

Waterschap Aa en Maas

Effecten verfijning SOBEK-Model

Het effect van het toevoegen van B-watergangen inclusief begroeiingsweerstand en riooloverstort aan het bestaande SOBEK-model van het DAS-gebied op de berekende debieten, waterstanden en inundaties.



Ruud van den Hoven

7-6-2018

Effecten verfijning SOBEK-model

Het effect van het toevoegen van B-watergangen inclusief begroeiingsweerstand en riooloverstort aan het bestaande SOBEK-model van het DAS-gebied op de berekende debieten, waterstanden en inundaties.

's-Hertogenbosch

Donderdag 7 juni 2018

Ruud van den Hoven

Waterschap Aa en Maas

COLOFON

Titel:

Effecten verfijning SOBEK-model

Ondertitel:

Het effect van het toevoegen van B-watergangen inclusief begroeiingsweerstand en riooloverstort aan het bestaande SOBEK-model van het DAS-gebied op de berekende debieten, waterstanden en inundaties.

Auteur:

Ruud van den Hoven

ruud_van_den_hoven@hotmail.com

Datum:

Juni 2018

Opdrachtgever:

Waterschap Aa en Maas

Begeleiding Waterschap Aa en Maas:

J. (Jack) de Wilt

Begeleiding hogeschool Van Hall-Larenstein:

A.M.J. (Anouk) Berendsen-Sloot

VOORWOORD

Voor u ligt het onderzoek 'Effecten verfijning SOBEK-model'. Dit is een onderzoek naar de effecten van het verfijnen van het automatisch aangemaakte SOBEK-model van Waterschap Aa en Maas. Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van mijn afstudeerscriptie van de opleiding land- en watermanagement aan hogeschool Van Hall-Larenstein te Velp. De opdrachtgever van het onderzoek betreft Waterschap Aa en Maas. Graag wil ik Jack de Wilt, Johnny van Keulen en Chris van Rens van Waterschap Aa en Maas bedanken voor de goede begeleiding gedurende mijn afstudeerperiode. Vanuit hogeschool van Hall Larenstein wil ik Anouk Berendsen-Sloot bedanken voor de goede begeleiding en scherpe feedback. Ten slotte wil ik ook Guido van Wijk van Arcadis bedanken voor zijn hulp bij het opstellen van het SOBEK-model.

Ruud van den Hoven

SAMENVATTING

Sinds 2003 dient Waterschap Aa en Maas haar stroomgebied te toetsen aan inundaties vanuit het oppervlaktewater. Deze toetsing vindt plaats met een automatisch aangemaakt SOBEK-model van het stroomgebied van Waterschap Aa en Maas. In 2008 is het Nationaal Bestuursakkoord Water aangepast door de betrokken partijen en is afgesproken dat de toetsing periodiek dient te worden herhaald. In 2018/2019 staat de volgende toetsing op de planning, deze gaat anders verlopen dan de voorgaande. Dit komt omdat er vanuit analyse van neerslagreeksen door Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) blijkt dat er nu 15% meer neerslag valt dan in de jaren 80'. Verder zijn er gedurende de zomermaanden meer én intensievere buien en lijkt het erop dat dit in de toekomst nog vaker voor gaat vallen. In de toetsing 2018/2019 zal er dus met intensievere buien worden gerekend. Ook wil het waterschap het automatisch aangemaakt SOBEK-model in de toekomst gaan gebruiken om specifieke neerslagsituaties door te rekenen om zo knelpunten in kaart te brengen.

Momenteel is het geautomatiseerd aangemaakt SOBEK-model van Waterschap Aa en Maas alleen gemaakt voor het uitvoeren van een NBW-toetsing. Om deze reden is het model zo samengesteld dat de output van het model wettelijk voldoet en kan worden gebruikt voor de toetsing. Om de output te kunnen gebruiken voor de toetsing wordt het model gedraaid met winterse omstandigheden (watergangen glad gemaaid, neerslag die in 3 dagen valt, laag peilbeheer). Verder bevat het geautomatiseerd aangemaakt SOBEK-model momenteel alleen A-watergangen. Riooloverstorten die eigenlijk op een B-watergang afwateren, zijn hierdoor in alle modellen gekoppeld aan A-watergangen.

In dit onderzoek wordt er als volgende stap onderzocht of het model andere output berekent als het model wordt uitgebreid met B-watergangen (met een standaard profiel en automatisch gegenereerde bodemhoogtes). Ook wordt onderzocht wat de gevoeligheid is van de output van SOBEK op de weerstand door begroeiing binnen deze B-watergangen, omdat deze in de zomertijd dankzij plantengroei veel kan variëren. Ook wordt onderzocht wat voor output SOBEK produceert als een riooloverstort aan de juiste B-watergang wordt gekoppeld. Het model wat wordt aangepast is het geautomatiseerd aangemaakt SOBEK-model van de gemeenten Deurne, Asten en Someren (hierna te noemen: DAS).

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt: 'Wat is het effect van het toevoegen van B-watergangen inclusief begroeiingsweerstand en riooloverstorten aan het bestaande SOBEK-model van het DAS-gebied op de berekende debieten, waterstanden en inundaties?'

Om tot antwoord van de hoofdvraag te kunnen komen is eerst het bestaande geautomatiseerd aangemaakte SOBEK-model bestudeerd. Vervolgens is het model verfijnd met B-watergangen inclusief begroeiingsweerstand en slechts één riooloverstort omdat na analyse bleek dat er binnen de DAS-gemeenten slechts één riooloverstort in het veld op een B-watergang afwatert. De begroeiingsweerstand die aan de B-watergangen zijn meegegeven zijn in SOBEK ingevoerd als een KS-strickler waarde en betreffen: Nauwelijks (Ks33), licht (Ks20), middel (Ks15), zwaar (Ks10) en extreem (Ks5).

Om het effect van het met B-watergangen met verschillende weerstandscoefficienten verfijnen van het geautomatiseerd aangemaakt SOBEK-model inzichtelijk te maken is de output van het geautomatiseerd aangemaakt SOBEK-model vergeleken met de output van de twee extreme varianten (Nauwelijks begroeid, Ks33 en Extreem begroeid Ks5). Er is gekozen voor de twee extreme varianten omdat het analyseren van alle varianten te veel ruimte in beslag neemt en tussen de extreme varianten de grootste verschillen optreden.

De invloed van de weerstandscoefficient door begroeiing is zichtbaar in de berekende waterdieptes in de B-watergangen. Uit de analyse blijkt dat bij alle watergangen een waterdieptestijging van 0.10 tot 0.20 meter wordt berekend als de weerstand van Ks33 wordt verhoogd naar Ks5. Dit komt door de opstuwende werking van de toegenomen begroeiing.

Ook blijkt dat de extreme varianten van het verfijnde model bij de in het gebied gelegen stuwen andere pieken in debieten en waterhoogte berekenen dan het geautomatiseerd aangemaakt SOBEK-model, soms hoger en soms lager. Het verschil in pieken is dus locatieafhankelijk. Dit kan komen door verschillende hoeveelheden B-watgangen in de nabije omgeving van de verschillende onderzochte stuwen.

Uit de analyse van inundatiekaarten van het startmodel en de verfijnde modellen blijkt dat er verschillen zijn in de locaties en heftigheid van de berekende inundaties. Wat daarbij opvalt is dat het Ks33 model op die locaties minder inundaties berekend dan het Ks5 model. Daaruit kan worden opgemaakt dat de toename in weerstand heeft geleid tot opstuwings- en vertraagde afvoer van water, waardoor er bij het Ks5 model meer inundaties worden berekend dan bij het Ks33 model.

Zowel het toevoegen van de B-watgangen, als de weerstandscoefficient die aan de B-watgangen wordt meegegeven zijn dus van grote invloed op de hoeveelheid- én heftigheid van de berekende inundaties.

Rondom de B-watgang waaraan de riooloverstort is gekoppeld worden geen extra inundaties berekend. Dit wil in dit geval zeggen dat de B-watgang in ieder geval groot genoeg is gedimensioneerd. Dit zegt echter alleen iets over deze betreffende B-watgang met riooloverstort en niet over andere B-watgangen met riooloverstort in andere delen van het beheergebied van waterschap Aa en Maas.

Er wordt geadviseerd om bij de volgende NBW-toetsing ook omliggende B-watgangen van bekende overlastlocaties aan modellen toe te voegen. Dit wordt geadviseerd omdat de verschillen in de output van een geautomatiseerd aangemaakt model en een verfijnd model groot kunnen zijn. Ook wordt geadviseerd om de weerstandscoefficient van de B-watgangen stochastisch mee te nemen omdat deze een grote invloed kan hebben op de berekende output van SOBEK. Als met SOBEK een specifieke neerslagsituatie wordt gesimuleerd wordt geadviseerd om voor de B-watgangen de een situatiegetrouwe weerstandscoefficient door begroeiing te bepalen.

INHOUD

Colofon	3
Voorwoord	4
Samenvatting	5
1.0 inleiding.....	9
1.1 Kader.....	9
1.2 Aanleiding.....	10
1.3 Probleemanalyse	11
1.4 Onderzoeksvragen	12
1.5 Doelstelling	12
1.6 Afbakening.....	12
1.7 Doelgroep	13
1.8 Leeswijzer	13
2.0 Gebiedsbeschrijving	14
2.1 Beheergebied Waterschap Aa en Maas	14
2.2 Deurne, Asten en Someren (DAS).....	15
2.2.1 Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)	16
2.2.2 Geomorfologische kaart.....	17
3.0 Methodiek.....	18
3.1 Opbouw van het bestaande geautomatiseerd aangemaakte model	18
3.2 Opbouw verfijnd model.....	18
3.3 Berekenende waterdieptes in B-watergangen met variërende begroeiingsweerstand	18
3.4 Verschillen tussen Geautomatiseerd aangemaakte model en varianten van het verfijnde model	19
4.0 Opbouw van de SOBEK-modellen	22
4.1 Automatisering modelopbouw.....	22
4.2 Gegevens geautomatiseerd aangemaakte SOBEK-model	22
4.3 Opbouw verfijnd SOBEK-model.....	23
4.3.1 B-watergangen	24
4.3.2 Profielen B-watergangen.....	24
4.3.3 Vergelijking gemeten en automatisch gegenereerde bodemhoogtes	25
4.3.4 Riooloverstort op B-watergang.....	27

5.0	Berekende waterdieptes in watergangen zuidelijk deelgebied	28
6.0	Resultaten en verschillen berekeningen SOBEK	30
6.1	Resultaten zuidelijk deelgebied	30
6.1.1	Berekende debieten stuwen zuidelijk deelgebied	30
6.1.2	Berekende bovenstroomse waterhoogtes stuwen zuidelijk deelgebied	32
6.1.3	Berekende inundaties zuidelijk deelgebied	35
6.2	Resultaten ingemeten B-watergang met riooloverstort	37
6.2.1	Berekende waterdiepte ingemeten B-watergang met overstort	37
6.2.2	Berekende inundaties ingemeten watergang	40
7	Conclusies	41
7.1	Conclusies	41
8	Aanbevelingen en discussie	43
8.1	Aanbevelingen	43
8.1.1	Algemene aanbevelingen	43
8.1.2	Aanbevelingen methode	43
8.2	Discussie	43
8.2.1	Sterke punten	43
8.2.2	Zwakke punten	44
8.2.3	Reflectie op de resultaten	44
	Bronvermelding	45
	Kritische Reflectie eigen functioneren en proces	46
	Bijlage 1 – Extreme Neerslagsituaties	47
	Bijlage 2 – Tabel Weerstand door begroeiing en maaifrequentie	50
	Bijlage 3 – Analysedata Noordelijk Deelgebied	51
	Bijlage 4 – Analysedata Deelgebied Midden	59
	Bijlage 5 – Berekende Waterdieptekaarten Zuid	66
	Bijlage 6 – Berekende Inundatiekaarten Zuid	69
	Bijlage 7 – Het Wageningenmodel	72

1.0 INLEIDING

1.1 KADER

Nederland werd in de jaren negentig opgeschrikt door wateroverlast. Zo stond er in 1995 twee meter water op de A2 (*Omroep Brabant, 29-01-15*). Ook in 1998 stonden straten blank en moesten dijken worden verstevigd met zandzakken (*Reformatorisch Dagblad, 14-09-1998*). Om dit in de toekomst te voorkomen was een van de adviezen, van de 'Commissie Waterbeheer 21^{ste} eeuw' in 2000, om een landelijk normeringsstelsel voor de regionale watersystemen op te stellen. De normen zijn opgenomen in het in 2003 opgestelde Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW). Het doel van het NBW is om in 2015 het watersysteem op orde te hebben en te houden. Dit houdt in dat wateroverlast en watertekort zoveel mogelijk moet worden voorkomen en de waterkwaliteit op bepaalde plaatsen dient te worden verbeterd (*Stowa, 2011*).

Voor de regionale watersystemen, beheerd door de waterschappen, betekent dit dat wateroverlast die ontstaat vanuit oppervlaktewater is aangepakt door een maatregelenpakket waarbij is uitgegaan van het principe, 'vasthouden, bergen en afvoeren' (Fig. 1.1.1). Dit is ingegeven vanuit de provinciale Verordening Wateroverlast.



Figuur 1.1.1 – Vasthouden, bergen en afvoeren.

Watersystemen worden getoetst aan bepaalde werknormen voor inundatie (NBW-toetsing). De normen zijn uitgedrukt in de kans (herhalingsjijd in jaren) dat het peil van het oppervlaktewater het niveau van het maaiveld (inundatie vanuit het oppervlaktewater) voor een bepaald percentage (maaiveldcriterium) overschrijdt. Voor verschillende typen grondgebruik worden verschillende overschrijdingsnormen gehanteerd. Zo mag van grasland eenmaal per 10 jaar ($T=10$) 5 procent inunderen en van bebouwd gebied eenmaal per 100 jaar 0 procent. Grasland mag vaker inunderen dan bebouwd gebied omdat dit minder overlast en economische schade geeft. De werknormen voor inundatie staan weergegeven in tabel 1.1.2 (*NBW-Actueel, 2013*)

Tabel 1.1.2 – Werknormen voor inundatie (Bron: NBW-Actueel, 2013)

Normklasse gerelateerd aan grondgebruikstype	Maaiveldcriterium	Basis werk criterium [1/jr]
Grasland	5 procent	1/10
Akkerbouw	1 procent	1/25
Hoogwaardige land- en tuinbouw	1 procent	1/50
Glastuinbouw	1 procent	1/50
Bebouwd Gebied	0 procent	1/100

Waterschap Aa en Maas houdt echter een strenger maaiveldcriterium aan dan wettelijk verplicht is. Zij zien elke inundatie als een overschrijding omdat het maaiveldcriterium tot oneerlijke situaties kan leiden. Zo mag bijvoorbeeld één procent akkerbouw van een peilvak inunderen zonder dat dit als knelpunt wordt gezien. Als deze één procent van het peilvak - al het land van slechts één agrariër omvat, kan zijn hele oogst verloren gaan terwijl het volgens het maaiveldcriterium niet als knelpunt wordt gezien. De agrariër wordt dan hard getroffen terwijl het watersysteem van het waterschap 'voldoet' aan de NBW-norm en het waterschap formeel geen

maatregelen hoeft te treffen. Om deze reden houdt het waterschap een maaiveldcriterium aan van 0% voor alle grondgebruikstypen; alle inundaties zijn een knelpunt.

1.2 AANLEIDING

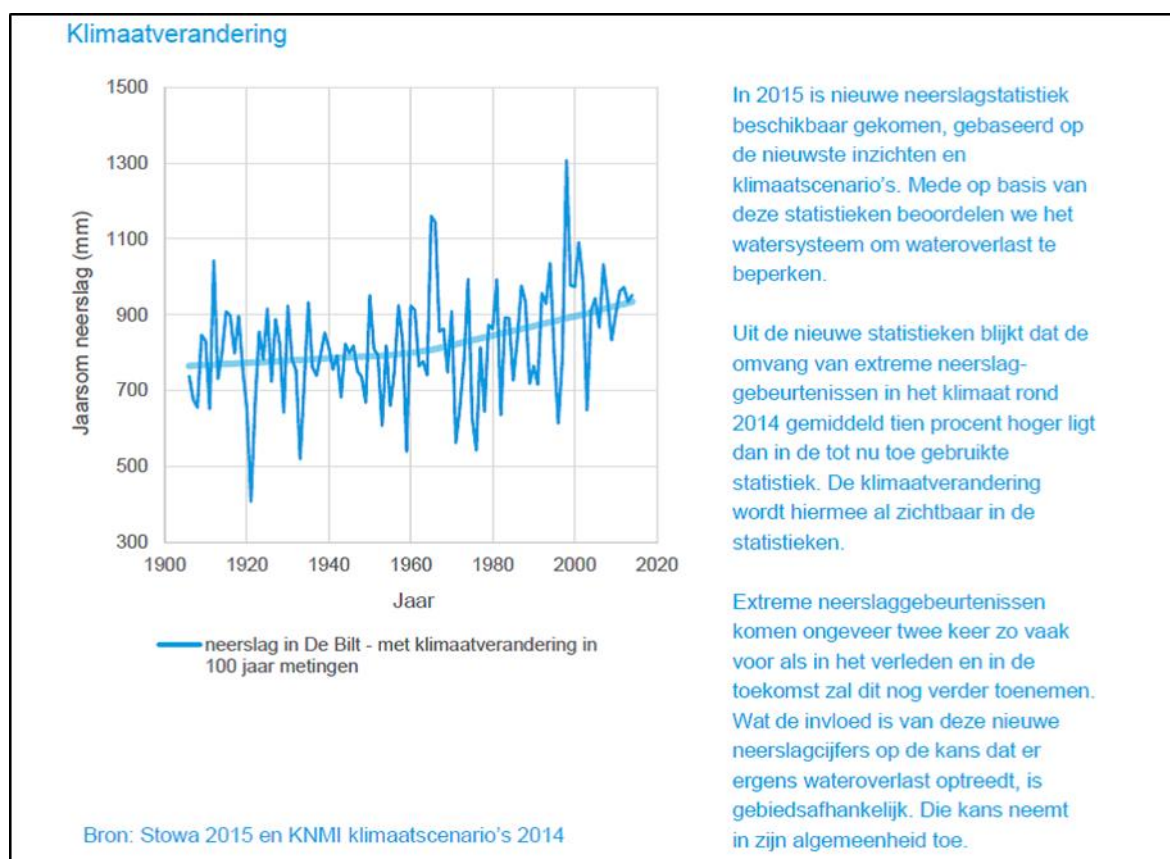
Sinds 2003 dient Waterschap Aa en Maas haar stroomgebied te toetsen aan inundaties vanuit het oppervlaktewater. De toetsing wordt uitgevoerd met een hydraulisch rekenprogramma genaamd SOBEK. Met dit rekenprogramma is het stroomgebied van waterschap Aa en Maas automatisch gemodelleerd. Momenteel is het geautomatiseerd aangemaakt SOBEK-model van Waterschap Aa en Maas alleen gemaakt voor het uitvoeren van een NBW-toetsing. Om deze reden is het model zo samengesteld dat de output van het model wettelijk voldoet en kan worden gebruikt voor de toetsing. Om de output te kunnen gebruiken voor de toetsing wordt het model gedraaid met winterse omstandigheden (watergangen glad gemaaid, neerslag die in 3 dagen valt, laag peilbeheer). Verder bevat het geautomatiseerd aangemaakt SOBEK-model momenteel alleen A-watergangen¹. Riooloverstorten die eigenlijk op een B-watergang afwateren, zijn hierdoor in alle modellen gekoppeld aan A-watergangen.

In 2008 is het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) aangepast door de betrokken partijen (NBW-actueel). Zo is afgesproken dat de NBW-toetsing periodiek herhaald moet worden om rekening te houden met de klimaatverandering. Dit houdt in dat de NBW-toetsing eenmaal per vijf jaar plaats moet vinden, te beginnen in 2012.

Waterschap Aa en Maas heeft in 2005 de eerste NBW-toetsing uitgevoerd. In 2012/2013 volgde de tweede toetsing. In 2018/2019 staat de volgende toetsing op de planning. uitvoeren van de derde NBW-toetsing in 2018/2019 gaat anders verlopen dan de voorgaande.

Dit komt omdat er vanuit analyse van neerslagreeksen door Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) blijkt dat er nu 15% meer neerslag valt dan in de jaren 80' (fig. 1.2.1). Verder zijn er gedurende de zomermaanden meer én intensievere buien en lijkt het erop dat dit in de toekomst nog vaker voor gaat vallen. In de toetsing 2018/2019 zal er dus met intensievere buien worden gerekend.

¹ A-watergangen zijn grotere watergangen die worden beheerd door het Waterschap. B- en C-watergangen zijn watergangen zoals greppels en perceelsslotten, deze worden door de grondeigenaar zelf beheerd.



Figuur 1.2.1- Stowa 2015 en KNKI klimaatscenario's 2014 (Bron: Stowa)

Omdat het SOBEK-model in de toekomst gebruikt gaat worden om een stresstest uit te voeren en om knelpunten gedurende specifieke extreme neerslagsituaties in kaart te brengen, is het belangrijk om inundaties zo verfijnd mogelijk te simuleren. Hiervoor is het geautomatiseerd aangemaakt model al ingesteld op zomerse omstandigheden. Dat houdt in dat er binnen de A-watgangen een toename is in weerstand door begroeiing, er een hoog peilbeheer wordt gehandhaafd en de neerslag in een kortere periode valt.

1.3 PROBLEEMANALYSE

In dit onderzoek wordt er als volgende stap onderzocht of het model andere output berekent als het model wordt uitgebreid met B-watgangen (met een standaard profiel en automatisch gegenereerde bodemhoogtes). Ook wordt onderzocht wat de gevoeligheid is van de output van SOBEK op de weerstand door begroeiing binnen deze B-watgangen, omdat deze in de zomertijd dankzij plantengroei veel kan variëren. Ook wordt onderzocht wat voor output SOBEK produceert als een riooloverstort aan de juiste B-watgang wordt gekoppeld.

Het effect van de verfijning en aanpassing van het model wordt getest in een case welke drie deelgebieden binnen de gemeenten Deurne, Asten en Someren (hierna te noemen; DAS) omvat. Het DAS-gebied is gekozen als pilotgebied omdat daar in juni 2016 tweemaal sprake is geweest van ernstige wateroverlast na het vallen van extreme hoeveelheden neerslag, waardoor informatie van deze gebeurtenissen makkelijker te achterhalen is dan van een gebeurtenis langer geleden.

1.4 ONDERZOEKSVRAGEN

Hoofdvraag:

Wat is het effect van het toevoegen van B-watergangen inclusief begroeiingsweerstand en riooloverstorten aan het bestaande SOBEK-model van het DAS-gebied op de berekende debieten, waterstanden en inundaties?

Deelvragen:

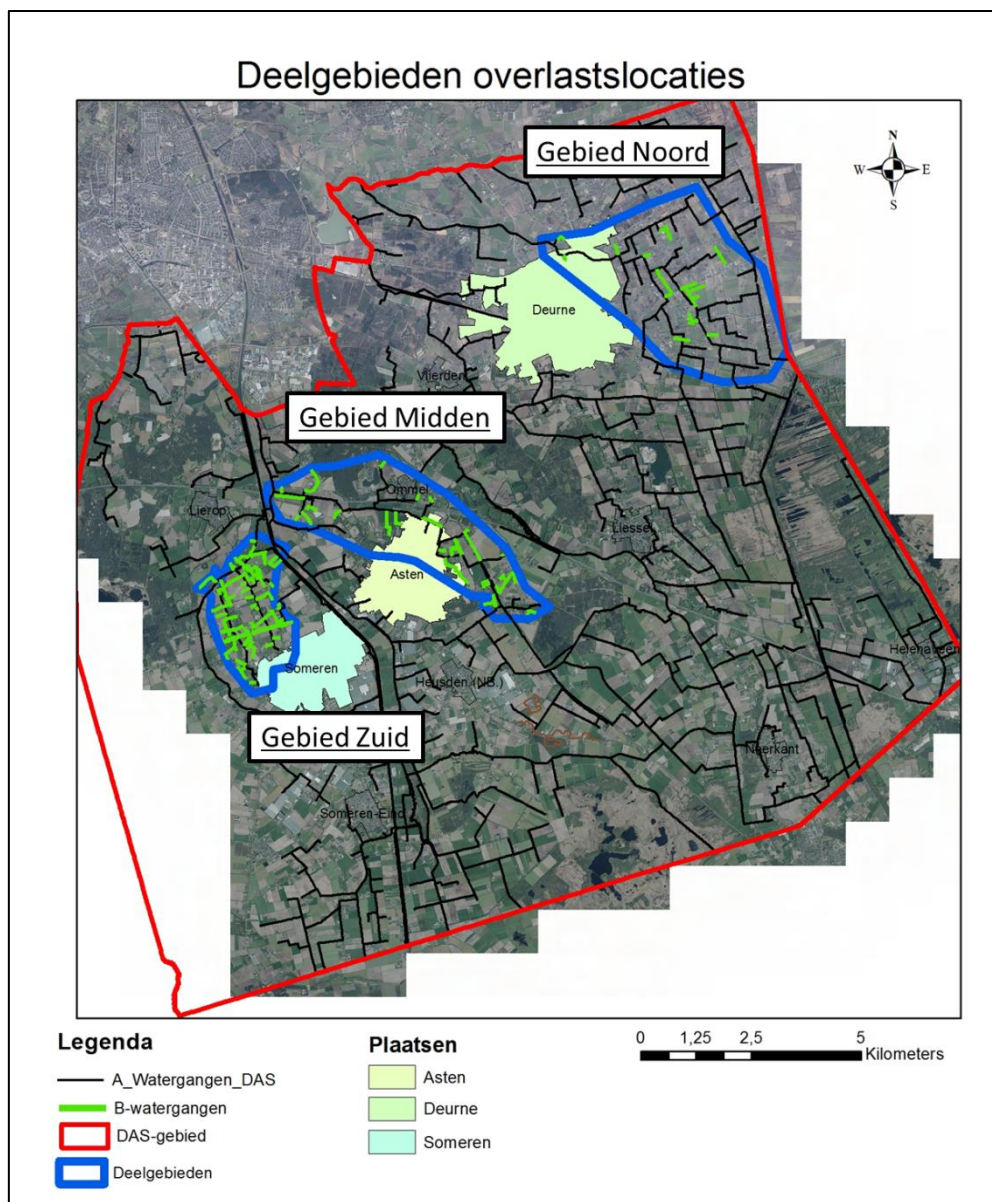
1. *Wat is de opbouw van het bestaande geautomatiseerd aangemaakte model?*
2. *Met welke methode worden de B-watergangen met verschillende begroeiingsweertanden én riooloverstorten aan het geautomatiseerd aangemaakte model gekoppeld?*
3. *Welke waterdieptes worden berekend in de B-watergangen bij verschillende begroeiingsweerstand?*
4. *Wat zijn de verschillen tussen berekende debieten, waterstanden en inundaties van het geautomatiseerd aangemaakte- en de verschillende varianten van het verfijnde model met B-watergangen?*

1.5 DOELSTELLING

Het doel is om het SOBEK-model wat nu wordt gebruikt voor het uitvoeren van een NBW-toetsing, in de toekomst ook te gebruiken voor een stresstest en het doorrekenen van specifieke extreme neerslagsituaties. Om deze reden dient te worden onderzocht wat het effect van verfijning én begroeiingsweerstand is op de berekende debieten waterstanden bij stuwen en inundaties van het SOBEK-model van de deelgebieden van het pilotgebied(DAS). Op basis van het verschil in output tussen het startmodel en de verfijnde varianten kan worden bepaald of verfijning van een SOBEK model nuttig is en of het aan te raden is om dit in de toekomst te doen.

1.6 AFBAKENING

Het projectgebied omvat de gemeenten Deurne, Asten en Someren waarbij het gebied 'Peelrijt' in de gemeente Someren onder waterschap de Dommel valt. Er zijn een drietal locaties bepaald binnen het DAS-gebied die gedetailleerder in SOBEK zullen worden gemodelleerd. De drie locaties zijn bekende overlastlocaties die zijn gekozen op basis van veldkennis van hydrologen van het waterschap. De drie deelgebieden, noord, midden en zuid, zijn weergegeven in figuur 1.6.1 Het noordelijke deelgebied bevindt zich ten oosten van Deurne en omvat 20 B-watergangen. Het in het midden gelegen deelgebied bevindt zich ten oosten en noorden van Asten en omvat 32 B-watergangen evenals de overstort die op een B-watergang afwatert. Het zuidelijke bevindt zich ten noordwesten van Someren en bevat met 75 B-watergangen de meeste watergangen. Binnen het model wordt gerekend met de eerste extreme neerslagsituatie, tussen 29 mei en 3 juni. (Bijlage 1) Deze neerslag is ruimtelijk gedistribueerd over het DAS-gebied.



Figuur 1.6.1 – Deelgebieden overlastlocaties

1.7 DOELGROEP

Het rapport wordt geschreven voor Waterschap Aa en Maas en dient als afstudeerscriptie voor de opleiding Land- en Watermanagement van Hogeschool Van Hall Larenstein.

1.8 LEESWIJZER

In hoofdstuk twee wordt de gebiedsbeschrijving van het onderzoek beschreven. In hoofdstuk drie wordt ingegaan op de onderzoeksmethode. In hoofdstuk vier wordt ingegaan op de opbouw van de gebruikte SOBEK-modellen. De resultaten van de berekende waterdieptes in B-watgangen staan in hoofdstuk vijf en de modelresultaten en de inzichtelijk gemaakte verschillen tussen het geautomatiseerd aangemaakt model en de verschillende varianten van het verfijnde model staan in hoofdstuk zes. De conclusies staan in hoofdstuk zeven en de aanbevelingen en de discussie staan beschreven in hoofdstuk acht.

2.0 GEBIEDSBESCHRIJVING

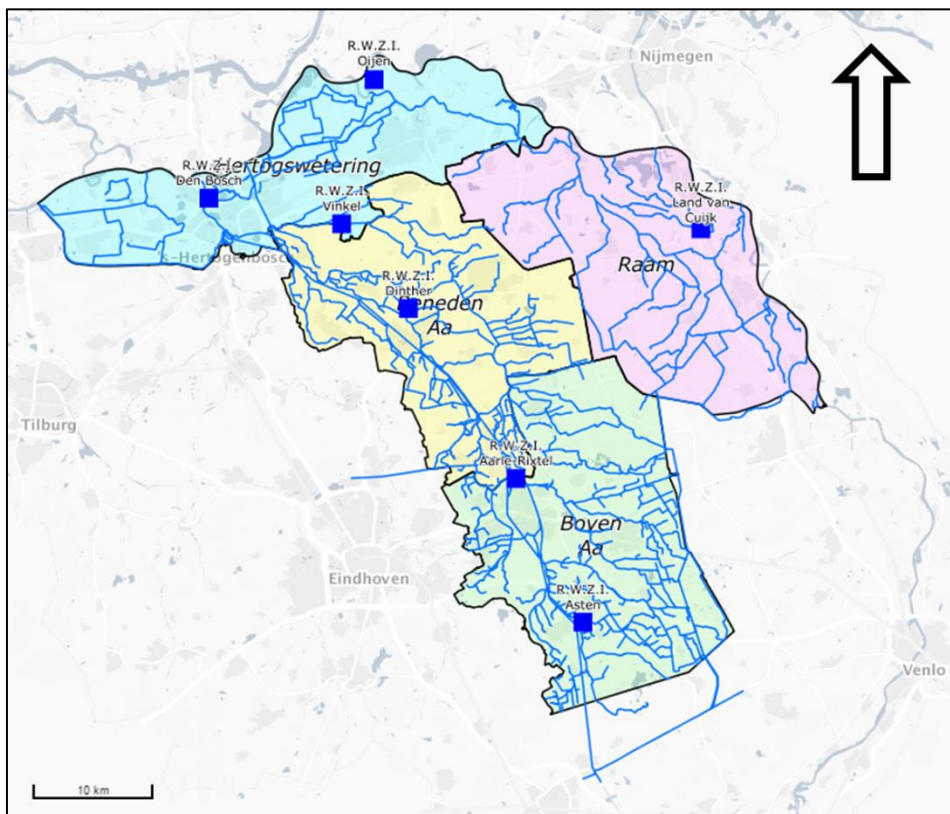
2.1 BEHEERGEBIED WATERSCHAP AA EN MAAS

Het beheergebied van Waterschap Aa en Maas is gelegen in het oostelijke deel van de provincie Noord-Brabant. Het gebied omvat het stroomgebied van de rivier de Aa en haar zijrivieren. Het beheergebied beslaat het gebied tussen Asten in het zuiden, Oijen in het noorden, Cuijk in het oosten en Waalwijk in het westen. Dit is weergegeven in figuur 2.1.1. Het beheergebied omvat circa 161.000 ha en heeft ongeveer 750.000 inwoners.

De bedrijven en inwoners zijn samen goed voor 1.200.000 vervuilingseenheden. Deze worden verwerkt door zeven rioolwaterzuiveringsinstallaties.

Het beheergebied van Waterschap Aa en Maas is opgedeeld in vier districten met als hoofdkantoor het Waterschapshuis te 's-Hertogenbosch. De vier districten betreffen:

- Hertogswetering;
- Raam;
- Boven Aa;
- Beneden Aa.

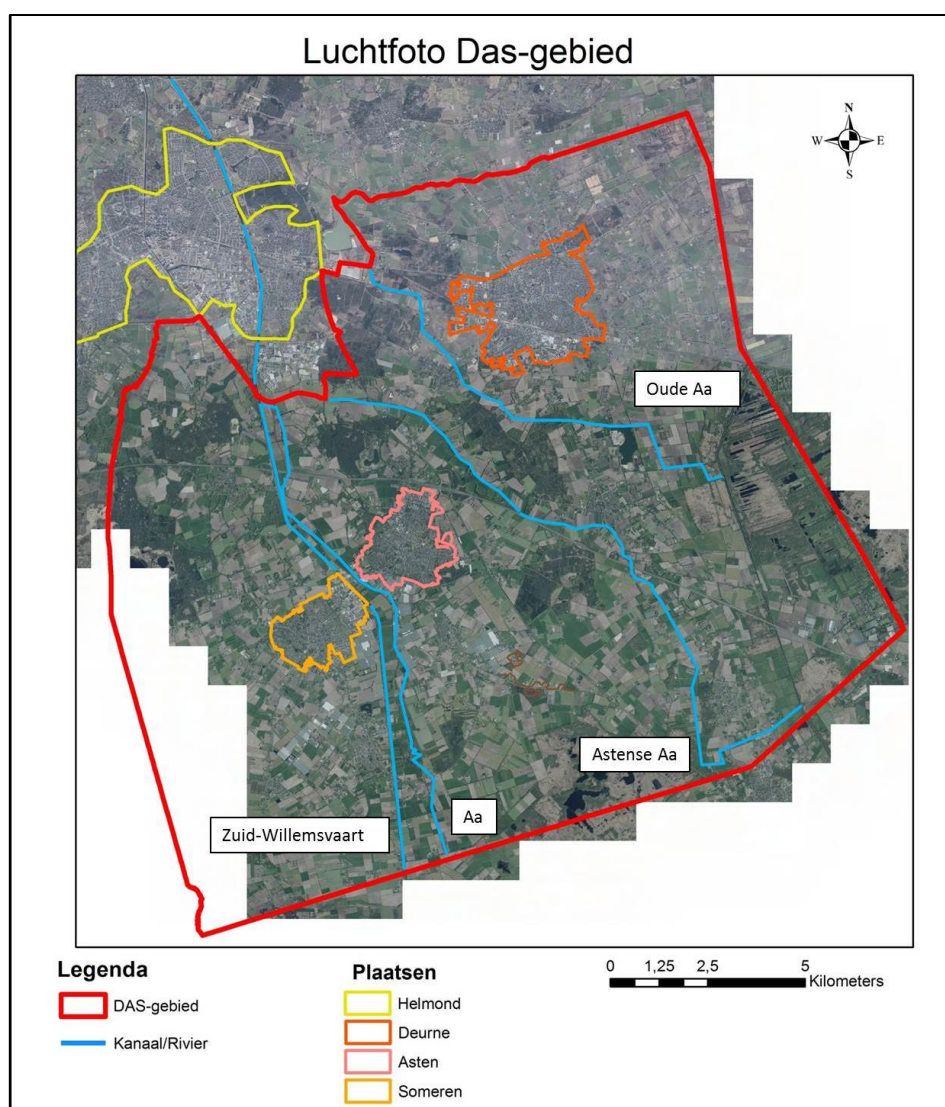


Figuur 2.1.1 – Beheergebied Waterschap Aa en Maas (Bron: Waterschap Aa en Maas)

2.2 DEURNE, ASTEN EN SOMEREN (DAS)

In deze paragraaf wordt het gebied wat is gelegen rondom de gemeenten Deurne, Asten en Someren beschreven.

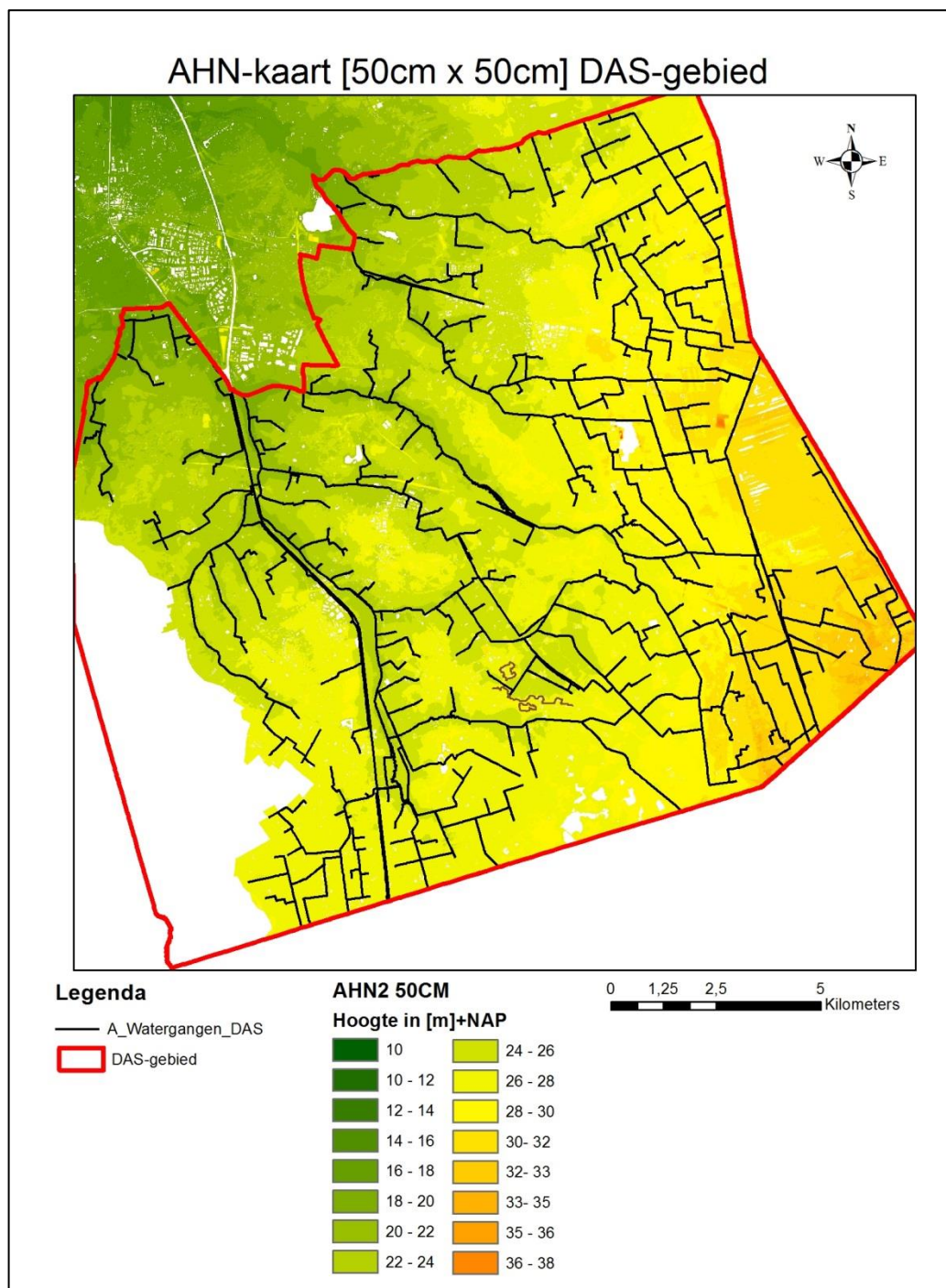
De gemeentes Deurne Asten en Someren liggen in het zuidoosten van de provincie Noord-Brabant en vallen onder het district 'Boven Aa' van Waterschap Aa en Maas, het gebied is weergegeven in figuur 2.2.1. Helmond is de grootste dichtstbijzijnde stad en ligt zo'n vijf kilometer ten noordwesten van de DAS-gemeenten. Het betreft verder een landelijk gebied waarbij het grondgebruik rondom de dorpen voornamelijk bestaat uit grasland en landbouwgrond, afgewisseld met wat stukken bos. In de omgeving is redelijk wat glastuinbouw te vinden. Met name rondom Someren en Asten, waar ongeveer 230 ha glastuinbouw omheen ligt. In het gebied zijn verder het kanaal de 'Zuid-Willemsvaart' en de beken 'de Aa', de 'Astense Aa' en de 'Oude Aa' te vinden. De Zuid-Willemsvaart bevindt zich binnen het projectgebied tussen Someren en Asten richting Helmond met daaraan parallel de Aa. De Astense Aa stroomt ten noorden van Asten, de Oude Aa stroomt ten zuiden en westen van Deurne en beide beken voegen zich in de buurt van Helmond samen met de Aa.



Figuur 2.2.1 – Luchtfoto DAS-gebied (Bron: Aa en Maas)

2.2.1 ACTUEEL HOOGTEBESTAND NEDERLAND (AHN)

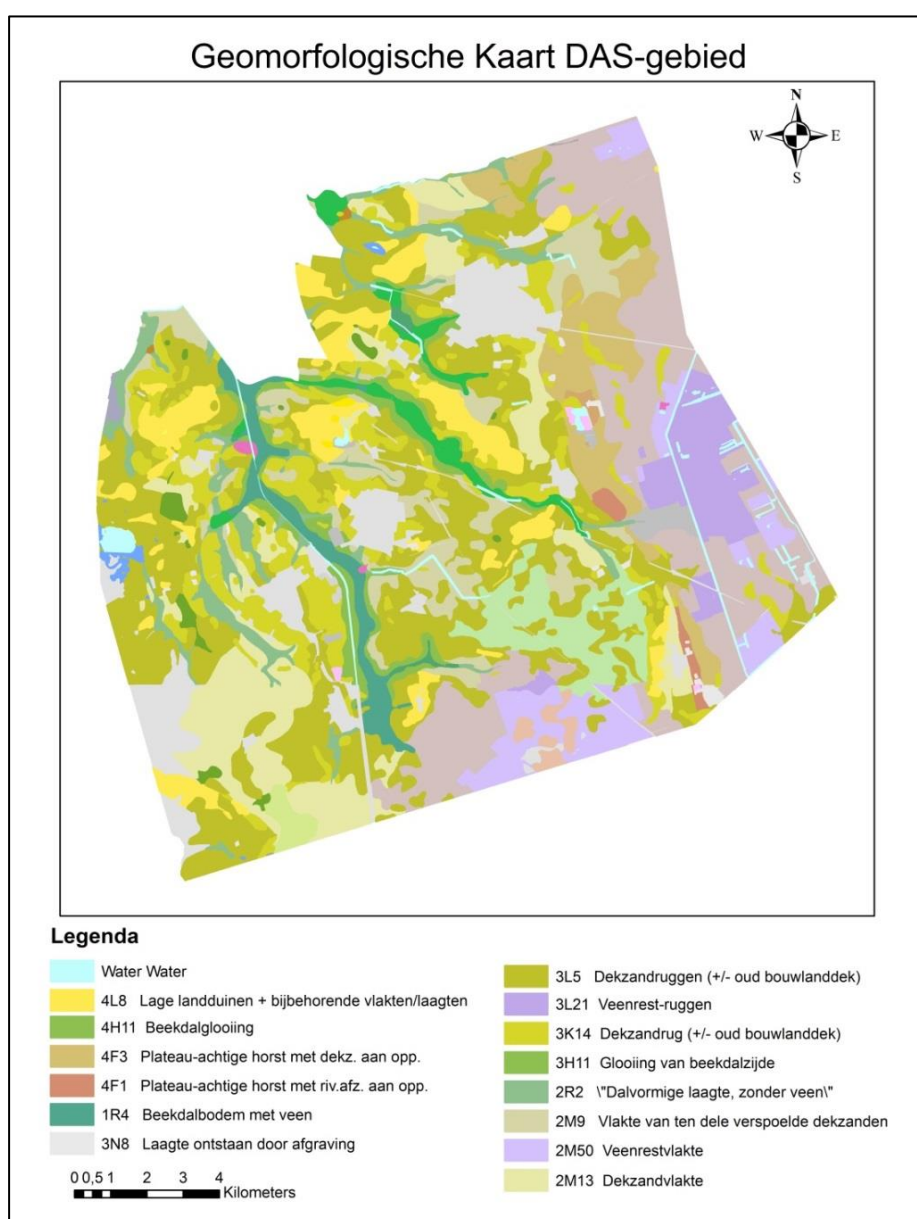
In figuur 2.2.2 staat de AHN-hoogtekaart van het projectgebied weergegeven. Het hoogste punt bevindt zich in het zuidoosten van het projectgebied en bedraagt circa 32m+NAP. Het laagste punt bevindt zich ten noordwesten van het projectgebied en bedraagt circa 19m+NAP. Hieruit is op te maken dat het gebied van zuidoost richting noordwest afwatert. De laagte tussen Someren en Asten duidt op het beekdal wat door de jaren is gevormd door de beek de Aa. Ten noorden van Asten is ook een laagte te zien, deze duidt op het beekdal van de Astense Aa.



Figuur 2.2.2 – AHN-hoogtekaart DAS-gebied (Bron:AHN.nl)

2.2.2 GEOMORFOLOGISCHE KAART

De geomorfologische kaart van het DAS-gebied is weergegeven in figuur 2.2.3. Van deze kaart zijn de vormen en de ontstaansgeschiedenis van het landschap af te lezen. Op de kaart is duidelijk te zien dat ten westen en ten zuidwesten van het projectgebied vroeger veel veen was te vinden omdat daar nu enkel veenresten zijn overgebleven. Het veen is daar vroeger afgestoken en gebruikt als brandstof. Zowel op de AHN-kaart als op de geomorfologische kaart is dezelfde vorm weergegeven tussen Someren en Asten en te noorden van Asten. Deze vormen zijn beekdalen. Door de eroderende werking van het stromende water zijn deze beekdalen gevormd. Verder zijn in het gebied veel dekzandruggen en landduinen te vinden. Deze zijn eolisch ontstaan in de laatste ijstijd: het Weichselien. (*Kokshoorn*) Doordat er in het DAS-gebied dus voornamelijk zand aan de oppervlakte te vinden is kan worden uitgegaan dat neerslag, dankzij de hoge k-waarde van zand, gemakkelijk infiltreert in de bodem.



Figuur 2.2.3 – Geomorfologische kaart DAS-gebied (Bron: Alterra Wageningen UR)

3.0 METHODIEK

In dit hoofdstuk wordt de aanpak van het onderzoek stapsgewijs weergegeven.

3.1 OPBOUW VAN HET BESTAANDE GEAUTOMATISEERD AANGEMAAKTE MODEL

Om inzicht te krijgen hoe het geautomatiseerd aangemaakte SOBEK-model is opgebouwd is een SOBEK-expert van waterschap Aa en Maas geïnterviewd. Van dit interview is een samenvatting gemaakt en staat weergegeven in paragraaf 4.2. Vervolgens is het model bestudeerd en zijn de verschillende invoerparameters en hun herkomst beschreven. Ook is van het SOBEK-model van het DAS-gebied een kaart opgesteld om inzicht te krijgen in de grootte en opbouw van het model. Een gedetailleerde beschrijving van de opbouw van het bestaande geautomatiseerd aangemaakte SOBEK-model staat weergegeven in paragraaf 4.2

3.2 OPBOUW VERFIJND MODEL

Om de B-watgangen aan het huidige SOBEK-model te koppelen is op basis van de gekozen deelgebieden met behulp van ArcMap een B-watgangen shapefile gemaakt uit het beheerregister van waterschap Aa en Maas. De dwarsprofielen zijn niet ingemeten dus wordt er gewerkt met een standaardprofiel. Verder is vanuit het waterschap een dataset beschikbaar gemaakt met ingevlogen bodemhoogtes in B-watgangen. Deze bodemhoogtes worden op basis van een test aan de standaardprofielen gekoppeld. Vervolgens wordt gecontroleerd of deze overeenkomen met ingemeten bodemhoogtes. De B-watgangen krijgen in dit onderzoek vijf maal een verschillende variant van weerstand door begroeiing mee. De weerstand door begroeiing wordt binnen SOBEK bepaald door een Ks-Strickler waarde toe te kennen aan een dwarsprofiel. De vijf varianten van weerstand door begroeiing en de bijbehorende Ks-strickler waardes zijn:

- Nauwelijks begroeid (Ks33);
- Licht begroeid (Ks20);
- Middel begroeid (Ks15);
- Zwaar begroeid (Ks10);
- Extreem begroeid (Ks5).

De bovengenoemde waardes zijn bepaald op basis van de maaifrequentie in bijlage 2. In deze tabel is het minst begroeide waarde Ks30, binnen dit onderzoek is dat Ks33. De meeste begroeide waarde binnen de tabel betreft Ks8, binnen dit onderzoek is dat Ks5. Deze waardes zijn bepaald op basis van expert judgement. Er bevindt zich binnen het projectgebied slechts op één locatie een overstort op een B-watgang die nu aan een A-watgang is gekoppeld. Deze is gekoppeld aan de juiste B-watgang. De locatie van deze B-watgang is als oranje cirkel weergegeven in figuur 3.4.3. Een gedetailleerde beschrijving van de opbouw van het verfijnde model is opgenomen in paragraaf 4.3.

3.3 BEREKENDE WATERDIEPTES IN B-WATERGANGEN MET VARIËRENDE BEGROEIINGSWEERSTANDEN

De berekende waterdieptes (centimeters water in watgang vanaf de bodem) die optreden in de B-watgangen met variërende begroeiingsweerstand zijn volgens een standaard werkwijze van waterschap Aa en Maas inzichtelijk gemaakt met behulp van ArcMap. Vanuit SOBEK zijn de 'depths' van 2 juni 2016 om 19:00 uur geëxporteerd. De 'depths' van deze datum plus tijd zijn geëxporteerd omdat na analyse bleek dat toen de hoogste waterdieptes werden berekend. Vervolgens is er een buffer van 50 meter om de watgangen gegenereerd met ArcMap. Ten slotte zijn de waterstanden geïnterpoleerd binnen de buffer en zijn er kaarten van gegenereerd. Deze kaarten zijn geanalyseerd en weergegeven in hoofdstuk 5.

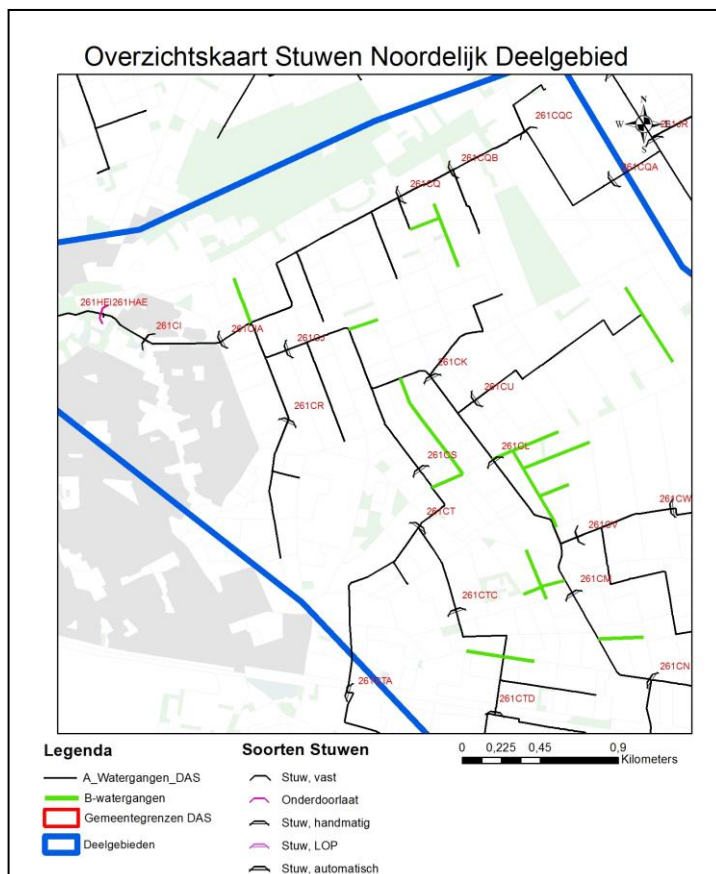
3.4 VERSCHILLEN TUSSEN GEAUTOMATISEERD AANGEMAakte MODEL EN VARIANTEN VAN HET VERFIJNDE MODEL

De verschillen tussen de berekende debieten, waterstanden en inundaties van het geautomatiseerd aangemaakte model en de verschillende varianten van het verfijnde model worden inzichtelijk gemaakt. Alvorens te bepalen wat voor invloed het verfijnen van het geautomatiseerd aangemaakte model heeft op de output moet er eerst een ‘nulmeting’ worden gedaan. Dit houdt in dat de waterhoogtes, debieten en inundaties die door het geautomatiseerd aangemaakte model van de drie deelgebieden binnen het DAS-gebied zijn berekend inzichtelijk worden gemaakt. Zo zijn berekende debieten en waterhoogtes van relevante stuwen binnen de deelgebieden geëxporteerd en in Excel vertaald naar tabellen en grafieken. Ook zijn met behulp van ArcMap inundatiekaarten opgesteld op basis van de output van SOBEK. Ook voor de verschillende varianten van het verfijnde model zijn de berekende debieten en waterhoogtes bij stuwen en berekende inundaties op dezelfde manier als eerder genoemd geëxporteerd uit SOBEK en verwerkt. De bovenstaande analyse staat weergegeven in hoofdstuk 6.

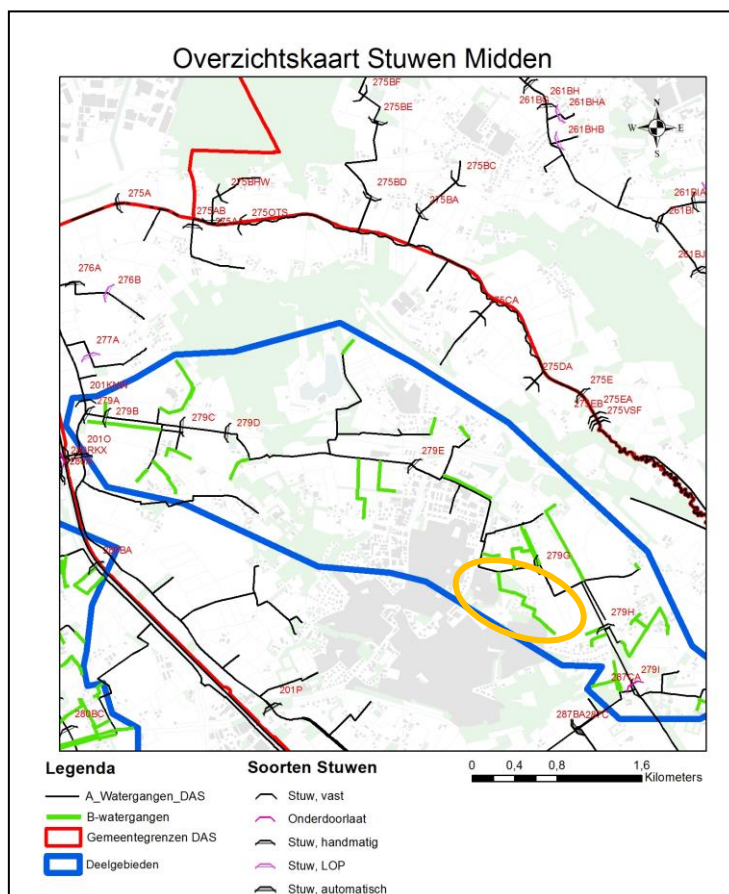
In tabel 3.4.1 staat weergegeven welke stuwen er zijn gebruikt en bij welk deelgebied ze horen. Uit figuren 3.4.2 t/m 3.4.4 zijn per deelgebied de locaties van de stuwen af te leiden.

Tabel 3.4.1 – gebruikte stuwen per deelgebied

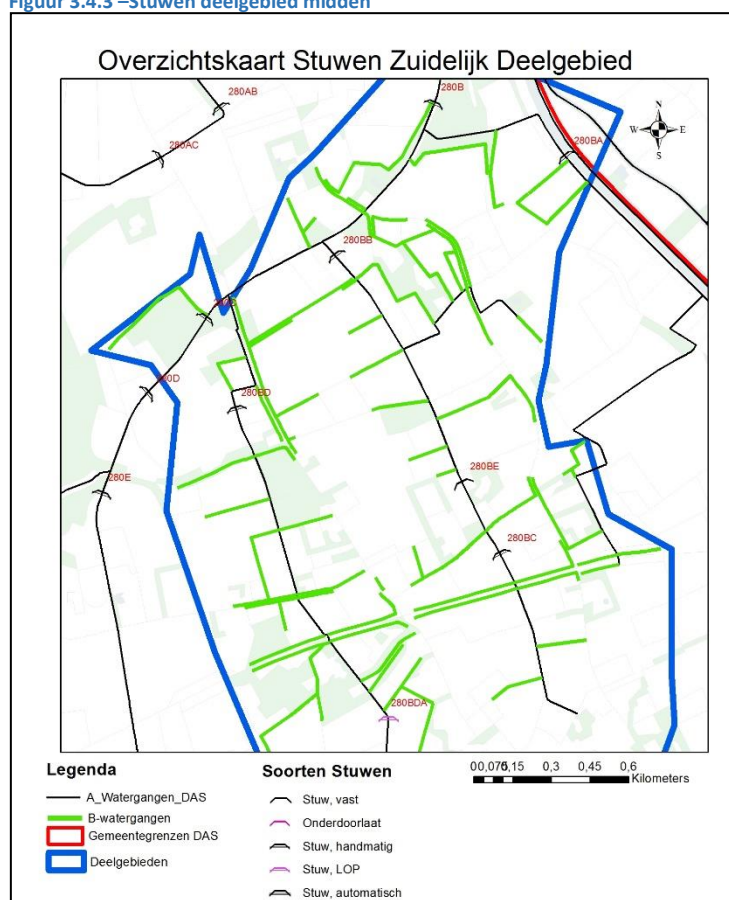
Gebruikte Stuwen per Deelgebied		
Noord	Midden	Zuid
S261CJ	S279A	S280B
S261CK	S279C	S280BB
S261CL	S279E	S280BC
S261CS	S279G	S280BD
	S279H	S280BDA



Figuur 3.4.2 – Stuwen noordelijk deelgebied



Figuur 3.4.3 –Stuwen deelgebied midden



Figuur 3.4.3 –Stuwen zuidelijk deelgebied

In het hoofdrapport worden alleen de resultaten van het zuidelijke deelgebied beschreven, omdat hier de grootste verschillen tussen het startmodel en de verfijnde modellen naar voren komen. De analysedata van de andere deelgebieden staan weergegeven in bijlage 3 en 4.

Het analyseren van alle varianten met verschillende begroeiingsweerstand neemt verder zeer veel ruimte in beslag. In de rapportage wordt gezien de leesbaarheid enkel de analyse beschreven van de extreme varianten van het verfijnde model. Dit betreffen de variant 'Nauwelijks begroeid' met waarde Ks33 en variant 'Extreem begroeid' Ks5. Van de tussenliggende varianten: 'Licht begroeid' (Ks20), 'middel begroeid' (Ks15) en 'zwaar begroeid' (Ks10), zijn de analysedata van de berekende waterdieptes en inundaties te vinden in bijlages 5 en 6. Ook is de data digitaal beschikbaar gemaakt voor het waterschap.

4.0 OPBOUW VAN DE SOBEK-MODELLEN

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat een geautomatiseerd aangemaakt SOBEK model inhoudt, met welke gegevens het model is opgebouwd en waar deze vandaan komen. Ook wordt beschreven op welke wijze de B-watgangen met de bijbehorende weerstandscoefficiënt door begroeiing aan het geautomatiseerd aangemaakt SOBEK-model zijn gekoppeld. Tevens wordt beschreven op welke wijze de riooloverstort aan de bijbehorende B-watgang is gekoppeld.

4.1 AUTOMATISERING MODELOPBOUW

Normaliter wordt een SOBEK-model semi automatisch opgebouwd met behulp van GIS en tools als excel2sobek. Voor grote modellen kan hier veel tijd in gaan zitten. Ook vergt het invoeren en controleren van de invoerparameters veel tijd. Bij Waterschap Aa en Maas kunnen grote hoeveelheden data (knopen met bijbehorende informatie) met een beperkt aantal handelingen geautomatiseerd in SOBEK worden ingeladen. Daardoor wordt het mogelijk meer gegevens in modellen mee te nemen, gedetailleerde modeltoepassingen te genereren, fouten te voorkomen, sneller resultaten te hebben, te focussen op de analyse van de modelresultaten en (bij visiebeheer) de afgeleide modeltoepassingen en resultaten te reproduceren.

Waterschap Aa en Maas heeft een beheerregister waarin alle informatie is vastgelegd over het oppervlaktewatersysteem zoals bijvoorbeeld stuwen, met locatie en bijbehorende (klep)hoogtes- en regelingen. Ook zijn alle andere kunstwerken zoals duikers, gemalen, bruggen en dergelijke in het beheerregister opgenomen. Verder staan ook alle watgangen in het beheerregister. Vervolgens zit in de 'oracle-database' alle beschikbare gis data. Met behulp van het programma 'FME' (Features Manipulation Engine) kan er rechtstreeks een koppeling gemaakt worden naar de nieuwste data in het beheerregister.

Met FME wordt gefilterd welke data nodig is aangezien niet altijd alle data nodig is. Zo kan er bijvoorbeeld worden gefilterd of gesplitst tussen stuwen en onderdoorlaten omdat deze in SOBEK als aparte objecten dienen te worden ingeladen. Ook is het mogelijk om met behulp van FME data te selecteren, bijvoorbeeld stuwen toevoegen met klepstanden en waterhoogtes, hiermee wordt dan gerekend in SOBEK.

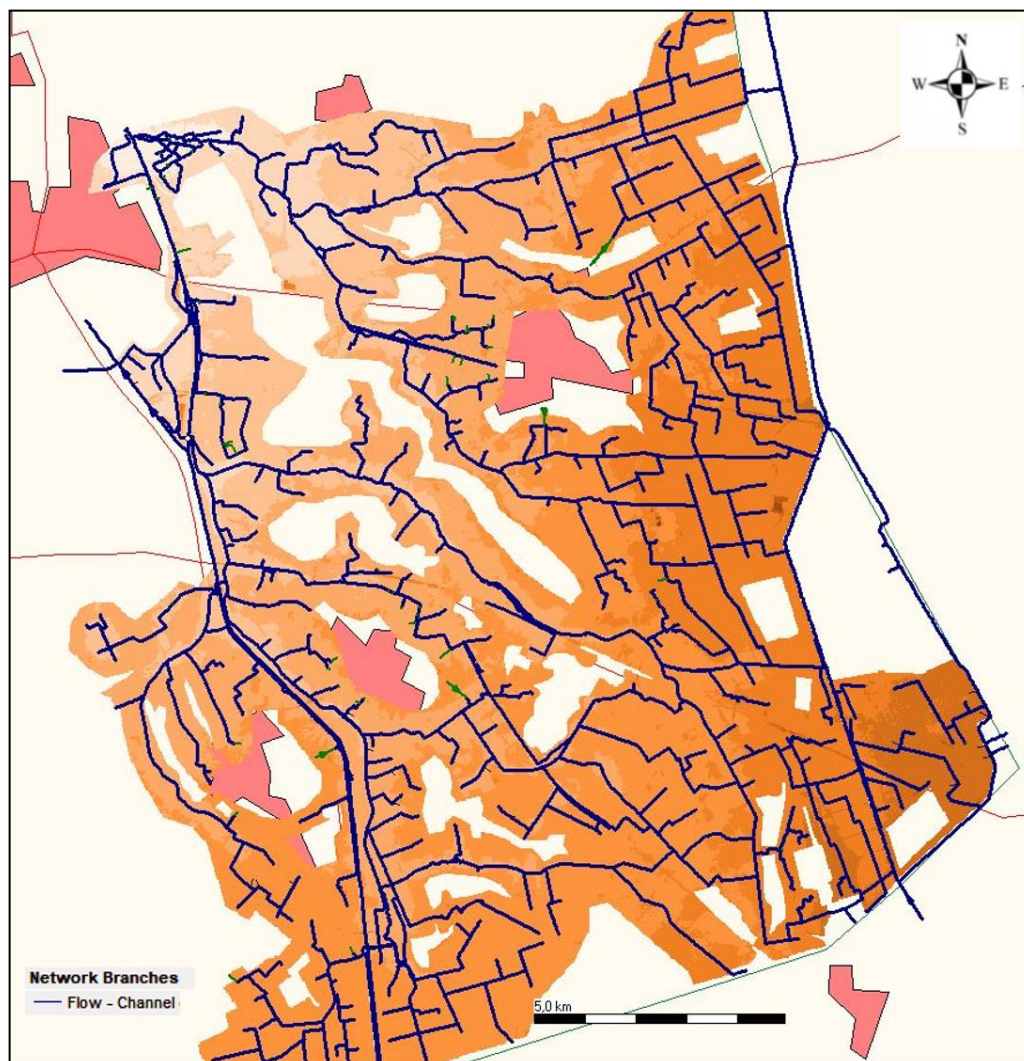
Vervolgens wordt met FME de data omgezet naar shapefiles om daarna met het programma Triwaco te worden geconverteerd naar een bestand dat ingelezen kan worden door SOBEK. Met dit bestand kan de informatie dan direct in SOBEK worden ingelezen als een knoop met een waarde. (Interview J. van Keulen, Aa en Maas)

4.2 GEGEVENS GEAUTOMATISEERD AANGEMAAKTE SOBEK-MODEL

Het geautomatiseerd aangemaakte SOBEK-model is een gecombineerd 0D, 1D, 2D model. Dit houdt in dat de watgangen in 1D, en het maaiveld in 2D zijn gemodelleerd. Hierdoor wordt al het uit de watgangen uittredende water afgevlakt als er een inundatie wordt berekend. In figuur 4.2.1 is een versie van het SOBEK-model weergegeven waarbij enkel de A-watgangen en het onderliggende maaiveld (25 meter bij 25 meter AHN-2 hoogterid) zijn weergegeven. Er is gekozen voor dit vrij grove grid omdat een fijner grid zorgt voor een aanzienlijk langere rekentijd. B-watgangen zijn in dit grove grid niet terug te vinden.

Het model bevat alle A-watgangen en grote waterlichamen zoals Rijkskanalen die zich in het beheergebied van Waterschap Aa en Maas bevinden. De B-, en C-watgangen zijn (nog) niet in het model opgenomen. Verder zijn alle kunstwerken, zoals stuwen en overstorten, die zich in of naast de A-watgangen bevinden in het model opgenomen. Een riooloverstort die op een B-watgang afwaterend is in het model gekoppeld aan A-watgangen en geschematiseerd als een bakje, waarin de hoeveelheid berging, pompoevercapaciteit en verhard oppervlak zijn opgenomen. De weerstand door vegetatie in de zomer en winter is bepaald via 'Expert judgement' door een aantal hydrologen van Waterschap Aa en Maas. Hierbij is rekening gehouden met de onderhoudsfrequentie volgens het huidige maaibestek van het waterschap en het type inrichting van de watgang (rechte bak, ecologische verbindingssonde, beekherstel). De soorten waterloop met de daarbij

behorende maaifrequentie en weerstand staat weergegeven in bijlage 2. De weerstand van vegetatie per locatie van elke A-watergang is weergegeven in een shapefile die via FME is ingeladen in SOBEK. (Aa en Maas, 2017) Het neerslag-afvoer model wat wordt gebruikt binnen SOBEK is het 'Wageningenmodel', zie bijlage 7.



Figuur 4.2.1 – Uitsnede geautomatiseerd aangemaakte SOBEK-model van het DAS-gebied

Het geautomatiseerd aangemaakt SOBEK-model wordt vanaf heden aangeduid met 'startmodel'.

4.3 OPBOUW VERFIJND SOBEK-MODEL

Het startmodel bevat geen B- en C-watergangen. Een riooloverstort die in het veld afwatert op een B-watergang is om deze reden in SOBEK gekoppeld aan de dichtstbijzijnde A-watergang waarin de niet meegenomen B-watergang met riooloverstort uitstroomt. In het verfijnde model worden B-watergangen toegevoegd en wordt op deze locatie de riooloverstort die afwatert op een B-watergang ook daadwerkelijk gekoppeld aan de B-watergang, om het effect van de riooloverstort op de B-watergang te onderzoeken. In onderstaande sub paragrafen staat beschreven hoe het toevoegen van de B-watergangen aan het model in zijn werk gaat. Ook is beschreven hoe de overstort die afwatert op de B-watergang aan de B-watergang is gekoppeld.

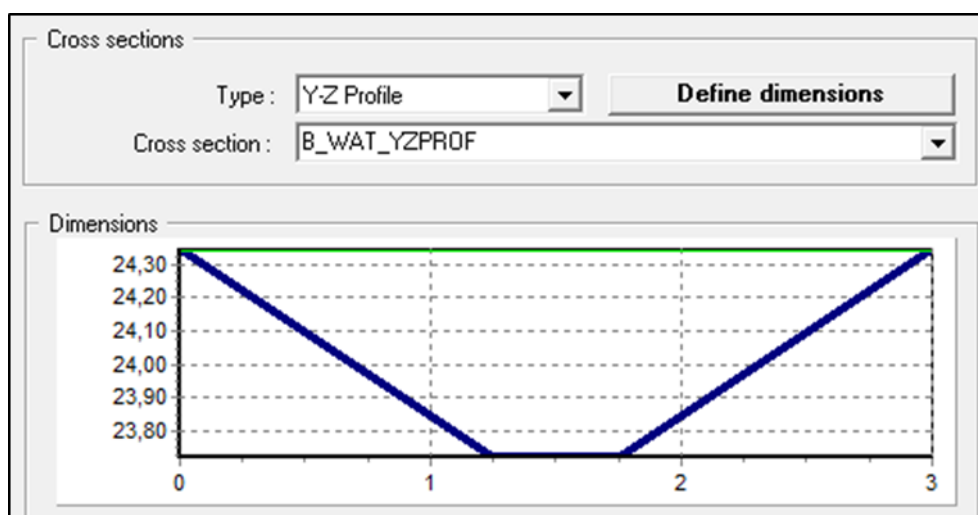
4.3.1 B-WATERGANGEN

Omdat de beschikbare shapefile met de B-watergangen topologisch niet geheel juist is kunnen de B-watergangen niet automatisch aan de A-watergangen gekoppeld worden. SOBEK produceert namelijk 'connection-nodes' aan het begin en einde van watergangen als deze in SOBEK worden ingeladen. Met deze 'connection-nodes' kunnen watergangen aan elkaar gekoppeld worden. De begin en/of eindpunten moeten exact tegen de te koppelen watergang aan te liggen als deze automatisch gekoppeld dienen te worden. De B-watergangen shapefile van het waterschap bevat soms echter minimale topologische afwijkingen van 1 millimeter of minder. SOBEK is zo gevoelig dat deze minimale afwijking er al voor zorgt dat een automatische koppeling niet mogelijk is. Om deze reden worden alle B-watergangen handmatig aan elkaar en aan de A-watergangen gekoppeld. De B-watergangen dienen ook een afvoer te krijgen. Dit wordt gedaan door zogeheten laterale knopen (Laterals) aan de B-watergangen te koppelen. Deze 'Laterals' krijgen een afvoerend oppervlak en een meteo-station toegekend om zo bij een neerslag gebeurtenis een afvoer te genereren. De oppervlaktes zijn van de dichtstbijzijnde logische² 'Lateral' die zich in een A-watergang bevindt afgetrokken om zo het totale afvoerend oppervlak gelijk te houden.

4.3.2 PROFIELEN B-WATERGANGEN

De profielen van de toe te voegen B-watergangen zijn niet ingemeten. In het kader van de pilot wordt onderzocht of er een standaard profiel van B-watergangen automatisch kan worden gekoppeld aan een insteekhoogte en of dit betrouwbare resultaten oplevert. De B-watergang waarop de riooloverstort afwatert is wél de 100 meter ingemeten om op die locatie een zeer betrouwbare afspiegeling van de werkelijkheid te modelleren.

Het standaard profiel voor B-watergangen betreft een trapezium profiel met 3 meter bovenbreedte, talud 1:2, bodembreedte 50 centimeter en een diepte van 62,5 centimeter (*Waterschap Rivierenland*). In figuur 4.3.1 staat het profiel, zoals in SOBEK ingevoerd, weergegeven.



Figuur 4.3.1 – Dwarsprofiel standaardprofiel B-watergang

Per toe te voegen B-watergang is binnen SOBEK aan het begin, midden en eind een dwarsdoorsnede gegenereerd om zo een verhang te kunnen creëren. Aan deze dwarsdoorsneden zijn vervolgens het standaardprofiel voor B-watergangen gekoppeld.

² De watergangen van de oude en nieuwe 'Laterals' dienen uiteraard wel met elkaar in verbinding te staan, om elkaars water te kunnen ontvangen.

De bodemhoogtes van de standaardprofielen zijn gebaseerd op een ingevlogen hoogtegrid. Van dit hoogtegrid zijn door middel van een algoritme de bodemhoogte of waterstand in de B-watergangen bepaald. Om te compenseren tegen een eventuele waterstand in de B-watergangen is er 20 centimeter van het grid afgetrokken en binnen dit onderzoek als bodemhoogte aangenomen.

Om een bodemhoogte aan het standaardprofiel te koppelen zijn de locaties van de dwarsdoorsneden uit SOBEK geëxporteerd als 'point-shapefile'. Deze shapefile is ingeladen in GIS, waarmee de bodemhoogtes van het eerder genoemde bewerkte grid aan de punten zijn gekoppeld. Deze bodemhoogtes zijn ten slotte weer naar SOBEK geëxporteerd. De profielhoogtes zijn allemaal, door middel van het bekijken van 'sideviews' in SOBEK, handmatig gecontroleerd om te bekijken of er een logisch verhang is gegenereerd. In onderstaande paragraaf staat een betrouwbaarheidsanalyse van de gegenereerde bodemhoogtes weergegeven.

4.3.3 VERGELIJKING GEMETEN EN AUTOMATISCH GEGENEREERDE BODEMHOOGTES

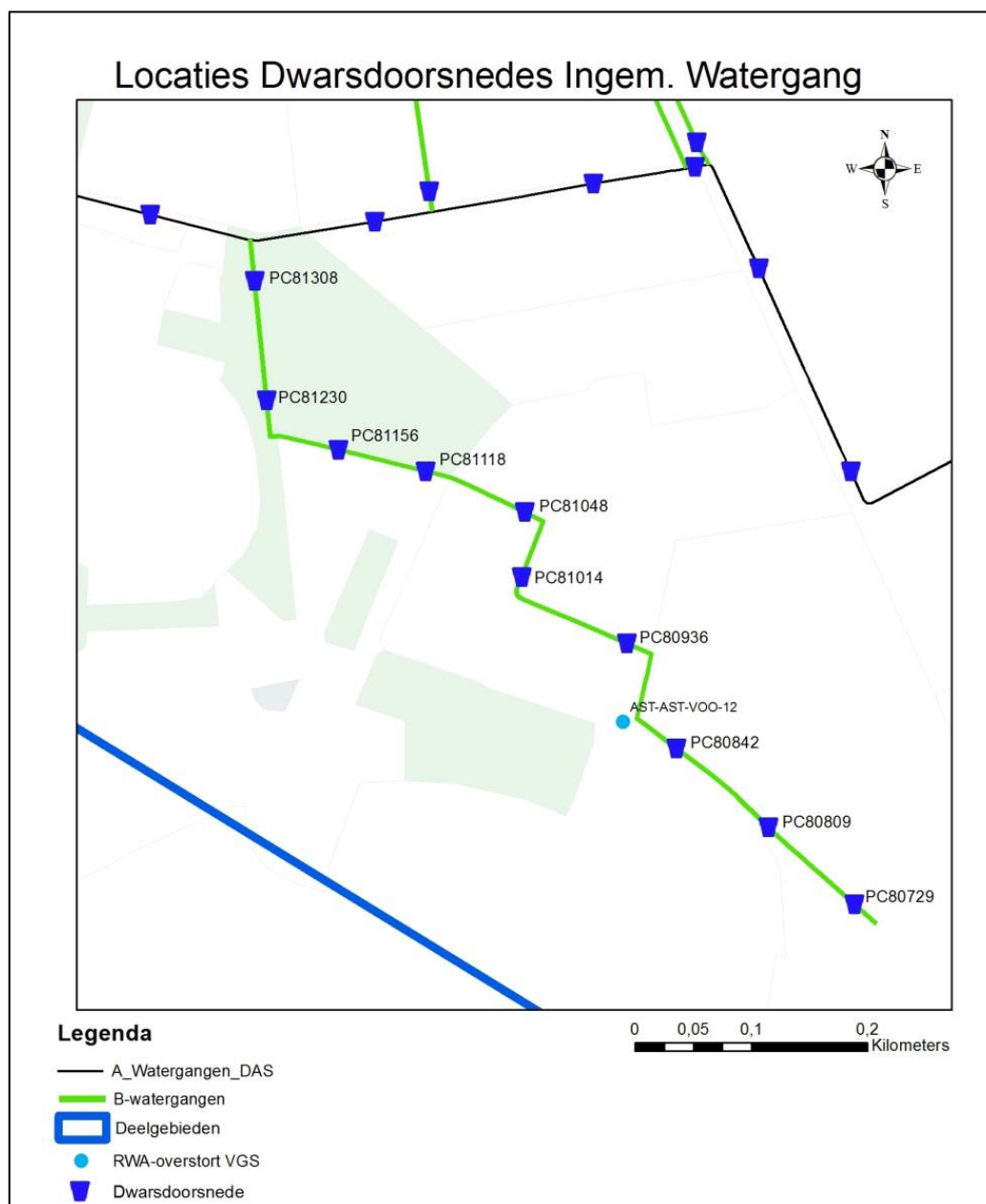
In deze sub paragraaf worden de gemeten bodemhoogtes van de dwarsprofielen van de om de 100 meter ingemeten B-watgang vergeleken met de automatisch gegenereerde bodemhoogtes. Op basis van de bevindingen kan worden bepaald of de methode die is gekozen voor het automatisch genereren van de bodemhoogtes een betrouwbaar resultaat oplevert.

In tabel 4.3.2 staan de automatisch gegenereerde bodemhoogtes- én de ingemeten bodemhoogtes van de dwarsprofielen van de B-watgang, alsmede de verschillen weergegeven. In figuur 4.3.3 staan de locaties van de dwarsprofielen weergegeven. Als de verschillen worden geanalyseerd valt op dat bij acht van de tien profielen een automatische bodemhoogte is gegenereerd die weinig afwijkt van de werkelijk ingemeten bodemhoogte. De grootste afwijking is te vinden bij PC807229 aan het einde van de watgang. Daar ligt de ingemeten bodemhoogte 0.77 meter hoger dan de automatisch gegeneerde hoogte. Ook is er een grote afwijking te vinden bij PC81118, waar de automatisch gegenereerde bodemhoogte 0.34 meter hoger ligt dan de werkelijk ingemeten bodemhoogte. Deze verschillen zijn mogelijk veroorzaakt door een object in de watgang of een verkeerde berekening van het algoritme.

Tabel 4.3.2 – Automatisch gegenereerde- en ingemeten bodemhoogtes

Namen Dwarsprofielen:	Automatisch Gegenereerde Bodemhoogte [m] +NAP	Ingemeten Bodemhoogte [m] +NAP	Vershil in[m]
PC81308	22.13	22.15	0.02
PC81230	22.48	22.41	-0.07
PC81156	23.10	23.06	-0.04
PC81118	23.32	22.98	-0.34
PC81048	23.40	23.27	-0.13
PC81014	23.44	23.41	-0.03
PC80936	23.49	23.44	-0.05
PC80842	23.68	23.77	0.09
PC80809	23.84	23.89	0.05
PC80729	23.94	24.71	0.77

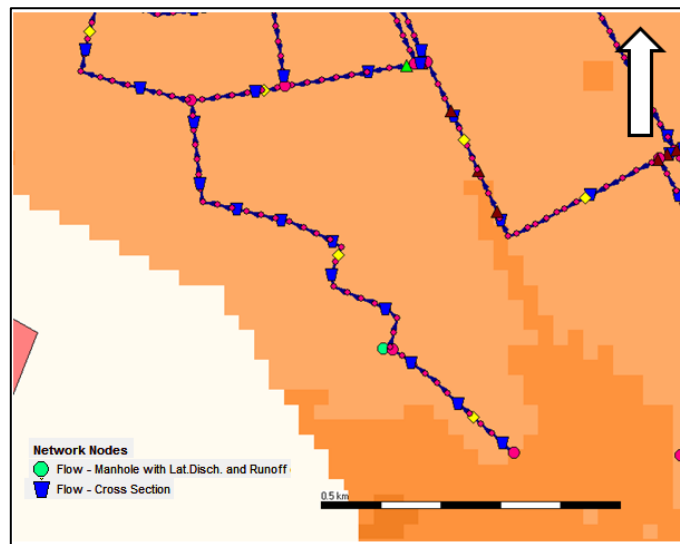
Uit de analyse kan worden geconcludeerd dat de automatisch gegenereerde bodemhoogtes merendeels goed overeenkomen met de werkelijk ingemeten bodemhoogtes. Aangezien er toch twee grote verschillen zitten tussen de werkelijk ingemeten bodemhoogtes en de automatisch gegenereerde bodemhoogtes is het van belang om de sideviews (lengteprofielen) van toegevoegde B-watergangen in SOBEK te controleren op grote sprongen of onlogisch hoogteverloop. Als dit het geval is dienen de hoogtes handmatig te worden aangepast naar een logische hoogte. Binnen dit onderzoek zijn ook de sideviews van de B-watergangen gecontroleerd en op enkele locaties, waar nodig, de bodemhoogtes aangepast.



Figuur 4.3.3 – Locaties dwarsdoorsnedes ingemeten watergang

4.3.4 Riooloverstort op B-watergang

De watergang waarop de riooloverstort afwatert heet binnen SOBEK 'ProfBWAT01764' en de gekoppelde overstort heet 'ASTVOO12'. Zoals eerder genoemd is deze watergang om de 100 meter ingemeten. De locatie met de ingemeten watergang tezamen met de overstort staat weergegeven in figuur 4.3.4. De groene node 'Manhole with Lat.Disch and Runoff' betreft de overstort en de blauwe trapezium 'Cross-Section' betreffen de dwarsdoorsneden. De overstort in binnen SOBEK losgeknipt van de A-watergang waar deze aan was gekoppeld en vervolgens gekoppeld aan de B-watergang.



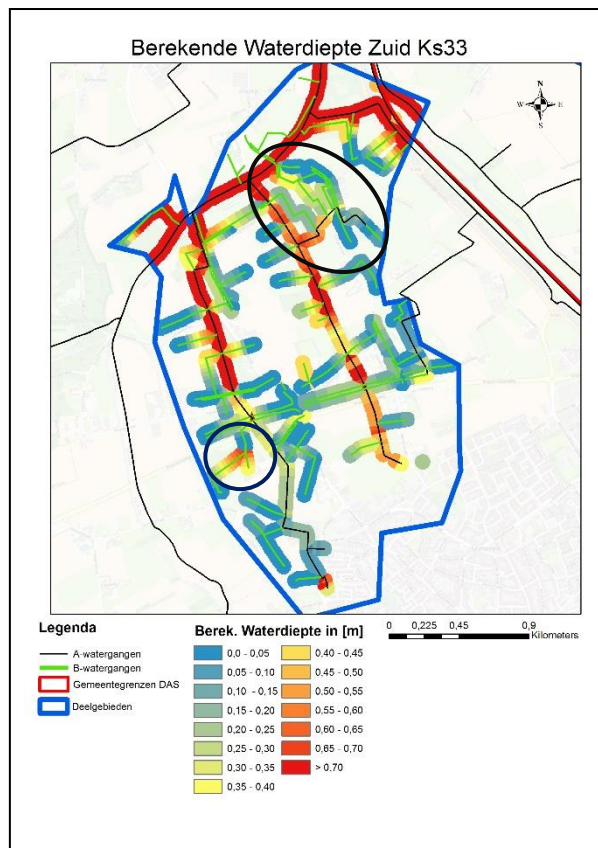
Figuur 4.3.4 – Locatie riooloverstort op B-watergang

5.0 BEREKENDE WATERDIEPTES IN WATERGANGEN ZUIDELIJK DEELGEBIED

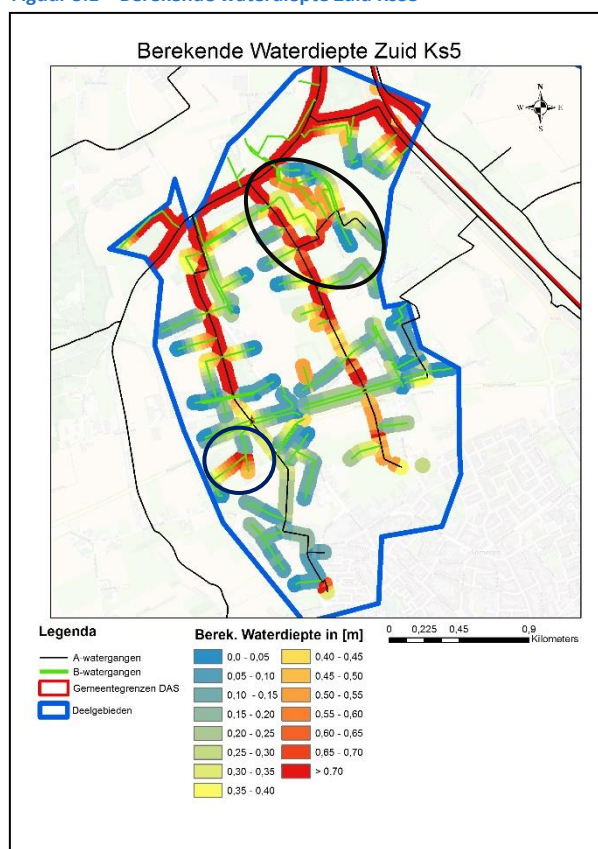
In dit hoofdstuk staat de analyse van berekende waterdieptes van de in het zuidelijk deelgebied gelegen A-, en B-watergangen van de de verfijnde modellen Ks33 en Ks5 beschreven. Het startmodel is in de analyse niet meegenomen omdat deze geen B-watergangen bevat. Van enkel de B-watergangen is aan de weerstand door begroeiing gevarieerd. Van de A-watergangen blijft de weerstand gelijk aan die in het startmodel. De berekende waterhoogtes van de modellen met de tussengelegene weestandscoefficienten door begroeiing (Ks20, Ks15 en Ks10) zijn weergegeven in bijlage 5.

In figuur 5.1 staan de berekende waterdieptes van de A-en B-watergangen van het Ks33 model van het zuidelijke deelgebied in een kaart weergegeven. De berekende waterdieptes variëren van 0 tot 0,05 meter tot waterdieptes groter dan 0.7 meter. 0.7 meter is gekozen omdat dit de maximale diepte is van de B-watergangen. Er valt direct op dat bij veel A-watergangen de waterdiepte hoger is dan 0.7 meter. Dit hoeft niet tot inundaties te leiden gezien A-watergangen dieper zijn dan B-watergangen. Bij de B-watergangen valt op dat er een grote variatie is tussen de waterstanden. Vooral bij korte rechte watergangen is een lage waterdiepte berekend. Er valt wel op dat de berekende waterdiepte oploopt richting de A-watergangen. Dit komt omdat watergangen altijd van hoog naar laag afwateren en richting de A-watergang en bij het einde van de watergang al onder invloed kunnen zijn van opstuwing vanuit A-watergangen. De hogere waterdieptes komen vooral voor bij de langere bochtige watergangen. Bij de langere watergangen komen vaak ook meerdere watergangen samen, zoals te zien op ongeveer driekwart hoogte van de kaart (zwart omcirkeld) waar er grote dichtheid van B-watergangen aanwezig is. De watergangen ontvangen daar elkaars water waardoor er een hogere waterdiepte optreedt.

In figuur 5.2 staan de berekende waterdieptes van de A-, en B-watergangen van het Ks5 model van het zuidelijk deelgebied weergegeven. Als de figuren 5.1 en 5.2 met elkaar worden vergeleken wordt duidelijk dat bij alle B-watergangen van het Ks5 model een ongeveer 0.10 tot 0.20 meter hogere waterdiepte wordt berekend dan bij het Ks33 model. Wel is op te merken dat dit geleidelijk van boven naar beneden toeneemt, met bovenin de watergang weinig verschil en lager in de watergang een groter verschil. De locaties waar berekende waterdieptes van het Ks5 model een probleem kunnen vormen vergeleken met het Ks33 model zijn waar te nemen in het zuidwesten en op driekwart hoogte (zwart omcirkeld) van het zuidelijk model. Ten zuid westen (donkerblauw omcirkeld) wordt op de plek waar twee B-watergangen samenkomen door het Ks33 model een waterdiepte van 0.55 tot 0.6 meter berekend. Het Ks5 model berekent een waterdiepte van 0.65 tot 0.70 meter. Gezien de watergangen maar 70 centimeter diep zijn kan dit hier tot inundaties leiden. Bij de locaties op driekwart hoogte van het model werd door het Ks33 model een waterdiepte van 0.4 tot 0.45 meter berekend. Het Ks5 model berekent hier een waterdiepte van 0.55 tot 0.60 meter. Hierdoor is er een kans op inundatie.



Figuur 5.1 – Berekende waterdiepte Zuid Ks33



Figuur 5.2 – Berekende waterdiepte Zuid Ks5

6.0 RESULTATEN EN VERSCHILLEN BEREKENINGEN SOBEK

In dit hoofdstuk worden de resultaten van zowel het automatisch aangemaakte model(hierna te noemen: startmodel) als van het verfijnde model weergegeven. Het verfijnde model is met vijf verschillende maten van begroeiing van de B-watgangen doorgerekend om zo de gevoeligheid voor weerstand door begroeiing te bepalen. De verschillen tussen de output van het startmodel en van de extreme varianten (B-watgangen met Ks33 en Ks5) van het verfijnde model zijn inzichtelijk gemaakt.

Voor de analyse zijn van het zuidelijke gebied per stuw de berekende debieten en waterhoogtes van zowel het automatisch aangemaakt als van de extreme varianten (Ks33 en Ks5) van de B-watgangen van het verfijnde model inzichtelijk gemaakt. De verschillen in de output van de berekende waterhoogtes en debieten zijn in tabellen en grafieken weergegeven.

Ook zijn van het zuidelijke deelgebied de berekende inundaties van het startmodel en van de extreme varianten van het verfijnde model in kaarten inzichtelijk gemaakt. De berekende inundaties van de tussengelegen varianten zijn weergegeven in bijlage 6.

Van het in midden gelegen gebied wordt wél een deel van de analyse gepresenteerd omdat daar de ingemeten B-watgang waaraan de riooloverstort is gekoppeld is gelegen.

6.1 RESULTATEN ZUIDELIJK DEELGEBIED

In deze paragraaf worden van het zuidelijke deelgebied de resultaten van zowel het automatisch aangemaakte- als van de verschillende varianten van het verfijnde model weergegeven. In paragraaf 561.1 zijn de berekende debieten van de stuwen van het zuidelijk deelgebied weergegeven. In paragraaf 6.1.2 zijn de berekende waterhoogtes bij stuwen van het zuidelijk deelgebied weergegeven. Ten slotte zijn in paragraaf 6.1.3 de berekende inundaties van de extreme varianten (Ks33 en Ks5) te vinden. Een overzichtskaart met de geanalyseerde stuwen staat weergegeven in figuur 3.4.3.

Uit de overzichtskaart figuur 3.4.3 is op de te maken dat het zuidelijke deelgebied voornamelijk bestaat uit twee A-watgangen waarop B-watgangen afwateren. Deze twee A-watgangen komen ook weer samen. Van de zuidelijke A-watgang is de meest stroomopwaarts gelegen stuw 280BDA, de eerstvolgende stroomafwaarts gelegen stuw betreft stuw 280BD. Van de noordelijke streng is stuw 280BC het meest stroomopwaarts gelegen. Daarna volgen stuw 280BE en 280BB. Stuw 280BE wordt in het onderzoek niet meegenomen omdat deze slechts het water twee B-watgangen meer dan stuw 280BB ontvangt. Meest stroomafwaarts gelegen stuw betreft 280B.

6.1.1 BEREKENDE DEBIETEN STUWEN ZUIDELIJK DEELGEBIED

In tabel 6.1.1 staat per in het zuidelijk deelgebied gelegen stuw de maximaal berekende debieten tezamen met de datum en tijd wanneer deze voorkomen van zowel het startmodel als de twee extreme varianten van het zuidelijke verfijnde model weergegeven. Er is duidelijk waar te nemen dat bij alle modellen bij stuw 280B de hoogste piek in het debiet wordt berekend. Dit is logisch gezien dit de meest stroomafwaarts gelegen stuw is en dus het meeste water van het afvoerend oppervlak ontvangt. Het debiet van het verfijnde model met Ks33 is met 221 liter per seconde 5.60 procent hoger dan het maximale debiet van het startmodel, wat 3950 liter per seconde berekent. Voor het verfijnde model met Ks5 geldt dat deze 211 liter per seconde meer berekent, wat neerkomt op 5.33 procent meer. Er is dus wel een verschil tussen het startmodel en de met B-watgangen verfijnde modellen, maar welke weerstandscoefficient de B-watgangen hebben meegekregen is hier maar van weinig invloed. Wat wel duidelijk zichtbaar is dat de piek bij het Ks33 model eerder plaatsvindt dan die van zowel het startmodel als het Ks5 model. Dit kan te maken hebben dat het water snel tot afstroming komt omdat het in een gladde watgang nauwelijks wordt vertraagd door begroeiing. Dat het toevoegen van de B-

watergangen een grotere invloed heeft dan de weerstandscoefficient is ook zichtbaar bij de stuwen S280BD en S280BDA.

Bij de stuwen S280BB en S280BC zijn ook verschillen waar te nemen tussen het startmodel en de verfijnde modellen Ks33 en Ks5. Bij deze stuwen zijn echter ook grote verschillen waar te nemen tussen de modellen Ks33 en Ks5 zelf.

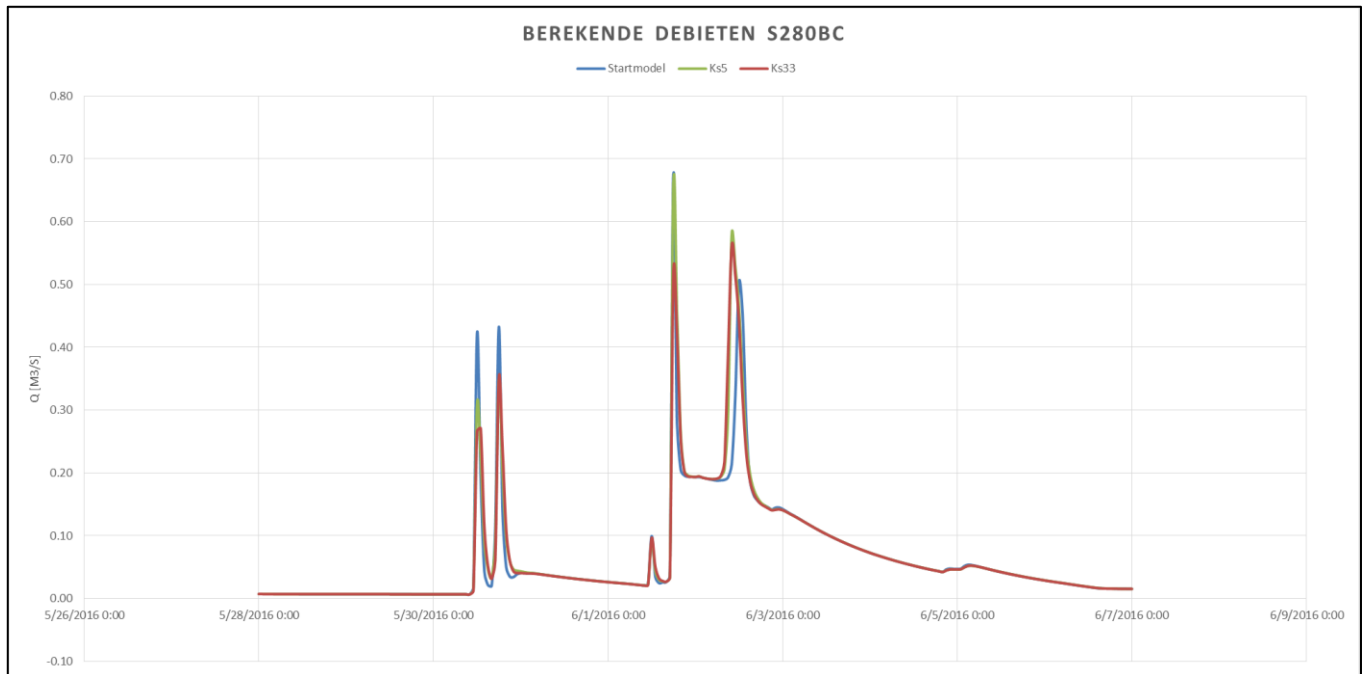
Bij S280BB berekent het verfijnd model met Ks33 een piek die 114 liter per seconde lager ligt dan het startmodel, wat een piek van 330 liter per seconde berekend. Dit komt neer op een 10,12% lagere piek. Het verschil tussen het startmodel en het verfijnde model Ks5 komt neer op een lagere piek van 41 liter per seconde wat resulteert in een 5.92% lager percentage.

Bij stuw S280BC zijn de verschillen nog groter. Het verfijnde model Ks33 berekent met piek van 661 liter per seconde een 144 liter per seconde lagere piek dan het startmodel wat een piek van 675 liter per seconde berekent. Dit komt neer op een 16.83% lagere piek. Het verfijnde model Ks5 berekent een piek welke met 662 liter per seconde slechts 13 liter per seconde lager ligt dan het startmodel. Dat komt procentueel neer op een lagere piek van slechts 1.98%.

Tabel 6.1.1 – Maximaal berekende debieten stuwen zuidelijk deelgebied

Zuid	S280B	S280BB	S280BC	S280BD	S280BDA
Startmodel					
Maximaal Debiet[m3/s]	3.950	0.699	0.675	0.330	0.095
Datum [m/d/j/h]	6/2/2016 12:00	6/2/2016 12:00	6/1/2016 18:00	6/2/2016 8:00	6/1/2016 19:00
Verfijnd model Ks33					
Maximaal Debiet[m3/s]	4.171	0.628	0.561	0.321	0.083
Datum [m/d/j/h]	6/2/2016 6:00	6/2/2016 5:00	6/2/2016 10:00	6/2/2016 9:00	6/1/2016 19:00
Vershil in [m3/s]	0.221	-0.071	-0.114	-0.008	-0.012
Vershil in %	5.60	-10.12	-16.83	-2.57	-13.04
Verfijnd Model Ks5					
Maximaal Debiet[m3/s]	4.161	0.657	0.662	0.318	0.082
Datum [m/d/j/h]	6/2/2016 11:00	6/2/2016 8:00	6/1/2016 18:00	6/2/2016 9:00	6/1/2016 19:00
Vershil in [m3/s]	0.211	-0.041	-0.013	-0.011	-0.013
Vershil in %	5.33	-5.92	-1.98	-3.49	-13.37

Het verloop van de berekende debieten van S280 staan in een grafiek weergegeven figuur 6.1.2. Daaruit blijkt dat het verloop van de berekende debieten van alle drie de modellen aardig met elkaar overeenkomen en er alleen in de hoogte van de pieken van de berekende debieten verschillen zijn waar te nemen. Bij de hoogste piek liggen de lijn van het startmodel en het verfijnde model Ks5 bijna exact over elkaar heen waardoor als hoogste waarde alleen Ks5 zichtbaar is, terwijl het startmodel een net iets hogere piek berekend.



Figuur 6.1.2 – Berekende debieten S280BC

Uit alle bovenstaand kan worden geconcludeerd dat zowel het toevoegen van de B-watrgang an sich, als de meegegeven weerstandscoefficient een invloed hebben op de hoogte van de berekende pieken in het debiet. Ook is het verschil in de hoogte van de berekende pieken locatieafhankelijk omdat er bij stuw S280B hogere pieken in het debiet van de verfijnde modellen wordt berekend en bij de resterende stuwen juist lagere pieken in het debiet. Ook is waar te nemen dat het Ks33 model soms beter overeenkomt met het startmodel dan het Ks5 model, zoals bij stuwen S280BD en S80BDA. Bij de resterende stuwen is het tegenovergestelde waar te nemen.

6.1.2 BEREKENDE BOVENSTROOMSE WATERHOOGTES STUWEN ZUIDELIJK DEELGEBIED

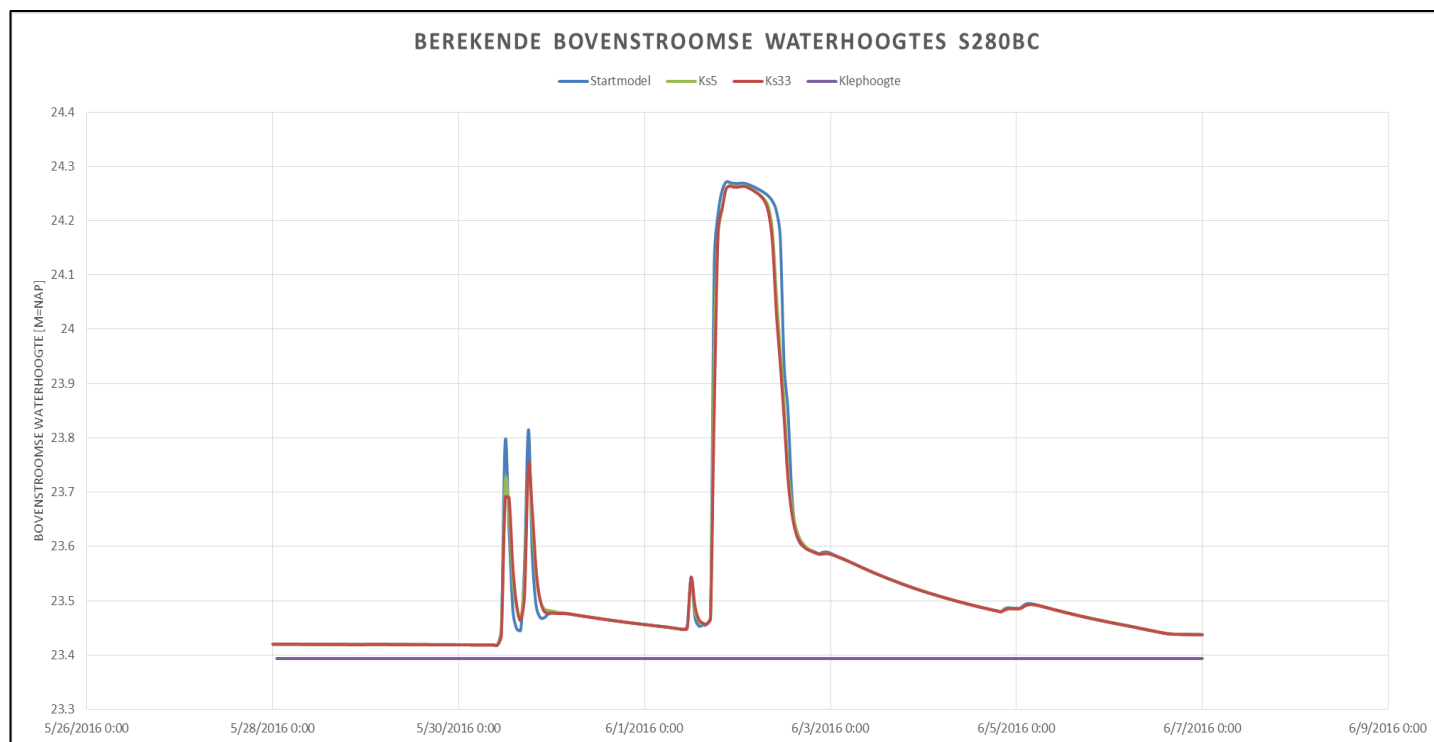
In tabel 6.1.3 staan van de maximaal berekende waterhoogtes van zowel het startmodel als van de twee extreme varianten van het met B-watrgangen verfijnde model weergegeven. Ook uit de berekende waterhoogtes blijkt dat er een verschil is waar te nemen tussen het startmodel en tussen het verfijnde model Ks33 en het verfijnde model Ks5. In de vorige paragraaf is duidelijk geworden dat beide verfijnde modellen, Ks33 en Ks5, in het zuidelijke gebied alleen bij stuw S280B een hoger debiet hebben berekend dan het startmodel. Hetzelfde kan worden geconcludeerd van de berekende waterhoogtes. Alleen bij S280B berekenen de verfijnde modellen Ks33 en Ks5 een hogere waterstand dan het startmodel. Bij alle andere stuwen worden door de verfijnde modellen Ks33 en Ks5 lagere waterstanden berekend.

Zo is het grootste verschil tussen het startmodel en de verfijnde modellen bij zowel de debieten als bij de berekende waterstanden bij S280BDA het grootste. Omdat in de voorgaande paragraaf 6.1.1 het debiet van S280BC in een grafiek is uitgezet, is in deze paragraaf de waterstand van S280BC uitgezet in een grafiek om zo het verloop van het berekende debiet en berekende waterstand van S280BC inzichtelijk te maken. Deze grafiek staat weergegeven in figuur 6.1.4 De grafiek is qua verloop bijna identiek als de grafiek in figuur 6.1.2 Een flink verschil is echter wel dat de pieken in de waterstanden lang aanhouden terwijl de debieten extreem van hun

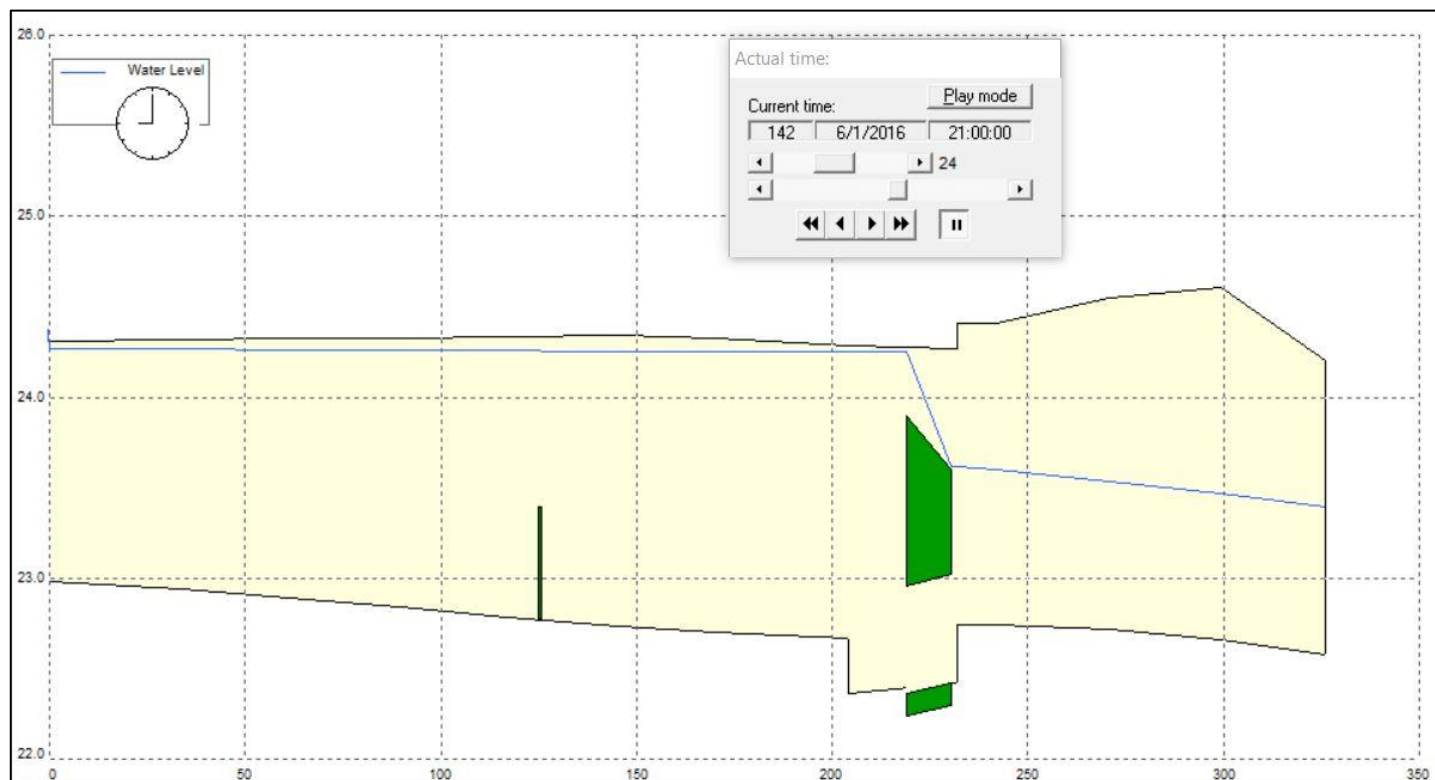
piek naar zo'n 200 liter per seconde duiken. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een duiker benedenstrooms waarvan de maximale doorstroom capaciteit is bereikt. Dit valt in het debiet pas op als de waterloop benedenstrooms van de stuw volledig is gevuld met water en daar geen berging meer beschikbaar is, waardoor het maximale debiet stagneert, in dit geval naar ongeveer 200 liter per seconde. In figuur 6.1.5 is het dwarsprofiel van de waterloop waarin S280BC en de duiker zich bevinden weergegeven. De maximale waterstand, op 1 juni 2016 om 21:00 is daarbij ook weergegeven.

Tabel 6.1.3 – Maximaal berekende waterhoogtes stuwen zuidelijk deelgebied

Zuid	S280B	S280BB	S280BC	S280BD	S280BDA
Crestlevel [m+NAP]	20.773	21.681	23.394	22.081	22.740
Startmodel					
Maximale hoogte [m+NAP]	21.505	22.321	24.271	22.557	23.243
Hoogte T.O.V. Crestlev. [m]	0.732	0.640	0.877	0.476	0.503
Datum[m/d/j/h]	6/2/2016 12:00	6/2/2016 12:00	6/1/2016 21:00	6/2/2016 8:00	6/1/2016 19:00
Verfijnd model Ks33					
Maximale hoogte [m+NAP]	21.509	22.277	24.263	22.540	23.125
Datum[m/d/j/h]	6/2/2016 11:00	6/2/2016 5:00	6/1/2016 22:00	6/2/2016 9:00	6/1/2016 20:00
Hoogte T.O.V. Crestlev. [m]	0.736	0.596	0.869	0.459	0.385
Vershil in [m]	0.003	-0.044	-0.007	-0.017	-0.117
Vershil in %	0.44	-6.87	-0.85	-3.56	-23.31
Verfijnd Model Ks5					
Maximale hoogte [m+NAP]	21.508	22.296	24.265	22.537	23.124
Datum[m/d/j/h]	6/2/2016 12:00	6/2/2016 8:00	6/1/2016 22:00	6/2/2016 10:00	6/1/2016 20:00
Hoogte T.O.V. Crestlev. [m]	0.735	0.615	0.871	0.456	0.384
Vershil in [m]	0.003	0.026	0.006	0.020	0.119
Vershil in %	0.38	-3.99	-0.69	-4.19	-23.59



Figuur 6.1.4 – Berekende bovenstroomse waterhoogtes S280BC

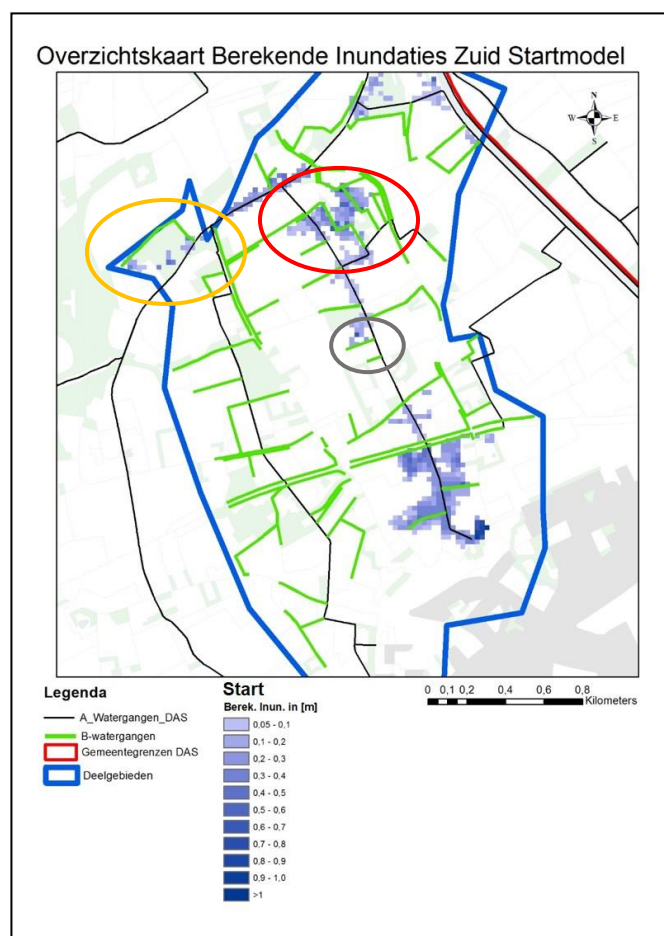


Figuur 6.1.5 – Dwarsprofiel watergang bij S280BC met duiker en waterhoogte

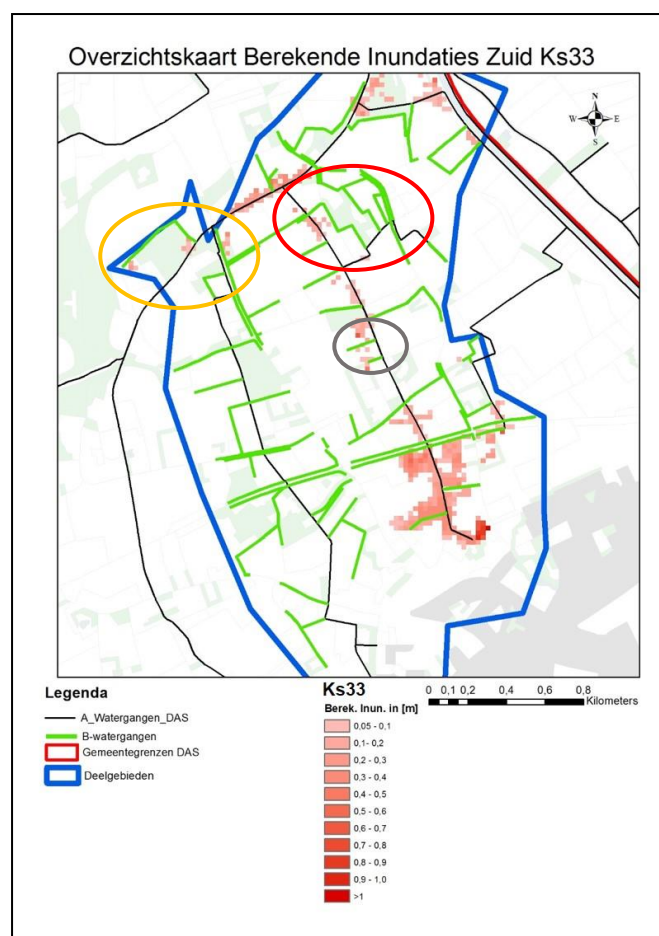
6.1.3 BEREKENDE INUNDATIES ZUIDELIJK DEELGEBIED

In deze paragraaf staan de berekende inundaties van zowel het startmodel- als van de verfijnde modellen met weerstandscoefficienten Ks33 en Ks5 in kaarten weergegeven. De berekende inundaties van de modellen met de tussenliggende weerstandscoefficienten door begroeiing (Ks20, Ks 15 en Ks10) zijn weergegeven in bijlage 7. De berekende inundaties van het startmodel zijn als blauwe cellen weergegeven. De berekende inundaties van de verfijnde modellen zijn als rode cellen weergegeven. De locaties van de toegevoegde B-watergangen staan voor de beeldvorming ook bij de inundatiekaart van het startmodel weergegeven, al zijn deze hier niet meegenomen in de berekening van de inundaties.

Als de kaart van de berekende inundaties van het startmodel (fig. 6.1.6) en die van het verfijnde model met weerstandscoefficient Ks33 (fig. 6.1.7) worden vergeleken, valt direct op dat het verfijnde Ks33 model op driekwart hoogte (rood omcirkeld) van het gebied minder inundaties berekend dan het startmodel. Ook zijn de berekende inundaties in het noord westen (oranje omcirkeld) van het deelgebied minder intens. Dit kan komen doordat de berging is toegenomen door het toevoegen van de B-watergangen. Tevens zijn er op andere locaties juist méér inundaties berekend door het Ks33 model. Deze zijn waar te nemen bij een B-watergang welke in het midden van het deelgebied is gelegen (grijs omcirkeld).

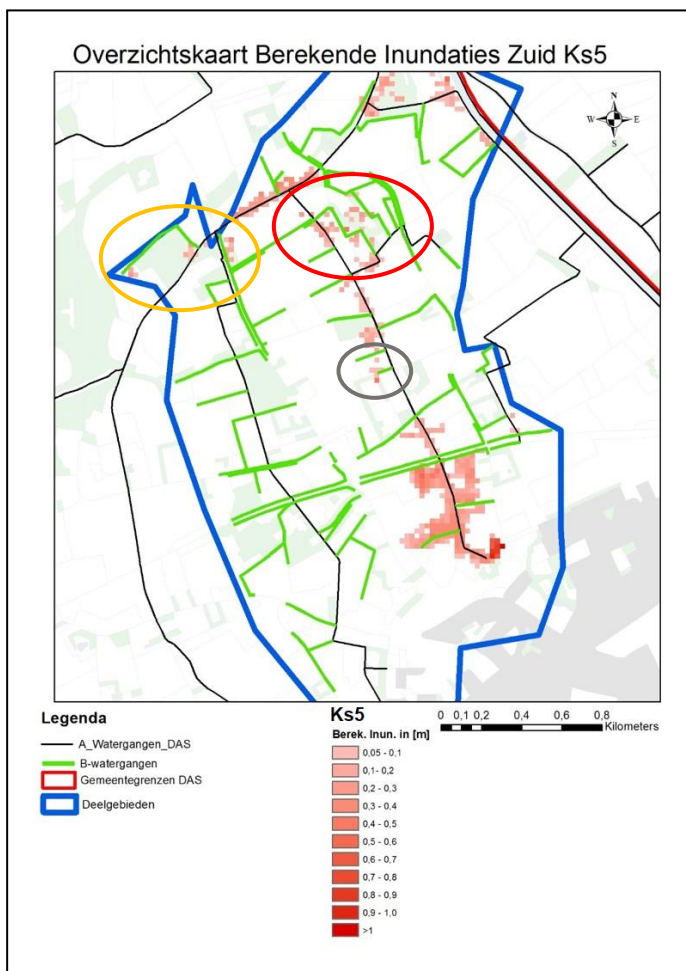


Figuur 6.1.6 – Berekende inundaties zuid startmodel

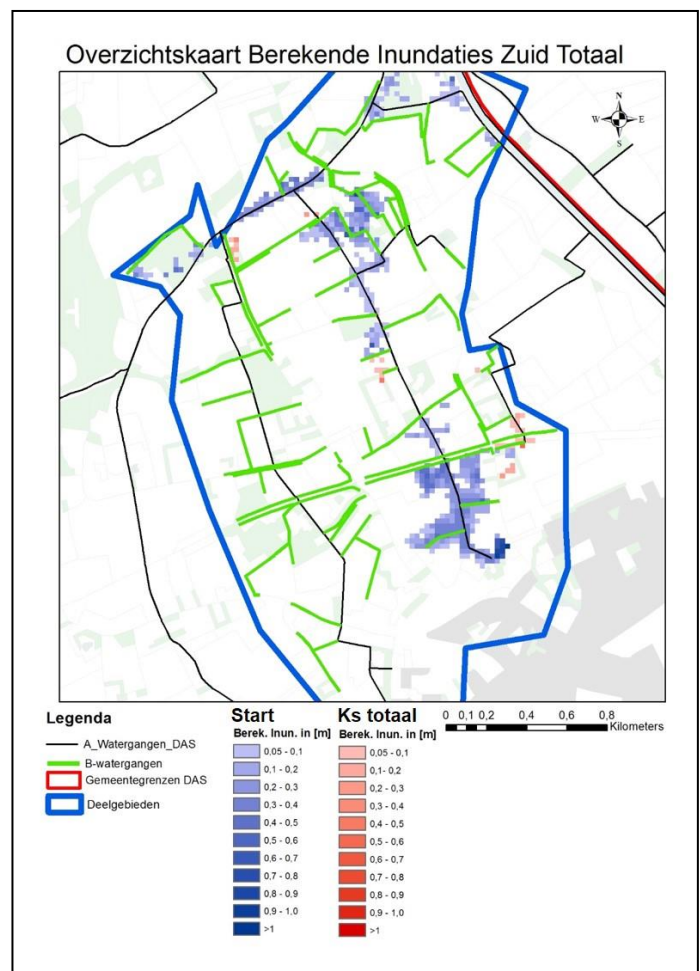


Figuur 6.1.7 – Berekende inundaties zuid Ks33

In figuur 6.1.8 staan de berekende inundaties van het verfijnde model met weerstandscoefficiënt Ks5 weergegeven. Als deze worden vergeleken met de berekende inundaties van het startmodel van figuur 6.1.6 valt ook op dat er op driekwart ten noorden (rood omcirkeld) van het verfijnde Ks5 model minder inundaties worden berekend dan bij het startmodel. Wél worden daar in de omgeving van deze B-watergangen meer inundaties berekend dan bij het Ks33 model. Dat er minder inundaties worden berekend komt ook hier waarschijnlijk doordat de toegevoegde B-watergangen voor waterberging hebben gezorgd. Dat er bij het Ks5 model meer inundaties zijn berekend dan bij het Ks33 model komt vrijwel zeker doordat de extreem hoge weerstand door begroeiing voor opstuwing- en vertraagde afvoer van water heeft gezorgd.



Figuur 5.1.8 – Berekende inundaties zuid Ks5



Figuur 5.1.9 – Berekende inundaties zuid startmodel + Ks-totaal

Uit vergelijking van de inundatiekaarten van het startmodel (fig. 5.1.6) en de verfijnde modellen Ks33 (fig. 5.1.7) en Ks5 (Fig. 5.1.8) is dus duidelijk op te maken dat het toevoegen van B-watergangen zelf een grote invloed heeft op het aantal- en de heftigheid van berekende inundaties. Ook is duidelijk waar te nemen dat ook de weerstand door begroeiing die aan de B-watergangen wordt meegegeven van noemenswaardige invloed is op de hoeveelheid- en heftigheid van de berekende inundaties. In figuur 5.1.9 is de gecombineerde kaart met inundaties van zowel het startmodel als de verfijnde modellen Ks33 en Ks5 weergegeven. Op deze kaart zijn de extra door de verfijnde modellen berekende inundaties goed te zien.

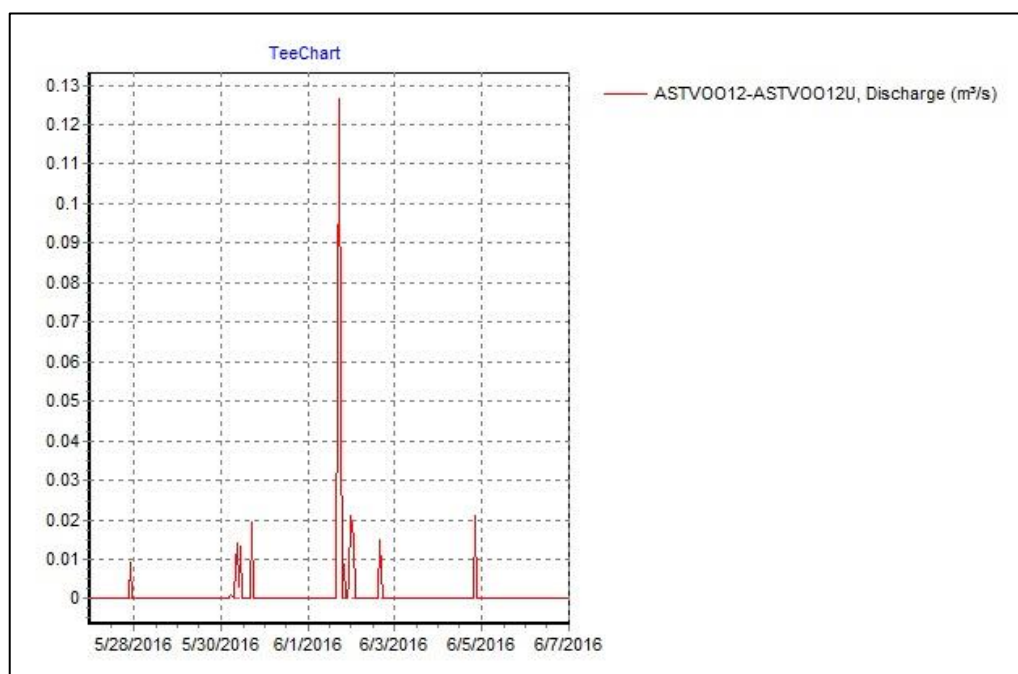
6.2 RESULTATEN INGEMETEN B-WATERGANG MET RIOOLOVERSTORT

In deze paragraaf worden de rekenresultaten van de ingemeten B-watergang waaraan de riooloverstort aan is gekoppeld inzichtelijk gemaakt. Aangezien het startmodel geen B-watergangen bevat worden in deze paragraaf alleen de extreme verfijnde modellen met weerstandscoefficiënt Ks 33 en Ks5 met elkaar vergeleken.

Gedurende de buien die op het model vallen treedt de overstort meerdere keren in werking. Van het moment waarop de overstort zijn maximum debiet bereikt (1 juni 2016, 17:00 uur) zijn van de verfijnde modellen Ks33 en Ks5 waterdieptekaarten van de B-watergang opgesteld. Ook zijn inundatiekaarten van het gebied rondom de B-watergang opgesteld om eventuele inundaties in kaart te brengen.

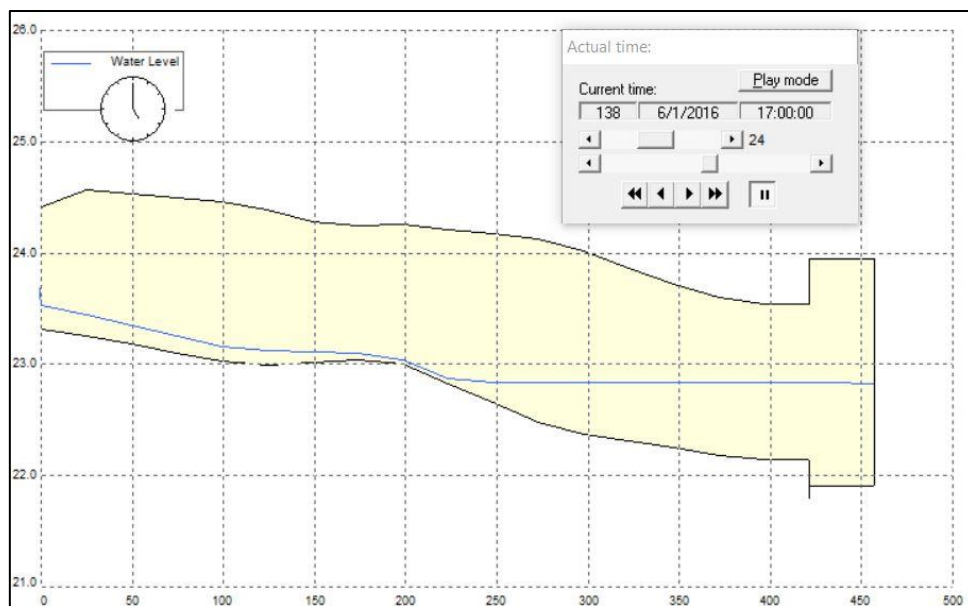
6.2.1 BEREKENDE WATERDIEPTE INGEMETEN B-WATERGANG MET OVERSTORT

In deze sub paragraaf zijn van de verfijnde modellen Ks33 en Ks5 de berekende waterdieptes van de ingemeten B-watergang met riooloverstort inzichtelijk gemaakt. Uit figuur 6.2.1, geëxporteerd uit SOBEK, is af te leiden dat de riooloverstort zijn maximale debiet, van 127 liter per seconde, op 1 juni 2016 om 17:00 uur behaalt. Van dit tijdstip zijn de waterdieptekaarten opgesteld.



Figuur 6.2.1 – Verloop debieten riooloverstort ASTV0012

In figuur 6.2.3 staan de berekende waterdieptes van de ingemeten B-watergang met gekoppelde riooloverstort weergegeven. De profielen in de B-watergang hebben een weerstandscoefficiënt door begroeiing van Ks33 meegekregen. Aan het begin van de watergang in het zuiden, wordt een waterdiepte van 0 tot 0.05 meter berekend. Meer stroomafwaarts naast de overstort is het zichtbaar dat de waterstand toeneemt en varieert tussen de 0.35 en 0.45 meter. Het uitstromend water uit de overstort heeft hier mede de waterdiepte in de B-watergang tussen de 0.30 en 0.40 meter laten stijgen. De rode vlek naast de riooloverstort (rood omcirkeld) duidt op de waterhoogte binnen in de riolering zelf en betreft niet de waterdiepte in de watergang. Verder richting het einde van de watergang neemt de waterhoogte geleidelijk weer af richting de 0.0 tot 0.05 meter. Aan het einde van de watergang is zichtbaar dat de waterhoogte toeneemt tussen de 0.5 en 0.6 meter. Dit komt omdat de B-watergang hier onder invloed is van de hogere waterstand in de aangrenzende A-watergang, zoals te zien in de sideview van de watergang in figuur 6.2.2.

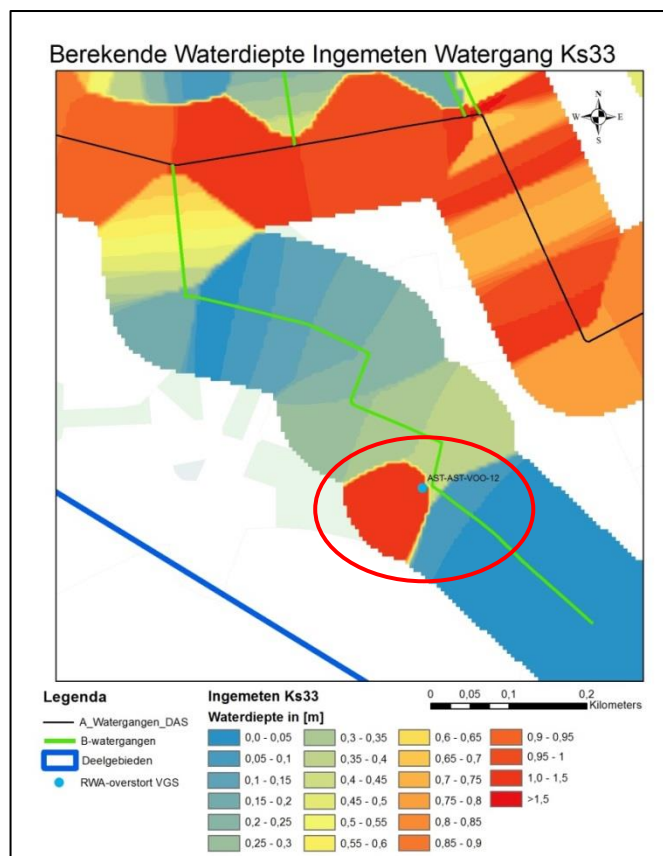


Figuur 6.2.2 – Sideview met berekende waterhoogte van ingemeten watergang op 1 juni 2016 om 17:00

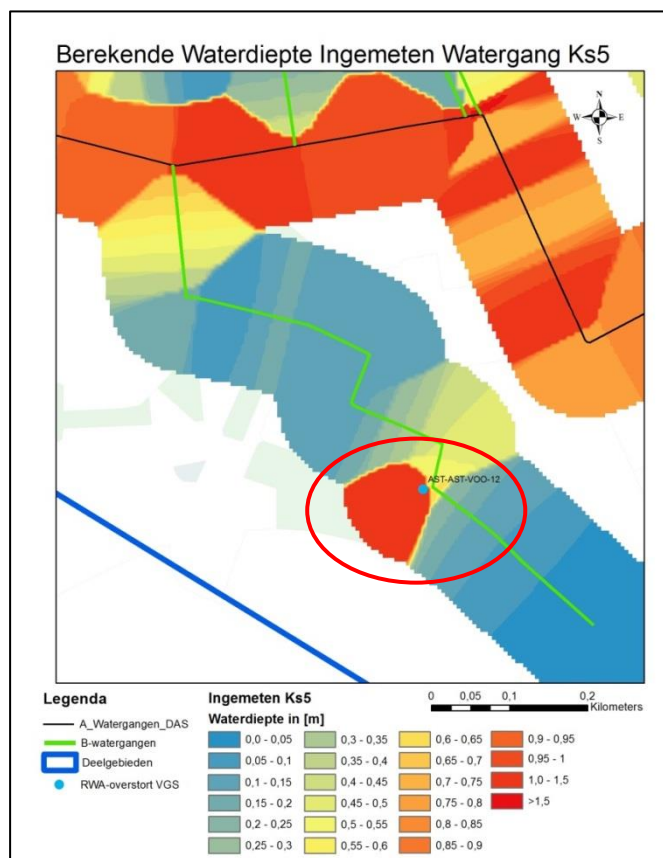
In figuur 6.2.4 staan de berekende waterdieptes van de ingemeten B-watergang met gekoppelde riooloverstort weergegeven. De profielen van de B-watergang hebben een weerstandscoefficient van Ks5 meegekregen.

Als figuren 6.2.3 (Ks33) en 6.3.4 (Ks5) met elkaar worden vergeleken is waar te nemen dat de berekende waterdieptes van Ks5 op sommige plekken in de watergang hoger liggen dan die van Ks33. Zo er bij de overstort nu tussen de 0.55 en 0.60 meter waterdiepte berekend. Dit is tussen de 0.15 en 0.2 meter meer dan bij het Ks33 model. In de benedenstroomse richting, voorbij de overstort is echter waar te nemen dat de berekende waterdiepte van Ks33 hoger ligt dan die van Ks5. Bij Ks5 wordt daar 0.1 en 0.15 meter berekend en bij Ks33 0.25 tot 0.3 meter.

Uit de vergelijking van de figuren wordt duidelijk dat de weerstand door begroeiing een grote invloed heeft op de berekende waterdiepte. In dit geval betekent het zelfs dat het Ks5 model bij het uitstroompunt van de riooloverstort een hogere waterdiepte berekent dan het Ks33 model, maar verder stroomafwaarts een juist lagere waterdiepte dan het Ks33 model.



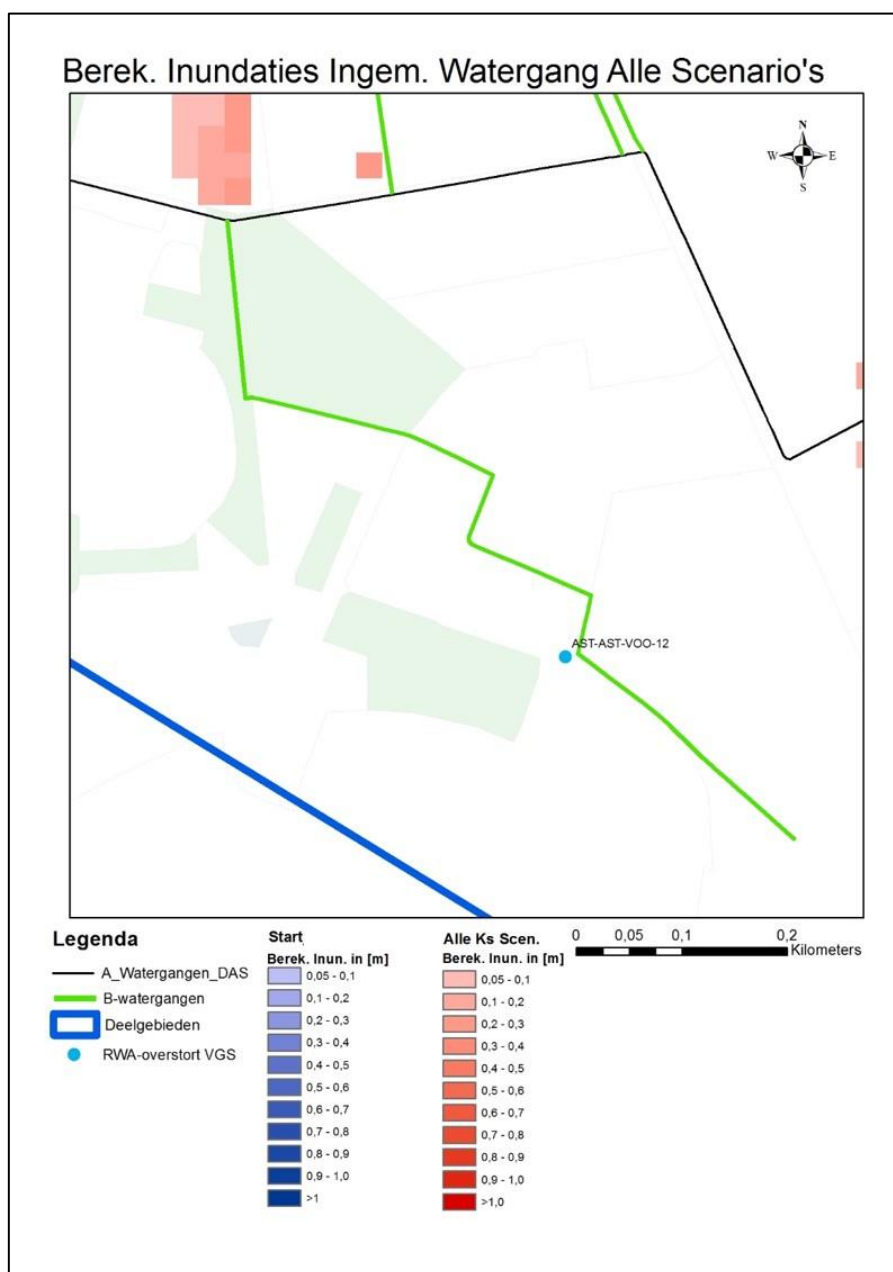
Figuur 6.2.3 – Berekende waterdiepte ingem. watergang Ks33



Figuur 6.2.4 – Berekende waterdiepte ingem. Watergang Ks5

6.2.2 BEREKENDE INUNDATIES INGEMETEN WATERGANG

In deze sub paragraaf zijn de berekende inundaties van de omgeving van de ingemeten watergang inzichtelijk gemaakt. In figuur 6.2.5 zijn de berekende inundaties van álle modellen in een kaart weergegeven. Uit de kaart blijkt dat er gedurende de berekeningen géén inundaties langs de ingemeten B-watergang zijn opgetreden. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de watergang in ieder geval groot genoeg is gedimensioneerd omdat er zelfs tijdens een extreme neerslagsituatie, extreem hoge weerstand door begroeiing én het in werking treden van de overstort geen inundaties worden berekend.



Figuur 6.2.5 – Berekende inundaties rondom ingem. watergang van álle modellen

7 CONCLUSIES

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de hoofdvraag: 'Wat is het effect van het toevoegen van B-watgangen inclusief begroeiingsweerstand en riooloverstort aan het bestaande SOBEK-model van het DAS-gebied op de berekende debieten, waterstanden en inundaties?'

Om tot antwoord op deze hoofdvraag te komen is er gekeken naar de berekende modeloutput van het startmodel en naar de output van het met B-watgangen met bijbehorende weerstandscoefficienten én overstort verfijnde model.

7.1 CONCLUSIES

Uit de resultaten blijkt dat het toevoegen van B-watgangen aan een SOBEK-model dat eerder draaide met enkel A-watgangen, alsmede de weerstandscoefficient door begroeiing die aan de toegevoegde B-watgangen wordt meegegeven, een grote invloed kan hebben op de berekende output van SOBEK.

Ten eerste blijkt de methode om bodemhoogtes van dwarsprofielen automatisch te genereren redelijk accuraat te zijn. Er is namelijk weinig verschil tussen de meeste werkelijk ingemeten bodemhoogtes- en de automatisch gegenereerde bodemhoogtes van de dwarsprofielen. Gezien er bij een aantal bodemhoogtes wél een grote afwijking was, dienen alle B-watgangen te worden gecontroleerd op grote onlogische sprongen in bodemhoogte en zo nodig handmatig worden aangepast. De controle heeft binnen dit onderzoek ook plaatsgevonden.

Verder is de invloed van de weerstandscoefficiënt door begroeiing is zichtbaar in de berekende waterdieptes in de B-watgangen. Uit de analyse blijkt dat bij alle watgangen een waterdieptestijging van 0.10 tot 0.20 meter wordt berekend als de weerstand wordt verhoogd van Ks33 naar Ks5. De stijging in begroeiingsweerstand leidt dus tot hogere berekende waterdieptes. Grotere waterdieptes leiden op hun beurt weer tot verhoogde kans op inundaties.

De invloed van het toevoegen van B-watgangen met verschillende weerstandscoefficienten is ook te zien in de hoogtes van de maximaal berekende debieten en waterhoogtes van de modellen van het zuidelijk deelgebied. Zo wordt bij stuw S280B door alle verfijnde modellen met verschillende weerstandscoefficienten, een hogere piek in het debiet en waterhoogtes berekend dan door het startmodel.

Ook is het verschil in de hoogte van de berekende pieken locatieafhankelijk. Dit wordt duidelijk omdat alle verfijnde modellen bij de overige stuwen, S80BB, S80BC, S280BD en S280BDA, juist lagere pieken in het debiet en waterhoogte berekenen.

Verder is waar te nemen dat het Ks33 model bij sommige stuwen beter overeenkomt met het startmodel dan het Ks5 model, zoals bij stuwen S280BD en S80BDA. Bij de resterende stuwen in het zuidelijke deelgebied is juist het tegenovergestelde waar te nemen, daar komt het Ks5 model beter overeen met het startmodel. Het bepalen van een situatiegetrouwe weerstandscoefficient door begroeiing is dus van essentieel belang omdat deze invoerparameter per stuw een groot verschil geeft qua pieken van berekende debieten en waterhoogtes.

Uit de analyse van inundatiekaarten van het startmodel en de verfijnde modellen blijkt dat er verschillen zijn in de locaties en heftigheid van de berekende inundaties. Zo worden er bij de verfijnde modellen inundaties berekend bij toegevoegde B-watgangen, waar er bij het startmodel geen inundaties worden berekend op diezelfde locaties. Ook worden er door de verfijnde modellen juist minder- en minder hevige inundaties berekend op locaties waar het startmodel wél inundaties berekend. Dit komt doordat het toevoegen van de B-watgangen heeft gezorgd voor extra waterberging. Wat daarbij opvalt is dat het Ks33 model op die locaties minder inundaties berekend dan het Ks5 model. Daaruit kan worden opgemaakt dat de toename in weerstand heeft geleid tot opstuw- en vertraagde afvoer van water, waardoor er bij het Ks5 model meer inundatie

De effecten van het verfijnen van het SOBEK-model van Waterschap Aa en Maas – Hoven, Ruud van den

worden berekend dan bij het Ks33 model. Zowel het toevoegen van de B-watergangen, als de weerstandscoefficiënt die aan de B-watergangen wordt meegegeven zijn dus van grote invloed op de hoeveelheid- én heftigheid van de berekende inundaties.

Bij de ingemeten B-watergang waaraan de riooloverstort is gekoppeld blijkt dat deze, bij het lozen van zijn maximale debiet, zorgt voor een maximale waterdieptestijging tussen de 0.35 en 0.45 meter bij het Ks33 model en tussen de 0.55 en 0.60 meter bij het startmodel. Het verhogen van de weerstandscoefficient door begroeiing heeft hier dus gezorgd voor een waterdieptestijging van gemiddeld 20 centimeter bij het uitstroompunt van de riooloverstort.

Als de inundatiekaart van de alle scenario's van het verfijnde model worden geanalyseerd blijkt dat er rondom de ingemeten B-watergang met riooloverstort geen inundaties zijn berekend. Dit wil in dit geval zeggen dat de B-watergang in ieder geval groot genoeg is gedimensioneerd, omdat er in de B-watergang voldoende berging aanwezig was om water van een extreme neerslagsituatie én uitstromend van de riooloverstort te kunnen bergen en afvoeren. Dit zegt echter alleen iets over deze betreffende B-watergang met riooloverstort en niet over andere B-watergangen met riooloverstort in andere delen van het beheergebied van waterschap Aa en Maas.

8 AANBEVELINGEN EN DISCUSSIE

In dit hoofdstuk worden na aanleiding van dit onderzoek aanbevelingen beschreven. Ook worden de onderzoeksmethode en resultaten gereflecteerd.

8.1 AANBEVELINGEN

In deze paragraaf worden de aanbevelingen beschreven. Er is onderscheid gemaakt tussen de algemene aanbevelingen na de conclusies van dit onderzoek en aanbevelingen met betrekking tot het opbouwen van het model en het bepalen van de modelparameters.

8.1.1 ALGEMENE AANBEVELINGEN

Er wordt geadviseerd om bij de volgende NBW-toetsing ook omliggende B-watgangen van bekende overlastlocaties aan modellen toe te voegen. Dit wordt geadviseerd omdat de verschillen in de output van een geautomatiseerd aangemaakt model en een verfijnd model groot kunnen zijn. Ook wordt geadviseerd om de weerstandscoefficiënt van de B-watgangen stochastisch mee te nemen omdat deze een grote invloed kan hebben op de berekende output van SOBEK. Als met SOBEK een specifieke neerslagsituatie wordt gesimuleerd wordt geadviseerd om voor de B-watgangen een situatiegetrouwe weerstandscoefficiënt door begroeiing te bepalen. Hoe deze bepaald kan worden wordt beschreven in paragraaf 8.1.2.

8.1.2 AANBEVELINGEN METHODE

Er wordt geadviseerd om de watgangen die extra aan het model toegevoegd worden topologisch kloppend, als een 'reach' in een shapefile beschikbaar te hebben. Deze shapefile kan vervolgens met Triwaco worden geconverteerd naar een bestand wat ingelezen kan worden in SOBEK. Op deze wijze kunnen ze aan automatisch de andere watgangen worden gekoppeld. Dit scheelt veel tijd omdat het opbouwen van het model nu niet meer handmatig hoeft. Ook komt het de betrouwbaarheid van het model ten goede, omdat bij handwerk het risico op modelfouten wordt vergroot.

Ten tweede wordt geadviseerd om de dwarsprofielen van de toe te voegen watgangen om de 25 meter, of ten minste aan het begin- midden- en eind in te laten meten. Op deze wijze wordt het model meer waarheidsgetrouw dan bij het gebruiken van een standaardprofiel welke waarschijnlijk niet overeenkomt met het eigenlijke profiel.

Ten derde blijkt uit het onderzoek dat de weerstandscoefficiënt door begroeiing van grote invloed is op de output van SOBEK. Daarom dient deze gedurende het doorrekenen van een zomersituatie goed te worden geschat. Dit kan met behulp van de tabel in bijlage 2. Gezien de B-watgangen niet in beheer zijn van het waterschap dient te worden onderzocht wat de maaifrequentie van de betreffende watgang is. Dit kan door bijvoorbeeld navraag te doen bij de eigenaar van de B-watgang. Als blijkt dat de watgang bijvoorbeeld drie maal per jaar wordt gemaaid, kan er dan vanuit de tabel worden gekozen voor een Ks-Strickler waarde van 18.

8.2 DISCUSSIE

In deze paragraaf staan de sterke en zwakke punten van het onderzoek en welke invloed deze hebben gehad op de resultaten beschreven.

8.2.1 STERKE PUNTEN

Een sterk punt van de analyse is dat duidelijk is gemaakt dat het toevoegen van B-watgangen aan een SOBEK-model wat enkel draait met A-watgangen een grote invloed heeft op de output.

Een ander sterk punt is dat inzichtelijk is gemaakt dat de weerstandscoefficiënt door begroeiing eveneens een grote invloed heeft op de output. Vooral het verschil in berekende inundaties tussen het startmodel en de verfijnde modellen is een sterk punt. Ook het verschil tussen de berekende verfijnde modellen Ks33 en Ks5 is een sterke uitkomst.

8.2.2 ZWAKKE PUNTEN

Een zwak punt is dat het startmodel, waarmee de verfijnde modellen zijn vergeleken, niet is gevalideerd. Er kan dus niet worden geconcludeerd of de verfijnde modellen beter met de werkelijkheid overeen komen dan het startmodel.

Een ander zwak punt is dat de B-watergangen handmatig aan elkaar- en aan de A-watergangen zijn gekoppeld. Handwerk vergroot het risico op modelfouten die niet snel zijn op te sporen.

Verder zijn de dwarsprofielen van de B-watergangen niet ingemeten. Daarom is er gewerkt met een standaardprofiel voor alle B-watergangen. Aangezien er in het veld grote verschillen bestaan tussen dwarsprofielen geeft het gebruik van een standaardprofiel dus een grote onzekerheid in de schematisering van de werkelijkheid. Ook is er een onzekerheid over de bepaling van de bodemhoogtes van de dwarsprofielen. Dit komt omdat deze niet zijn ingemeten maar automatisch zijn bepaald op basis van metingen vanuit de lucht. Uit analyse blijkt dat er kleine afwijkingen zitten tussen de automatisch gegenereerde bodemhoogtes en daadwerkelijk ingemeten bodemhoogtes.

8.2.3 REFLECTIE OP DE RESULTATEN

Desondanks er gebruik is gemaakt van standaardprofielen voor de B-watergangen is er duidelijk geworden dat het toevoegen van B-watergangen een grote invloed heeft op de output van SOBEK. De invloed is, met name bij de berekende inundaties, zo groot dat er vanuit kan worden gegaan dat ook bij kleinere dwarsprofielen een invloed hebben op de berekende inundaties. Ook is duidelijk geworden dat de weerstandscoefficiënt door begroeiing een grote invloed heeft op de modeloutput. Daarom dient deze in het vervolg juist te worden geschat.

BRONVERMELDING

Websites

Omroep Brabant, (29-01-15), 20 jaar na de watersnood: Windsurfen over de A2 en de bijna evacuatie van delen Brabant. Geraadpleegd op 10 november 2017, van

<http://www.omroepbrabant.nl/?news/223853902/20+jaar+na+de+watersnood+windsurfen+over+de+A2+en+de+bijna+evacuatie+van+delen+Brabant.aspx>

Reformatorisch Dagblad, (14-09-1998), Chaos door noodweer in West-Nederland. Geraadpleegd op 21 maart 2018, van <https://www.digibron.nl/search/detail/012ddfe3c499a51cb40aff9e/>

Kokshoorn, M. Landschapsvormen, Dekzand. Geraadpleegd op 16 november 2017, van <http://www.geologievannederland.nl/landschap/landschapsvormen/dekzand>

KNMI, Uitleg zware neerslag. Geraadpleegd op 1 november 2017, van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/zware-neerslag>

Rapporten

Stowa, 2011, Standaard werkwijze voor de toetsing van watersystemen aan de normen voor regionale wateroverlast, ISBN 978.90.5773.534.9

Het Nationaal Bestuursakkoord Water-actueel, 2013.

Waterschap Aa en Maas, 2017, Werkomschrijving stap 2 weerstand en vegetatie.

Waterschap Rivierenland, 2010, Beleidsregels Keur Waterschap Rivierenland.

Waterschap Aa en Maas, 2016, Feitenrapport wateroverlast mei – juni 2016.

Interviews

Johnny van Keulen, Hydroloog en SOBEK-expert, Waterschap Aa en Maas.

Jos Moorman, Hydroloog en Neerslag-afvoer expert, Waterschap Aa en Maas.

KRITISCHE REFLECTIE EIGEN FUNCTIONEREN EN PROCES

In dit hoofdstuk wordt mijn eigen functioneren en proces beschreven. Ik zal gebeurtenissen en voorbeelden beschrijven waarna ik positieve en negatieve kanten van mijn eigen functioneren kritisch zal benoemen. Ook zal ik benoemen wat ik er uiteindelijk van heb geleerd en wat ik naar mijn mening in het vervolg beter kan doen.

Proces en gebeurtenissen

Alle B-watergangen binnen de gemeentegrenzen van de gemeenten Deurne, Asten en Someren zouden eerste instantie door de betrokken gemeenten zelf zijn ingemeten. Na ongeveer een maand werd duidelijk dat dit niet was gebeurd en ook niet ging gebeuren. Om deze reden heb ik vanaf het begin van het onderzoek moeten schakelen en naar andere oplossingen moeten zoeken. Om deze reden is ook de methode met betrekking tot een standaardprofiel en het automatisch genereren van een bodemhoogte bij een dwarsprofiel bedacht.

Maar de eerste valkuil bleek de topologie van de B-watergangen shapefile te zijn. De B-watergangen konden niet automatisch gekoppeld worden omdat ze niet exact tegen elkaar aanlagen. Op dit op te lossen heb ik aan meerdere SOBEK-experts (zowel intern als gedetacheerd) gevraagd om mee te denken naar een oplossing. Uiteindelijk lukte het mij niet om ze automatisch te koppelen. Om deze reden is besloten om over te gaan om handmatig te koppelen. Dit heeft eerste instantie lang geduurd en ongeveer drie weken tijd in beslag genomen.

Vervolgens bleef SOBEK maar crashen omdat de B-watergangen nog geen lateralen gekregen hadden. Ook zaten er nog veel modelfouten in. Deze heb ik via het logboek uiteindelijk allemaal op weten te sporen.

Ten slotte bleken de eerste methodes voor het automatisch genereren van een bodemhoogte geen goed resultaat op te brengen. Zowel het AHN-grid (0.50m x 0.50) als het tweede AHN-grid (25m x 25m) bleken oplogische sprongen binnen de watergangen te genereren.

Met de laatste ingevlogen dataset werd wel een logisch verhang gecreëerd bij de B-watergangen

Positieve kanten

Gedurende het onderzoek ben ik zelfstandiger en gestructureerder gaan werken dan dat ik voorheen deed. Dit komt mede omdat ik het onderzoek alleen heb uitgevoerd. Dit uitte zich in het zelfstandig afspraken maken met experts binnen het werkveld. Ook vind ik het positief dat ik 'out of the box' heb moeten en leren denken met betrekking tot het oplossen van het feit dat de B-watergangen niet zijn ingemeten. Tevens vind ik het positief dat ik doorzettingsvermogen heb getoond. Zo heb ik van meerdere mensen van het waterschap vernomen dat andere studenten eerder 'de handdoek in de ring hadden gegooit'.

Negatieve kanten

Een negatief punt is dat ik ondanks mijn inzet meermaals de gestelde deadlines niet heb weten te halen. Een negatief bijkomende gebeurtenis daarbij is dat ik tijdens stressperiodes een aantal maal communicatief ben geblokkeerd. Op momenten dat ik juist contact met iemand zou moeten opnemen om te zeggen dat een deadline niet gehaald zou worden werkte ik te hard door om te proberen toch de deadline te halen, terwijl ik al had moeten melden dat ik de deadline waarschijnlijk niet zou halen. In het vervolg wil ik ervoor zorgen dat ik ten alle tijden helder blijf communiceren. Een ander negatief punt is dat achteraf aan meer hydrologen hun visie had moeten vragen over bijvoorbeeld gehanteerde methodes. Ik merkte te laat dat andere hydrologen inzichten hadden die de resultaten ten goede zouden komen. Ten slotte vind ik het negatief dat ik, omdat ik het onderzoek individueel heb uitgevoerd, geen sparringpartner had. Als ik met een extra persoon dit onderzoek had uitgevoerd was het fijn geweest om met deze persoon te kunnen sparren over methodes, resultaten, conclusies en aanbevelingen. Dit was het onderzoek wellicht ten goede gekomen.

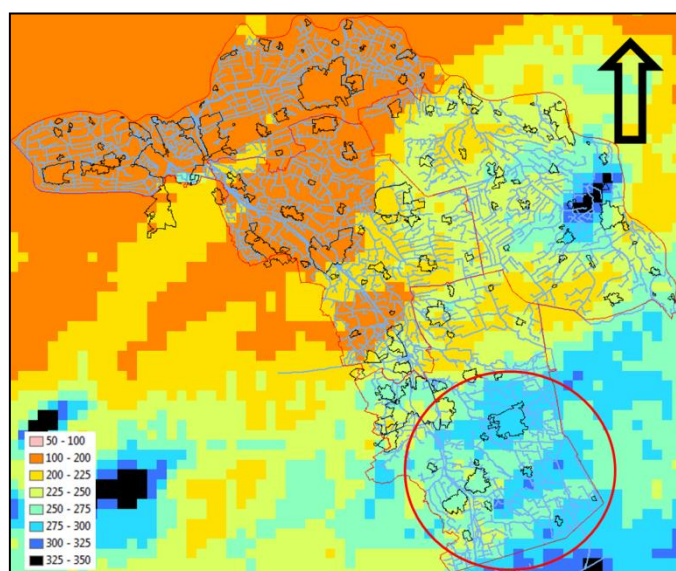
BIJLAGE 1 – EXTREME NEERSLAGSITUATIES

Extreme neerslagsituaties

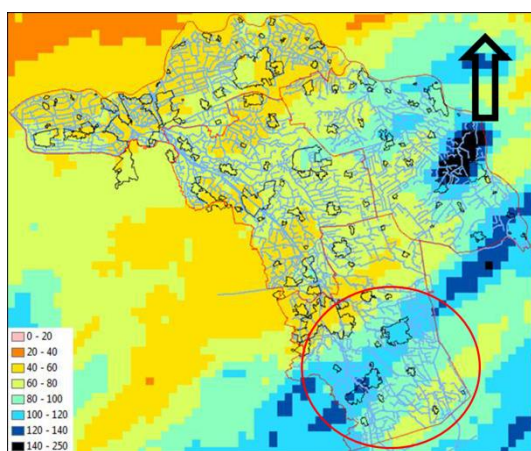
In mei en juni van 2016 is er in het beheergebied van Waterschap Aa en Maas extreem veel neerslag gevallen. De extreme buien trokken van 29 mei t/m 3 juni én 23 en 24 juni over het gebied en zorgden daar voor wateroverlast. In dit hoofdstuk wordt de focus gelegd op de neerslag en de daarbij behorende overlast die is opgetreden bij de DAS-gemeenten.

Neerslag

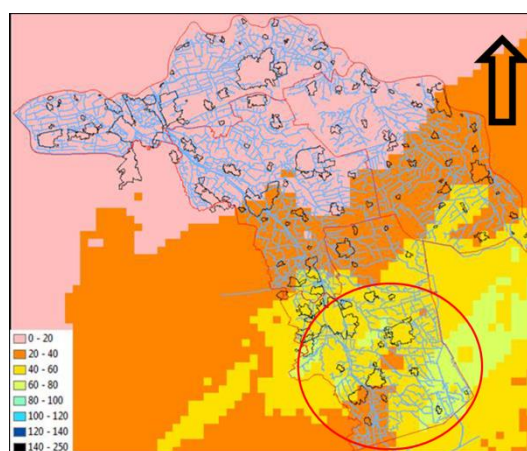
In de periode 29 mei t/m 3 juni viel er gemiddeld 96 mm en zeer lokaal als maximum 137 mm neerslag, zie fig. 1 Tussen 23 en 24 juni viel er gemiddeld 48 mm en zeer lokaal als maximum 75 mm neerslag, zie fig. 2 Gedurende de periode 27 mei t/m 29 juni viel er in totaal zelfs ongeveer 300 mm zie fig. 3 (*Aa en Maas*, 2016). In vergelijking: normaal valt er in Nederland in mei totaal gemiddeld iets meer dan 60 mm in een maand tijd en voor juni geldt dat er gemiddeld bijna 70 mm aan neerslag valt. (*KNMI*, 2017)



Figuur 1 – Neerslag 27 mei t/m 29 juni in mm



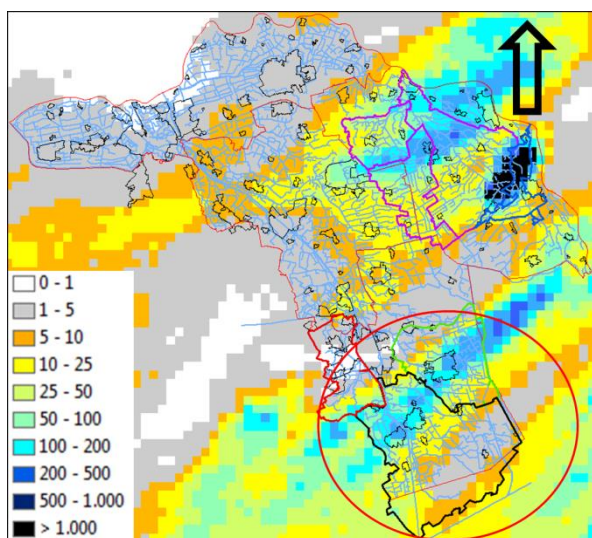
Figuur 2 – Neerslag 29 mei t/m 3 juni in mm



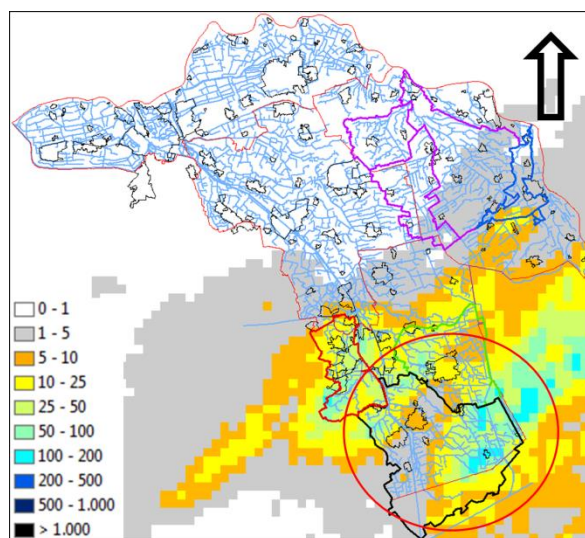
Figuur 3 – Neerslag 23 en 24 juni in mm

Herhalingstijden

De herhalingstijden van de eerste neerslagsituatie bedragen voor het gemiddelde $T=41$ en van het maximum $T=383$, zie fig. 4. De herhalingstijden van de tweede situatie bedragen voor het gemiddelde $T=28$ en van het maximum $T=176$, zie fig. 5. Aan de hoogte van de herhalingstijden is duidelijk te zien dat er extreme situaties hebben plaatsgevonden. (Aa en Maas, 2016)



Figuur 4 – Herhalingstijd in jaren neerslag begin juni



Figuur 5 – Herhalingstijd in jaren neerslag 23 en 24 juni

Overlast

De neerslagintensiteit van beide gebeurtenissen was zo intens dat het watersysteem het niet meer aankon. Dit heeft geleid tot inundatie vanuit het oppervlaktewater, er zijn percelen ondergelopen en beken zoals de Aa zijn buiten hun oever getreden, zie figuren 6 en 7. De aanwezigheid van glastuinbouw kan zorgen voor extreem hoge afvoerpieken. Dit komt met name omdat de berging van de glastuinbouw in de zomer volledig gevuld mag zijn, omdat deze wordt gebruikt voor de irrigatie van de gewassen. Door het ontbreken van de berging komt de neerslag die op de kassen valt gelijk tot afstroming op het oppervlaktewater. Figuur 10 laat een voorbeeld zien van een inundatie naast glastuinbouw. Wat ook opvalt is dat ondanks buien die 23 en 24 juni 2016 vielen veel minder extreem waren dan de neerslag rond 29 mei t/m 3 juni, maar toch voor veel meer overlast heeft gezorgd. Dit heeft te maken met het feit dat het slootpeil hoog stond, de bodem was verzadigd en het grondwaterpeil ook hoog stond door de extreme neerslagsituatie eerder in juni. Hierdoor was er minder berging in de sloten en is er nauwelijks water geïnfiltreerd in de bodem wat heeft gezorgd voor meer afvoer op het oppervlaktewater.



Figuur 6 – Inundatie bij een perceel naast glastuinbouw te Deurne, 2 juni 2016 (Aa en Maas)



Figuur 7 – De Astense Aa treedt buiten zijn oevers, 24 juni 2016 (Aa en Maas)

Genomen Beheermaatregelen

Direct na de extreme neerslag heeft Waterschap Aa en Maas maatregelen getroffen om te proberen om wateroverlast te voorkomen. Er is direct opgeschaald naar de 'calamiteitenorganisatie'. Dit houdt in dat het streefpeil niet meer wordt gehandhaafd maar dat het waterpeil zo wordt beheerd door de calamiteitenorganisatie dat het wateroverlast tegen gaat.

Ten eerste zijn automatische stuwen vanzelf naar de laagste stand gegaan om de afvoer van water te vergroten. Verder is doormiddel van gebiedsgericht peilbeheer ruimte gecreëerd in benedenstroomse waterlopen om water te bergen. Ook handmatige stuwen zijn lager gezet zodat water sneller uit gebieden kon worden afgevoerd. Verder werden krooshekken en duikers dag en nacht handmatig schoongemaakt en zijn verstoppingen verwijderd.

Vegetatie in de watergangen zorgt voor weerstand, wat resulteert in verlaagde stroomsnelheid en opstuwing. Direct na de eerste hoogwaterperiode is het waterschap de watergangen die op de planning stonden om gemaaid te worden versneld gaan maaien. Ook zijn ongeveer 10% van de waterlopen die normaal niet worden gemaaid in mei, toch gemaaid omdat deze een stremmende werking hadden.

BIJLAGE 2 – TABEL WEERSTAND DOOR BEGROEIING EN MAAIFREQUENTIE

In onderstaande tabel staat weerstand door begroeiing in weergegeven in een Ks strickler waarde. Deze is opgesteld door hydrologen van Waterschap Aa en Maas. Er zijn drie verschillende profielen van watergangen. De standaard inrichting, beekherstel en ecologische verbindingzondes. Onder de kolom 'Winter' staat de waarde van minste in het veld voorkomende weerstand weergegeven. De kolommen 0 t/m 7 geeft de maaifrequentie in de zomer aan. Als er meer wordt gemaaid is er dus minder weerstand van begroeiing.

Maaifrequentie per jaar →	Winter	0	1	2	3	4	5	6	7
Standaard inrichting	30	8	12	15	18	20	22	24	25
Beekherstel	20	6	10	13	15	-	-	-	-
EVZ	27	7	11	14	17	19	21	-	-

BIJLAGE 3 – ANALYSEDATA NOORDELIJK DEELGEBIED

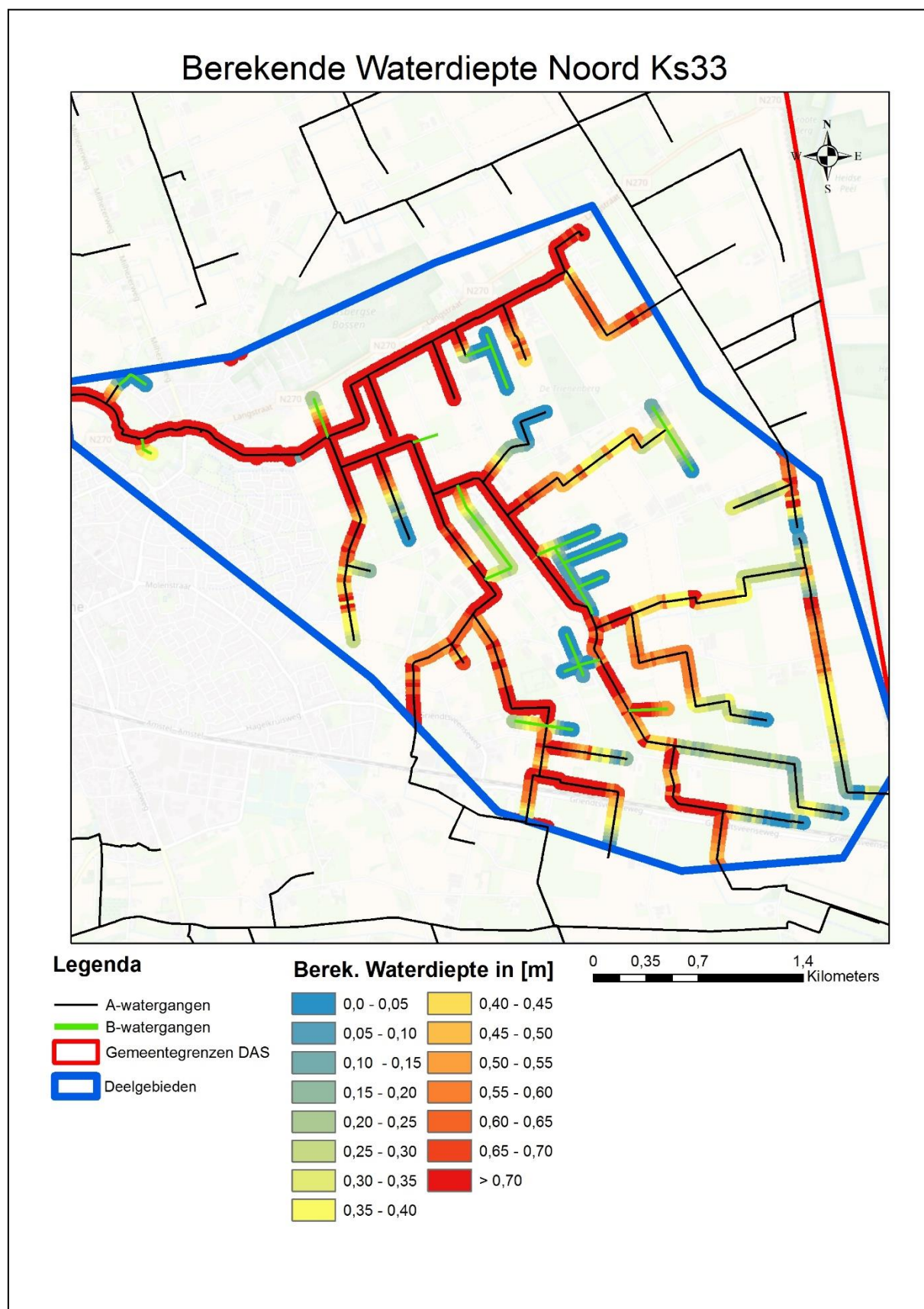
Maximale Berekende Debieten Noord

Noord	S261CJ	S261CK	S261CL	S261CS
Startmodel				
Maximaal Debiet[m3/s]	1.167	0.651	0.461	0.441
Datum [m/d/j/h]	6/2/2016 11:00	6/2/2016 9:00	6/2/2016 9:00	6/2/2016 14:00
Verfijnd model Ks33				
Maximaal Debiet[m3/s]	1.209	0.698	0.461	0.332
Datum [m/d/j/h]	6/2/2016 12:00	6/2/2016 9:00	6/2/2016 9:00	6/2/2016 14:00
Vershil in [m3/s]	0.042	0.047	0.000	-0.108
Vershil in %	3.57	7.15	-0.01	-24.61
Verfijnd Model Ks5				
Maximaal Debiet[m3/s]	1.208	0.698	0.461	0.408
Datum [m/d/j/h]	6/2/2016 12:00	6/2/2016 9:00	6/2/2016 9:00	6/2/2016 14:00
Vershil in [m3/s]	0.041	0.047	0.000	-0.032
Vershil in %	3.52	7.21	0.00	-7.33

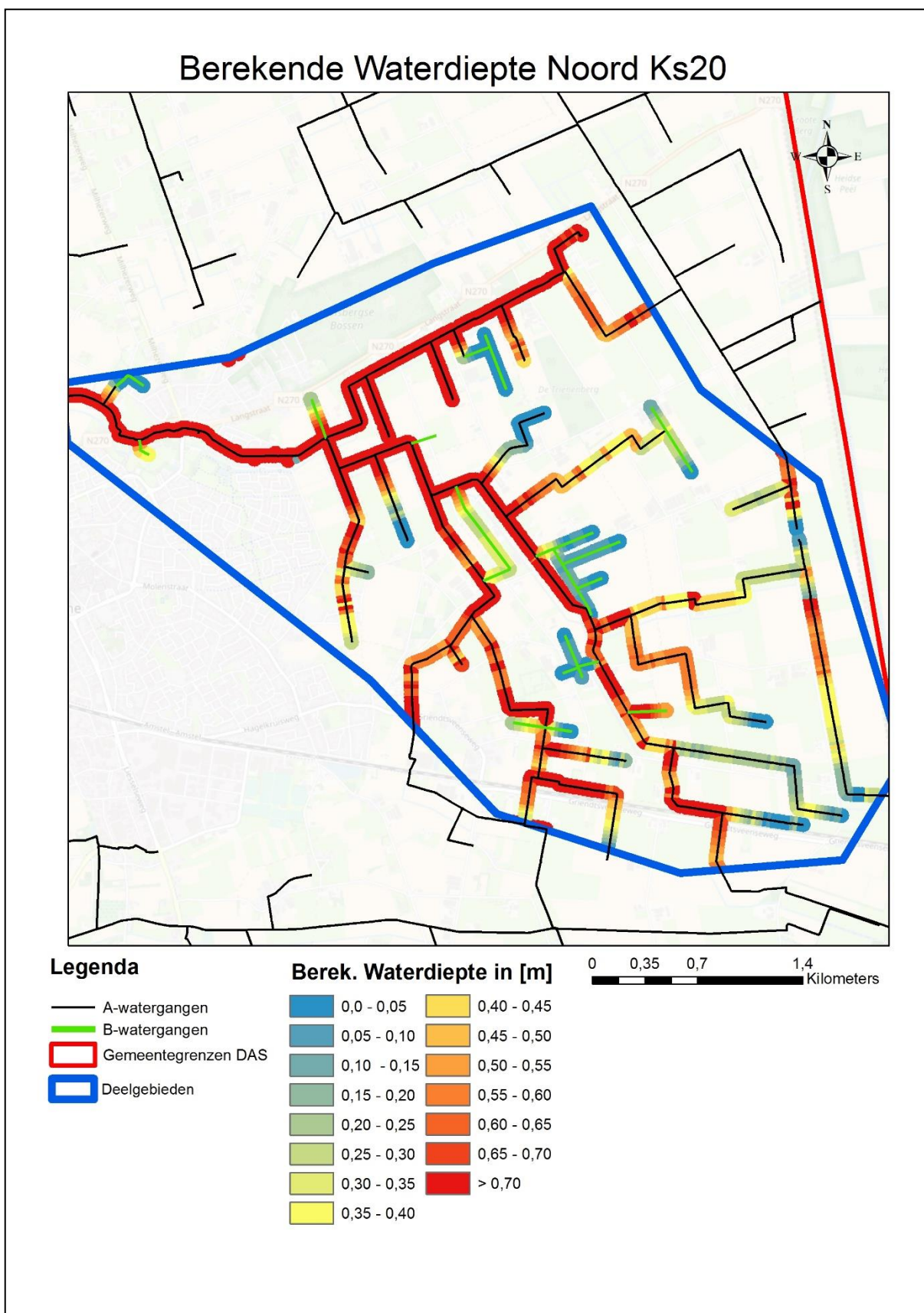
Maximale Berekende Waterhoogtes Noord

Noord	S261CJ	S261CK	S261CL	S261CS
Crestlevel [m+NAP]	25.021	25.647	26.339	25.924
Startmodel				
Maximale hoogte [m+NAP]	25.554	25.996	26.681	26.399
Hoogte T.O.V. Crestlev. [m]	0.533	0.349	0.342	0.475
Datum[m/d/j/h]	6/2/2016 12:00	6/2/2016 9:00	6/2/2016 9:00	6/2/2016 14:00
Verfijnd model Ks33				
Maximale hoogte [m+NAP]	25.568	26.013	26.681	26.317
Datum[m/d/j/h]	6/2/2016 13:00	6/2/2016 9:00	6/2/2016 9:00	6/2/2016 14:00
Hoogte T.O.V. Crestlev. [m]	0.547	0.366	0.342	0.393
Vershil in [m]	0.014	0.016	0.000	-0.081
Vershil in %	2.64	4.71	-0.01	-17.16
Verfijnd Model Ks5				
Maximale hoogte [m+NAP]	25.567	26.013	26.681	26.375
Datum[m/d/j/h]	6/2/2016 13:00	6/2/2016 9:00	6/2/2016 9:00	6/2/2016 14:00
Hoogte T.O.V. Crestlev. [m]	0.546	0.366	0.342	0.451
Vershil in [m]	0.014	-0.017	0.000	0.023
Vershil in %	2.61	4.75	0.00	-4.95

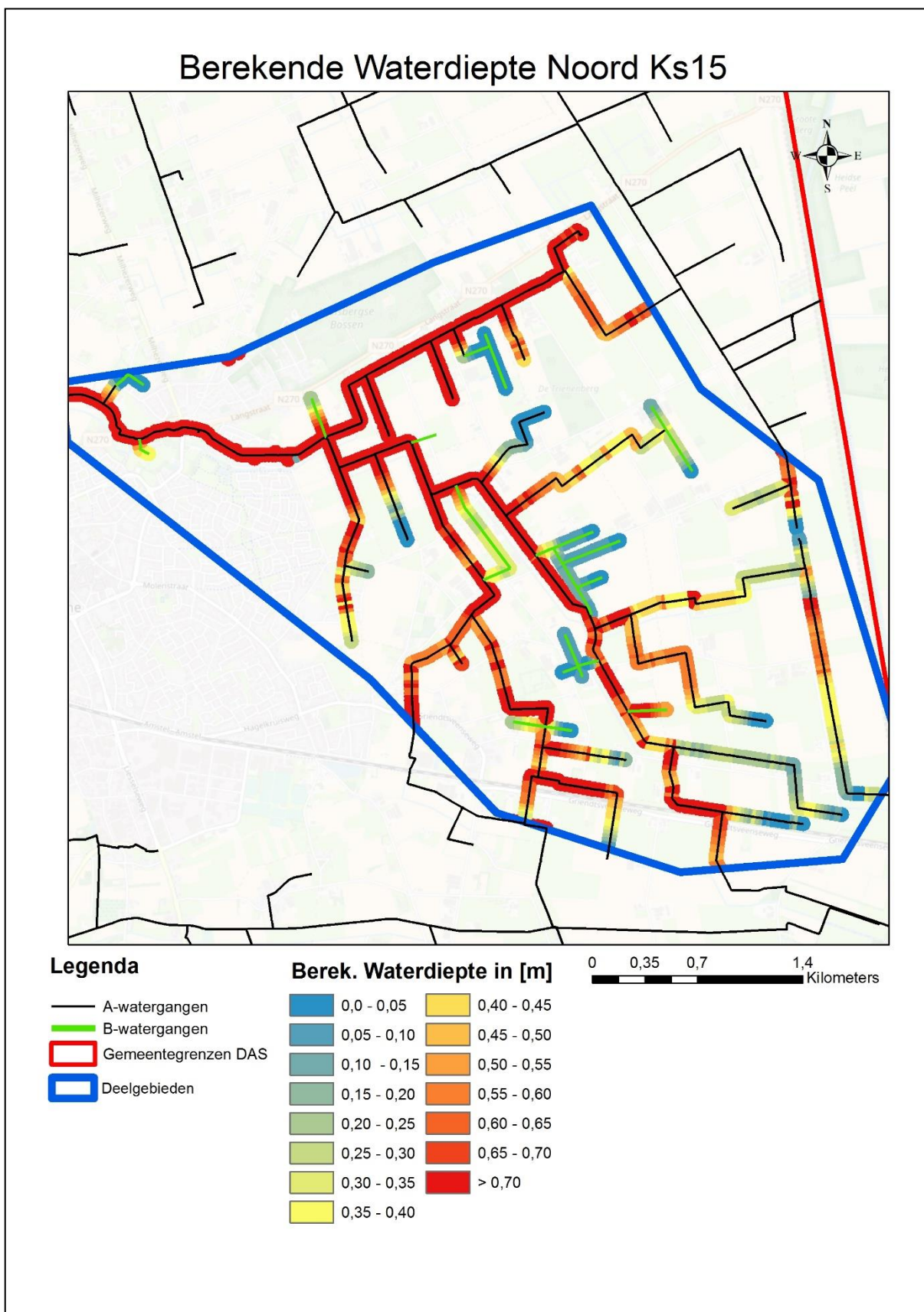
Berekende Waterdiepte Noord Ks33



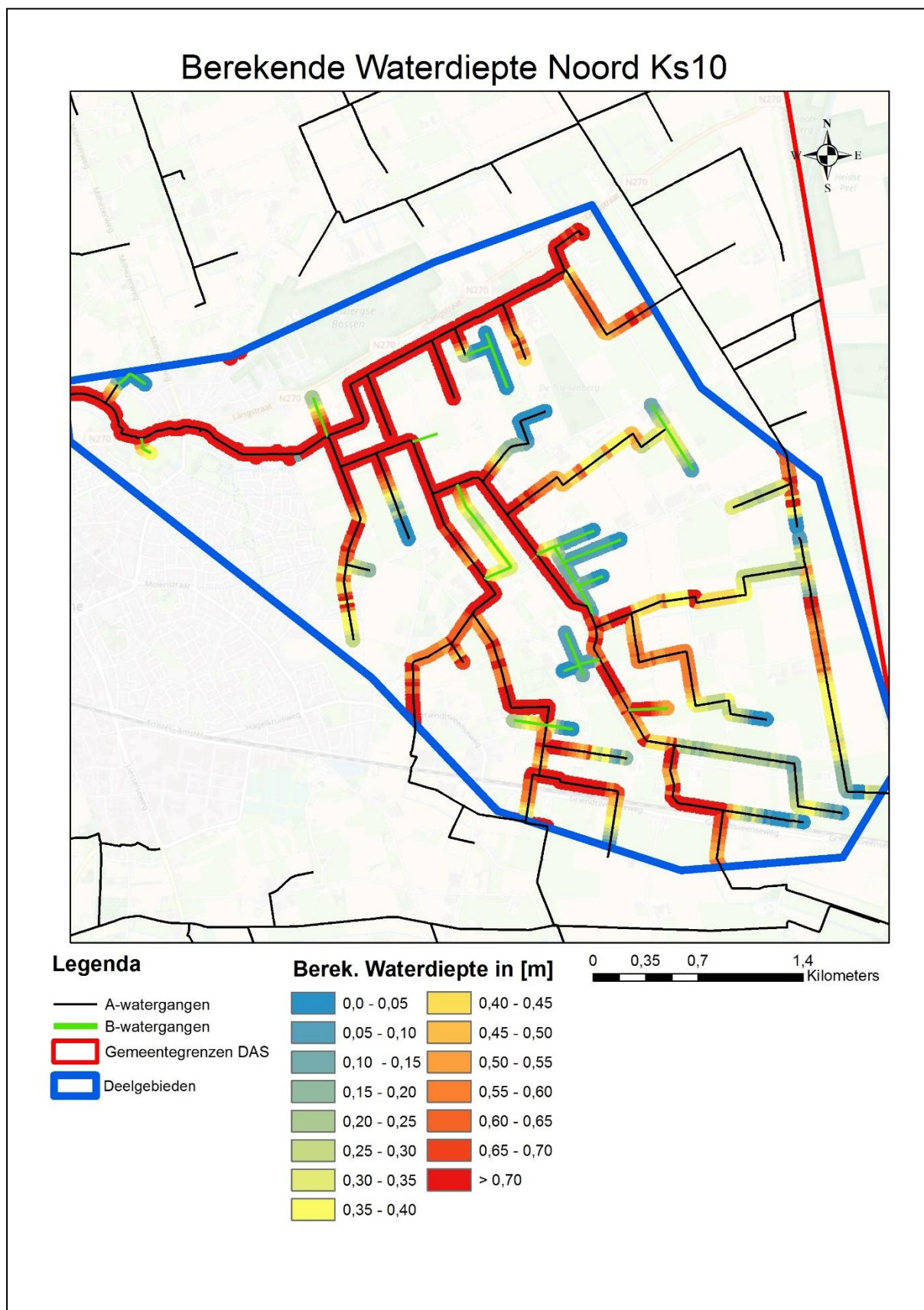
Berekende Waterdiepte Noord Ks20



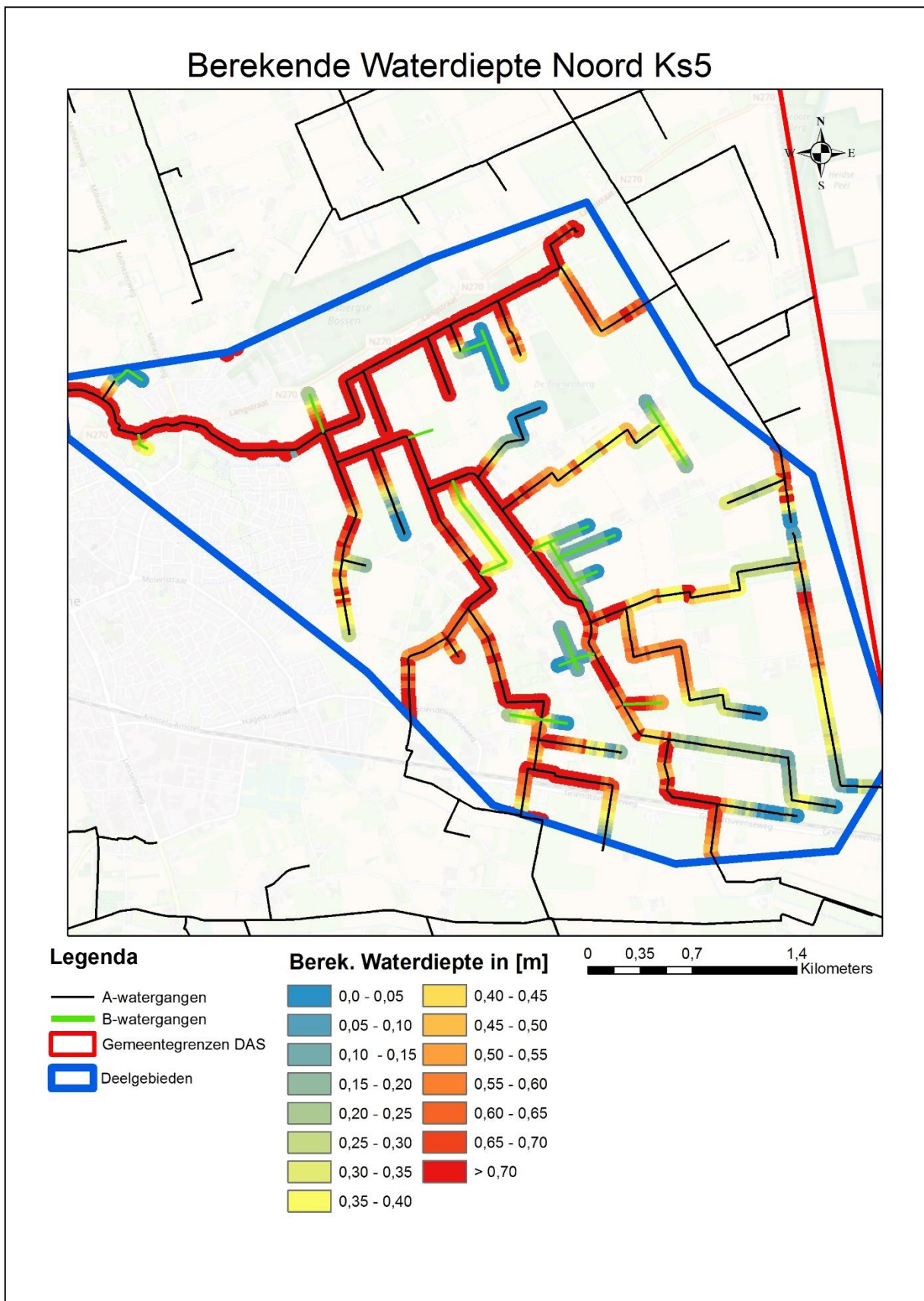
Berekende Waterdiepte Noord Ks15



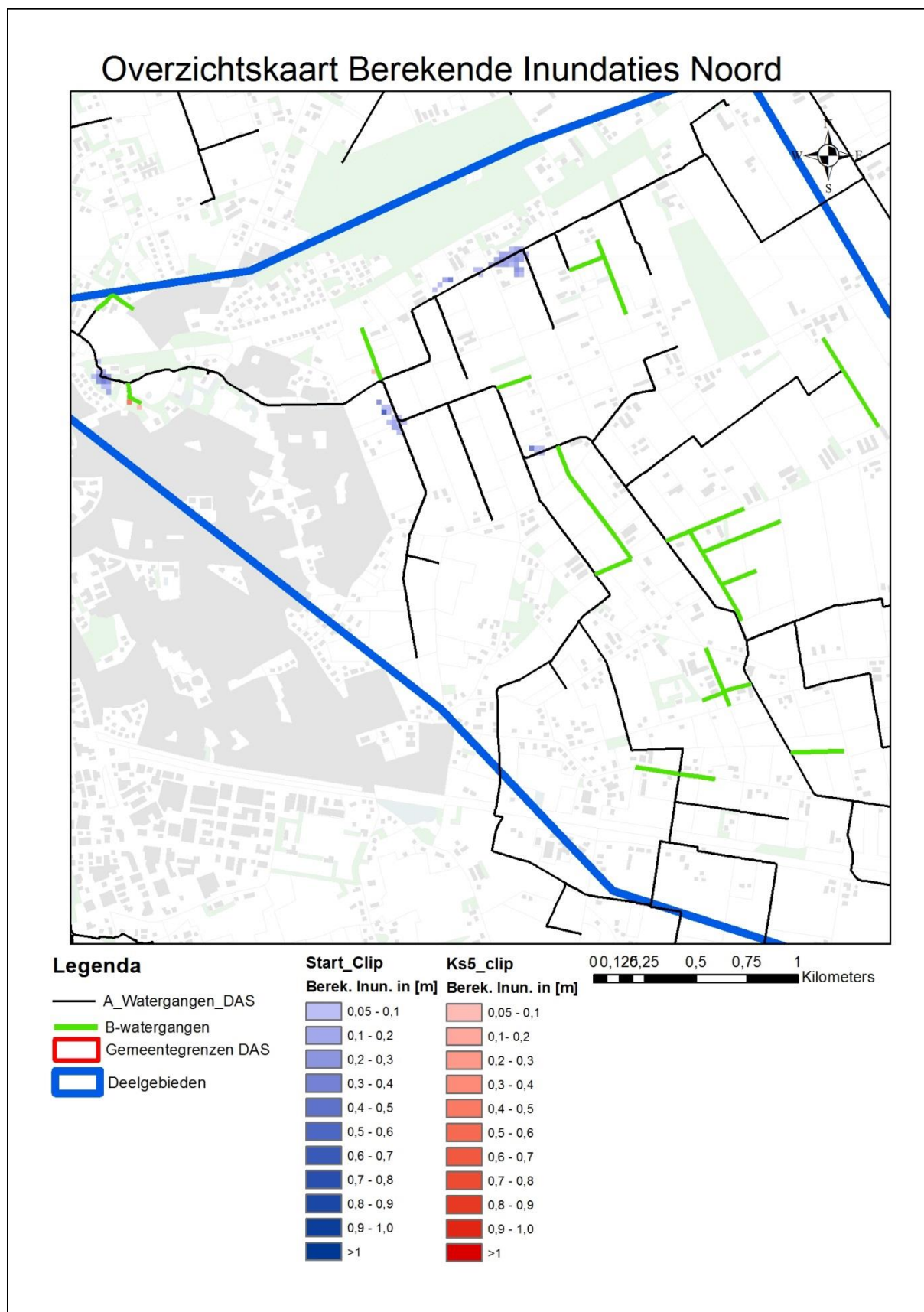
Berekende Waterdiepte Noord Ks10



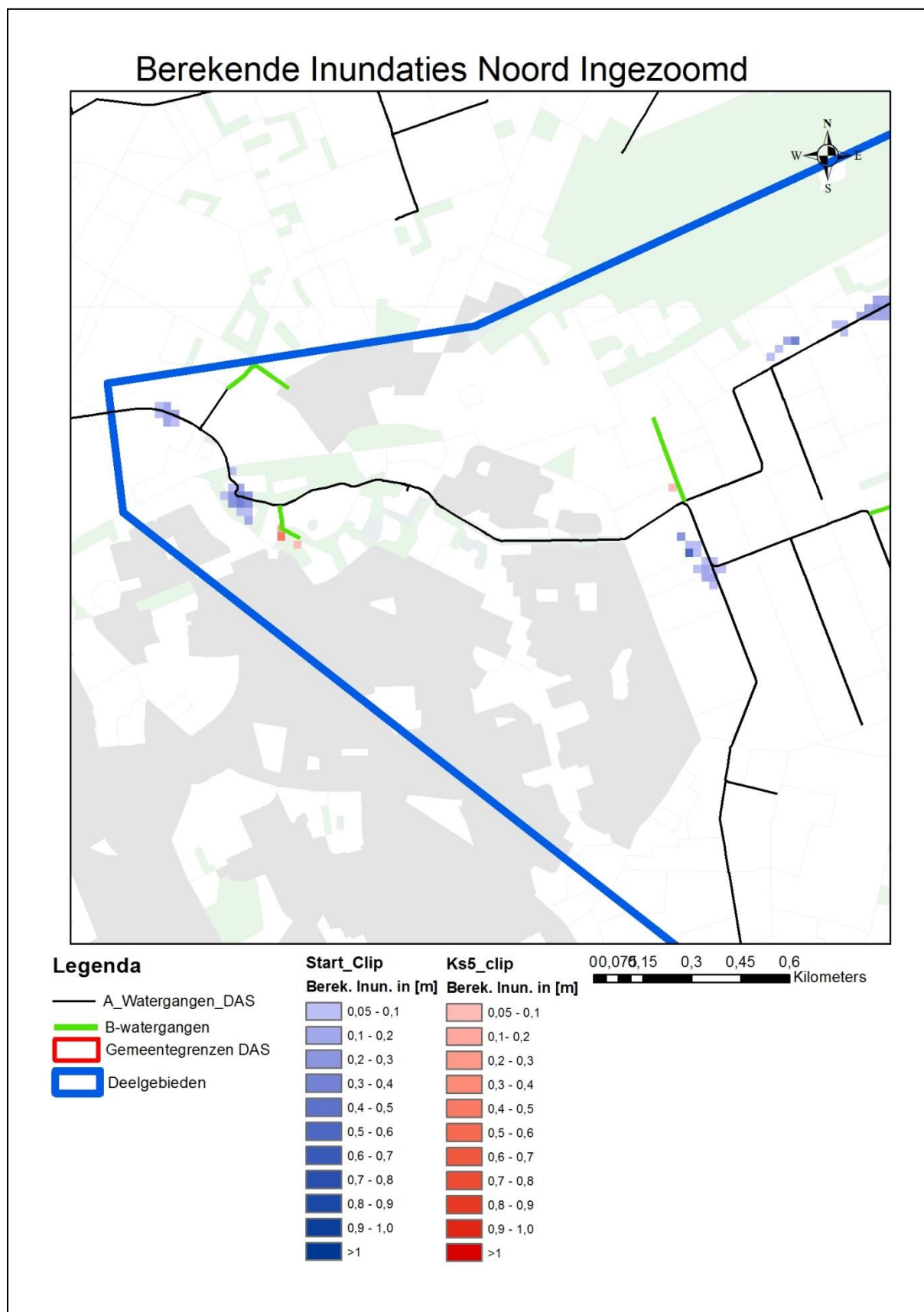
Berekende Waterdiepte Noord Ks5



Berekende Inundaties overzichtskaart Noord Startmodel + Ks5



Berekende inundaties noord ingezoomd



BIJLAGE 4 – ANALYSEDATA DEELGEBIED MIDDEN

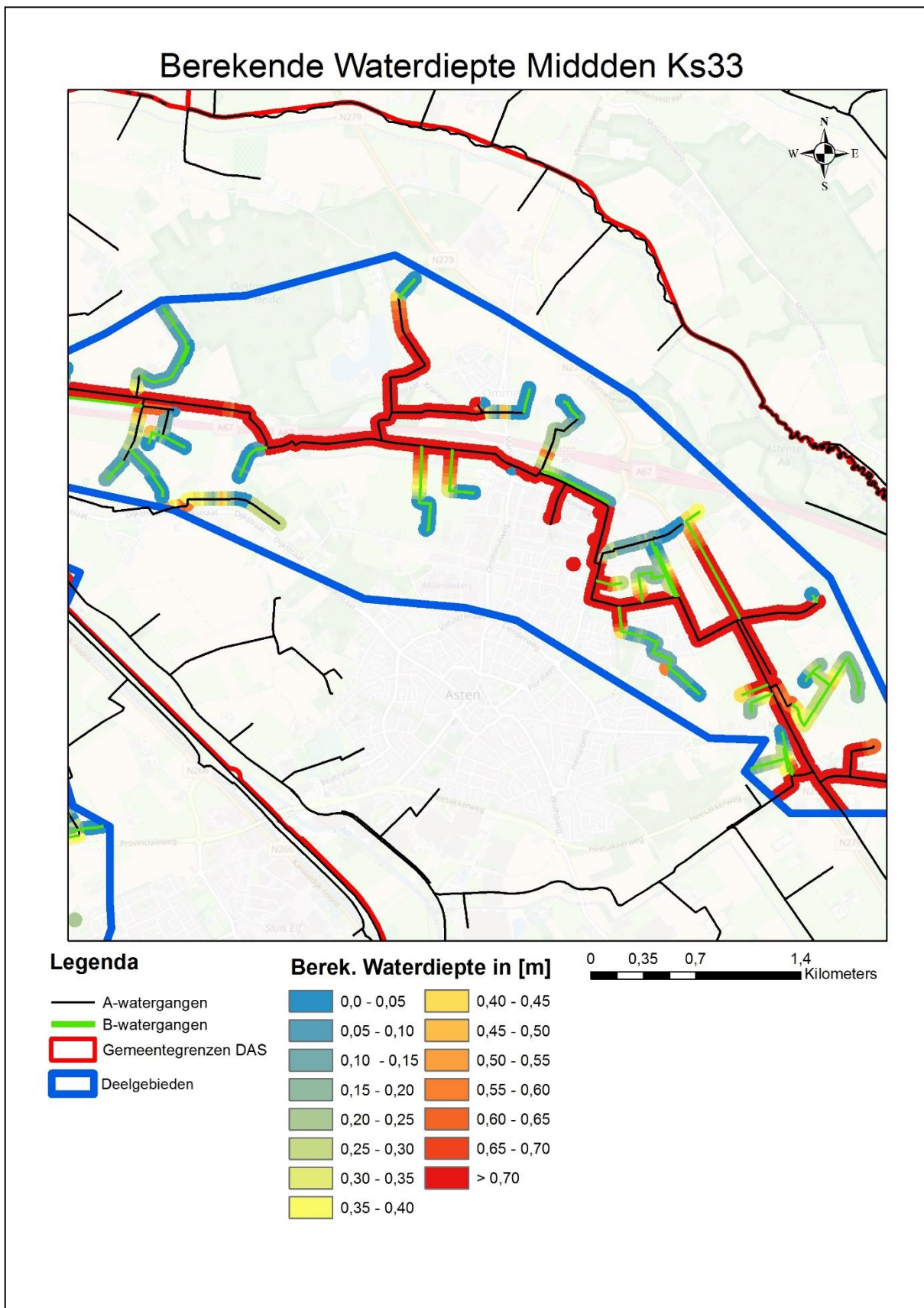
Maximale Berekende Debieten Midden

Midden	S279A	S279C	S279E	S279G	S279H
Startmodel					
Maximaal Debiet[m3/s]	1.528	1.456	2.076	0.496	0.436
Datum [m/d/j/h]	6/2/2016 3:00	6/1/2016 21:00	6/1/2016 18:00	6/3/2016 10:00	6/2/2016 11:00
Verfijnd model Ks33					
Maximaal Debiet[m3/s]	1.503	1.426	2.029	0.455	0.433
Datum [m/d/j/h]	6/2/2016 3:00	6/1/2016 21:00	6/1/2016 18:00	6/3/2016 13:00	6/2/2016 13:00
Vershil in [m3/s]	-0.024	-0.030	-0.047	-0.041	-0.003
Vershil in %	-1.59	-2.07	-2.25	-8.36	-0.67
Verfijnd Model Ks5					
Maximaal Debiet[m3/s]	1.487	1.426	2.043	0.487	0.430
Datum [m/d/j/h]	6/2/2016 3:00	6/1/2016 21:00	6/1/2016 18:00	6/3/2016 14:00	6/2/2016 14:00
Vershil in [m3/s]	-0.041	-0.030	-0.032	-0.009	-0.005
Vershil in %	-2.67	-2.08	-1.56	-1.80	-1.23

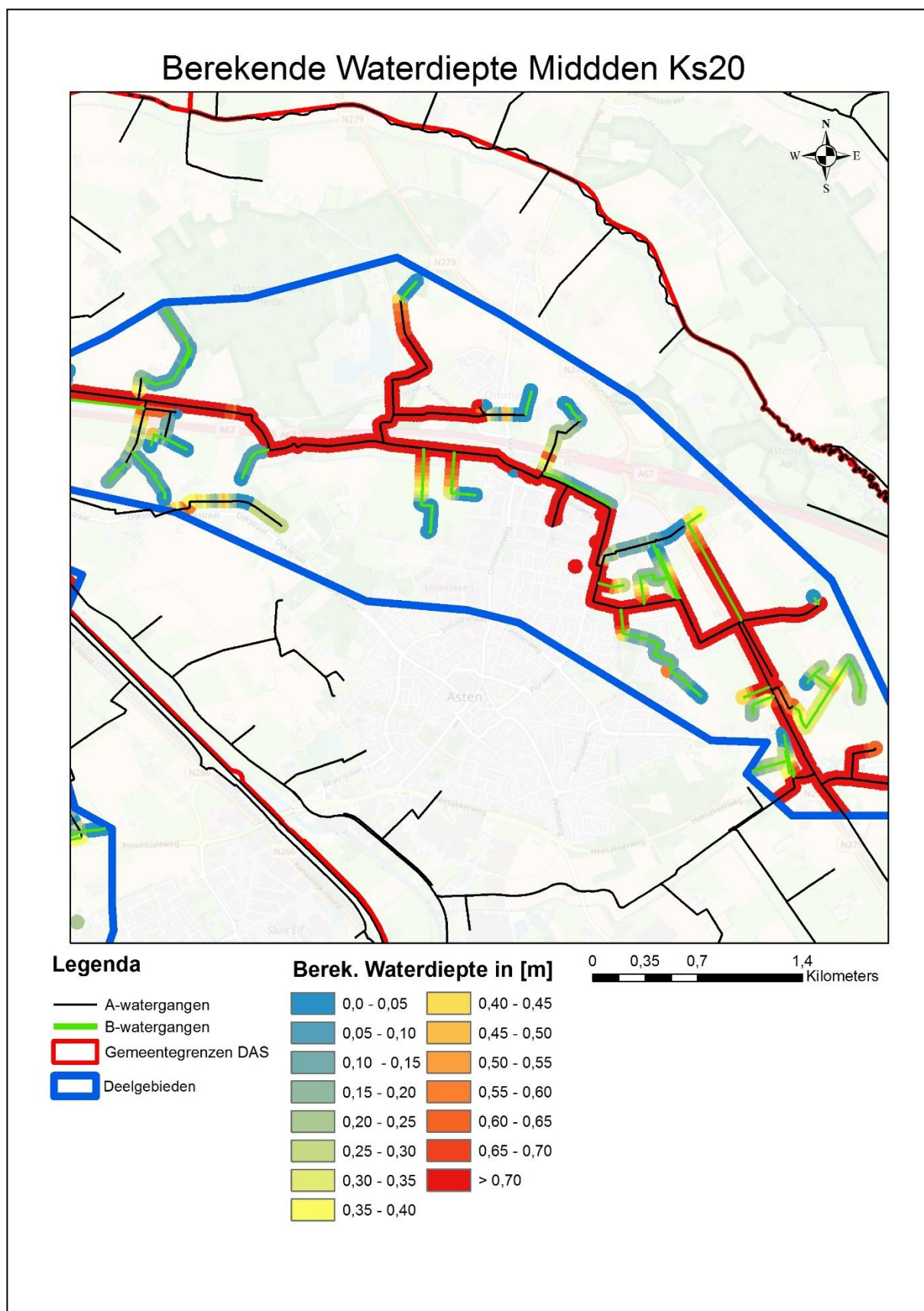
Maximale Berekende Waterhoogtes Midden

Midden	S279A	S279C	S279E	S279G	S279H
Crestlevel [m+NAP]	19	20.541	22.104	23.035	24.209
Startmodel					
Maximale hoogte [m+NAP]	19.823	21.065	22.770	23.625	24.651
Hoogte T.O.V. Crestlev. [m]	0.823	0.524	0.666	0.590	0.442
Datum[m/d/j/h]	6/3/2016 0:00	6/1/2016 21:00	6/1/2016 18:00	6/1/2016 20:00	6/2/2016 11:00
Verfijnd model Ks33					
Maximale hoogte [m+NAP]	19.811	21.058	22.759	23.503	24.649
Datum[m/d/j/h]	6/3/2016 2:00	6/1/2016 21:00	6/1/2016 18:00	6/1/2016 20:00	6/2/2016 13:00
Hoogte T.O.V. Crestlev. [m]	0.811	0.517	0.655	0.468	0.440
Vershil in [m]	-0.012	-0.007	-0.011	-0.122	-0.002
Vershil in %	-1.42	-1.39	-1.72	-20.70	-0.45
Verfijnd Model Ks5					
Maximale hoogte [m+NAP]	19.813	21.058	22.762	23.520	24.647
Datum[m/d/j/h]	6/3/2016 1:00	6/1/2016 21:00	6/1/2016 18:00	6/1/2016 20:00	6/2/2016 14:00
Hoogte T.O.V. Crestlev. [m]	0.813	0.517	0.658	0.485	0.438
Vershil in [m]	-0.010	0.007	0.009	0.105	0.004
Vershil in %	-1.21	-1.39	-1.30	-17.73	-0.83

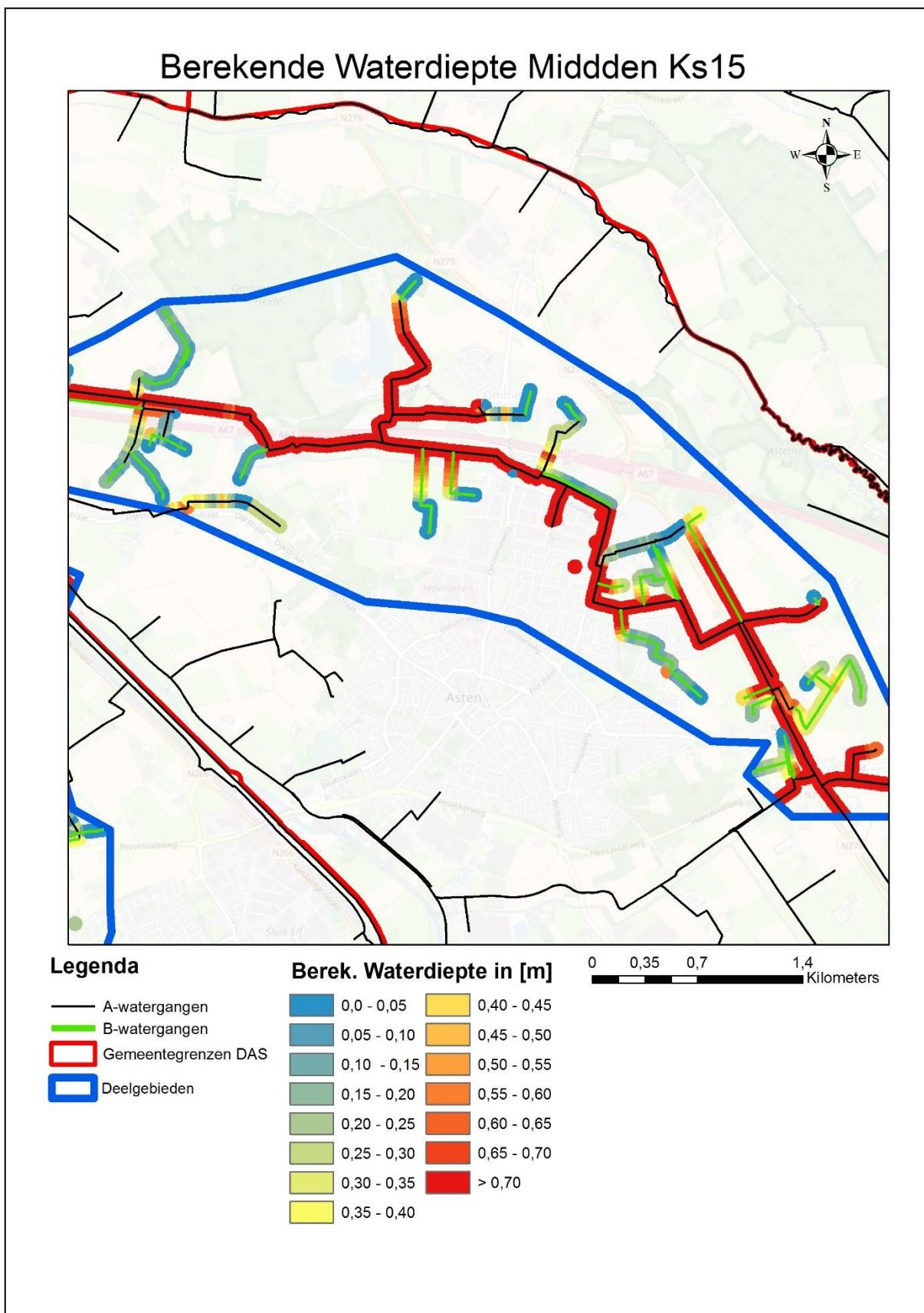
Berekende Waterdiepte Midden Ks33



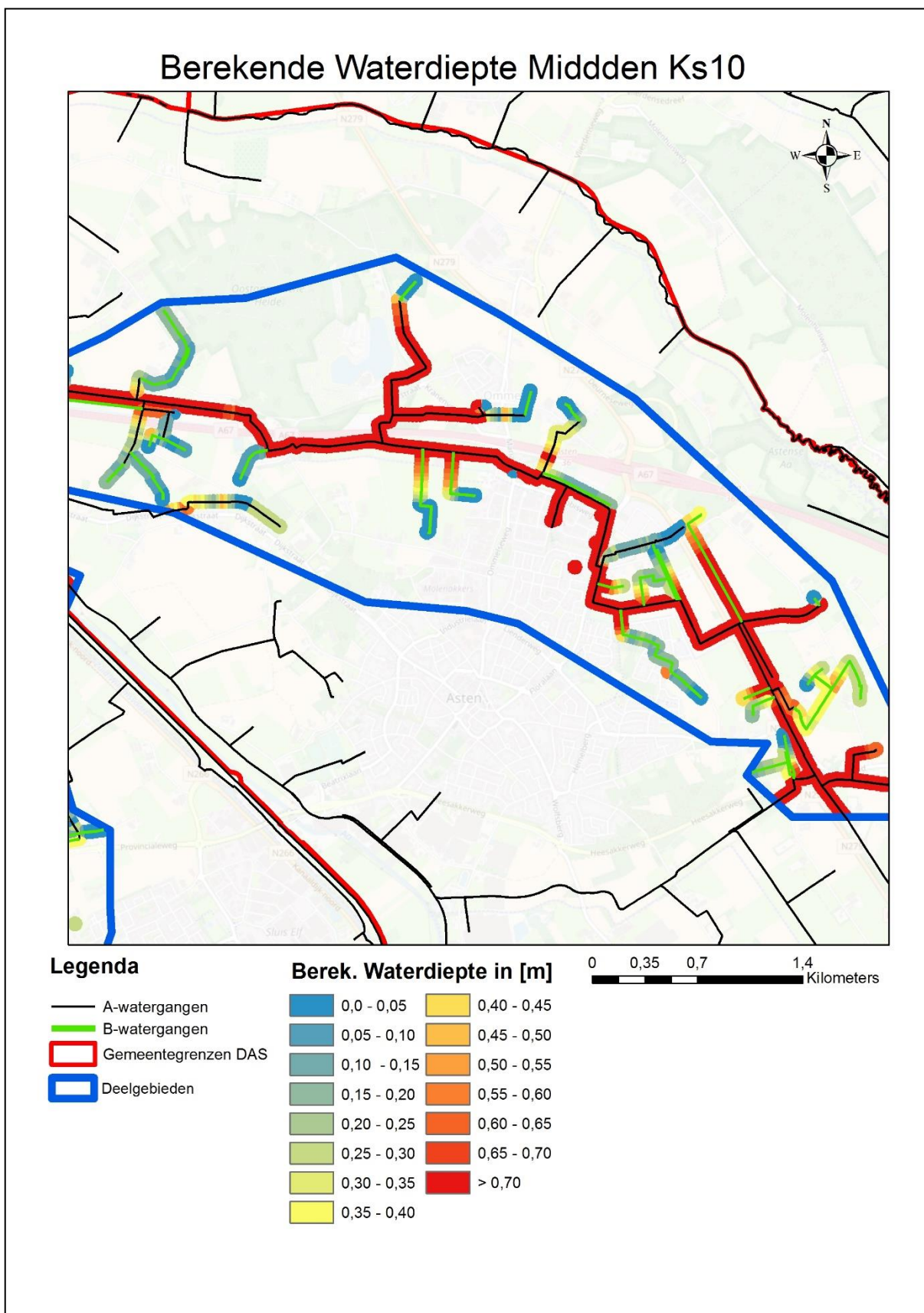
Berekende Waterdiepte Midden Ks20



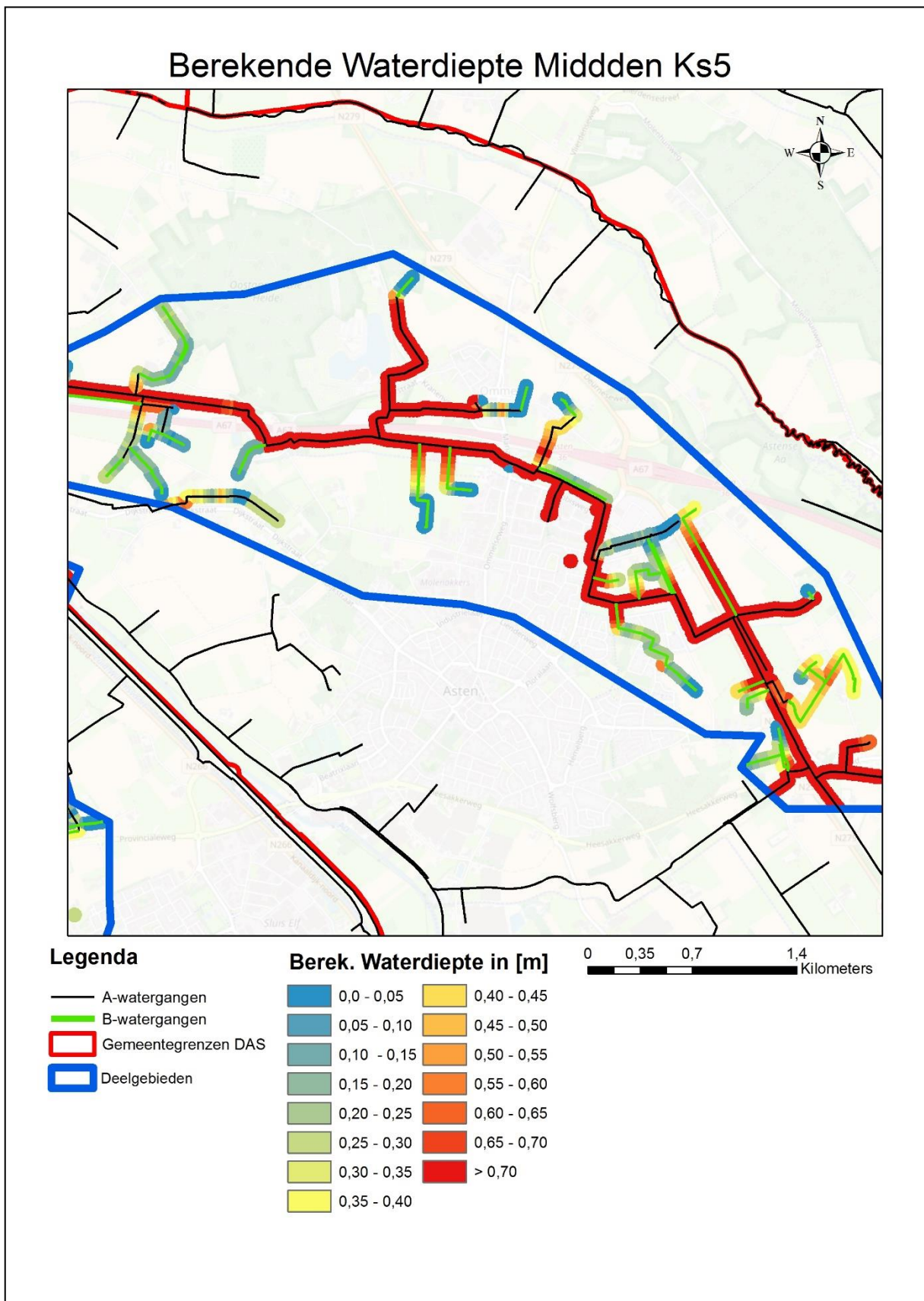
Berekende Waterdiepte Midden Ks15



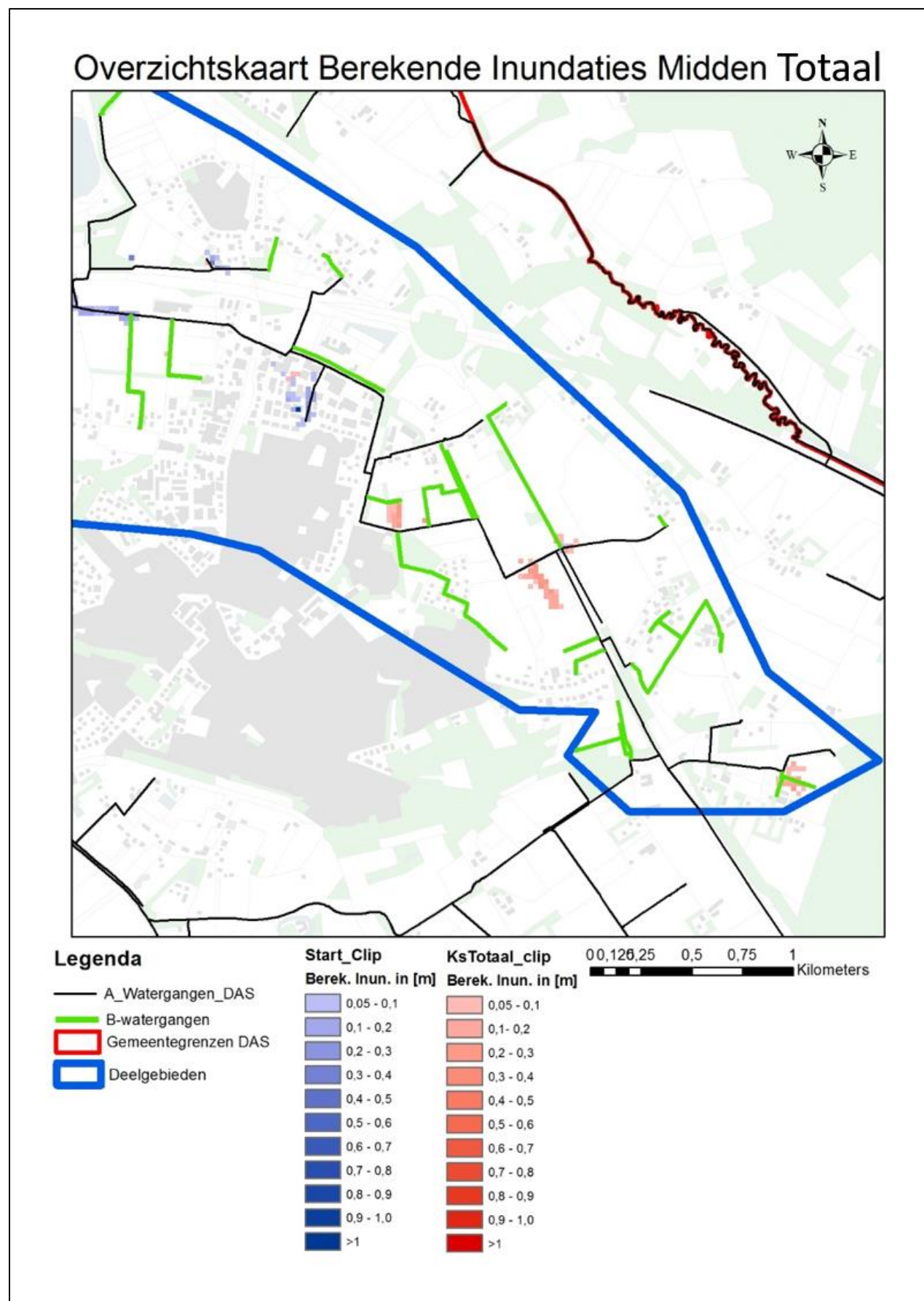
Berekende Waterdiepte Midden Ks10



Berekende Waterdiepte Midden Ks5

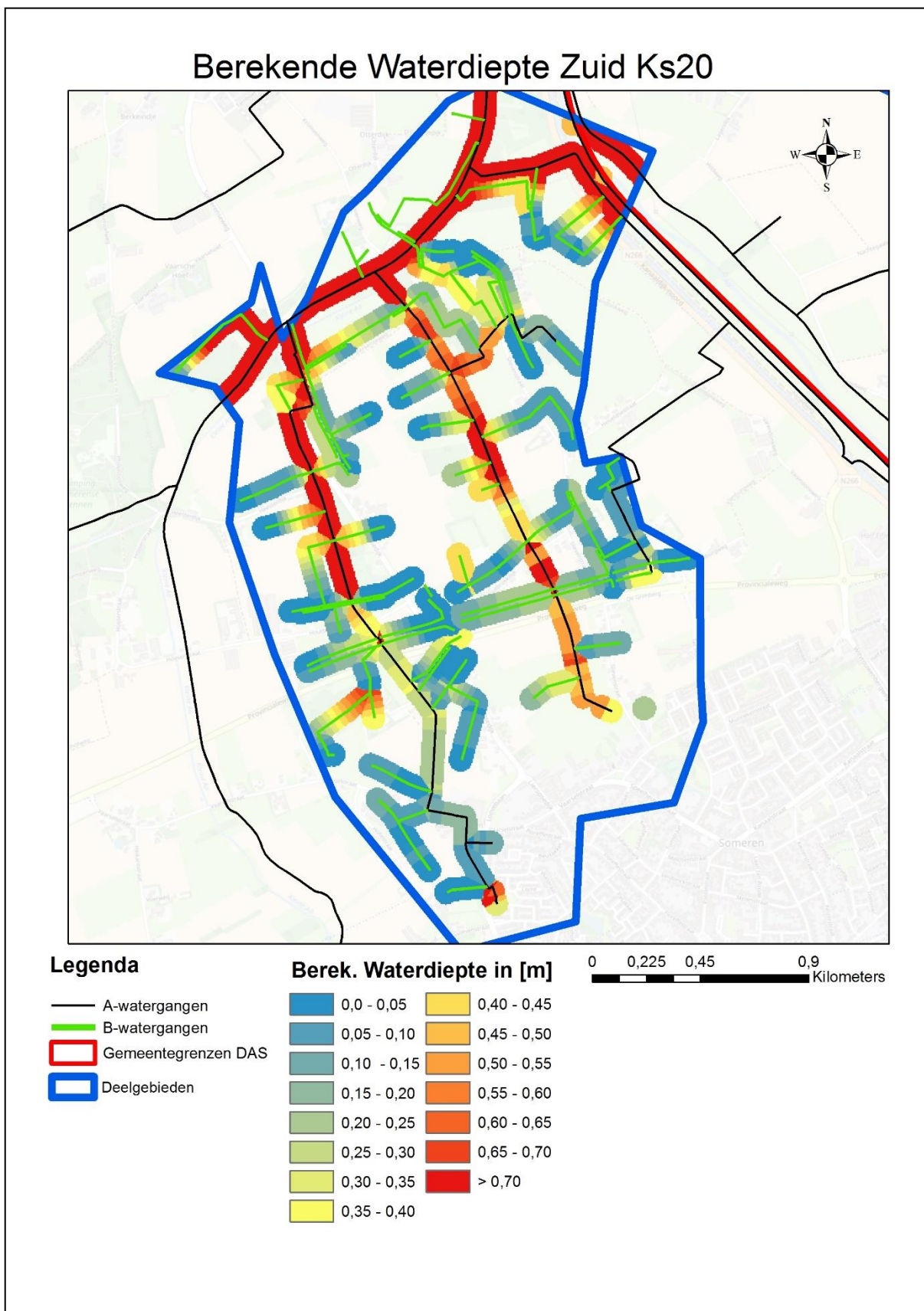


Berekende Inundaties álle modellen Deelgebied Midden

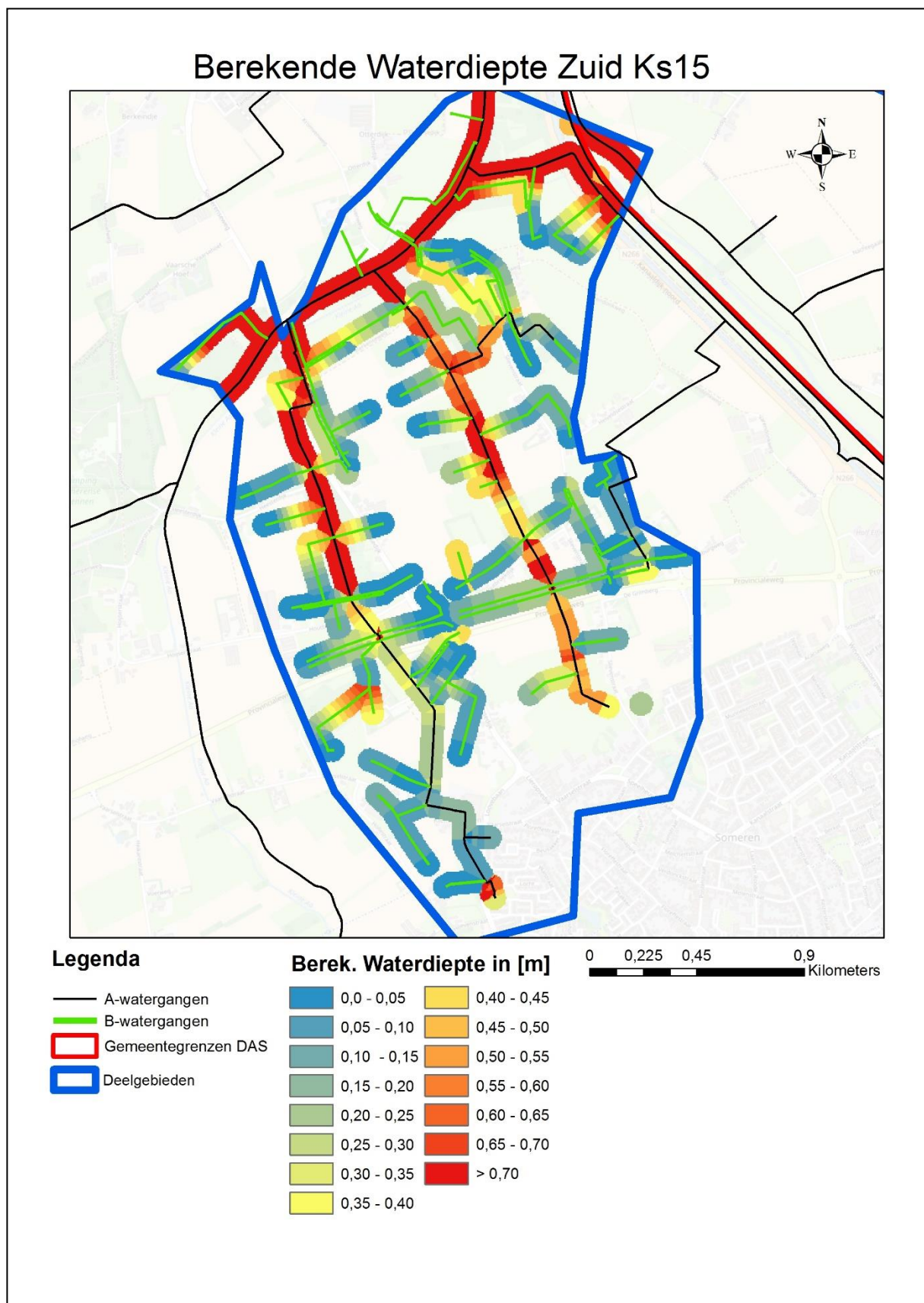


BIJLAGE 5 – BEREKENDE WATERDIEPTEKAARTEN ZUID

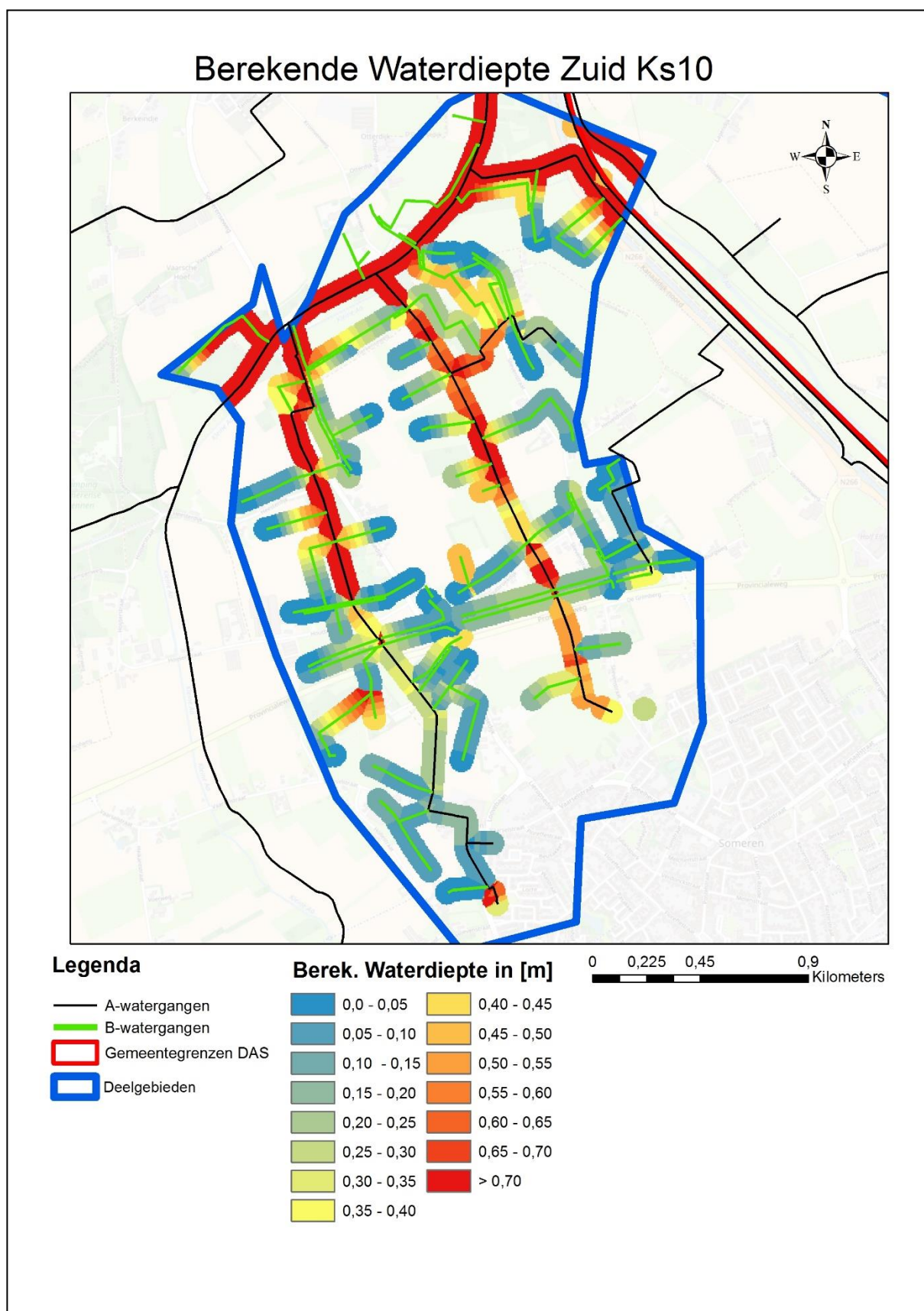
Berekende Waterdiepte Zuid Ks20



Berekende Waterdiepte Zuid Ks15

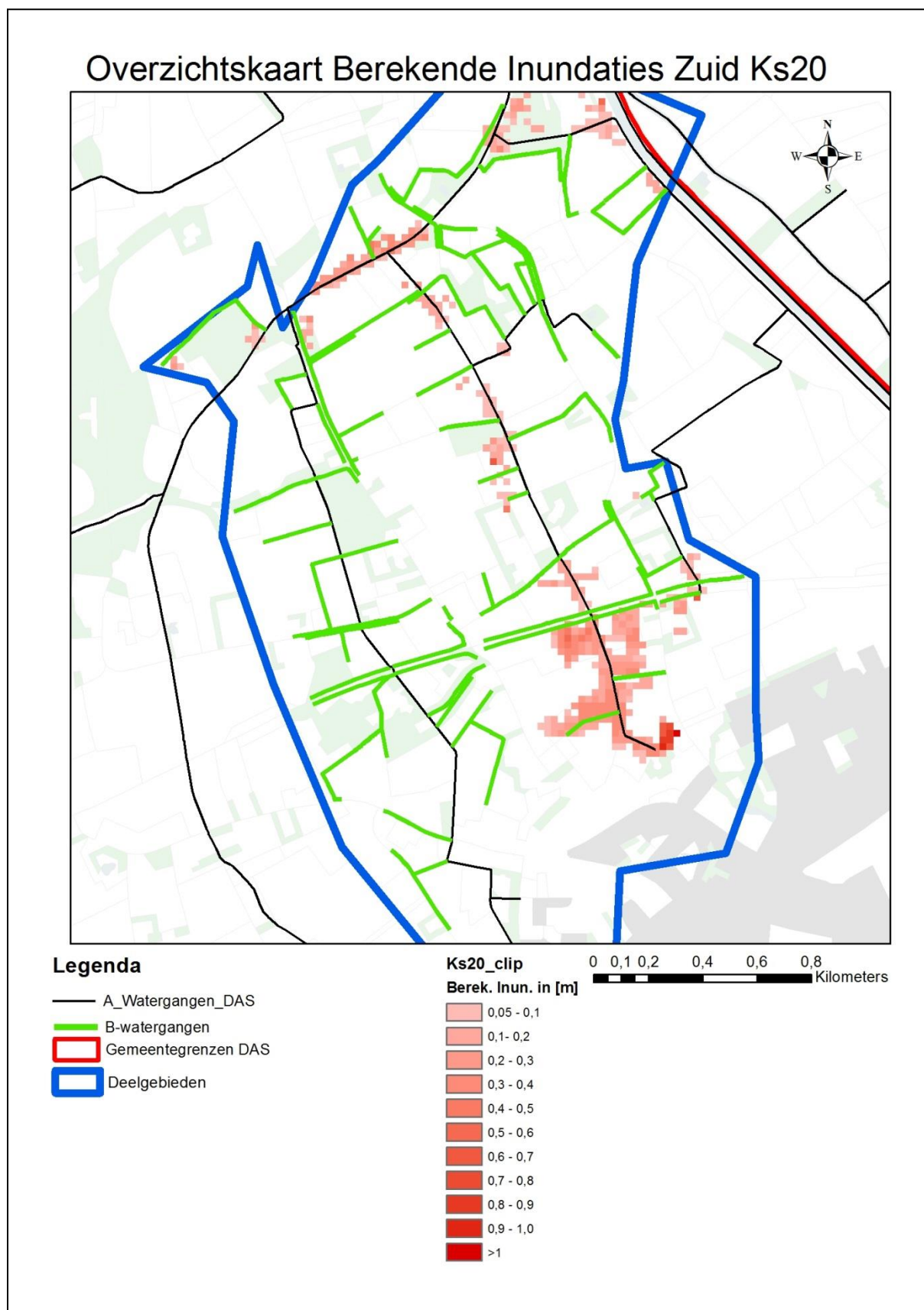


Berekende Waterdiepte Zuid Ks10

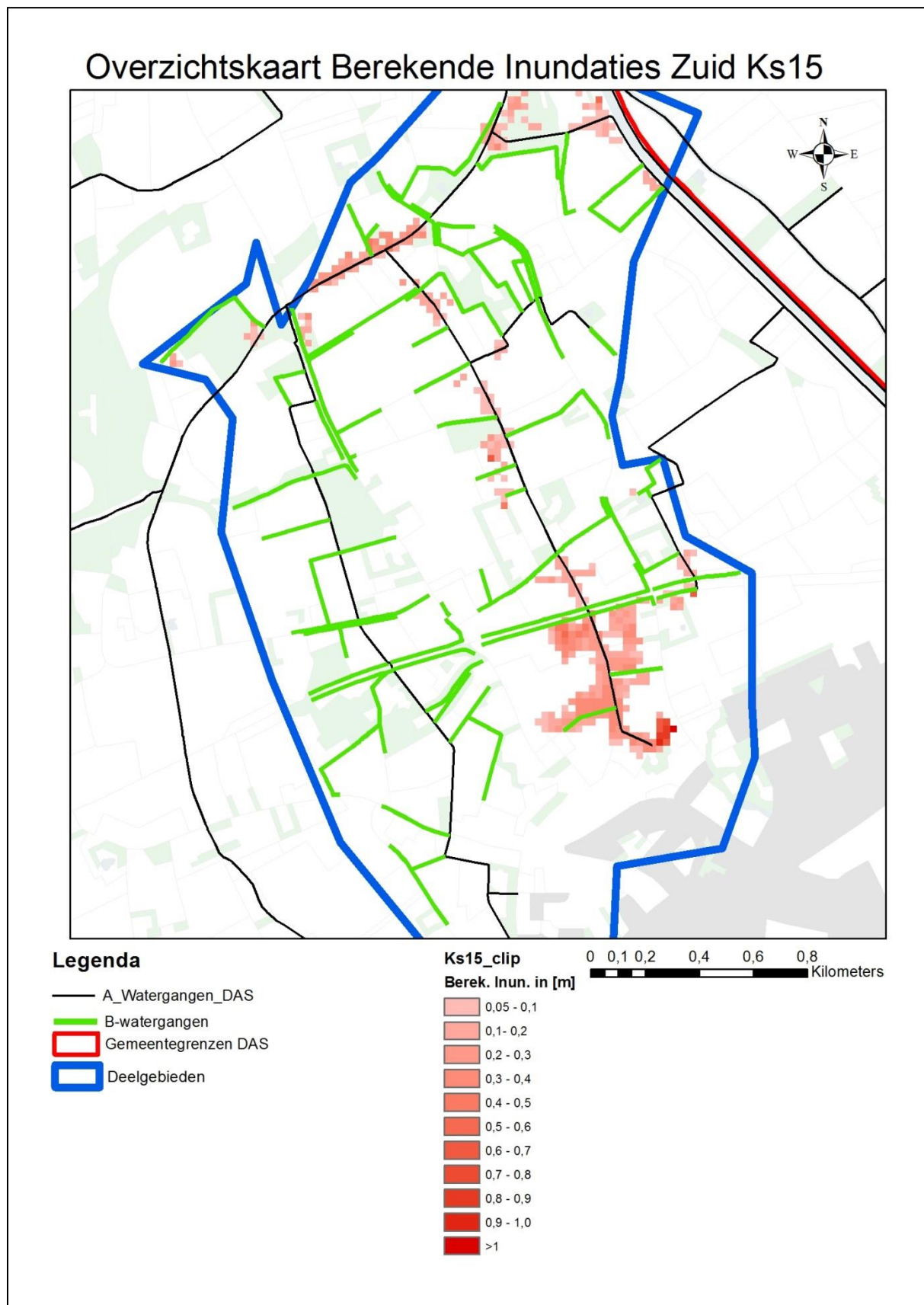


BIJLAGE 6 – BEREKENDE INUNDATIEKAARTEN ZUID

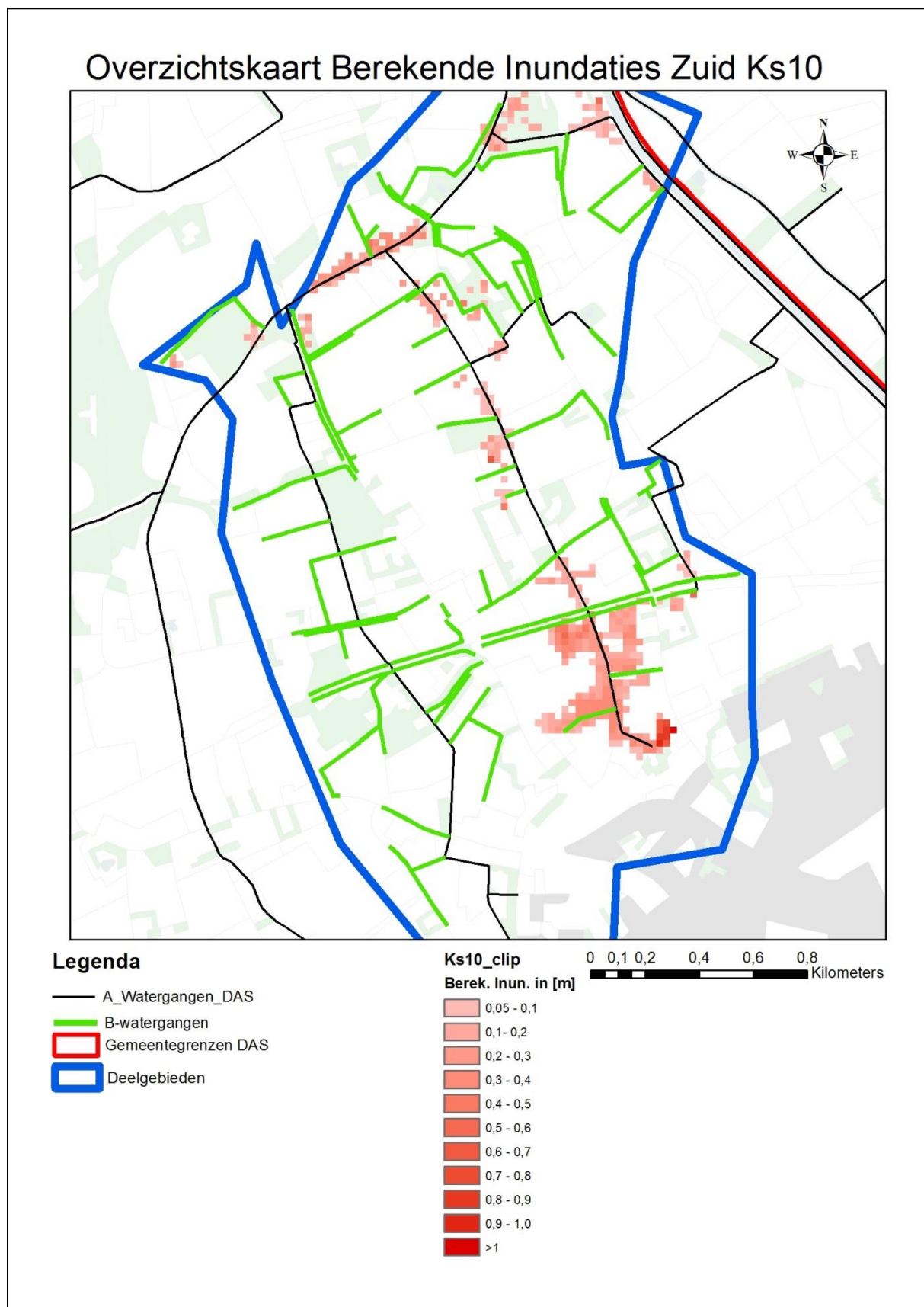
Berekende Inundaties Ks20 zuidelijk deelgebied



Berekende Inundaties Ks15 zuidelijk deelgebied



Berekende Inundaties Ks10 zuidelijk deelgebied



BIJLAGE 7 – HET WAGENINGENMODEL

Ontstaan

Het Wageningenmodel is een neerslag afvoer model wat oorspronkelijk is ontwikkeld voor studenten van de Wageningen universiteit gedurende veldwerk rondom de Hupselse Beek. De studenten werd er eerste instantie mee geleerd om uit te rekenen wat was gemeten aan afvoer door het juist instellen van de parameters in het model: bij welke parameter hoort de beste fit tussen de gemeten afvoer en de berekende afvoer. De Wageningen universiteit heeft toentertijd zelfs grond aangekocht om de ervoor te zorgen dat buitenstaanders niet bij de meetopstellingen konden komen. Het Wageningenmodel bleek zo'n succes dat het niet alleen voor onderwijs van de studenten van Wageningen werd gebruikt maar ook voor onderzoeksprojecten in Nederland en derdewereldlanden.

Soorten modellen

Er bestaan in de grondslag twee soorten modellen die neerslag afvoer schematiseren: 'Lumped-modellen' en gedetailleerde modellen. Met Lumped-modellen (zoals het Wageningenmodel) kan heel snel worden gerekend omdat er weinig berekeningen nodig zijn. Bij een Lumped model beschouw je het hele model namelijk als één gebied waarmee wordt gewerkt met een ruimtelijk gemiddelde als een soort bakjesmodel. Daarbij zijn er snelle afvoerbakjes en langzame afvoerbakjes. De snelle bestaan bijvoorbeeld uit 'runoff' en afvoer door drains. De langzame bestaan bijvoorbeeld uit het onverzadigde grondwater en capillaire opstijging.

Met gedetailleerde modellen worden veel parameters aan ruimtelijke cellen toegekend. Zo kan een gebied worden opgesplitst in cellen van 1 meter bij 1 meter. Per cel moeten dan alle berekeningen en iteraties worden herhaald wat veel tijd kost.

Motivatie keuze

Waterschap Aa en Maas heeft berekeningen uitgevoerd en situaties nagebootst met zowel Lumped- als gedetailleerde modellen. Na vergelijking van de resultaten bleek er weinig verschil te zitten in de uitkomsten van de Lumped- en gedetailleerde modellen. Omdat Lumped-modellen veel sneller meerjarige meetgegevens, daarbij denkende aan minuten tot enkele uren, kan doorrekenen dat gedetailleerde modellen, daarbij denkende aan een dag of zelfs dagen, is het voor het waterschap efficiënter om het Wageningen Lumped-model te kiezen voor de berekeningen.

Een goed voorbeeld is het doorrekenen van naderende extreme neerslagsituaties. Op basis van de uitkomsten van de vlotte berekeningen met het Wageningenmodel kunnen er bepaalde wateroverlast beperkende beslissingen worden genomen. Omdat het rekenen met een gedetailleerd model veel tijd in beslag neemt zou het zo kunnen zijn dat het model nog aan het rekenen is terwijl de extreme neerslag situatie al in volle gang is en daardoor de berekende waarden te laat beschikbaar zijn om voortijdig de juiste wateroverlast beperkende handelingen te kunnen uitvoeren.

(Bron: Interview met Jos Moorman, Hydroloog en specialist neerslag afvoermodellen, Waterschap Aa en Maas)

