeil van het IJsselmeer dominant is voor de bepaling van het HBN, omdat voor vrijwel alle onderzochte locaties volgt dat de probabilistische berekening veruit het meest gevoelig is voor een variatie in de waarde van deze stochast. Dit kan worden verklaard door de faalkansbijdrage van het falen van de Ramspolkering. De werking van deze kering is een kansverdeling met 2 scenario's, namelijk:

- 1) gesloten volgens sluitingsprotocol
- 2) gefaalde kering

De grootste faalkansbijdrage wordt voor alle uitvoerpunten geleverd door het scenario dat de Ramspolkering is gefaald. Dit scenario heeft een faalkansbijdrage die ca. 25-50 keer hoger is dan het scenario waarbij de Ramspolkering is gesloten volgens het sluitingsprotocol. Dit verklaart de dominante bijdrage van het IJsselmeerpeil aan het berekende HBN.

Alleen ter plaatse van de locaties U301 en U302 wordt een grotere invloed voor de windsnelheid gevonden. Dit kan worden verklaard omdat er voor deze locaties een significante strijklengte aanwezig is voor de dominante windrichting en dus hogere golfgroei mogelijk is.

De invloed van de afvoer van de Vecht op het berekende HBN is zeer klein (maximaal ca. 2-3%). Geconcludeerd kan worden dat het systeem storm-gedomineerd is (want IJsselmeerpeil en golfbelasting zijn beide direct gerelateerd aan stormgebeurtenis).

4.Conclusie

Er is een systeemanalyse uitgevoerd middels analyse van illustratiepunten die volgen uit GEKB berekeningen. om de dominante invloeden op de faalkans voor het deelmechanisme GEKB te kunnen identificeren.

Uit de analyse volgt:

- dat het IJsselmeerpeil in combinatie met een gefaalde Ramspolkering de grootste bijdrage levert aan de faalkans dat het systeem bijgevolg als storm-gedomineerd kan worden beschouwd
- dat bij strekkingen waar in NW-richting een grotere strijklengte aanwezig is de invloed van de windsnelheid hoger is en het HBN lokaal hoger is.

Op basis hiervan wordt voorgesteld om drie deelgebieden te onderscheiden waarvoor het maximaal toelaatbaar overslagdebiet dient te worden vastgesteld:

- Deelgebied 1, omvat deeltrajecten 1 t/m 2b, welke georiënteerd zijn in windrichting NW tot N, maar waarbij de strijklengte relatief beperkt is. Achterland bestaat hier voornamelijk uit industrie.
- Deelgebied 2, omvat deeltrajecten 2c t/m 3, welke haaks op de maatgevende windrichting zijn georiënteerd en de strijklengte dus zorgt voor langsstroming tijdens een maatgevende storm vanuit windrichting WNW of NW en dus geen tot beperkte overslag plaatsvindt.

Deelgebied 3, omvat deeltrajecten 4 en 5, waarvan deeltrajecten 4c t/m 5b in de maatgevende stormrichting georiënteerd zijn en een beperkte strijklengte hebben, en waarbij 4a t/m 4b meer WZW georiënteerd zijn maar waarbij wel een grotere strijklengte in de richting van de maatgevende stormrichting aanwezig is, zodat toch significante overslag zal optreden.

Bijlage C: Memo Resultaten Waterschadeschatter



Memo

Bestemd voor
Dijkmanagementteam
Waterschap Drents Overijsselse Delta
T.a.v. dhr. Schoonen

Datum
04 oktober 2019

Referentie
[1804499-00978](#)

Versie
1.0

Bladnummer
1/4

Onderwerp
Resultaten schadebepaling waterbezwaar met Waterschadeschatter

1 Inleiding

Als onderdeel van het vaststellen van de kruinhoogte, wordt binnen dijkversterking Stadsdijken Zwolle nader beschouwd welk waterbezwaar in het achterliggende gebied door overslag acceptabel is, onder andere van het schadeperspectief. Om de impact van verschillende waarden voor het overslagdebiet op het achterland in beeld te brengen, zijn er verschillende inundatie-analyses gedaan met Tygron (projectteam SDZ, Waterbezwaar als gevolg van overslag: modellering met Tygron, 19 december 2019). Het resultaat hieruit dient als input om de schade (in euro's) te bepalen met de Waterschadeschatter.

Deze memo vat de uitgangspunten en resultaten van de analyses met de Waterschadeschatter samen.

2 Uitgangspunten

Uitgangspunten Tygronsimulatie

Met Tygron is voor verschillende scenario's (overslagdebieten) het overstromingsbeeld bepaald. De uitgangspunten en resultaten zijn beschreven in de rapportage Waterbezwaar als gevolg van overslag: modellering met Tygron (Projectteam SDZ, 19 december 2019). Onderstaand de belangrijkste uitgangspunten in relatie tot de analyses met de Waterschadeschatter:

- Simulatie duur 12 uur
 - o 0-4 uur: overslagdebiet over de dijk
 - o 4-12 uur: geen overslag, enkel verspreiding van het water
- Geen afvoer van water via riolering of gemaal
- Alleen stroming over maaiveld.

Uitgangspunten Waterschadeschatter:

- Inundatie gebied staat 24 uur onder water.
 - o De schade aan bebouwing is onafhankelijk van de duur of het seizoen.
 - o Bij (spoor) wegen is na één uur inundatie de maximale schade bereikt.
- Hersteltijd wegen en huizen:
 - o De periode dat een gebouw of weg zijn functie niet kan uitvoeren.
 - o Variërend van 6 uur tot maximaal 10 dagen. De waterschadeschatter kan niet met langere hersteltijden werken. In principe wordt uitgegaan van de maximale hersteltijd van 10 dagen. De schade bij kortere hersteltijden wordt wel in beeld gebracht.
- Maximale waterdiepte gebruikt voor schade: 0,3 meter.
- Methode: schadeberekening Waterschadeschatter: zie bijlage 1.

- Schadebedrag: maximaal schade scenario.

Doorgerekende scenario's met Waterschadeschatter

- Overslagdebiet 10 l/m/s.
- Overslagdebiet 20 l/m/s.
- Overslagdebiet 40 l/m/s.

Bij elk scenario is na 4 en 12 uur een schadebedrag berekend, verdeeld over industrieterrein Voorst en Holtenbroek. Deze tijdstippen zijn gekozen om in beeld te brengen wat de schade is bij het einde van de overslag en wat het afstromende water nog verder aan schade veroorzaakt.

Conclusies:

Er is gekozen om de schade bedragen met **10 dagen** hersteltijd aan te houden, omdat wordt aangenomen dat het herstellen van een woning, gezien de dichtheid van de bebouwing achter de dijk, zeker 10 dagen duurt (vervangen vloer, vervanging elektra/gas, riolering, etc.). In onderstaande tabel zijn de maximale schadebedragen (na 12 uur) bij 10, 20 en 40 l/m/s overslagdebiet samengevat:

Overslagdebiet	Schade industrieterrein Voorst (miljoen €)	Schade Holtenbroek (miljoen €)	Totale schade (miljoen €)
10 l/m/s	66,1	6	72,1
20 l/m/s	114,7	14,9	129,6
40 l/m/s	215,2	20	235,2

Onderstaande tabellen geven de berekende schadebedragen per overslagdebiet per hersteltijd te vinden. De groen gemarkeerde waarden zijn opgenomen in bovenstaande samenvattende tabel.

Scenario 1: overslagdebiet van 10 l/m/s

Op basis van schadebeeld na 4u overslag:

Hersteltijd bebouwing en wegen	Schade industrieterrein Voorst (miljoen €)	Schade Holtenbroek (miljoen €)	Totale schade (miljoen €)
6 uur	15,3	3,1	18,4
1 dag	18,7	3,3	22
5 dagen	36,6	4,1	40,7
10 dagen	59,05	5,2	64,3

Op basis van schadebeeld na 12u overslag (waarvan 4u overslag en 8u verdere verspreiding):

Hersteltijd bebouwing en wegen	Schade industrieterrein Voorst (miljoen €)	Schade Holtenbroek (miljoen €)	Totale schade (miljoen €)
6 uur	15,9	3,8	19,7
1 dag	19,8	4	23,8
5 dagen	40,4	4,9	45,3
10 dagen	66,1	6	72,1

Scenario 2: overslagdebiet van 20 l/m/s

Op basis van schadebeeld na 4u overslag:

Hersteltijd bebouwing en wegen	Schade industrieterrein Voorst (miljoen €)	Schade Holtenbroek (miljoen €)	Totale schade (miljoen €)
6 uur	18,9	5,5	24,4
1 dag	23,5	6,2	29,7
5 dagen	47,4	9,95	57,3
10 dagen	77,4	14,7	92,1

Op basis van schadebeeld na 12u overslag (waarvan 4u overslag en 8u verdere verspreiding):

Hersteltijd bebouwing en wegen	Schade industrieterrein Voorst (miljoen €)	Schade Holtenbroek (miljoen €)	Totale schade (miljoen €)
6 uur	23,2	5,65	28,9
1 dag	30,2	6,4	36,6
5 dagen	67,8	10,1	77,9
10 dagen	114,7	14,9	129,6

Scenario 5: overslagdebet van 40 l/m/s

Op basis van schadebeeld na 4u overslag:

Hersteltijd bebouwing en wegen	Schade industrieterrein Voorst (miljoen €)	Schade Holtenbroek (miljoen €)	Totale schade (miljoen €)
6 uur	29,2	7,78	37
1 dag	36,3	8,5	44,8
5 dagen	74	12,6	86,6
10 dagen	121,1	17,7	138,8

Op basis van schadebeeld na 12u overslag (waarvan 4u overslag en 8u verdere verspreiding):

Hersteltijd bebouwing en wegen	Schade industrieterrein Voorst	Schade Holtenbroek	Totale schade (miljoen €)
6 uur	32,2	10	42,2
1 dag	46,3	10,8	57,1
5 dagen	121,4	14,9	136,3
10 dagen	215,2	20	235,2

Bijlage 1 – werkwijze Waterschadeschatter

Bij de Waterschadeschatter is er onderscheid gemaakt in twee type schade, namelijk directe en indirecte schade. De som van deze schade wordt uiteindelijk de totale schade. Hieronder wordt de onderbouwing gegeven voor de berekening van de schade:

- **Directe schade;** schade door direct contact met het oppervlaktewater. Deze is afhankelijk van de inundatiediepte, duur van de overlast en het seizoen waarin overlast optreedt.

$$S_{\text{direct}} = D_{i,j} \cdot \gamma_{\text{diepte}} \cdot \gamma_{\text{duur_direct}} \cdot \gamma_{\text{seizoen}}$$

Hierin is:

S_{direct} = directe schade

$D_{i,j}$ = schadebedrag afh. van landgebruik (i) en laag, gemiddeld of hoog scenario (j)

γ_{diepte} = reductiefactor afhankelijk van de inundatiediepte

$\gamma_{\text{duur_direct}}$ = reductiefactor afhankelijk van de duur van de wateroverlast

γ_{seizoen} = reductiefactor afhankelijk van het seizoen

Voor elk type functie zijn er verschillende schade bedragen en reductie factoren opgesteld, deze zijn op pagina 22-25 van het onderstaande document te vinden:

https://www.waterschadeschatter.nl/static_media/lizard_damage/help/gebruikers%20handleiding.pdf

- **Indirect schade;** schade die ontstaat door directe schade. Bijvoorbeeld, door herstelwerkzaamheden is een winkel gesloten, de kosten van verminderde omzet is ook gedefinieerd als indirect schade. Deze is afhankelijk van de duur van de herstelwerkzaamheden.
 - o Kosten die gemaakt moeten worden om bijvoorbeeld een gezin of activiteit tijdelijk elders onder te brengen
 - o Zakelijke schade door het mislopen van omzet min de waarde van ingekochte goederen.
 - o Omrijdschade voor de benodigde tijd dat men moet omrijden omdat wegen geblokkeerd zijn.

Per landsgebruik categorie zijn er schade bedragen opgesteld. Deze schade is opgedeeld in een minimaal, gemiddeld

$$S_{\text{indirect}} = D_{i,j} \cdot \gamma_{\text{duur_indirect}}$$

Hierin is:

S_{indirect} = indirecte schade

$D_{i,j}$ = bedrag per dag afh. van het type gebouw (i) en laag, gemiddeld of hoog scenario (j)

$\gamma_{\text{duur_indirect}}$ = factor afhankelijk van de duur van de wateroverlast en de herstelwerkzaamheden (dagen)

en maximaal scenario. De schade bedragen voor alle landgebruikscategorieën zijn hier te vinden:

https://www.waterschadeschatter.nl/static_media/lizard_damage/help/schadebedragen.pdf

Totale schade= Directe schade + indirecte schade