

Wateroverlast in stedelijk gebied ten gevolge van extreme neerslag

Een quickscan voor de intrinsieke gevoeligheid voor
wateroverlast

Bachelor scriptie Aarde en economie
Karel van Hussen
Juli / augustus 2009

Begeleiding:
Dr. E. Koomen
H. de Moel MSc

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
1. Inleiding	4
1.1 Aanleiding	4
1.2 Doelstelling	4
1.3 Onderzoeksgebied	5
2. Wateroverlast	7
3. Methodiek	11
3.1 Fase 1. Bare earth scan	12
3.2 Fase 2. Drainagegebieden	16
3.3 Fase 3. Gevoeligheid voor wateroverlast binnen drainagegebied	17
3.4 Gebruikte data	21
4. Resultaten	22
4.1 Fase 1. Bare earth scan	22
4.2 Fase 2. Drainagegebieden	26
4.3 Fase 3. Gevoeligheid voor wateroverlast binnen drainagegebied	28
4.4 Eindresultaat en Validatie	33
5. Discussie	35
5.1. Conceptuele methodiek	35
5.2. Toepassing van de conceptuele methodiek	36
5.3. Korte externe review	36
5.4. Alternatieve methodieken	37
6. Conclusie	39
7. Referenties	41
8. Bijlagen	42

1. Inleiding

Het onderwerp van dit bachelorscriptie onderzoek is wateroverlast. Het onderzoek is afgebakend door te richten op wateroverlast door extreme neerslag in stedelijk gebied. De scriptie is geschreven ter afsluiting van de opleiding Aarde en economie. Het gehele traject van deze bachelorscriptie is twee maanden, begeleid door dr. Eric Koomen en Hans de Moel MSc.

1.1 Aanleiding

De aanleiding van het onderzoek zijn uitkomsten beschreven in het rapport Ruimtelijke klimaatscan, Methodiek ontwikkeling, case Zuid-Holland. In dit onderzoek is een klimaatscan ontwikkeld die als hoofddoel heeft om de keuzes in ruimtelijke adaptatiemaatregelen te onderbouwen. Het resultaat van dat onderzoek bestond uit robuustheidskaarten en discussiekaarten. De robuustheidskaarten gaven de robuustheid van huidig grondgebruik aan en de discussiekaarten gaven inzicht in discussie over maatregelen voor klimaatbestendig landgebruik. In het rapport kan de robuustheid m.b.t. wateroverlast in stedelijk gebied niet in kaart gebracht worden door een tekort aan data. Desalniettemin is het wel zeer relevant om een stap in de richting te zetten, *“aangezien in de klimaatwijzer van de Provincie Zuid-Holland (december 2008) een toename van wateroverlast in het stedelijk gebied verwacht wordt (water op straat en overstromend riool)”* (Bergh et al. 2009). Gegevens over schade door wateroverlast laten zien dat deze aanzienlijk kan zijn: 0.5 miljard euro (Smits et al. 2004).

De kanttkening die geplaatst moet worden is dat deze schade niet enkel voor stedelijk gebied geldig is. In Kragt et al. (2006) wordt bevestigd dat er over stedelijke wateroverlast nog weinig bekend is: *“Stedelijke wateroverlast door inundatie globaal in beeld en overlap met stedelijke wateropgave nog onbekend”* en *“van de NBW-stedelijke wateropgave (wateroverlast in de stad vanuit oppervlaktewater, riool en grondwater) bestaat nog geen landelijk financieel beeld.”* (Kragt et al. 2006). Het laten zien waar klimaatverandering gevolg kan hebben binnen het Nederlandse stedelijk gebied is daarom relevant, en het onderwerp van deze bachelorscriptie.

1.2 Doelstelling

Het stedelijk gebied is in termen van wateroverlast erg complex. De invloed van de factoren die van invloed zijn op wateroverlast (zie hoofdstuk Wateroverlast) verschillen in stedelijk gebied per locatie. Deze lokale complexiteit van het stedelijk gebied is een van de oorzaken dat er onvoldoende bekend is over wateroverlast in de stad. Een complex hydrologisch stromingsmodel (bijvoorbeeld SOBEK) kan in detail laten zien waar overlast zal optreden. Een model toepassen die dergelijk detail kan laten zien is echter meer werk dan het doen van een eerste verkenning. Voordat er overgegaan wordt op zulke modellen is het dus verstandig om een beeld te hebben van potentiële knelpunten. Daartoe is de hoofddoelstelling van dit onderzoek:

Het ontwikkelen van een methodiek, die gebruikt kan worden als quickscan om gebieden in het stedelijk gebied te identificeren waar het gevaar van wateroverlast ten gevolge van extreme neerslag het grootst is.

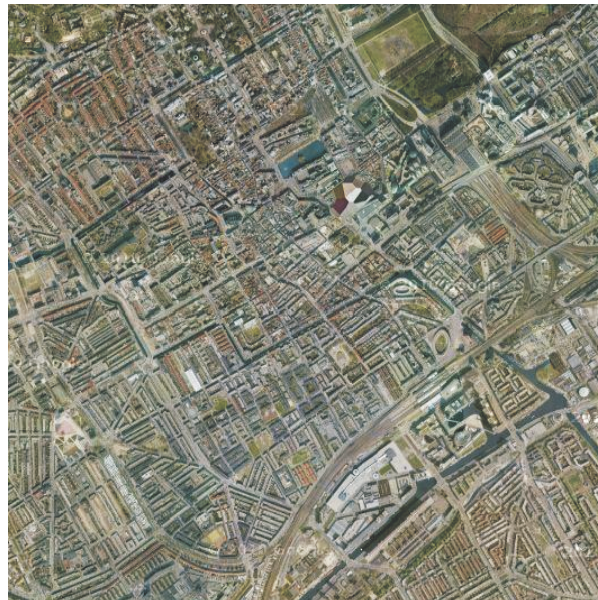
Deze quickscan kan gebruikt worden om de situatie nu, maar ook de situatie in de toekomst onder de loep te nemen. Vervolgens kan er lokaal de keuze worden gemaakt om al dan niet over te gaan op het verder in kaart brengen van de risico's, of het wel of niet nemen van maatregelen. Voordat de quickscan opgezet wordt is er op het gebied van wateroverlast voorkennis nodig. Zodoende zijn de volgende deelvragen geformuleerd:

1. *Wat voor soorten en oorzaken van wateroverlast zijn er te onderscheiden?*
2. *Wat zijn de mogelijkheden voor het in een GIS-omgeving bepalen en in kaart brengen van wateroverlast?*
3. *Is de ontwikkelde quickscan een betrouwbare en toepasbare methodiek om gevoeligheid van wateroverlast te meten?*

1.3 Onderzoeksgebied

Voor het ontwikkelen van de methodiek zal er worden toegespitst op een specifiek stedelijk gebied, namelijk het centrum van Den Haag, figuur 1.1. Dit biedt de mogelijkheid om de resultaten te proberen te valideren op basis van overlast in het verleden. De keuze van het onderzoeksgebied is gebaseerd op de 'voorwaarden' dat er voor het gebied geldt dat:

1. het in Nederland ligt;
2. stedelijk is;
3. er voldoende data beschikbaar is;
4. er validatie mogelijk is door een recent verleden van wateroverlast door piekneerslag.



Figuur 1.1: Het onderzoeksgebied (maps.google.nl)

Voor studiedoeleinden was de aanwezige data in het gebied beschikbaar. In augustus 2006 is er wateroverlast geweest, waar de regio 110 meldingen van wateroverlast binnen kreeg (HRH 2006). In de aanloop van het onderzoek was er ook wateroverlast

in Den Haag, zie hiervoor figuur 1.2. In het licht van bovenstaande is ervoor gekozen om het centrum van Den Haag te gebruiken. Het is een relatief klein gebied, vanwege de reken capaciteit.

Di 7 juli 2009. Het laatste nieuws het eerst op nu.nl  rss

Overlast door noodweer in Nederland

Uitgegeven: 7 juli 2009 11:32
Laatst gewijzigd: 7 juli 2009 13:16

DEN HAAG - Forse regenbuien in Den Haag en omstreken hebben dinsdagochtend voor overlast gezorgd.



[Wateroverlast in Nederland](#) [slideshow](#)

Door het overvloedig neerdalende water kwam in Den Haag het stucwerk van een balkon naar beneden, aldus een woordvoerder van de brandweer Haaglanden.

In sommige straten stond het water 15 cm hoog. In Naaldwijk liep een bedrijf gedeeltelijk onder. De buien begonnen rond half tien, anderhalf uur later was het weer redelijk droog.

Figuur 1.2: Overlast door noodweer in Den Haag. (www.nu.nl)

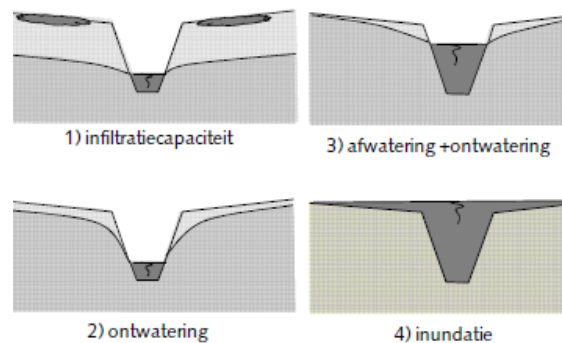
2. Wateroverlast

In de literatuur zijn verschillende interpretaties van de term wateroverlast te vinden. Dit varieert van een algemene visie als 'schade door water' tot een precieze categorisering. Het onderscheid wordt gemaakt door verschillende oorzaken, duur en soorten schade van de wateroverlast. De definities die gehanteerd worden omvatten vaak dat een grondwaterpeil de maaiveldhoogte overschrijdt. Een kanttekening die daarbij geplaatst moet worden is dat er ook overlast kan optreden, als het grondwater nog onder het maaiveld ligt. Dit kan zijn in de vorm van grondwater dat schade berokkent aan planten (door verdrinking van de wortels). Het kan ook voorkomen dat er wateroverlast optreedt door oppervlaktewater dat het grondwater niet kan bereiken als gevolg van bijvoorbeeld te lage infiltratiecapaciteit. Het uitgangspunt is natuurlijk dat er schade of overlast optreedt, anders is er geen overlast.

Types wateroverlast

Hoes (2007) onderscheidt vier oorzaken van wateroverlast (zie figuur 2.1):

1. Een te geringe infiltratiecapaciteit. Er is water aan het maaiveld dat het grondwater niet kan bereiken en op het maaiveld ophoopt;
2. Een beperkte ontwatering. Er is water in de bodem dat niet de ontwatering kan bereiken, waardoor het grondwaterpeil stijgt;
3. Een beperkte ontwatering en afwatering. Er wordt onvoldoende ontwaterd, waardoor er water ophoopt in de bodem en het wateroppervlak;
4. Inundatie van maaiveld.



Figuur 2.1: Verschillende types van wateroverlast (Hoes 2007)

Oorzaken één en twee worden voornamelijk veroorzaakt door de mogelijkheden tot infiltratie. Als de bodem en/of landgebruik slecht doorlatend is, dan zal dat optreden. De derde en vierde oorzaken van wateroverlast zijn de soorten overlast waar een Waterschap normaliter gericht iets tegen doet. Zo zijn er de NBW normen, die voorschrijven dat verschillende soorten gebieden (stedelijk, grasland, akkerbouw etc.) een keer in de zoveel jaar mogen inunderen.

Voor stedelijk gebied hoeven niet alle types wateroverlast een risico vormen. Het grote verschil met ruraal gebied is dat stedelijk gebied veel meer versteend is en waarschijnlijk gemiddeld minder oppervlaktewater heeft. Zo is te verwachten dat de infiltratiecapaciteit een significant grotere rol speelt in het stedelijke versus rurale gebied.

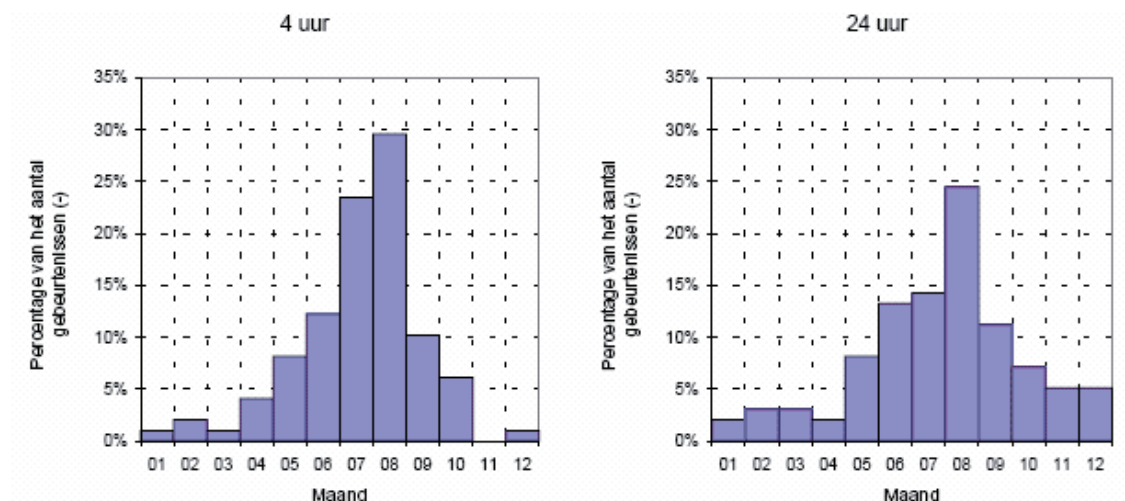
Factoren van wateroverlast

De factoren die meespelen bij het optreden van wateroverlast zijn redelijk breed. In het kader van dit onderzoek hebben de volgende factoren invloed op het optreden van overlast (Hoes 2007):

- Neerslag
- Landgebruik en bodemkarakteristieken
- Geomorfologie
- Afvoer en retentie

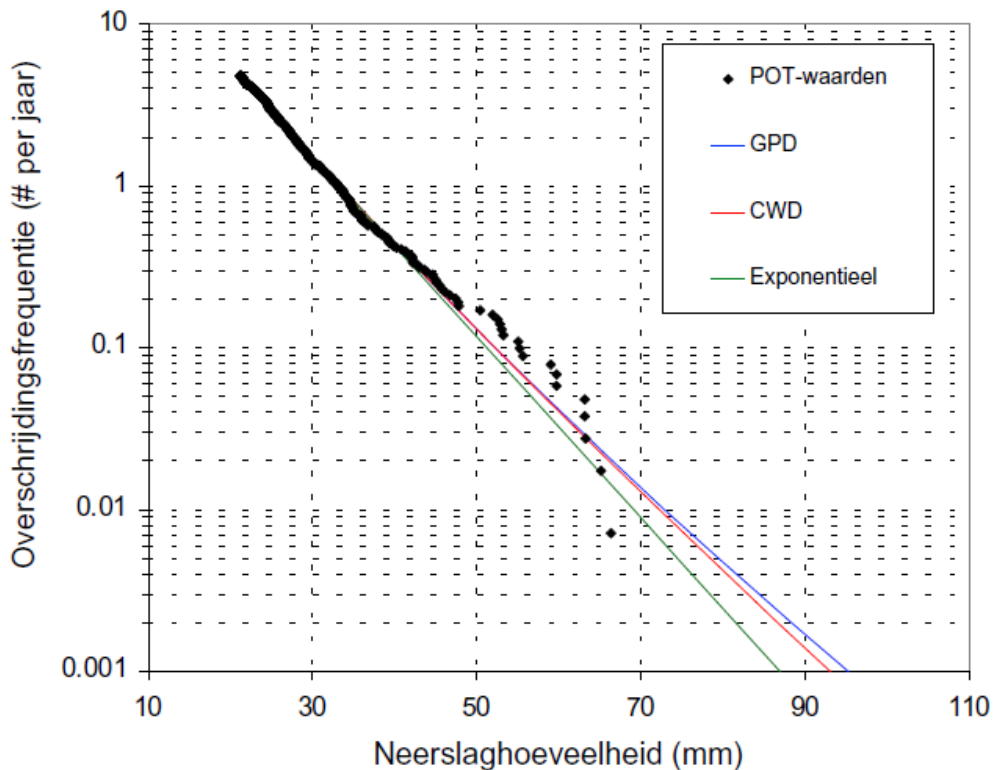
Neerslag

De neerslag die valt toetst in feite of een watersysteem robuust genoeg is. De verschillen in neerslag die een gebied kent zijn de aanleiding van het optreden van de wateroverlast. De kansverdeling van verschillen hoeveelheden neerslag en hun moment in het jaar worden verduidelijkt in Smits et al. (2004). Uit figuur 2.2 blijkt dat extreme neerslag voornamelijk voorkomt in de zomermaanden. Bij kortstondige extreme neerslag komt dit nog duidelijker naar voren.



Figuur 2.2: Seizoensverdeling neerslag (Smits et al. 2004)

Figuur 2.3 laat een verdeling zien tussen de frequentie van het voorkomen van een regenbui en de hoeveel mm die valt. Onder klimaatverandering is te verwachten dat dit alleen nog maar meer wordt. Zo zal de dagsom aan neerslag die eens in de tien jaar valt, met 1990 als referentiejaar, afhankelijk van het scenario 5 - 27% stijgen (KNMI, 2006). In de bijlage staat een gespecificeerd overzicht van de hoeveelheid neerslag die nu en in de toekomst verwacht wordt.



Figuur 2.3: Neerslaghoeveelheid en frequentie (Smits et al. 2004)

Landgebruik en bodemkarakteristieken

Onder de noemer landgebruik en bodemkarakteristieken zijn verschillende subfactoren te scharen. Centraal staat de infiltratiecapaciteit van de bodem. Het landgebruik heeft te maken met de hoeveelheid versterking, en dus de hoeveelheid afstroming. Met de hoeveelheid versterking van het stedelijke gebied in het achterhoofd, kan dit significante effecten hebben. Maar ook het bodemtype dat eronder ligt heeft invloed, een kleigrond is bijvoorbeeld minder permeabel dan een zandgrond. De inrichting van het landschap kan zo op lokale schaal effect hebben.

Geomorfologie

De geomorfologie is een vanzelfsprekende factor in de oorzaken van wateroverlast. Het water stroomt naar het laagste punt, via de meest efficiënte route. Welke route het water neemt en waar het precies heen stroomt hangt af van de geomorfologie. Door gebruik van remote sensing is het mogelijk om met een vliegtuig een zeer precies beeld te krijgen van de hoogte in NAP van een gebied. Voor Nederland zijn deze gegevens beschikbaar. Omdat de satelliet wat betreft hoogte in NAP geen verschillen ziet tussen bijvoorbeeld objecten of natuurlijke vormen van het landschap is er niet een direct duidelijk beeld van het natuurlijk maaiveld te krijgen. Wanneer dit natuurlijke maaiveld in kaart gebracht is, is het mogelijk om het effect te bepalen van de geomorfologie op de afstromingspatronen. Het in kaart brengen van het natuurlijke maaiveld is mogelijk door middel van een zogenaamde 'bare earth scan'. De methodiek daarachter wordt verder toegelicht in het hoofdstuk Methodiek.

Afvoer en retentie

De hoeveelheid schade en overlast die optreedt door wateroverlast tijdens een zekere hoeveelheid neerslag hangt samen met de adaptatieve capaciteit van het gebied. Met andere woorden, hoeveel water kan het gebied bergen (aan de oppervlakte of eronder) en hoe snel kan het afgevoerd worden? Deze factor is variabel, aangezien de hoeveelheid beschikbare bergcapaciteit afhangt van hoeveel ruimte die er nog 'over' is voor het te bergen water. Op deze manier kan een grote piekbui na droogte minder schade veroorzaken dan een kleinere piekbui na een periode van lichte neerslag.

Toetsing van risico op wateroverlast

Voor bijvoorbeeld waterschappen is het belangrijk te weten wat voor een risico een gebied loopt. Voor afgesloten polders is het mogelijk om gebruik te maken van hydrodynamische modellen. Deze modellen zijn echter zeer arbeidsintensief en zo gedetailleerd dat bijvoorbeeld de breedte en diepte van alle slootjes bekend moet zijn. Het is ook mogelijk om een globaler beeld te schetsen, zoals het Xplorelab heeft gedaan (Bergh et al. 2009). Omdat daar gebruik gemaakt is van de bodemkaart van Nederland, is er voor stedelijk gebied geen risico berekend. Dit biedt voor stedelijk gebied dus nog niet echt uitkomst.

3. Methodiek

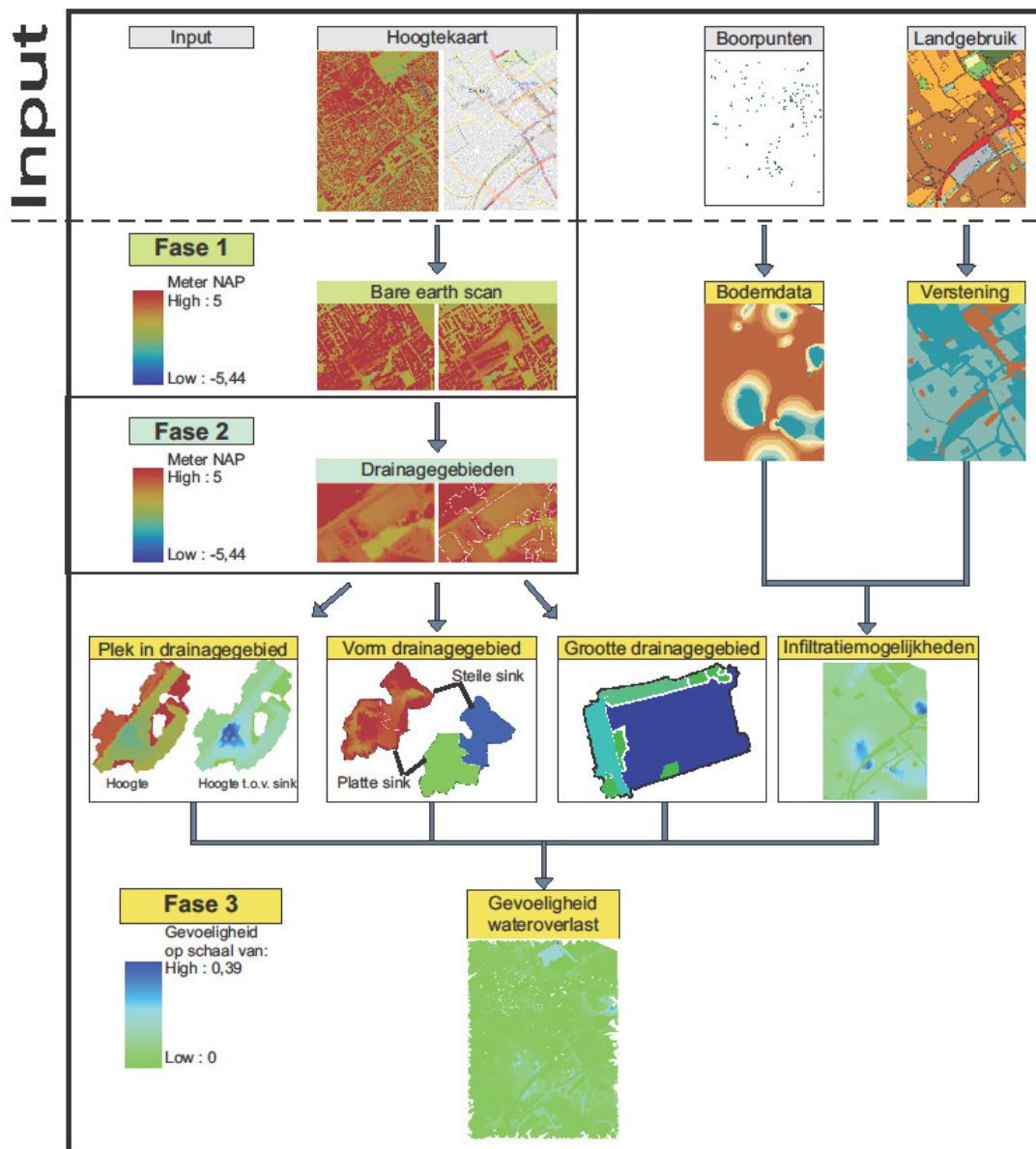
Het uitgangspunt van de quickscan is dat er snel een kwalitatief beeld komt van de intrinsieke gevoeligheid van een gebied voor wateroverlast door extreme neerslag. Normaliter worden zeer gedetailleerde en arbeidsintensieve modellen gebruikt om de gevoeligheid van een gebied te bepalen. Om er juist voor te zorgen dat er snel een algemeen beeld gecreëerd kan worden van de gevoeligheid van een gebied is de aanpak kwalitatief van aard. Daarom worden niet alle in hoofdstuk twee genoemde 'factoren van wateroverlast' (Hoes 2007) meegenomen. Als gevolg daarvan wordt van de genoemde 'types van wateroverlast' (Hoes 2007) alleen type 1, infiltratiecapaciteit, meegenomen.

De factor 'geomorfologie' is samen met de factor 'landgebruik en bodemkarakteristieken' leidend in de quickscan. Het geomorfologische aspect van de quickscan richt zich erop op basis van het manipuleren van een hoogtekartaart (zie 3.1 Fase 1. bare earth scan) verschillende 'drainagegebieden' te identificeren (zie 3.2 Fase 2. Drainagegebieden). Dit is een gebied die tot stand komt door al het land dat afstroomt naar één bepaald punt te groeperen. Daarvan worden de gevoeligheidsaspecten voor wateroverlast vastgesteld. De afvoer van water via het riool of het oppervlaktewater kunnen die drainagegebieden met elkaar verbinden (zie voor toelichting Discussie, 5.1 conceptuele methodiek). Zodoende wordt alleen de intrinsieke gevoeligheid getoetst, de riolering en het oppervlaktewatersysteem worden niet meegenomen. Dit is gelijk de grootste kanttekening bij de quickscan.

De factor 'neerslag' wordt niet meegenomen in de quickscan. Het voorkomen van extreme neerslag is echter wel van belang voor het optreden van wateroverlast. Maar de factor neerslag hoeft alleen meegenomen te worden als de vraag is wanneer (bij hoeveel mm neerslag) er wateroverlast optreedt. De kwalitatieve aanpak van de quickscan richt zich op waar er (als eerst) wateroverlast optreedt. Er mag bij het bekijken van de resultaten dus aangenomen worden dat overal in het gebied er dezelfde hoeveelheid neerslag valt. Een tweede kanttekening bij de quickscan is inherent verbonden aan deze benadering. Het resultaat, de gevoeligheid van de drainagegebieden, is relatief. Een hoge gevoeligheid betekent niet dat een gebied te gevoelig is. Het gaat immers om de relatieve gevoeligheid ten opzichte van de andere drainagegebieden.

Wat betreft opbouw bestaat de methodiek uit 3 fases en staat in figuur 3.1 schematisch in een flowchart afgebeeld.

- De 1^e fase verwijdert alle ongewenste objecten uit de hoogtekartaart.
- De 2^e fase identificeert de drainagegebieden. Deze zijn input om in de 3^e fase parameters te vormen voor kwalitatieve risicobepaling per gridcel.
- De 3^e fase voegt alle factoren samen. Zo wordt de gevoeligheid voor wateroverlast per gridcel berekend.



Figuur 3.1: Flowchart van de methodiek van de quickscan voor wateroverlast in stedelijk gebied als gevolg van extreme neerslag. Dit figuur biedt een totaaloverzicht van de te zetten stappen in de quickscan.

3.1 Fase 1. Bare earth scan

Doelstelling

Algemeen betekent een bare earth scan het aanpassen van een hoogtekaart (Actueel Hoogtebestand Nederland/Digital Elevation Model), zodat daar de 'bare earth', het maaiveld, uit komt. De doelstelling van het uitvoeren van de bare earth scan is in dit onderzoek het prepareren van een hoogtekaart, zodat er een gedegen drainagegebied analyse uitgevoerd kan worden. Dit betekent dat er een hoogtekaart moet komen waaruit de volgende objecten weg zijn gefilterd:

- Bomen
- Auto's
- Viaducten en bruggen

- Ruis (fouten, zoals vogels)
- Overige objecten op kleine schaal (lantaarnpalen, mensen etc.)

Bebouwing en kunstmatige geomorfologie zoals dijken dienen niet weg gefilterd te worden. Deze zaken bieden voor water namelijk een barrière waar het niet langs kan stromen en zijn dus wel relevant voor de stroming. Deze barrières hebben naast gevolgen voor stroomrichting ook effect op de ruimte die het water geboden wordt. De relevantie is dat een overschot van water op verschillende locaties veel meer of minder overlast kan veroorzaken. Een voorbeeld is dat er minder overlast ervaren wordt door een ondiepe plas van 15 mm water op een oppervlak van 40m² dan een diepere plas van 60 mm water op een oppervlak van 10m².

Conceptuele methodiek

Bestaande technieken

In Sithole and Vosselman (2004) worden acht verschillende filter algoritmen vergeleken op hun prestaties. Voorop staat dat in eenvoudig ruraal gebied de algoritmen allemaal goed werken. De problemen spelen hoofdzakelijk in complex stedelijk gebied en begroeid gebied met sterk variërende hoogteligging. In dit onderzoek wordt een zelf ontwikkelde versie, geïnspireerd op de methodiek van Wack en Wimmer (2002), gebruikt. De keuze daarvoor komt voort uit de tijd die gaat zitten in het uitvoeren van de bare earth scan. Dit is op te splitsen in beschikbare tijd die een quickscan principieel mag innemen en tijd in het traject van het onderzoek. Tevens is in de quickscan de bare earth scan minder gebonden aan het verwijderen van alle objecten; het doel is om een maaiveldkaart met waterbarrières uit de bare earth scan te halen.

Gehanteerde techniek

De bare earth scan is opgedeeld in twee onderdelen: 'Filtering low outliers' en 'filtering unwanted objects'. In het eerste onderdeel is de doelstelling om low outliers te verwijderen. Dit zijn abnormaal lage punten, veroorzaakt door meetfouten. Dit wordt gedaan door het laagste punt per filtergridcel te selecteren en uit de puntdata te verwijderen. Een filtergridcel is een cel die een aantal factoren groter is dan de 1x1 raster waarmee gewerkt wordt. De filtergridcel wordt gebruikt om binnen de verzameling van data een minimum waarde te selecteren, die als potentieel maaiveld fungeert waarmee de geobserveerde hoogteligging wordt vergeleken.

In het tweede onderdeel is het de doelstelling om ongewenste objecten uit de AHN te filteren. Het onderdeel start met een interpolatie van het resultaat van onderdeel 1. Deze hoogtekaart dient als basis voor dit onderdeel. Het onderdeel is opgedeeld in 3 rondes A, B en C. Tijdens ronde A worden locaties met bebouwing geïdentificeerd en worden de hoogtewaardes gelijk gesteld aan de originele AHN. In ronde B en C wordt een maaiveldkaart gecreëerd waarin alle ongewenste objecten weg zijn gefilterd.

Van de basiskaart worden opnieuw puntdata van gemaakt, om puntdata te creëren waarin elk 1x1 raster (in meters) een waarde heeft. Vervolgens wordt een kaart gemaakt waarin voor elke filtergridcel de minimum waarde wordt geselecteerd (dus voor bijvoorbeeld een 6x6 filtergridcel wordt de laagste van maximaal 36 waardes genomen). Deze minimum waardes worden vergeleken met de geobserveerde hoogteligging en verwijderd als zij buiten een in te stellen threshold vallen (bijvoorbeeld 1 meter binnen de minimum value). De gaten die veroorzaakt worden door deze filter worden opgevuld door interpolatie.

In ronde A wordt deze techniek toegepast om met het resultaat de bebouwing te kunnen identificeren. Deze wordt op basis van de hoogteligging geselecteerd en opzij gezet, om later toegevoegd te worden aan het eindresultaat.

De rondes B en C filteren wederom objecten weg, met als doel een maaiveldkaart te creëren waar met zekerheid de ongewenste objecten uit zijn gefilterd. De methodiek is vergelijkbaar met de techniek zoals hierboven. De startfiltergridcel is echter groter, zodat objecten beter eruit gehaald kunnen worden. Het nadeel van het verliezen van detail in lokale morfologie wordt verholpen door een extra stap. In plaats van een directe vergelijking van het filtergridcel minimum met een 1x1 raster wordt de filtergridcel vergeleken met het minimum van een 3x3 filtergridcel minimum. Waardes buiten de threshold vervallen; met de resterende waardes wordt een soortgelijke vergelijking gemaakt die de 3x3 minima vergelijkt met het 1x1 raster. In bijlage 2 wordt in figuren en tabellen de bare earth scan van dit onderzoek schematisch afgebeeld en toegelicht.

Variabelen en gehanteerde tuning

De startgrootte van de grote filtergridcellen, het percentage voor de dataselectie (filteren low outliers) en de te hanteren thresholds zijn te variëren. Dit heeft gevolgen voor de uitkomst. Met betrekking tot Nederlands stedelijk gebied is er onderscheid te maken in significantie van de variatie ervan.

Groote filtergridcellen

Wanneer het filtergridcel kleiner is dan een stuk dicht vegetatie of een groot gebouw, dan worden deze niet geïdentificeerd als objecten. In de quickscan is het van belang om een maaiveldkaart met waterbarrières te verkrijgen, daarom is het zaak om een balans te vinden tussen welke soort objecten gefilterd worden. Als het initiële raster te groot is, worden belangrijke barrières als huizenrijen en dijken weggehaald en verliest het maaiveld zijn morfologische detail. Anderzijds zijn gebieden met lokale dichte vegetatie zoals geclusterde bomen niet te filteren zonder een filtergridcel van formaat. De locaties waar bomen staan blijken vanwege de preparering van de puntdata door de ontwikkelaars ervan weinig punten te bevatten. Met andere woorden, op plekken waar bomen staan zijn er meer witte vlekken. Daarom wordt er voordat het minimum value filtergrid een interpolatie gedaan. Zodoende is er zekerheid dat de minimum values gekozen zijn op basis van voldoende waardes (en dus de filtergridcellen niet vergroot hoeven te worden).

Om ervoor te zorgen dat waterbarrières als huizenrijen niet verdwijnen is het noodzakelijk om ervoor te zorgen dat er altijd één filtergridcel volledig in de huizenrij valt. In dat specifieke gridcel is de minimum value voldoende hoog om als waterbarrière te fungeren. In theorie moeten de filtergridcellen dus meer dan twee keer zo klein zijn dan de dunste kant van de waterbarrière; bij een huizenrij bijvoorbeeld de afstand van de voor- tot achterkant van een huis.

Trial and error hebben voor de case Den Haag voor ronde A een 6x6 meter filtergridcel opgeleverd als werkbare grootte. Zodoende was bebouwing voldoende zichtbaar terwijl de bomen eruit gehaald waren. Voor de rondes B en C bleken 9x9 en 3x3 meter werkbaar. Ander stedelijk gebied in Nederland zal naar verwachting een soortgelijke grootte nodig hebben, maar dit is natuurlijk afhankelijk van lokale formaten van huizen.

Filteren low outliers

Als de initiële dataselectie te veel 'outliers' verwijdert worden realistische lage waarden weggefilterd. Als er te veel overblijven wordt er in de rasters gefilterd op basis van foutieve lage waarden. In Nederlands stedelijk gebied zijn er geen kleine, diepe depressies die bij de selectie verwijderd zouden worden te verwachten. Het is dus te verwachten dat een filtering waartoe de uitschieters verdwijnen veilig is om te doen. De laagste value in elk filtergridcel wordt verwijderd, dus voor de case Den Haag was dit een filter van één waarde per 9x9 meter.

Thresholds

De threshold bestaat om natuurlijke hellingen in het landschap toe te staan in de bare earth kaart. Nederland is vrij vlak, maar er kunnen toch problemen komen. Verschillen in hoogte aan bijvoorbeeld slootranden, opgehoogde wegen of kunstmatige onregelmatigheid in maaiveld moeten, omdat ze invloed hebben op de stromingsrichtingen van water, wel in de hoogtekaart blijven. Er is gekozen voor een threshold van anderhalve meter voor ronde A. Daarin is het maaiveld onvoldoende gefilterd, maar werd bebouwing zichtbaar. In ronde B en C is een threshold van één meter gehanteerd. Door één meter worden de meeste terrassen en auto's weggehaald en is te verwachten dat de morfologie intact blijft.

3.2 Fase 2. Drainagegebieden

Doelstelling en conceptuele methodiek

In dit onderzoek is de lokale depressie analyse een stap in de richting naar een antwoord op de vraag ‘waar verzamelt zich water?’. Uit fase 1 komt een bruikbare hoogtekaart waarmee uitgezocht kan worden waar de laagste punten liggen. Het doel van deze analyse is om de lage punten te identificeren waar veel water zal accumuleren. De redenering achter de analyse is dat er locaties gezocht worden waarop veel cellen afstromen. Op basis van die locaties die een grote hoeveelheid hoger gelegen gridcellen om zich heen hebben wordt berekend hoeveel gridcellen er naar afstromen. Alle gridcellen die naar hetzelfde eindpunt afstromen vormen samen een drainagegebied. Er kan een zeker minimum gesteld worden aan de grootte van een drainagegebied, om te verzekeren dat enkel de significante drainagegebieden uit de analyse komen. Tevens is er de mogelijkheid om op basis van hoogte NAP een drainagegebied te verwijderen. Op deze wijze kunnen bijvoorbeeld drainagegebieden op daken verwijderd worden. Het resultaat van de analyse is een kaart met daarop de significante drainagegebieden in het gebied.

Variabelen en gehanteerde tuning

Fill variabele

De ‘Fill functie’ zorgt ervoor dat kleine depressies in het gebied gevuld worden. Het doel is om de algemene stroomrichting te bepalen in het gebied. Een hoge waarde vult grote depressies, een lage waarde slechts kleine putten. De hoogtedata bevat voor en ook na fase 1 ongewenste elementen die voor verstoring zorgen. Het is mogelijk dat zonder deze functie het lijkt dat het gebied vele kleine drainagegebieden bevat die in de laatste fase beschouwd worden als robuust. Als de kleine putten echter gevuld worden, kan het resulteren in een groter en dus kwetsbaarder gebied (zie de derde fase voor meer toelichting). De gehanteerde waarde voor de fill functie is 0.15 meter. Dit betekent dat de grens een stap moet zijn van ten minste 15 centimeter.

Formaat drainagegebied en hoogte NAP variabele

Er wordt in de analyse per gridcel bepaald hoeveel andere gridcellen er langs stromen. Al de gridcellen worden getoetst op de hoeveelheid cellen die er langs stromen. Gridcellen waar te weinig langs stroomt worden verwijderd. Deze grens is te variëren en staat op een minimum van 50 vierkante meter. Het is aan te raden deze grens omhoog bij te stellen. Vervolgens wordt er gekeken op welke hoogte NAP de gridcellen liggen. Het kan lijken dat er op een dak genoeg gridcellen zich verzamelen. Water op een dak wordt echter vaak afgevoerd naar het riool of de straat. Door deze selectie wordt er voorkomen dat daken potentieel als risicogebied uit de quickscan komen.

3.3 Fase 3. Gevoeligheid voor wateroverlast binnen drainagegebied

Doelstelling

In de derde fase van de quickscan wordt het risico op wateroverlast kwalitatief benaderd. Het doel is om per gridcel een indicatie te krijgen van dit risico. Managementfactoren zoals het riool worden buiten beschouwing gelaten. Wanneer de afwatering onvoldoende capaciteit heeft en de berging vol zit, is het te verwachten dat overtollig water via het riool op specifieke plekken naar boven komt. De exacte locatie, de hoeveelheden water en op welk moment dit water naar boven komt zijn niet te ondervangen in een quickscan. Dat is de reden dat deze factor buiten beschouwing gelaten en er zodoende alleen de 'intrinsieke gevoeligheid' bepaald wordt.

Conceptuele methodiek

De intrinsieke gevoeligheid komt tot stand aan de hand van de twee hoofdfactoren geomorfologie en infiltratiemogelijkheden. Geomorfologie is onderverdeeld in drie factoren, infiltratiemogelijkheden is één factor en komt voort uit twee subonderdelen.

Geomorfologie

De geomorfologie zorgt voor een verdeling van water op het oppervlak. Een ideale situatie is een gelijke verdeling van water over het gehele gebied, zodat het minimaal of geen overlast veroorzaakt (dit staat natuurlijk los van landgebruik, dat kan zorgen voor verschillende potentiële schades). Wanneer veel water naar een punt stroomt is dat punt en de omgeving gevoelig. Hoe gevoelig de omgeving is hangt ook af van de geomorfologie. Zodoende is de geomorfologie onderverdeeld in de factoren:

1. Grootte drainagegebied;
2. Vorm drainagegebied;
3. Plek in het drainagegebied.

Grootte drainagegebied

Het resultaat van fase 2 zijn de relevante drainagegebieden in het gebied. Het oppervlak van deze drainagegebieden speelt mee in de gevoeligheid. De argumentatie daarachter is dat een drainagepunt waarop relatief veel gridcellen afstromen bedreigd wordt door een relatief grote potentiële hoeveelheid water die daar afstroomt. Zie ook figuur 3.2. De groottes van de drainagegebieden worden geschaald naar 0-1, van klein ongevoelig naar groot gevoelig.

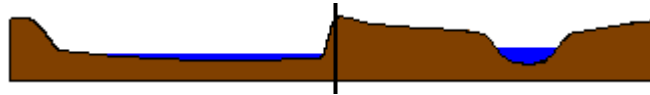


Figuur 3.2: Verschil in gevoeligheid voor wateroverlast op basis van de grootte van het drainagegebied. Het rechter drainagegebied is minder gevoelig dan de linker,

Vorm drainagegebied

Een plas water gaat pas overlast veroorzaken als deze diep genoeg is. Als op straat er overall een paar centimeter water ligt is er geen probleem. Wanneer een drainagepunt echter enkele decimeters lager ligt dan de omgeving kunnen er wel problemen optreden (zie figuur 3.3). Bij het vergelijken van (gemiddelde) hoogtes NAP kan er

het probleem optreden dat gebouwen grote invloed hebben. Een voorbeeld hiervan is dat een straat er uit kan zien als een hele diepe put. Om dit te voorkomen wordt de hoeveelheid gridcellen die wat betreft hoogte NAP binnen 0.5 meter (te variëren parameter) liggen van het drainagepunt vergeleken met de grootte van het gehele drainagegebied. De verschillen worden geschaald naar 0-1, van klein ongevoelig naar groot gevoelig.



Figuur 3.3: Verschil in gevoeligheid voor wateroverlast op basis van de vorm van het drainagegebied. Het linker drainagegebied is minder gevoelig dan de rechter.

Plek in het drainagegebied

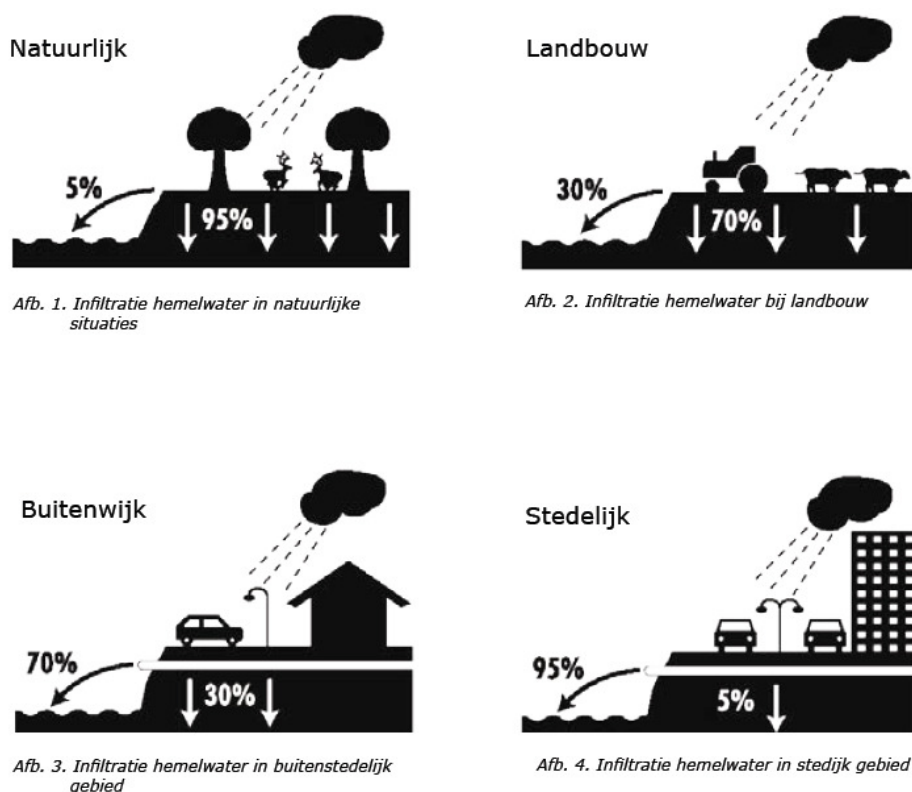
Het drainagepunt is het de plek waar water zich verzamelt en heeft dus van alle plekken in het drainagegebied het hoogste risico. De relatieve afstand tot het drainagepunt bepaalt het risico voor deze factor. De hoogte wordt per gridcel vergeleken met de hoogte van het drainagepunt en geschaald naar 0-1, van weinig verschil gevoelig naar veel verschil ongevoelig.

Infiltratiemogelijkheden

De mogelijkheden tot infiltratie worden bepaald door het bodemtype en de versteningsgraad. De reden dat deze worden gekoppeld tot 1 factor is omdat er één bepaalde hoeveelheid water infiltreert. De parameters van verstening en bodem worden vermenigvuldigd (gevoeligheden versterken elkaar) en geschaald naar 0-1, van veel infiltratie ongevoelig naar weinig infiltratie gevoelig.

Verstening

De parameters voor verstening worden gevormd door de CBS landgebruikkaart. Per soort landgebruik is er een parameter van verstening op basis van het rapport (Pratt 2002). Onderstaande figuur geeft dit aan.



Figuur 3.4: Infiltratiecapaciteit en verstening onder verschillende soorten landgebruik (Pratt 2002)

Bodem

In het onderzoeksgebied zijn hoofdzakelijk zand-, veen- en kleibodems te vinden. Bodemdata laten zien welke bodem waar te vinden is, waarna aan deze bodems een parameter gekoppeld wordt. Zandbodems zijn de minst gevoelige, met veel infiltratiemogelijkheden. Kleibodems zijn het meest gevoelig, met weinig infiltratie. De veenbodems zitten daar tussenin.

Samenvoeging factoren van wateroverlast

Alle hierboven gespecificeerde factoren worden in de laatste stap van de quickscan samengevoegd. Hieruit moet een kaart resulteren die de intrinsieke gevoeligheid voor wateroverlast kwalitatief weergeeft.

Een leidende rol in of een gebied gevoelig is voor wateroverlast zijn de factoren Infiltratiemogelijkheden (I) en Grootte drainagegebied (G). Als een gebied niet gevoelig is wat betreft deze twee factoren, dan is het onwaarschijnlijk dat er

wateroverlast optreedt. De factoren Vorm drainagegebied (V) en Plek in het drainagegebied (P) moeten een onderverdeling maken voor respectievelijk drainagegebieden onderling en in het drainagegebied zelf. Om te waarborgen dat I en G bepalend zijn worden ze na samenvoeging met elkaar gekwadrateerd. Omdat de waardes tussen nul en één in zitten zorgt dit ervoor dat de waardes kleiner worden. Het is echter zo dat kleine waardes sterker worden verkleind dan grote waardes. Dit heeft tot gevolg dat voornamelijk de kleinere waardes niet meer als gevoelig uit de quickscan kunnen komen als de factoren V en P wel groot zijn. Het neveneffect dat alle waardes kleiner worden maakt niet uit, aangezien de resultaten uit de quickscan puur relatief en kwalitatief zijn. De gebruikte formule voor samenvoeging wordt hieronder afgebeeld.

$$GWO = F((0.5(w_1I + w_2G))^2 * 0.5(w_3V + w_4P))$$

- w_x , het gewicht van de bijbehorende factor.
- I, van 0-1: Infiltratiemogelijkheden
- G, van 0-1: Grootte drainagegebied
- V, van 0-1: Vorm drainagegebied
- P, van 0-1: Plek in het drainagegebied per gridcel

De gewichtsfactoren geven de mogelijkheid om in de samenvoeging extra nadruk te leggen op specifieke factoren. Deze stonden bij de samenvoeging van de factoren in het onderzoeksgebied nog op één.

Variabelen en gehanteerde tuning

Variabele vorm put

Bij het verkrijgen van gevoeligheidsparameters voor de vorm van het drainagegebied wordt het drainagepunt met de omgeving vergeleken met het totale drainagegebied. De selectie van deze omgeving gaat door middel van de verticale afstand tot het drainagepunt. De gehanteerde afstand is een halve meter. Dit betekent dat alle punten die binnen een halve meter NAP van het drainagepunt liggen meegenomen worden. Deze waarde kan variëren. De argumentatie is dat een halve meter inundatie als overlast ervaren wordt en dat inundatie daarboven niet erg waarschijnlijk is. Als de waarde te hoog zou zijn worden gridcellen meegenomen die aannemelijk toch niet veel invloed hebben (waardoor er ruis in de uitkomsten ontstaat).

Infiltratiewaardes

De verschillende bodems die in het onderzoeksgebied liggen hebben allen eigen infiltratie-eigenschappen. Omdat de methodiek kwalitatief is wordt er per bodemtype een waarde gehanteerd van nul tot een. Deze waardes zijn gebaseerd op dat voor de aanwezige bodemtypes er onderscheid te maken valt op hoge, normale en lage infiltratiemogelijkheid (zand, veen en klei). De exacte waardes die daarvoor gebruikt kunnen worden zijn te variëren. De gehanteerde waardes zijn in gevoeligheid voor wateroverlast 0.2 (zand), 0.5 (veen) en 0.8 (klei).

Versteningwaardes

De versteningsparameters zijn op basis van een rapport van Pratt (2002) en interpretatie van de landgebruikskaart geformuleerd. Pratt (2002) maakt een onderscheid tussen natuur, landbouw, buitenstedelijk en stedelijk gebied. Respectievelijk horen hierbij wat betreft het percentage water dat kan instromen de

percentages 95%, 70%, 30% en 5%. Die percentages zijn als kwalitatieve factoren gekoppeld aan de landgebruikkaart. Een hoog percentage water dat ka instromen betekent een lagere gevoeligheid. Er zijn kansen voor verbetering wat betreft het afzetten van landgebruik tegenover deze classificering, omdat de gebruikte percentages en de interpretatie landgebruikkaart een voor de quickscan relatief ruwe benadering zijn.

Gewichtsfactoren bij samenvoeging

Voor alle parameters die in het laatste model samengevoegd worden is het mogelijk om een gewicht te hanteren. Dit geeft de gebruiker van het model de mogelijkheid om de invloed van factoren die als belangrijk worden beschouwd groter te maken. De gewichtsfactoren staan nu overal op één. Verdere tuning of onderzoek kan uitwijzen welke waarden de gewichtsfactoren moeten hebben.

3.4 Gebruikte data

In het scriptietraject is bij het ontwikkelen van de methodiek verschillende data gebruikt. De vereiste basis is het Algemeen Hoogtebestand Nederland, deze wordt in de quickscan gemanipuleerd. Het betreft het AHN (AHN-1) van 2003¹. Deze hoogtegegevens worden verkregen door lasermetingen van vliegtuigen of helikopters. De precisie van de data is ongeveer 15 centimeter. De data heeft een dichtheid van zestien tot één vierkante meter. De dichtheid in het onderzoeksgebied is één vierkante meter. Het behandelen van de data kan zorgen voor een onderbreking in deze dichtheid (bijvoorbeeld wateroppervlakken kunnen voor verstoring zorgen). Zie hoofdstuk 3, 3.1 Fase 1 bare earth scan voor de aanpak van dit probleem in het onderzoek.

Voor de infiltratieparameters is er bodem- en landgebruikdata gebruikt. De bodemdata is afkomstig uit de DINOdata databank van TNO. DINO staat voor Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond². De data is afkomstig van de vele boringen die TNO heeft laten zetten in het verleden. De dichtheid van de data varieert en is in het onderzoeksgebied niet volledig toereikend. De boringen hebben kwaliteitsnormen en worden op een standaard manier beschreven³. In de dataset die gebruikt is voor het onderzoek stond voor elke tien cm een beschrijving van de bodemsoort.

De landgebruikdata zijn van het Kadaster afkomstig⁴. Hiervoor is de 'TOP 10 vector - digitaal topografisch bestand' (2005) landgebruikkaart gebruikt. Het bestand heeft gesloten polygonen waarin het landgebruik wordt weergegeven. Het heeft een schaalbereik van 1:5.000-1:25.000.

¹ Zie hiervoor www.ahn.nl

² Zie ook

http://www.tno.nl/groep.cfm?context=markten&content=producten&laag1=188&item_id=253.

³ Zie hiervoor <http://www.dinoloket.nl/nl/about/dataTypes/bor/bor.html>

⁴ Zie ook

http://www.kadaster.nl/index_frames.html?inhoud=/zakelijk/producten/topografische_dienst_top10vect.or.html&navig=/zakelijk/nav_serverside.html%3Fscript%3D1

4. Resultaten

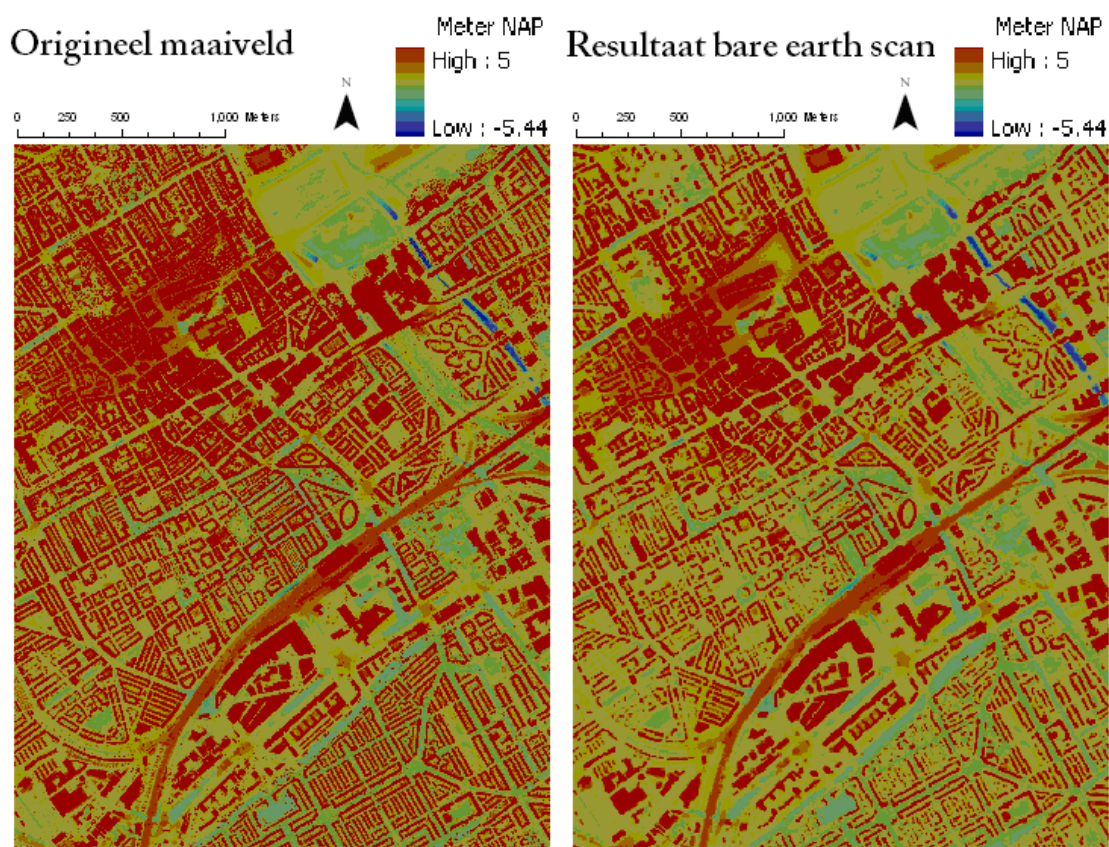
In het onderzoek is een drietal methodieken voor het voorspellen van wateroverlast onderzocht. Een integrale kwantitatieve benadering blijkt niet mogelijk te zijn zonder tijdsintensieve stromingsmodellen. De uitzondering daarop, het analyseren van de capaciteit van de kleine aansluitleidingen, is nog niet mogelijk in verband met het ontbreken van data in de juiste vorm. Nadere toelichting over de alternatieve methodieken is te vinden onder het hoofdstuk Methodieken.

De methodiek die gehanteerd is zal worden toegelicht aan de hand van onderstaand schema. De bare earth scan, de totstandkoming van de drainagegebieden en de vorming van de indicatoren worden toegelicht. Er wordt afgesloten met een overzicht van de gehanteerde aannames, discussiepunten en mogelijkheden tot verbetering.

4.1 Fase 1. Bare earth scan

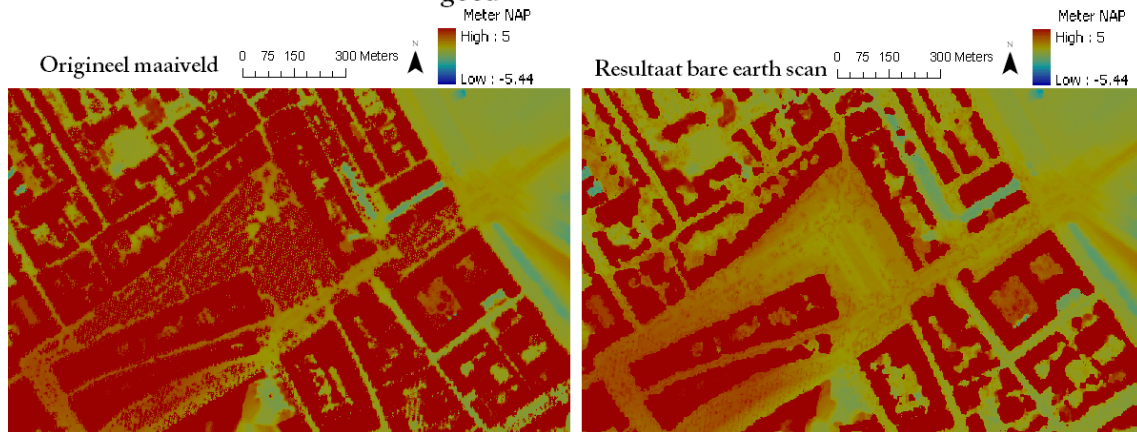
Resultaat in het onderzoeksgebied

De resultaten van de bare earth scan zijn algemeen gesproken bevredigend. Het doel om een maaiveldkaart te creëren waar alleen het maaiveld inclusief (kunstmatige) waterbarrières is volbracht. De maaiveldkaart die resulteerde uit de bare earth scan staat hieronder weergegeven.



Figuur 4.1: Normale hoogtekaart vergeleken met het resultaat van de bare earth scan.

Voorbeeld goed resultaat bare earth scan



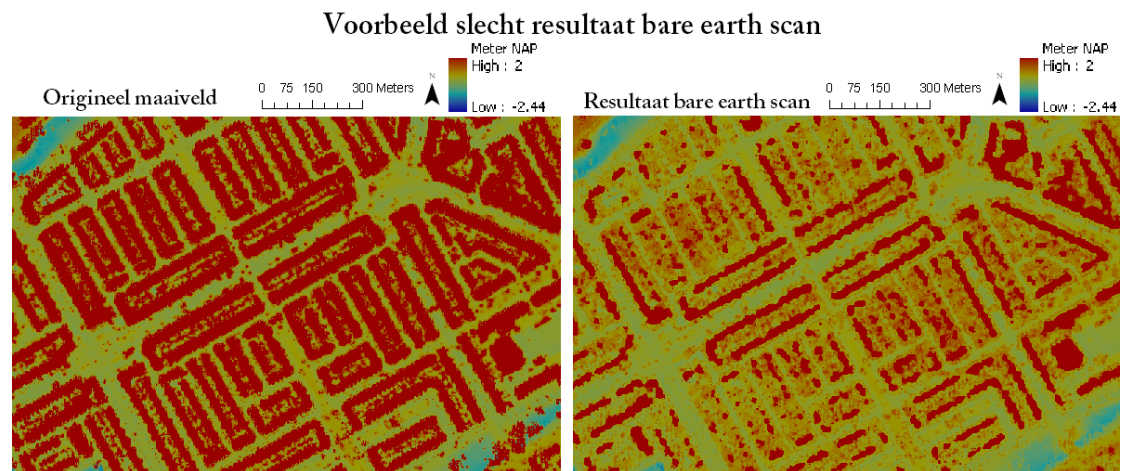
Figuur 4.2: Voorbeeld van een goed resultaat van de bare earth scan.



Figuur 4.3: Luchtfoto van het goede resultaat.

De kaart kent een aantal plekken waar de bare earth scan goed gelukt is. Op sommige plekken is er ruimte voor verbetering. Op de volgende pagina worden twee voorbeelden van de bare earth scan op kleinere schaal laten zien: een voorbeeld van een goed resultaat en een slecht resultaat.

Het valt op dat er hier, op de Lange Voorhout bij het Eschermuseum (zie foto), veel filtering plaats heeft gevonden. Op de foto is te zien dat er veel bomen staan, op het plein en aan het water. Op de originele hoogtekkaart zorgt dit voor veel verstoring. De bare earth scan verwijdert de bomen voor een groot deel. Er zijn er genoeg weg gehaald om de loop van water te kunnen construeren. Een interessant detail is dat de autowegen pas na de bare earth scan zichtbaar worden op de hoogtekkaart. Verwijderen van objecten kan ervoor zorgen dat waterbarrières op de hoogtekkaart aangetast worden. Dit is niet het geval, de straten komen juist goed uit de scan.



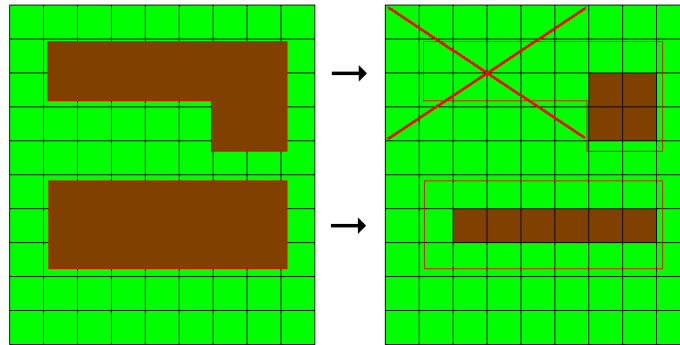
Figuur 4.4: Het slechte resultaat van de bare earth scan wordt hier genuanceerd. De patronen van waterbarrières zijn nog steeds intact.

Figuur 4.4 laat een slecht resultaat van de bare earth scan zien. De huizenrijen zijn aanzienlijk aangetast. De verschillen in hoogte bij huizenrijen zijn niet realistisch, maar de laagste punten in de huizenrijen zijn nog steeds hoger dan het echte maaiveld. Dit zorgt ervoor dat in de analyse voor drainagegebieden de huizenrijen nog steeds waterbarrières zijn, terwijl de verstoring van ongewenste objecten (bomen, auto's etc.) grotendeels verdwenen is. Dit voorbeeld geeft echter wel aan dat er nog ruimte is voor verbetering in de bare earth scan. Zeker met het oog op stedelijke gebieden die complexer zijn dan dit onderzoeksgebied.

Verbeterpunten

Een bekende moeilijkheid bij het uitvoeren van een bare earth scan is dat viaducten, tunnels en dergelijke bijna niet te behandelen zijn. Er is afgaande op puur hoogtedata niet af te leiden of een object een waterdoorgang onder zich heeft. In het geval van tunnels maakt het voor deze analyse niet uit (daar stroomt het water toch heen). Voor viaducten en bruggen maakt het wel een verschil. Deze zorgen ervoor dat drainagegebieden opgedeeld worden, omdat er een volgens de analyse een waterbarrière is die er in werkelijk niet is.

Een ander gevoelig punt in de bare earth scan is het identificeren van de bebouwing. Deze wordt d.m.v. de stappen A1-11 (ronde A) geïdentificeerd (zie Methodiek, fase 1. Bare earth scan). In deze stappen wordt een vergelijkbare methode toegepast als bij de stappen van ronde C, namelijk het verlagen van het maaiveld aan de hand van de waarden van omringende gridcellen, op basis van een threshold value. De doelstelling is om objecten die even hoog zijn als de bebouwing, maar wel verwijderd moeten worden, te verwijderen. In dit onderzoeksgebied betreffen dat voornamelijk bomen. Dit maakt het mogelijk, omdat bomen minder 'dik' zijn dan bijvoorbeeld huizenrijen en er tussen bomen vaak een paar gridcellen zijn die qua hoogte corresponderen met het maaiveld. Na het verwijderen van de ongewenste objecten worden gebouwen geïdentificeerd op basis van een arbitraire hoogte NAP. Als huizenrijen niet dik genoeg zijn, zie je deze niet goed (genoeg) terug na de bare earth scan (zie figuur 4.5). Aan het einde van de bare earth scan wordt voor de gridcellen die zijn geïdentificeerd als bebouwing de originele hoogtewaarde terug geplaatst. Een huizenrij komt dan waarschijnlijk verdund uit de bare earth scan, maar de waterbarrière blijft in stand.



Figuur 4.5: Schematisch, een te ‘dunne’ huizenrij (boven), de huizenrij is niet meer zichtbaar. Bij de onderste huizenrij is er bij elke ligging een filtergridcel volledig in de huizenrij.

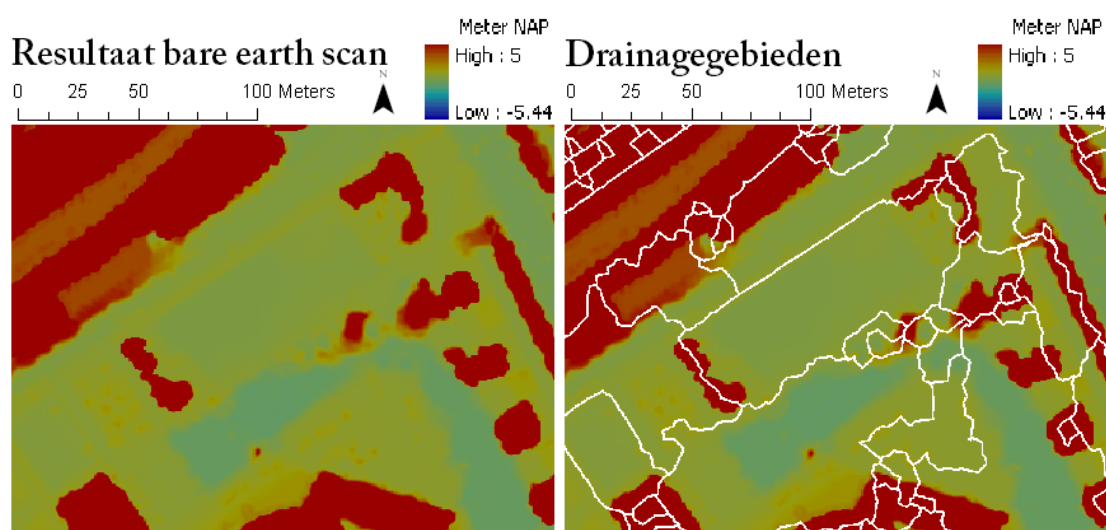
De gevoeligheid van het identificeren van de bebouwing wordt veroorzaakt door twee factoren. De eerste factor is dat verschillen in ‘dikte’ van huizenrijen in het onderzoeksgebied ervoor kunnen zorgen dat er of te weinig objecten verwijderd worden of dat huizenrijen (zoals in de figuur) te veel aangetast worden. De tweede factor is dat de arbitraire hoogte NAP waarmee bebouwing na ronde A geïdentificeerd wordt aanneemt dat het gebied relatief plat is. In een hellend gebied is het immers niet mogelijk om op hoogte NAP (let op, niet *relatieve* hoogte NAP) bebouwing te identificeren. Dan is er niet met één hoogte NAP een onderscheid te maken tussen maaiveld op bijvoorbeeld een heuvel en bebouwing in een dal.

De tweede factor van gevoeligheid van het identificeren van de bebouwing kan verholpen worden. In plaats van een absolute hoogte NAP kan er gebruik gemaakt worden van relatieve hoogte NAP. Dit is mogelijk door elk gridcel die resulteert uit ronde A te vergelijken met de directe omgeving van de maaiveldkaart zonder bebouwing. Vanaf een bepaald verschil kan dit gridcel als bebouwing gemarkeerd worden. Een risico is dat waterlichamen voor verstoring zorgen in het gemiddelde, en dat er zo onterecht gridcellen als bebouwing worden geïdentificeerd. Voor de input van hoogtedata is er ook ruimte voor verbetering. De dichtheid is theoretisch momenteel één hoogtepunt per vierkante meter. Dit is echter niet altijd het geval, zeker bij dichte vegetatie valt het op dat er beduidend minder data is. Een hogere dichtheid van de hoogtedata zal de resultaten ten goede komen.

4.2 Fase 2. Drainagegebieden

Resultaat in het onderzoeksgebied

Op figuur 4.6 is een voorbeeld te zien van drainagegebieden die vastgesteld zijn aan de hand van het resultaat van de bare earth scan. Er is te zien dat er grote verschillen zijn in de oppervlaktes van de verschillende drainagegebieden. Daarnaast is ook te zien dat als er wateroppervlaktes aanwezig zijn (op de kaart is het blauwgetinte rechthoekige vlak in het midden van de kaart een waterlichaam) dat er daar lang niet al het water naartoe afstroomt, ook als het in de buurt ligt. Dit heeft gevolgen voor de conclusies die je trekt uit de grootte van het drainagegebied. Op de bebouwing zie je dat er daar veel kleine drainagegebieden geïdentificeerd zijn. Er bevinden zich volgens de hoogtedata daar blijkbaar een aantal gaten / putten.



Figuur 4.6: Op deze twee kaarten komt duidelijk de begrenzing en totstandkoming van drainagegebieden naar voren. De lokale barrières hebben invloed op de drainagegebieden.

Verbeterpunten

Er zijn veel kleine drainagegebieden geïdentificeerd door de drainagegebieden analyse. Sommige van deze drainagegebieden zijn echter zo klein dat het niet te verwachten is dat er daar genoeg water kan verzamelen, zonder dat de grens naar een aanliggend drainagegebied overschreven wordt. Ondanks dat deze methodiek zich richt op lokale wateroverlast, is het de bedoeling dat de kleine gebieden onderdeel gaan uitmaken van omliggende drainagegebieden. Als dit niet gebeurt, wordt een gebied waarin veel kleine drainagegebieden liggen als ongevoelig gekwalificeerd. Dat terwijl het potentieel een gevoelig gebied is.

Er zijn drie toepassingen om dit probleem te verzachten. De eerste is in de bare earth scan de bebouwing identificeren (ronde A) en in originele vorm (voordat deze bewerkt is) terug plaatsen. De bewerking van de data kan namelijk tot gevolg hebben dat het lijkt alsof er putten (= drainagegebieden) zijn, terwijl deze veroorzaakt zijn door de bewerking van de data.

De tweede is dat er alvorens de drainagegebieden berekend worden een ‘smoothing’ toegepast wordt op de data. Er wordt een filter gebruikt die waardes van gridcellen verandert door het gemiddelde van de 8 omringende en de gridcel zelf te nemen als nieuwe waarde. Dit heeft tot gevolg dat de hoeken minder scherp worden, waardoor doorstromen van water bevorderd wordt.

De derde is het gebruik van de ArcGIS functie 'Fill'. Deze functie berekent waar kleine ondiepe putten zijn en vult deze op. De functie maakt gebruik van een threshold, waarbij er aangegeven kan worden tot welke diepte putten gevuld moeten worden. Dit verwijdert ondiepe putten, die anders ervoor zouden zorgen dat er veel meer kleine drainagegebieden aanwezig zouden zijn.

Ondanks deze toepassingen zijn er nog steeds veel kleine drainagegebieden zichtbaar. Het is mogelijk om in de ArcGIS functie 'Watershed' (waarmee de drainagegebieden berekend worden) een threshold te hanteren die ervoor zorgt dat er pas vanaf een bepaald oppervlak de drainagegebied als resultaat wordt laten zien. Dit betekent echter niet dat deze te kleine drainagegebieden dan gaan toebehoren aan een omringend drainagegebied: het drainagegebied wordt NoData. Dat gaat het doel voorbij, omdat het juist de bedoeling is dat deze kleinere drainagegebieden zich voegen bij een omliggend en groter drainagegebied.

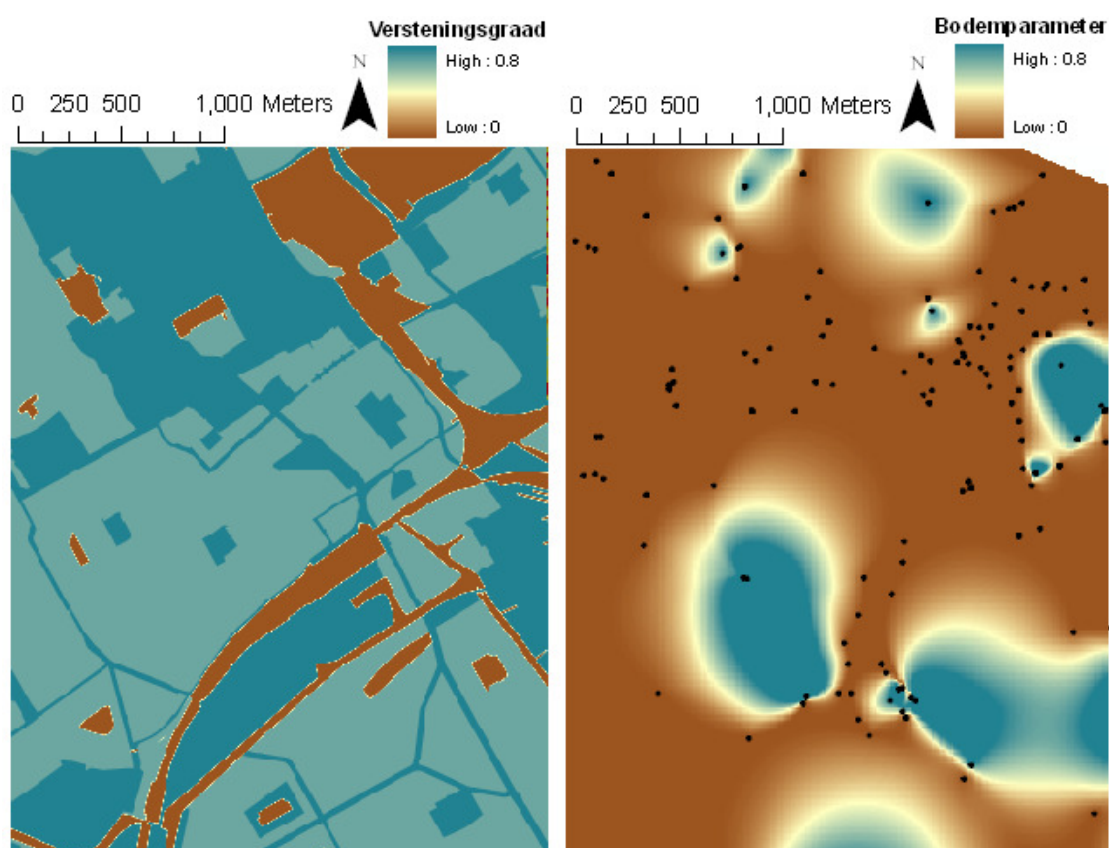
Het valt op dat een groter deel van de kleine drainagegebieden zich bevindt op bebouwing, in feite op de daken van gebouwen. Een oorzaak hiervan kan zijn dat de 'Fill' functie op de bebouwing de putten niet opvult, omdat de putten daar te diep zijn. Een hogere threshold voor de 'Fill' functie geeft te veel verstoring op de kaart, dus daar is het probleem niet mee op te lossen.

De verbetering kan op een andere manier gemaakt worden, waarbij de genoemde problemen aangepakt kunnen worden. Nadat volgens de huidige methodiek de drainagegebieden zijn berekend, selecteer je daaruit de drainagegebieden die te klein zijn. Deze gridcellen geef je de hoogste waarde die te vinden is binnen 1 gridcel buiten het bereik van het drainagegebied. Vervolgens dient dit als input voor stap 3 (bepaling stroomrichtingen), waarmee je uiteindelijk opnieuw de drainagegebieden berekent. Hiermee vul je handmatig de putten op, waardoor er geen verstoring van data optreedt op plekken waar je dit niet wilt. Bovendien komen de kleine drainagegebieden niet als NoData, maar als onderdeel van een ander drainagegebied uit de berekening.

4.3 Fase 3. Gevoeligheid voor wateroverlast binnen drainagegebied

Infiltratiemogelijkheden

Met de infiltratiemogelijkheden wordt er bedoeld hoeveel water de bodem kan infiltreren. Verschillende bodems kunnen voor aanzienlijke verschillen zorgen in de hoeveelheid water die infiltreert. Een figuurlijke deksel op een goed doorlatende put is bijvoorbeeld verstening op een zandbodem. In de praktijk is de deksel het landgebruik en de put de bodemtype. Glastuinbouw kan er bijvoorbeeld voor zorgen dat het water dat normaal zou infiltreren op de kas terecht komt en aan de rand afstroomt.



Figuur 4.7: De versteningsgraad en bodemparameters in het onderzoeksgebied.

Resultaten: versteningsgraad en bodemkarakteristieken

De kaart met de bodemparameters (zie figuur 4.7) laat duidelijk zien dat er niet veel data is. Afzonderlijke (clusters van) punten komen duidelijk terug. Hoewel er wel veel input was van data, was deze niet goed verspreid. Het resultaat komt voort uit een geïnterpoleerde bodemkaart en suggereert dat het gebied misschien wel andere bodemkarakteristieken heeft dan de interpolatie laat zien.

De kaart met daarop de verstening in termen van gevoeligheid voor wateroverlast (zie figuur 4.7, links) is een vertaling van het landgebruik naar gevoeligheid voor wateroverlast. Elk type landgebruik heeft, zoals toegelicht in de Methodiek, op basis van Pratt (2002) een bepaalde infiltratie. De gevoeligheidswaarde is als extra 'attribute' (als eigenschap) gegeven toegevoegd aan de landgebruikskaat. Die staan op de linker kaart in figuur 4.7 afgebeeld.

Tabel 1 is een kleine selectie van deze ‘Attribute table’. De volledige ‘Attribute table’ is toegevoegd aan de bijlage (bijlage 5). Zoals te zien is op basis van de categorie ‘land use’ een gevoeligheid ingevuld in de kolom ‘verstening’.

De toegekende waarde is in sommige gevallen slechts een ruwe interpretatie van hoe gevoelig een bepaald type landgebruik is. Parken hebben doorgaans weinig verstening en water geen. Het onderscheid is moeilijker te maken bij woongebied die tuinen hebben en winkelgebied die dat niet heeft. En zo heeft het treinspoor hier een lage gevoeligheid vanwege de relatief hoge ligging van spoor op de permeabele basis waarop het aangelegd is. Uit meer onderzoek moet blijken welke gevoeligheid bij welk soort landgebruik hoort.

AREA	PERIMETER	BBG1996A	BBG2000A	landuse	verstening
893,65	289,28	11	20	residential area	0,70
1209,31	434,29	11	60	forest	0,05
5833,76	1262,56	11	40	park or public garden	0,05
17654,77	796,39	23	23	socio-cultural facilities	0,80
825,38	233,52	78	24	industrial grounds	0,80
762,93	204,87	75	75	water with recreational function	0,00
750,42	275,54	11	10	railway	0,05

Tabel 1: Een selectie van de ‘Attribute table’ van de landgebruikskaart en de toegekende gevoeligheid voor wateroverlast.

Verbeterpunten

Zoals genoemd is er voornamelijk bij de bodemkarakteristieken verbetering mogelijk. Een gebied dat ingevuld moet worden door middel van interpolatie tussen twee boorpunten geeft een te onbetrouwbaar beeld. Het globale beeld wordt wel geschetst. Eventueel kunnen gemeentelijke bodemkaarten nog gebruikt worden om te controleren en/of aan te vullen.

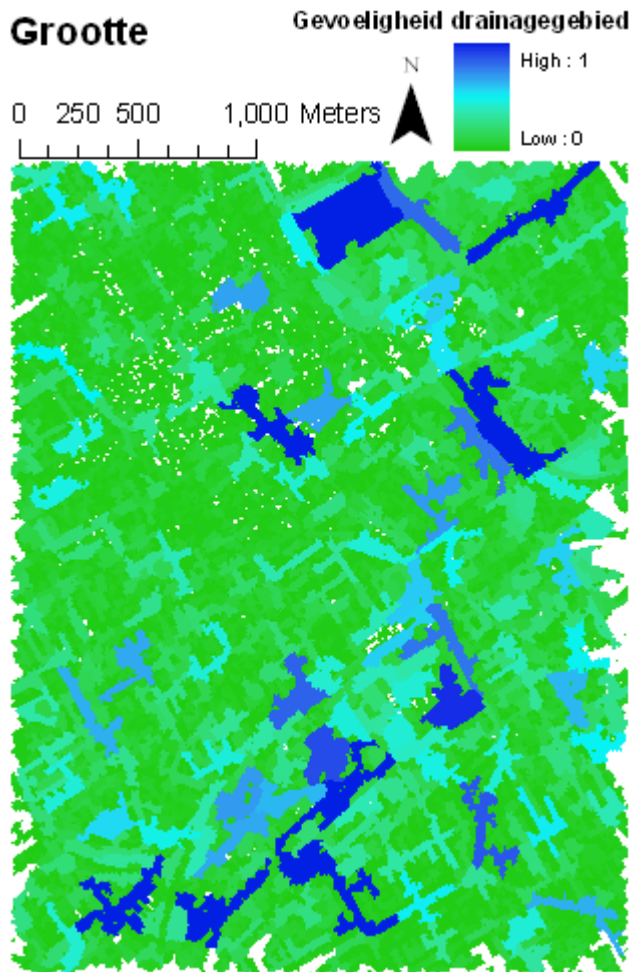
De waarden die de verschillende bodemtypes hebben gekregen zijn ook nog ter discussie te stellen. Dat zandbodems minder gevoelig zijn voor wateroverlast dan kleibodems is duidelijk, maar de vertaling daarvan is in de huidige vorm slechts indicatief. Dit geldt ook voor de versteningsgraad. De gebruikte bron voor de versteningsgraad bij soorten landgebruik is ook indicatief.

In de hele methodiek zit in dit onderdeel de grootste ruimte voor verbetering. De gebruikte data is niet gedetailleerd genoeg om er volledig op te kunnen bouwen. Tevens is de interpretatie van gevoeligheden op basis van die data vrij ruw. Deze moet verder aangevuld en beter onderbouwd worden.

Grootte drainagegebied

Resultaat in het onderzoeksgebied

Het resultaat, figuur 4.8, is vanzelfsprekend. De grotere drainagegebieden hebben een hogere gevoeligheid voor wateroverlast dan de kleinere.



Figuur 4.8: gevoeligheid drainagegebied op basis van de grootte van het drainagegebied.

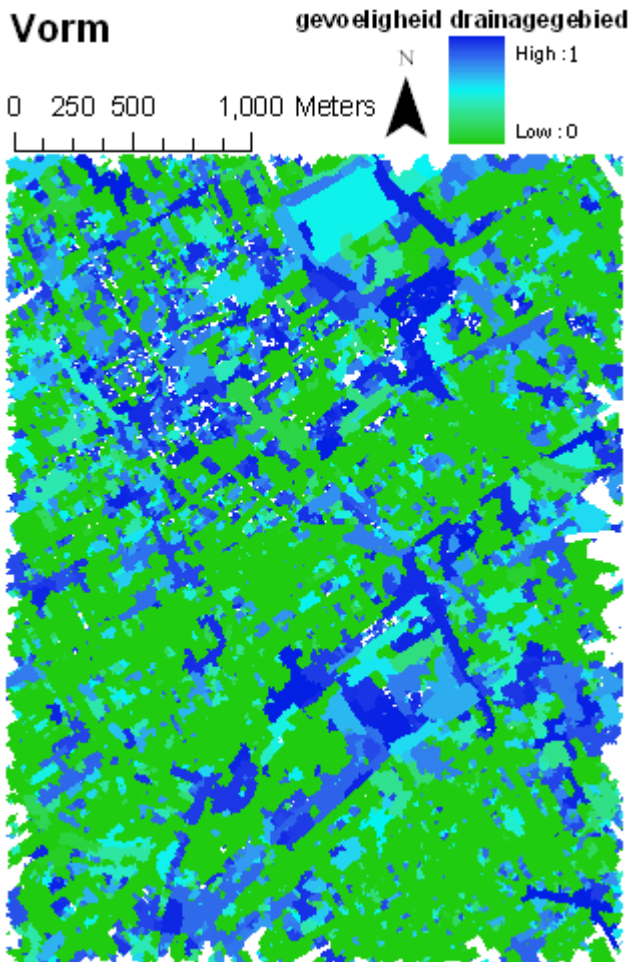
Verbeterpunten

Ondanks dat de resultaten redelijk vanzelfsprekend zijn, is er toch een punt van discussie. De bepaling van hoe gevoelig een gebied is voor wateroverlast is op relatieve basis bepaald. Dat wil zeggen dat een gebied als gevoelig wordt bestempeld als deze in vergelijking met de andere gebieden groot is. In de denkbeeldige situatie dat de 20% kleinste drainagegebieden verwijderd zouden worden, worden de resterende drainagegebieden als 'minder gevoelig' geclassificeerd. Dit is natuurlijk niet coherent met de werkelijkheid. Daarin zou een gebied met veel grote drainagegebieden in zijn geheel als gevoelig bestempeld moeten worden.

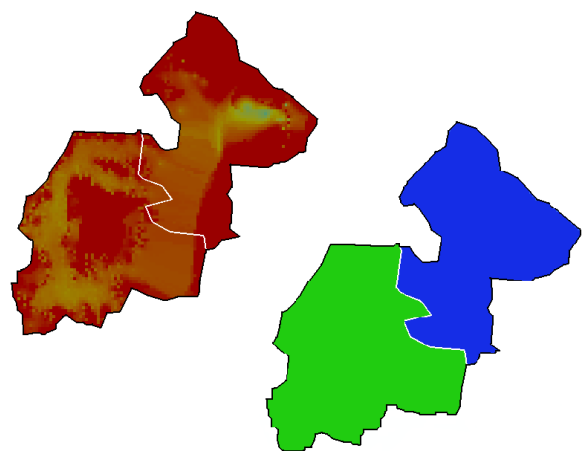
Vorm drainagegebied

Resultaat in het onderzoeksgebied

De gevoeligheid van elk drainagegebied op basis van de vorm staat hieronder voor het hele onderzoeksgebied afgebeeld (figuur 4.09). Omdat voor elk drainagegebied er één waarde is gegeven wat betreft gevoeligheid, geeft deze grote kaart weinig inzicht. Een kaart die is ingezoomd op twee inzichtelijke drainagegebieden, figuur 4.10) maakt duidelijk wat de 'vorm drainagegebied' precies inhoudt staat daarom ook afgebeeld.



Figuur 4.09: De gevoeligheid voor wateroverlast wat betreft de factor 'vorm van het drainagegebied'.



Figuur 4.10: Voorbeeld van verschillen in gevoeligheid voor de vorm van het drainagegebied. Het drainagegebied rechtsboven heeft een diepere put dan het platte laagste vlak van het gebied rechtsonder.

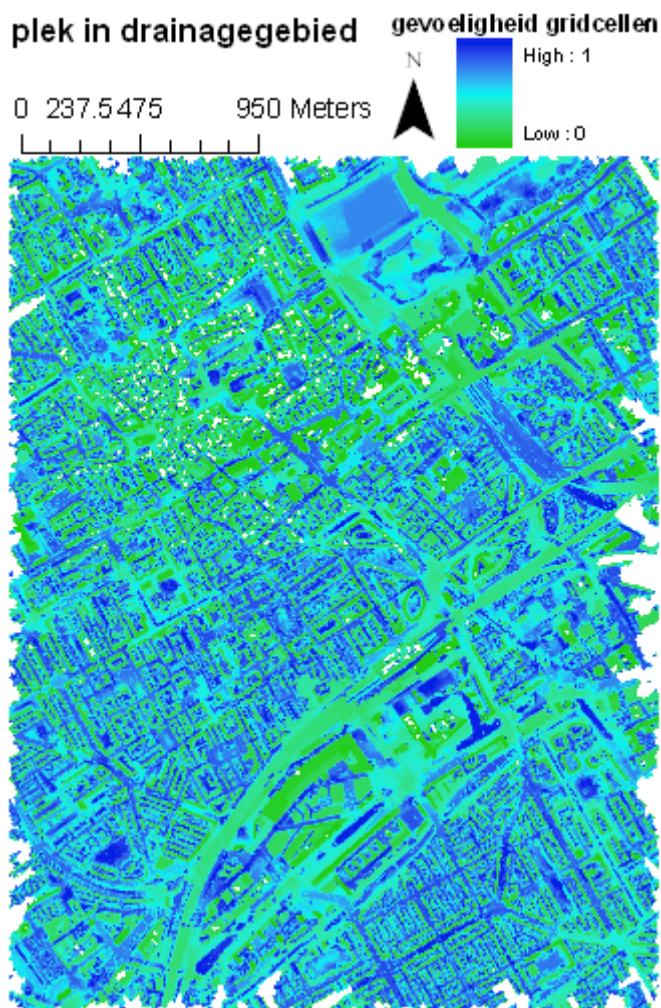
Verbeterpunten

Het uitgangspunt voor de gevoeligheid wat betreft de vorm van het drainagegebied is verspreiding. Als overtollig water verspreid kan worden over een groot deel van het drainagegebied, dan zullen er minder snel problemen optreden. Zoals in de Methodiek beschreven staat, wordt er een berekening gemaakt tussen de hoeveelheid gridcellen die binnen een bepaalde waarde vallen (nu 0,5 meter) en de totale hoeveelheid gridcellen in het drainagegebied. Deze halve meter is gekozen, omdat bij een halve meter inundatie er te verwachten is dat er wateroverlast is. Maar misschien is er pas bij meer, echter waarschijnlijker bij minder inundatie al overlast. Deze variabele is dus nog te 'tunen'.

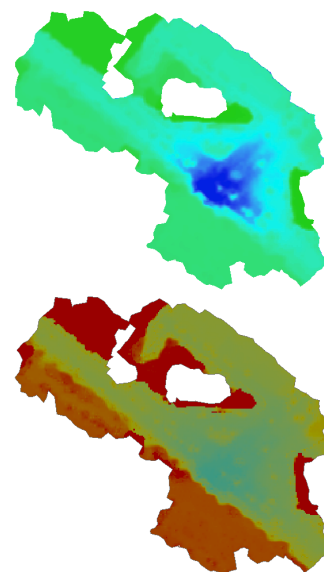
Plek gridcel in drainagegebied

Resultaat in het onderzoeksgebied

Alle berekeningen zijn tot op dusverre per drainagegebied gegaan. Alle drainagegebieden hebben een bepaalde gevoeligheid meegekregen, maar logischerwijs heeft de laagste plek in het drainagegebied de hoogste gevoeligheid. Per drainagegebied heeft het laagste punt, het drainagepunt, de waarde 1. Het hoogste punt krijgt de waarde 0. De gridcellen ertussen krijgen waarden op basis hoe hoog ze liggen in vergelijking met het laagste punt. Het resultaat staat weergegeven in figuur 4.11. Ingezoomd is het resultaat van deze berekening inzichtelijker (figuur 4.12).



Figuur 4.11: Gevoeligheid voor wateroverlast binnen drainagegebied



Figuur 4.12: Voorbeeld van onderverdeling gevoeligheid binnen een drainagegebied.

Verbeterpunten

De genoemde basis waarmee een onderverdeling wordt gemaakt tussen gridcellen kan bediscussieerd worden. Het is immers ook mogelijk om een andere verdeling te gebruiken, bijvoorbeeld de gridcellen die dicht bij het laagste punt liggen een nog grotere gevoeligheid te geven. Deze methodiek is echter eenvoudig en inzichtelijk. Wat eveneens nog bijgesteld kan worden is de waarde die het hoogste punt krijgt. Dit kan naar boven worden bijgesteld. Het gevolg is dat een relatief hoog punt in een drainagegebied dat plat is (waarbij de onderlinge verdeling dus niet erg relevant is) niet als ongevoelig uit de analyse komt.

4.4 Eindresultaat en Validatie

Het eindresultaat staat hieronder weergegeven in figuur 4.13. Gevoelige gebieden die opvallen zijn onder andere het Malieveld (1), de omgeving van de Haagse Poort (2) en tussen het Oranjeplein en de de Vaillantlaan (3). Van deze gebieden is in het verleden er bij één al wateroverlast geweest, het Malieveld. Er is natuurlijk niet met zekerheid te zeggen dat het wateroverlast toen dezelfde oorzaken had als de oorzaken volgens de quickscan. Zie onderstaand persbericht die over de wateroverlast bericht geeft.

KRANTENARCHIEF 11 NOVEMBER 2000

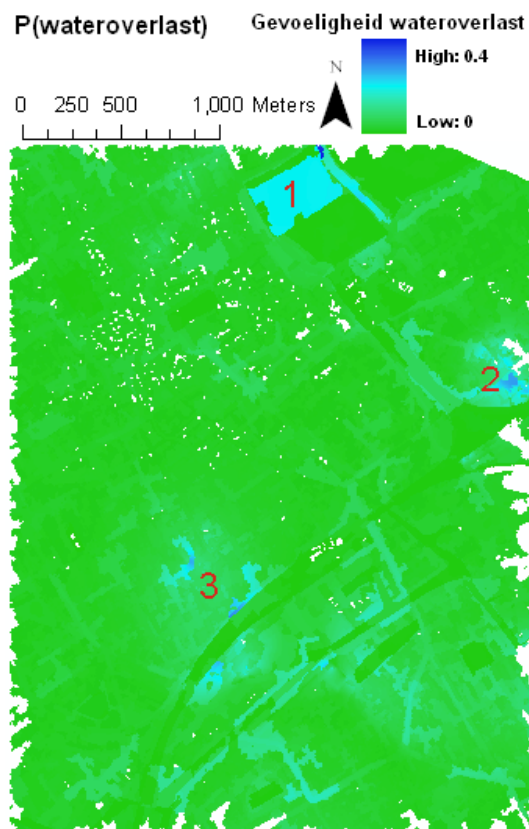
Klimaat spelbreker voor klimaatconcert

Klimaat spelbreker voor klimaatconcert

Het popconcert ter gelegenheid van de klimaatconferentie dat morgen op het Malieveld in Den Haag gehouden zou worden, is verplaatst naar Rijswijk. Door de overvloedige regenval staat het Malieveld vol water. De popgroepen Skik, Dilana Smith, DitsOokSchitterend en De Nits treden nu op in de Darling Market in Rijswijk. Wie toch naar het Malieveld komt, krijgt gratis busvervoer naar Rijswijk.

© Trouw 2010, op dit artikel rust copyright.

Er zijn ook plekken waar wateroverlast is geweest die niet als gevoelig uit deze quickscan komen. Echter, dat was voornamelijk overlast door het vollopen van tunnels en het verstopping van afvoeren langs daken van huizen. In de bijlage staat hierover een artikel.



Figuur 4.13: Wateroverlast gevoeligheidskaart

In het hoofdstuk Methodiek wordt de samenvoeging van alle factoren van wateroverlast beschreven. De opgestelde formule biedt de mogelijkheid om met gewichtsfactoren extra nadruk te leggen, waar dit gewenst is. Deze zijn nu nog niet gebruikt. Extra onderzoek zou kunnen uitwijzen welke factoren meer of minder invloed hebben op wateroverlast.

De nu hoogste waarde die op de kaart weergegeven wordt is 0,4. Dit zegt niet dat, omdat er niets boven 0,4 zit, het een voor wateroverlast ongevoelig gebied is. Elke waarde is immers een relatieve gevoeligheid t.o.v. de andere waardes. Het is uiteraard nog mogelijk om de uitkomsten te herschalen naar nul tot één.

5. Discussie

De methodiek van de ontwikkelde quickscan kent wat betreft bruikbaarheid meerdere kanten. Het is enerzijds een inzichtelijke methode, waar relatief weinig input en afstelling nodig zal zijn om het toe te passen. Het schetst een snel en globaal beeld van waar overlast te verwachten is. Anderzijds zitten er in de huidige vorm van input, maar ook in de methodiek zelf, nog punten van aandacht. Een aantal punten die gelden voor de conceptuele methodiek worden eerst besproken, waarna er discussiepunten aan bod komen die gericht zijn op dit specifieke onderzoeksgebied. De quickscan is gereviewd door externe deskundigen. Dit komt daarna aan bod. Daarnaast zijn gedurende het onderzoek de mogelijkheden voor het gebruiken van twee alternatieve methodieken onderzocht. Die bleken (nog) niet helemaal haalbaar, wat relevant is voor het beeld van wat er wel en niet mogelijk is bij het opzetten van een quickscan.

5.1. Conceptuele methodiek

Manipulatie AHN

De berekeningen ter voorbereiding van en de berekeningen van de bare earth scan manipuleren hoogtedata. Het doel ervan is om een realistischer en betrouwbaar beeld te scheppen van het maaiveld, maar detail gaat erdoor verloren. Voornamelijk de bebouwing, die als ‘maaiveld’ (= waterbarrière) beschouwd moet worden heeft eronder te lijden.

Foutgevoelig land

Het gebruikte onderzoeksgebied is bijzonder plat. Verschillen van 20 centimeter in hoogte vallen op en hebben veel invloed. Dit zorgt ervoor dat ruis, fouten en het ‘tunen’ van parameters ook veel invloed hebben. Dit is een relevante kanttekening, gezien het juist om de zeer lokale en kleine schaal gaat bij deze quickscan.

Verbondenheid drainagegebieden

De drainagegebieden worden als afzonderlijke gebieden beschouwd die geen invloed op elkaar hebben. Dit betekent dat water dat binnen een drainagegebied valt nooit naar een ander drainagegebied zou kunnen verplaatsen. Het is echter zo dat het oppervlaktewatersysteem sommige van deze gebieden wel in verbinding brengt. De drainagegebieden die uitkomen in een waterlichaam kunnen evengoed voor wateroverlast zorgen, maar wateroverlast dat op die manier wordt veroorzaakt kan niet worden voorspeld door deze quickscan.

Het buiten beschouwing laten van de invloed van riool zorgt ervoor dat de quickscan minder breed toepasbaar is. Het is immers zo dat elk stedelijk gebied riolering heeft. Het is echter wel nog mogelijk om de intrinsieke gevoeligheid van stedelijk gebied te vergelijken met de kracht van de beleidsmaatregelen. Op gevoelige punten kan onderzocht worden wat de capaciteit van de riolering en andere maatregelen (denk aan ondergrondse opslag) is. Hieruit is een wederom kwalitatief beeld te halen die een eerste inzicht kan geven in de gevoeligheid van een gebied. De quickscan blijft dus nog steeds bruikbaar.

5.2. Toepassing van de conceptuele methodiek

Input bare earth scan

De puntenwolk die als input dient voor de bare earth scan is de basis voor de quickscan. Het komt voor dat er fouten zitten in deze puntenwolk. Als er bijvoorbeeld gemeten wordt in water kunnen er extremen in de data zitten die niet kloppen. Het kan ook gebeuren dat er blinde vlekken in de data zitten. In de quickscan is er een onderdeel dat fouten filtert en blinde vlekken opvult. Dit is echter manipuleren van data, waar de voorkeur uitgaat naar een verbeterde puntenwolk. Hier kan nog wat betreft de input verbeterd worden.

Input infiltratiedata

De dichtheid van de bodemdata, evenals de schaal en precisie van de landgebruikkaart (waaruit de verstening gedestilleerd wordt) zijn voor dit onderzoeksgebied onvoldoende. Er is voor een lokale en kleinschalige benadering te 'ruwe' en grootschalige input gebruikt.

Gewicht van factoren

Bij het samenbrengen van de factoren Infiltratiemogelijkheden (1) Grootte drainagegebied (2), Vorm drainagegebied (3) en Plek gridcel in drainagegebied (4) is het mogelijk om gewichtsfactoren te gebruiken. Dit biedt de mogelijkheid om voor één of meerdere factoren de invloed te veranderen. Bij de toepassing van de quickscan in het onderzoeksgebied is hier geen gebruik van gemaakt. Verder onderzoek moet nog uitwijzen wat voor gewichtsfactoren bij welke situatie gebruikt moeten worden.

5.3. Korte externe review

Een beknopte beschrijving van de methodiek beschreven in deze scriptie (zie bijlage 4) is opgestuurd naar twee externe deskundigen. Peter Droogers van FutureWater en Rudolf Versteeg van HKV Water hebben telefonisch een evaluatie gedaan.

De voornaamste conclusie uit de gesprekken is dat de nuance van wat de resultaten van de quickscan zijn duidelijk moet zijn. De wateroverlast die de quickscan in kaart brengt is wateroverlast ten gevolge van te geringe infiltratiecapaciteit (zie ook hoofdstuk 2 en figuur 2.1). De overlast die voor kan komen door het vollopen van watergangen wordt niet meegenomen (zie 5.1 Verbondenheid drainagegebieden).

Een tweede evaluatiepunt geeft aan dat er met betrekking tot tuning, voornamelijk voor de verharding en de gebruikte parameters, ruimte voor verbetering is. Zo kan er op gedetailleerd niveau veel verschil zijn in gevoeligheid voor wateroverlast bij aanwezigheid van volledig of partieel verhard oppervlak (asfalt versus tegels) of het soort dak op de huizen.

De afwezigheid van de factor riool in de quickscan is kwalijk. Het kunstmatige watersysteem is een sturende factor voor de afstromingsrichtingen in een plat gebied als Den Haag (zie 5.1 Verbondenheid drainagegebieden). Tevens is de foutgevoeligheid groot (zie 5.1 foutgevoelig gebied). Hierop volgend is gesuggereerd dat de quickscan beter tot zijn recht zou komen in een meer hellend systeem. Het

reliëf heeft dan immers een meer sturende factor, wat de afwezigheid van de factor riool minder problematisch maakt. Verder maakt een verschil van bijvoorbeeld 20 centimeter in hoogte dan niet zoveel meer uit, wat de foutgevoeligheid ten goede komt.

5.4. Alternatieve methodieken

Gedurende het traject van de bachelorscriptie zijn er meerdere potentiële methodieken voor een quickscan onderzocht. Bij verder onderzoek naar het verbeteren van deze of het ontwikkelen van een nieuwe quickscan kunnen deze ervaringen meegenomen worden.

De eerste benadering bleek alleen toe te passen zijn in een stromingsmodel. Dit is voor een quickscan te arbeidsintensief. Zodoende is deze aanpak voor een quickscan niet aan te bevelen.

De tweede benadering is gestrand omdat de vereiste data niet in de juiste vorm aanwezig was. In de toekomst is het mogelijk dat die data wel beschikbaar is, in dat geval kan deze benadering wel gebruikt worden.

5.4.1. Input + output per gridcel

De benadering van input + output per gridcel, die niet gebruikt is voor de quickscan, toetst het gehele watersysteem. Het is een lokale aanpak, waarbij de drainagegebieden centraal staan. Per drainagegebied wordt de input van water afgezet tegen de mogelijke infiltratie, berging en afvoer. Het resultaat is een eventueel overschot van water per drainagegebied, waarbij de vorm bepaalt waar er hoeveel water verzamelt. De riolering en het oppervlaktewatersysteem zorgen er echter voor dat de drainagegebieden met elkaar in contact staan. Dit betekent dat overschotten niet noodzakelijkerwijs in het drainagegebied blijven, maar ook kunnen verplaatsen naar andere plekken. Waar het water dan precies heen gaat hangt af van hoe de riolering en het oppervlaktewatersysteem er precies uit zien. Daarnaast is de schaal waarop gekeken wordt minder lokaal, wat betekent dat de 'reistijd' van het water meegenomen moet worden. Dit is alleen mogelijk in ingewikkelde stromingsmodellen die veel tijd in beslag nemen. Daarom is deze benadering niet geschikt voor een quickscan.

5.4.2. Capaciteit kleine aansluitleidingen

De benadering van de capaciteit van de 'kleine aansluitleidingen', die niet gebruikt is voor de quickscan, toetst de capaciteit van de toegang tot de riolering. De riolering en het oppervlaktewatersysteem zorgen ervoor dat alle afzonderlijke drainagegebieden met elkaar in verbinding komen. Dit zorgt voor een complexe situatie waarvoor niet een indicatie gegeven kan worden van risicogebieden met een quickscan. Het resultaat is dus zekerder als de factoren riolering en oppervlaktewatersysteem buiten beschouwing worden gelaten. Een manier om gevoeligheid voor wateroverlast te testen zonder riolering en het oppervlaktewatersysteem mee te nemen, is de capaciteit van de toegang tot de riolering te toetsen. Waar het water heen gaat als het in de riolering zit (waar de complexiteit in zit) staat immers los van de hoeveelheid water dat mogelijk de riolering in kan komen. Verstoppingen en/of te lage capaciteit van de kleine aansluitleidingen (de toegang tot het riool op straatniveau) kunnen zorgen voor

wateroverlast op lokale schaal. De exacte plek waar de wateroverlast optreedt hangt echter ook af van de intrinsieke gebiedsgevoeligheid. De factoren van invloed zijn:

1. Capaciteit kleine aansluitleidingen;
2. De infiltratiemogelijkheden;
3. De bergingsmogelijkheden;
4. De vorm van het drainagegebied;
5. Grootte van het drainagegebied;
6. Per gridcel de plek in het drainagegebied.

Met de factoren 1 en 2 is een kwantitatieve hoeveelheid van water dat afgevoerd kan worden te berekenen per drainagegebied. Alle gridcellen die afstromen op het oppervlaktewatersysteem kunnen buiten beschouwing worden gelaten, waarbij de aanname gehanteerd zou worden dat het oppervlaktewatersysteem en de riolering de bui aankunnen. Met behulp van de factoren 4, 5 en 6 kan bepaald worden op welke plekken er veel water zal verzamelen. Dit levert per gridcel een risico op van wateroverlast, gevisualiseerd in de hoeveelheid inundatie bij een specifieke piekbui. De methodiek is niet gebruikt omdat data over de kleine aansluitleidingen niet in de juiste vorm beschikbaar was.

6. Conclusie

Wateroverlast in stedelijk gebied is complexe materie. Op zeer kleine schaal zijn er zelfs nog vele factoren die allemaal een rol spelen in het al dan niet optreden van wateroverlast. De doelstelling van deze bachelorscriptie was om een methodiek op te zetten die als quickscan kan dienen om de gevoeligheid van stedelijk gebied voor wateroverlast door extreme neerslag in te schatten. Er zijn twee methodieken getest voordat de gehanteerde methodiek is opgezet. Een daarvan was niet mogelijk te gebruiken vanwege het ontbreken van data in het juiste systeem. De andere is te ingewikkeld om als quickscan te gebruiken. De derde methodiek, die de relatieve en intrinsieke gevoeligheid van een gebied inschat, kan eventueel als quickscan dienen. Voor de quickscan wordt een hoogtekartaart gebruikt en gemanipuleerd. Uit de hoogtekartaart worden alle ongewenste objecten (zichtbare objecten die geen waterbarrière zijn) verwijderd. Vervolgens wordt er berekend wat de significante afstroomrichtingen zijn. Hieruit wordt afgeleid waar de drainagegebieden liggen. Deze worden beoordeeld op basis van gevoeligheid voor wateroverlast. Daarnaast wordt er gebruik gemaakt van bodemdata en een landgebruikskartaart. Deze vormen de factoren voor wateroverlast, die samengevoegd een inschatting geven in de intrinsieke gevoeligheid voor wateroverlast van elk afzonderlijk drainagegebied.

De uitkomst kan gebruikt worden om een beeld te krijgen van wat op zeer lokale schaal de meest wateroverlastgevoelige punten zijn. Maatregelen tegen wateroverlast, zoals het riool en het oppervlaktewatersysteem, worden niet meegenomen. Het resultaat van de quickscan kan echter naast een overzicht met bestaande maatregelen tegen wateroverlast neergelegd worden. Zo kan een gebied dat als gevoelig uit de quickscan komt en wat betreft de aanwezige maatregelen relatief gevoelig is aanleiding geven tot nadere inspectie. In de case study in Den Haag is het resultaat min of meer te valideren (het Malieveld als gevoelig gebied), maar het resultaat blijft slechts een indicatie.

Voor toekomstig gebruik van de quickscan is afstemming nog wel vereist. Per onderdeel staat in de Methodiek beschreven waar er verbeterpunten liggen. De precisie van sommige data, bijvoorbeeld de infiltratieparameters, kan verbeterd worden. De belangrijkste conclusie is echter dat de quickscan beter tot zijn recht komt in reliëfrijker gebied. In dergelijk gebied is de sturende factor in de quickscan, het reliëf, van grotere invloed. Tevens verkleint het onzekerheden in het bepalen van de drainagegebieden. Deze aspecten kunnen meegenomen worden in verder onderzoek. Daarnaast zijn er enkele aannames waarop gelet moet worden, zoals het soort wateroverlast waarvoor de gevoeligheid onderzocht wordt (zie verder de Discussie). Afsluitend heeft de quickscan de potentie een goed systeem te zijn om snel een eerste indruk te krijgen van wat de gevoeligste plekken zijn in een stedelijk gebied. Het is echter nog niet uitgewerkt genoeg om in de Ruimtelijke Klimaatscan (zie 1.1 Aanleiding) de leemte van stedelijk gebied in te vullen.

Dankwoord

Voor de totstandkoming van deze bachelorscriptie wil ik graag mijn begeleiders Hans de Moel en Eric Koomen bedanken. Een scherpe en kritische manier van begeleiden werd vanuit mijn kant gewaardeerd. Dit actieve meedenken hebben jullie mijns inziens goed en voornamelijk geduldig gedaan, dank daarvoor.

Verder bedank ik Maarten Waterloo, Rudolf Versteeg en Peter Droogers, omdat zij kort de tijd hebben genomen om met een frisse blik naar mijn (voorlopige) resultaten te kijken. Ook gaat mijn dank uit naar Kees Hufen van de gemeente Den Haag, voor het ontvangen en te woord staan. Het SPINlab van de Vrije Universiteit heeft mij de benodigde GISdata verschaft, hierbij mijn dank.

7. Referenties

Van den Bergh, D., Berendsen, R., Gerritsen, M., Mes, R., Van Nistelrooij, H. (2009). Ruimtelijke klimaatscan. Methodiek ontwikkeling case Zuid-Holland. Den Haag, Xplorelab: 64.

Google Maps

Groen, G., Beersma, J., Bessembinder, J., Buishand, A. (2007). Extreme zomerneerslag 2006 en klimaatscenario's. De Bilt, KNMI publicatie 215

Herstel, R., "Wateroverlast", from www.nu.nl

Hoes, O.A.C. (2007). Aanpak wateroverlast in polders op basis van risicobeheer. Delft, TU Delft.

HRH. (2006). "Wateroverlast door zware regenval." from www.hrh.nl.

Van den Hurk, B., Tank, A.K., Lenderink, G., van Ulden, A., Van Oldenburgh, G.J., Katsman, C., Van den Brink, H., Keler, F., Bessembinder, J., Burgers, G., Komen, G., Hazeleger, W., Drijfhout, S. (2006). De Bilt, KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific Report WR 2006-01

Kragt, F.J., Van Gaalen, F.W., Cleij, P., Ligetvoet W. (2006). Audit WB21: Eerste analyse opgave wateroverlast regionaal watersysteem t.b.v. LBOW overleg 11 september 2006. Bilthoven, MNP: 29.

Pratt, C.J., Design Guidelines for porous/permeable pavements, UK 2002

Sithole, G. and G. Vosselman (2004). "Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds." ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 59 (1-2): 17.

Smits, I., Wijngaarden, J., Versteeg, R., Kok, M. (2004). Statistiek van extreme neerslag in Nederland. Utrecht, STOWA: 117.

Trouw, krantenarchief. Klimaat spelbreker voor klimaatconcert (2000)

Wack, R., Wimmer, A., 2002. Digital terrain models from airborne laser scanner data—a grid based approach. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIV (Pt. 3B), 293–296.

8. Bijlagen

Bijlage 1. Tabellen extreme neerslag onder klimaatscenario's

Bijlage 2. Methodiek van stappen in jargon / GIStaal

Bijlage 3. Nieuwsberichten wateroverlast Den Haag

Bijlage 4. Beknopte methodiek quickscan

Bijlage 5. Landgebruikskaart en gevoeligheid 'Attribute table'

Bijlage 1. Tabellen extreme neerslag onder klimaatscenario's

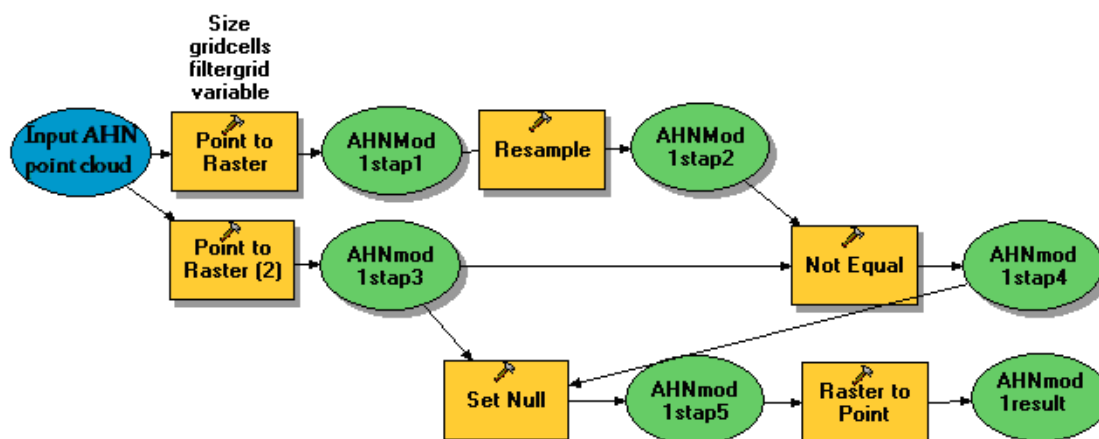
60 min	nu	2050		2050		2100		2100	
		G	G+	W	W+	G	G+	W	W+
10x per jaar	5	5	5	6	5	6	5	6	5
5x per jaar	7	8	7	8	7	8	7	9	8
1x per jaar	14	15	14	17	15	17	15	19	16
1x per 2 jaar	18	20	19	22	19	22	19	25	20
1x per 5 jaar	23	26	24	28	25	28	25	34	27
1x per 10 jaar	27	31	28	34	30	34	30	42	33
120 min									
10x per jaar	7	7	7	8	7	8	7	8	7
5x per jaar	10	11	10	11	10	11	10	13	11
1x per jaar	17	19	18	20	18	20	18	23	19
1x per 2 jaar	21	23	22	25	22	25	22	29	24
1x per 5 jaar	26	29	27	32	28	32	28	38	30
1x per 10 jaar	31	35	33	39	34	39	34	48	38
4 uur									
10x per jaar	9	9	9	10	9	10	9	11	9
5x per jaar	12	13	12	14	12	14	12	15	13
1x per jaar	21	23	22	25	22	25	22	29	24
1x per 2 jaar	25	28	26	30	27	30	27	35	28
1x per 5 jaar	31	35	32	38	34	38	34	45	36
1x per 10 jaar	36	41	38	46	40	46	40	56	44
8 uur									
10x per jaar	12	13	12	13	12	13	12	14	12
5x per jaar	15	16	15	17	16	17	16	19	16
1x per jaar	24	26	25	28	25	28	25	33	27
1x per 2 jaar	29	32	30	35	31	35	31	41	33
1x per 5 jaar	36	40	38	44	39	44	39	53	42
1x per 10 jaar	41	47	43	52	45	52	45	63	50
12 uur									
10x per jaar	13	14	13	14	13	14	13	16	13
5x per jaar	17	18	17	19	18	19	18	22	18
1x per jaar	27	30	28	32	29	32	29	37	30
1x per 2 jaar	32	35	33	39	35	39	35	45	36
1x per 5 jaar	40	45	42	49	43	49	43	58	47
1x per 10 jaar	46	52	49	59	51	59	51	71	56
24 uur									
10x per jaar	15	16	15	16	15	16	15	18	15
5x per jaar	21	22	21	24	22	24	22	27	23
1x per jaar	33	36	34	39	35	39	35	45	37
1x per 2 jaar	39	43	41	47	42	47	42	55	44
1x per 5 jaar	47	52	49	58	51	58	51	69	55
1x per 10 jaar	54	61	57	69	60	69	60	84	66

Figuur 8.1: Overzicht van de terugkeerniveaus vanneerslaghoeveelheden (mm) in het huidige en in het toekomstige klimaat rond 2050 en 2100 voor diverse neerslagduren en overschrijdingsfrequenties onder de vier KNMI'06 klimaatscenario's. (Groen 2007)

	Uursom (mm)			Dagsom (mm)		
	nu	G+2100	W2100	nu	G+2100	W2100
1x per 5 jaar	23	26	35	47	52	72
1x per 10 jaar	27	30	42	54	60	83
1x per 20 jaar	32	36	49	60	67	92
1x per 25 jaar	33	37	51	63	70	97
1x per 50 jaar	38	42	59	71	79	109
1x per 100 jaar	43	48	66	79	88	122

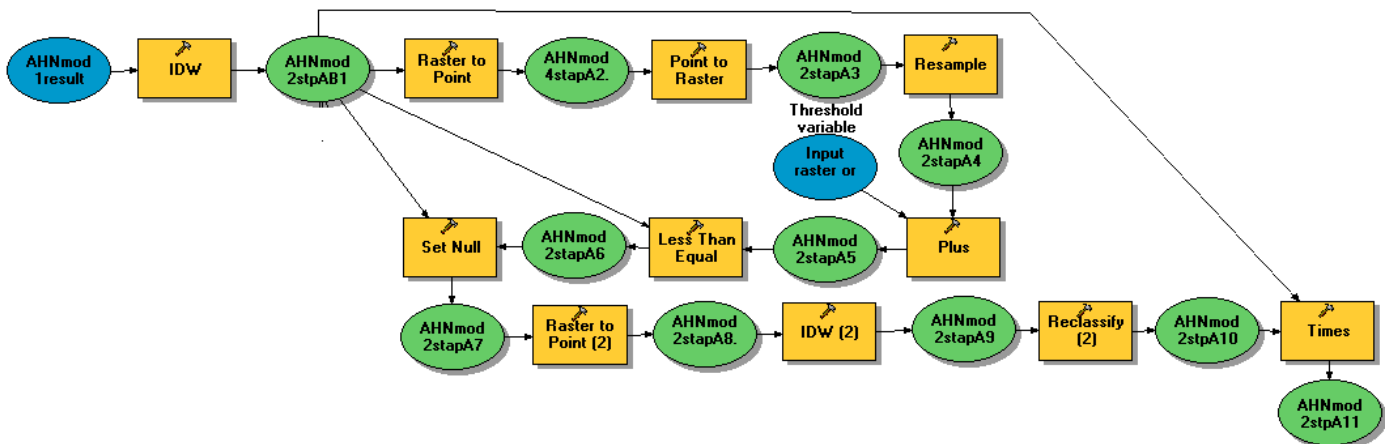
Figuur 8.2: Terugkeerniveau: (mm) van neerslaghoeveelheden met een overschrijdingsfrequentie van eens in de 5 tot eens in de 100 jaar voor duren van 1 uur en 24 uur in het huidige klimaat en voor 2100 in het G+ en W scenario. (Groen 2007)

Bijlage 2. Methodiek van stappen in jargon / GIStaal



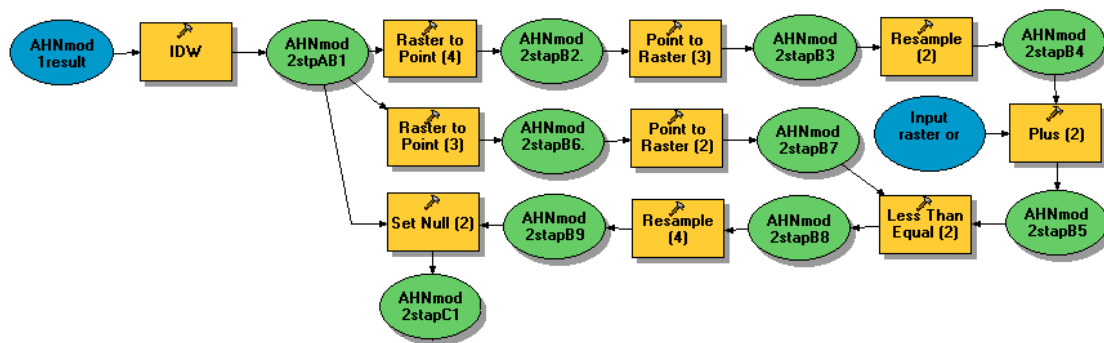
Figuur 8.3: Schematische weergave model 1: Filtering low outliers

Stap	Toepassing	Resultaat
1	Point to raster (input): Celgrootte filtergrid 6x6m Minimum	Selectie van laagste waarden (low outliers) in elk filtergridcel in een raster.
2	Resample (stap 1): Celgrootte naar 1x1m	9x9m gridcellen gesneden in 1x1m stukken.
3	Point to Raster (input): Celgrootte werkgrid: 1x1m Minimum	Onbewerkte puntdata in een raster.
4	Not equal (stap 2 en stap 3)	Gelijke waarden krijgen waarde 0 Ongelijke waarden krijgen waarde 1 Gelijke waarden zijn de low outliers.
5	Set null (stap 3 en stap 4): 0 is true en 1 is false	True values worden NoData. False values worden opgevuld door verrasterde puntdata.
6	Raster to point (stap 5)	Puntdata waar low outliers eruit zijn.



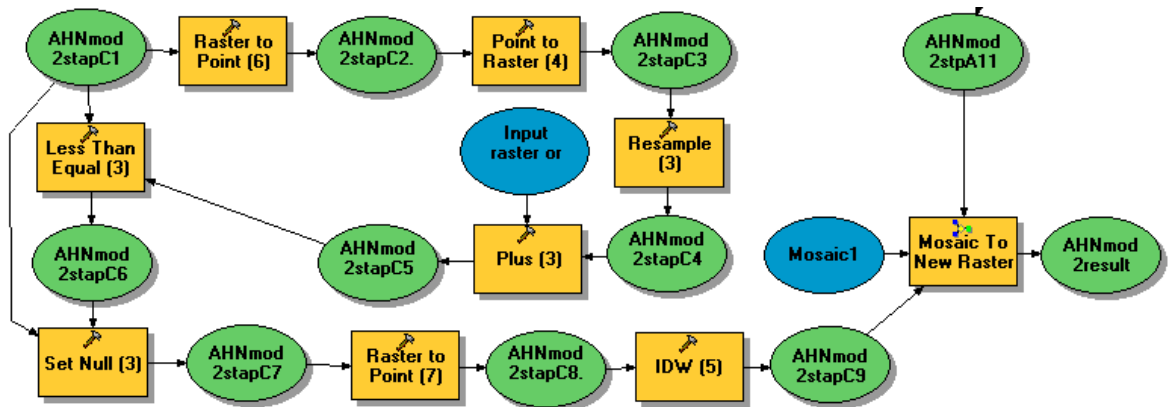
Figuur 8.4: Schematische weergave model 2: Filtering unwanted objects, ronde A.

Stap	Toepassing	Resultaat
AB1	Inverse distance weight (input): 1m cellsize Power 2	Geïnterpoleerde kaart met alle objecten aanwezig.
A2	Raster to point (stap 1)	Puntdata met op elke meter een waarde gebaseerd op interpolatie.
A3	Point to raster (stap 2) Celgrootte filtergrid: 6x6 meter Minimum	6x6 Rasterkaart met minimum value binnen de cel.
A4	Resample (stap 3) 1x1meter	1x1 rasterkaart met dezelfde values als in stap 3, maar nu dus opgedeeld.
A5	Plus (stap 4) +1.5	1x1 rasterkaart met de minimum van het 6x6 gridcel waarbij de threshold value is opgeteld.
A6	Less than equal (stap1 en stap 5)	Rasterkaart met twee waarden: Waardes die boven de threshold vallen krijgen 0. Waardes die binnen de threshold vallen krijgen 1.
A7	Set null (stap 1 en stap 6): Waarde 0 is true. Wordt NoData Waarde 1 is false. Wordt opgevuld door resultaat stap 1.	Rasterkaart zoals na stap 1, maar de waardes die buiten de threshold vallen (te grote objecten) zijn NoData.
A8	Raster to point (stap 7)	Puntkaart met als doel om een IDW te kunnen doen.
A9	Inverse distance weight (stap 8) Power 2	Rasterkaart zoals na stap 7, maar de te hoge values zijn opgevuld op basis van interpolatie.
A10	Reclassify (stap 9) 5,5 – 200 → 1 De rest NoData	Bebouwing waarde 1 Resterend waarde 0
A11	Times (stap 9 x stap AB1)	Resultaatbebouwing: De bebouwing krijgt de originele hoogtewaarde.



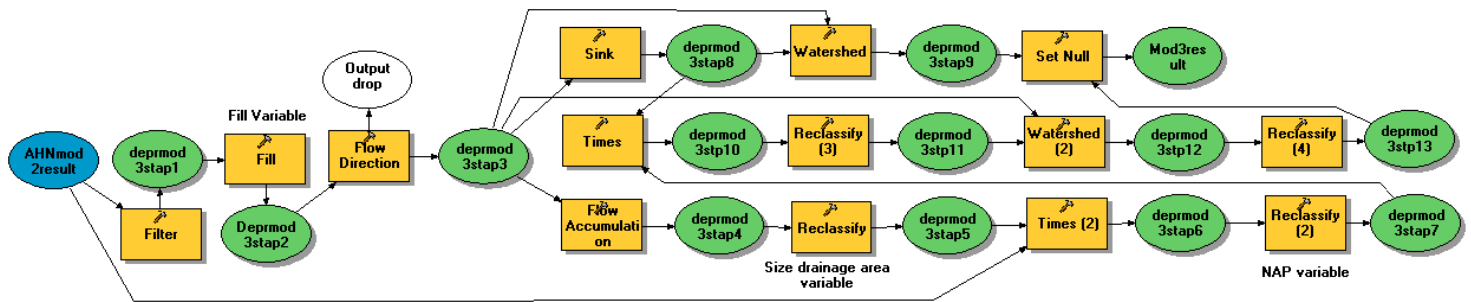
Figuur 8.5: Schematische weergave model 2: Filtering unwanted objects, ronde B.

Stap	Toepassing	Resultaat
AB1	Inverse distance weight (input): 1m cellsize Power 2	Geïnterpoleerde kaart met alle objecten aanwezig.
B2	Raster to Point (stap 1)	Puntdata met op elke meter een waarde gebaseerd op interpolatie.
B3	Point to Raster (stap 2) Celgrootte filtergridcel: 9x9 meter Minimum	9x9 Rasterkaart met minimum value binnen de cel.
B4	Resample (stap 3) 3x3 meter	3x3 rasterkaart met dezelfde values als in stap 3, maar nu dus opgedeeld.
B5	Plus (stap 4) +1	3x3 rasterkaart met de minimum van het 9x9 gridcel waarbij de threshold value is opgeteld.
B6	Raster to point (stap 1)	Puntdata met op elke meter een waarde gebaseerd op interpolatie.
B7	Point to raster (stap 6) Celgrootte filtergridcel: 3x3 meter Minimum	3x3 Rasterkaart met minimum value binnen de 3x3 filtergridcel.
B8	Less than equal (stap 1 en stap 5)	Rasterkaart met twee waarden: Waardes die boven de threshold vallen krijgen 0. Waardes die binnen de threshold vallen krijgen 1.
B9	Resample 1x1 meter	Het 3x3 raster wordt opgedeeld in 1x1, met dezelfde values.
B10 / C1	Set null (stap 1 en stap 9) Waarde 0 is true Waarde 1 is false. Dit wordt opgevuld door resultaat stap 1	Rasterkaart zoals na stap 1, maar de waardes die buiten de threshold vallen (te grote objecten) zijn NoData.



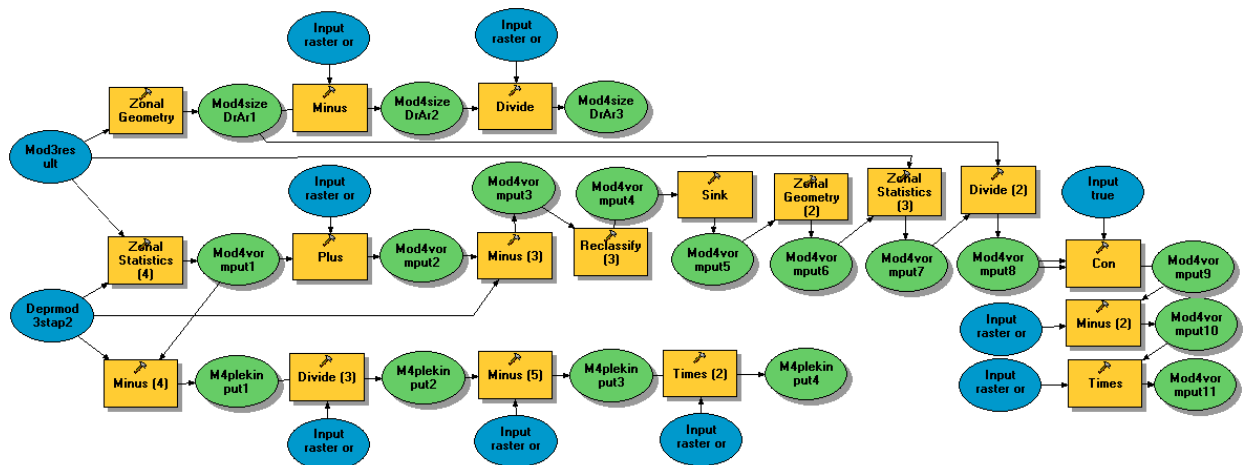
Figuur 8.6: Schematische weergave model 2: Filtering unwanted objects, ronde C.

Stap	Toepassing	Resultaat
B10 / C1	-	Rasterkaart zoals na stap AB1, maar de minimum values van het 3x3 raster die buiten de minimum values + threshold van het 9x9 vallen zijn NoData.
C2	Raster to Point (stap 1)	C1, maar dan in puntdata
C3	Point to Raster (stap 2) Celgrootte filtergridcel: 3x3 meter Minimum	De minimum value binnen het 3x3 filtergridcel in een 3x3 raster.
C4	Resample (stap 3) 1x1	Dezelfde waarden zoals stap 3, maar opgedeeld in een 1x1 raster
C5	Plus (stap 4) +1	3x3 minimum raster met de threshold opgeteld.
C6	Less than equal (stap 1 en stap 5)	Rasterkaart met twee waarden: Waarden die boven de threshold vallen krijgen 0. Waarden die binnen de threshold vallen krijgen 1.
C7	Set null (stap 1 en stap 6): Waarde 0 is true. Wordt NoData Waarde 1 is false. Wordt opgevuld door resultaat stap 1.	Rasterkaart zoals na stap 1, maar de waarden die buiten de threshold vallen (te grote objecten) zijn NoData.
C8	Raster to Point (stap 7)	Puntdata van stap 7, zodat een idw gedaan kan worden.
C9	Inverse Distance weight (stap 8)	Maaiveldresultaat: Rasterkaart zoals na stap 7, maar de te hoge values zijn opgevuld op basis van interpolatie.
Resultmo d2	Mosaic to new Raster (C9) en (A11)	Eindresultaat: C9 geplakt in een nieuw raster, waarna de bebouwing van A11 erop geplaatst wordt.



Figuur 8.7: Schematische weergave model 3, drainagegebieden.

Stap	Toepassing	Resultaat
1	Filter (input)	Een smoothing van de hoogtekaart.
2	Fill (step 1) 0,15	Hele kleine drainagegebieden worden opgevuld, zodat ze behoren tot een groter drainagegebied.
3	Flow direction (step 2)	Kaart met afstromingsrichting per gridcel
4	Flow accumulation (step 3)	Kaart met per gridcel een waarde die laat zien hoeveel gridcellen afstromen langs de gridcel
5	Reclassify (step 4) 50 en groter: 1 Rest: NoData	Selectie van gridcellen waar er boven een vastgestelde hoeveelheid gridcellen langs afstromen
6	Times (step 5) en (input)	De selectie krijgt de waarde van de hoogtekaart
7	Reclassify (step 6) -10 – 5,5 Rest: NoData	Selectie van gridcellen op basis van hoogte, te hoge waarden worden geselecteerd
8	Sink (step 3)	Drainagepunten met elk een eigen unique value
9	Watershed (step 8)	Drainagegebieden met elk een eigen unique value
10	Times (step 8) en (step 7)	Selectie van drainagepunten die verwijderd dienen te worden.
11	Reclassify (step 10) Alle values: 0	Drainagepunten met allemaal dezelfde value
12	Watershed (step 11)	De watershed van alle punten die niet aan de hoogte- en formaatscriteria voldoen
13	Reclassify Alle values: 0 NoData: 1	De missing values krijgen een value, zodat de Set Null uitgevoerd kan worden.
Result	Set Null	Alle punten die niet aan de criteria voldoen worden uit de stap 9 watershed gehaald.



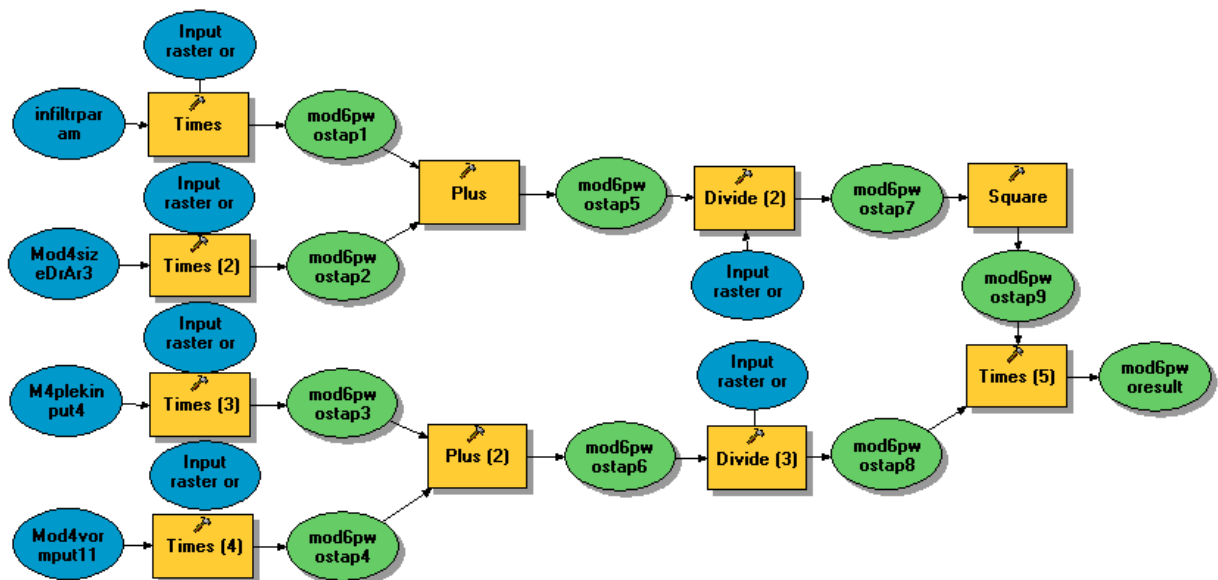
Figuur 8.8: Model 4, size shape and location drainage area.

Stap	Toepassing	Resultaat
DrAr1	Zonal Geometry (mod 3 result) area	Hoeveelheid gridcellen per drainage area
DrAr2	Minus (DrAr1) 15	Waardes van nul tot maximum om te herschalen
DrAr3	Divide (DrAr2)	Kaart met grootte drainage area op een schaal van 0 tot 1

Stap	Toepassing	Resultaat
Vormput 1	Zonal statistics (Mod 3 result, Deprmod3step2)	Per drainage area de laagste hoogtewaarde
Vormput 2	Plus (vormput1) 0.5	Bij alle hoogtewaardes wordt er 0.5 opgeteld.
Vormput 3	Minus (vormput 2, Deprmod3step2)	Kaart met positieve waardes voor alle gridcellen die 0.5 meter van het laagste punt in de drainage area afliggen
Vormput 4	Reclassify (vormput3) 0-0.6 → 0 -100-0 → 1	Alle gridcellen die binnen 0.5 meter liggen krijgen 0, de rest 1.
Vormput 5	Sink (vormput4)	Kaart waarop de gridcellen die binnen 0.5 meter liggen met unique values geselecteerd worden.
Vormput 6	Zonal Geometry (vormput 5) (area)	Hoeveelheid gridcellen binnen de 0.5 meter per drainagegebied.
Vormput 7	Zonal statistics (vormput 6, resultmod3)	Dezelfde waarde zoals bij vormput 6, maar dan overgenomen voor het hele drainagegebied.
Vormput 8	Divide (vormput7, DrAr1)	Waardes van laag naar hoog voor niet kwetsbaar tot kwetsbaar
Vormput 9	Conditional	Alles wat groter is dan 1 wordt 1. De rest behoud de normale value.

Vormput 10	Minus (vormput9) 1	De 0 tot 1 waardes worden -1 tot 0, om ze om te draaien, zodat 1 voor kwetsbaar staat.
Vormput 11	Times (vormput 10) -1	Kaart met 0, niet kwetsbaar, 1 kwetsbaar.

Stap	Toepassing	Resultaat
Plekinput 1	Minus (deprmod3stap2, vormput1)	Kaart met daarop waardes van 0 (dicht bij het drainagepunt) tot hoger (ver weg van drainagepunt)
Plekinput 2	Divide (plekinput1) Hoogste value in plekinput 1	Herschaalde kaart, met daarop 0, dichtbij drainagepunt en 1 verst af van drainagepunt
Plekinput 3	Minus (plekinput2) 1	De 0 tot 1 waardes worden -1 tot 0, om ze om te draaien, zodat 1 voor kwetsbaar staat.
Plekinput 4	Times (plekinput3) -1	Kaart met 0, niet kwetsbaar, 1 kwetsbaar.



Figuur 8.9: Model 6, Gevoeligheid wateroverlast

Stap	Toepassing	Resultaat
1	Times: Infiltrationparam en weight	Infiltratieparameter vermenigvuldigd met de gewichtsfactor
2	Times: Grootte drainagegebied en weight	Grootte drainagegebied parameter vermenigvuldigd met de gewichtsfactor
3	Times: Locatie in drainagegebied en weight	Locatie in drainagegebied parameter vermenigvuldigd met de gewichtsfactor
4	Times: Vorm van de depressie en weight	Vorm van de depressie parameter vermenigvuldigd met de gewichtsfactor
5	Plus:	De 0-1 parameters opgeteld

	Stap 1 en stap 2	
6	Plus: Stap 3 en stap 4	De 0-1 parameters opgeteld
7	Divide: Stap 5 en waarde 2	De 0-2 parameters gedeeld door 2
8	Divide: Stap 6 en waarde 2	De 0-2 parameters gedeeld door 2
9	Square: Stap 7	Een macht van de opgetelde infiltratie en grootte drainagegebieden parameters
Resultaat	Times: Stap 8 en stap 9	Kwalitatieve gevoeligheidskaart voor wateroverlast

Bijlage 3. Nieuwsberichten wateroverlast Den Haag

Wateroverlast op het Malieveld

Bron: www.trouw.nl/krantenarchief

Krantenarchief

11 november 2000

Klimaat spelbreker voor klimaatconcert

Het popconcert ter gelegenheid van de klimaatconferentie dat morgen op het Malieveld in Den Haag gehouden zou worden, is verplaatst naar Rijswijk. Door de overvloedige regenval staat het Malieveld vol water. De popgroepen Skik, Dilana Smith, DitIsOokSchitterend en De Nits treden nu op in de Darling Market in Rijswijk. Wie toch naar het Malieveld komt, krijgt gratis busvervoer naar Rijswijk.

© Trouw 2010, [op dit artikel rust copyright.](#)

Wateroverlast elders in Den Haag

Bron: www.hrh.nl

Haaglanden, wateroverlast

Haaglanden, 22 augustus 2006

Wateroverlast door zware regenval

Gistermiddag rond half zes kreeg de alarmcentrale van de brandweer Haaglanden als gevolg van zware regenval en onweer in de regio 10 meldingen te verwerken. De meeste meldingen kwamen uit het Westland met name 's-Gravenzande en Den Haag. Het laatste incident werd om twee uur vannacht afgesloten. Er deden zich geen persoonlijke ongevallen voor.



Figuur 8.10: Locaties van wateroverlast in het verleden in Den Haag. (maps.google.nl)

In korte tijd viel er veel regenwater waardoor rioleringen het water niet meer konden afvoeren. Hierdoor kwamen straten blank te staan waarbij op sommige plaatsen putdeksels los kwamen. Veel woningen, winkels, tunnels en kelders hadden last van wateroverlast door verstopte hemelwaterafvoeren of rioleringen die het water niet meer konden verwerken. Diverse meterkasten liepen vol water waardoor er kortsluiting ontstond.

Opvallend was dat veel wateroverlast ontstond door verstopte afvoeren waardoor het water van bovenaf de woning instroomde. Door de dakgoten en roosters goed schoon te houden kan veel overlast voorkomen worden.

Westland. Rond half zes kwamen de eerste meldingen van wateroverlast in het centrum van 's-Gravenzande. In het centrum liepen een drogisterij en een kledingzaak ernstige wateroverlast op. Een tiental woningen liepen eveneens onder water.

In Naaldwijk stond bij aankomst een bassin van 8000 m3 op springen. Hierdoor werd een woning en omliggende kassen bedreigd met een golf van drie meter hoog water. Het bassin werd gescheiden door een dijk met overloop. Door het water weg te pompen kon de golf worden voorkomen. Bij het inzakken van het bassin kon het water via een gegraven geul worden afgevoerd.

Den Haag. Rond half zeven kwamen de eerste meldingen van wateroverlast in Den Haag binnen. Tunnels liepen onder, o.a. de Koningstunnel, Rijswijkseweg, Vaillantlaan en de fietstunnel bij de Laan van Leidschenveen. Tientallen woningen

liepen onder water. Met de inzet van de autoladder konden diverse dakgoten worden schoongemaakt waardoor het water weer kon doorlopen. Aan de Denneweg en de Stationsweg liepen restaurants onder water.

Aan de Hooikade en Denneweg sloeg de bliksem in het pand. De kleine brand die hierbij ontstond kon snel worden geblust. Bij de Hoornbrug in Rijswijk liep een elektriciteitshuisje onder water. Dit heeft geen gevolgen gehad voor de energielevering.

De brandweer heeft alle beschikbare voertuigen ingezet. Voor een groot deel kon door het inzetten van pompen hulp worden verleend. Omdat in sommige gevallen het grondwater bleef stijgen konden kelders niet worden leeggepompt.

De totale schade door de regenval is onbekend.

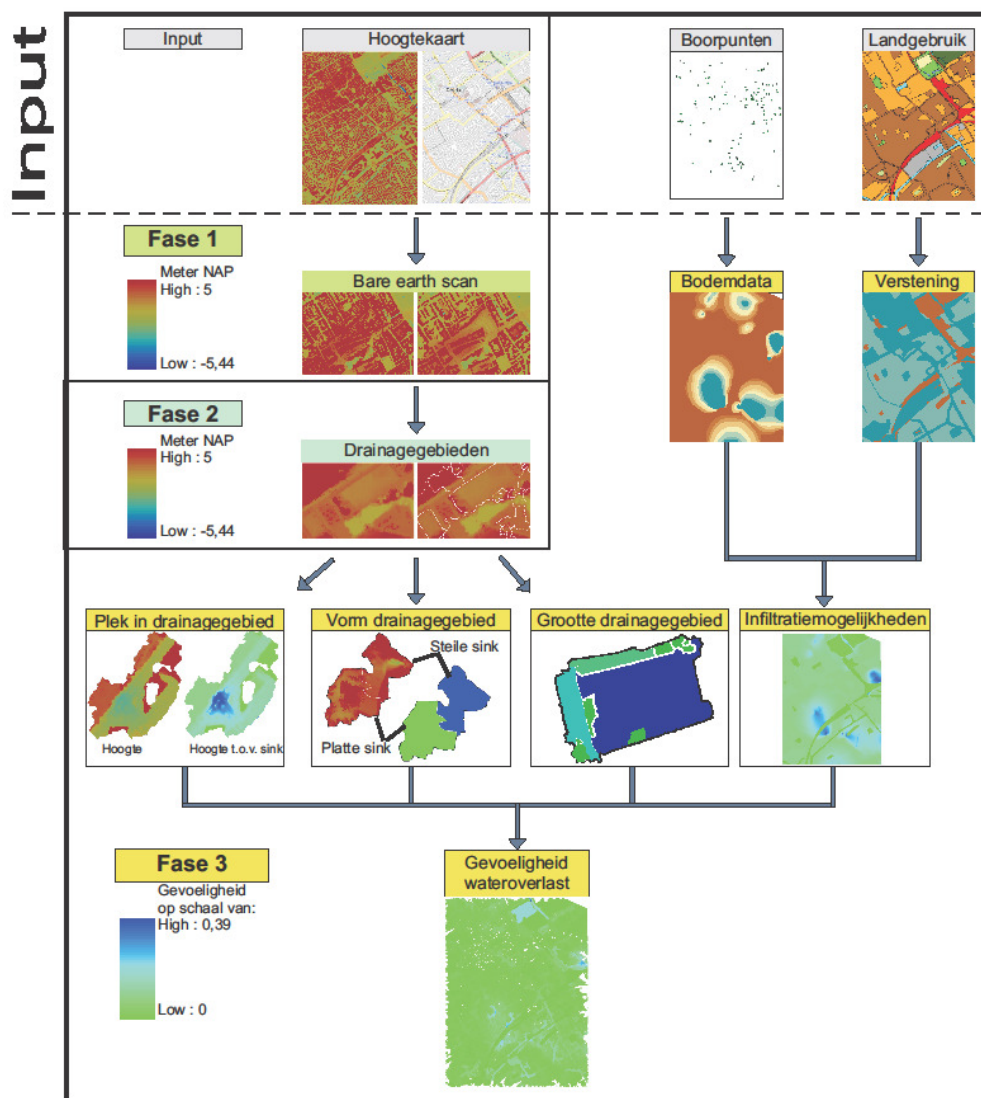
Bijlage 4. Beknopte methodiek quickscan

Beknopte methodiek voor wateroverlast quickscan.

Karel van Hussen, juni 2010

Deze quickscan heeft als doel het kwalitatief in beeld brengen van relatieve gevoeligheid van stedelijk gebied voor wateroverlast als gevolg van extreme neerslag. De methodiek en kanttelingen daarop worden onderstaand beknopt weergegeven. De methode is ontwikkeld als applicatie in ArcGIS en maakt gebruik van hoogtes NAP van het Algemeen Hoogtebestand Nederland, boorgegevens van TNO's DinoData en de top tien vector landgebruikskaart van Kadaster.

Wat betreft opbouw bestaat de methodiek uit drie fasen. De eerste fase verwijderd alle ongewenste objecten uit de hoogtekaart. De tweede fase berekent waar vandaan er op welke punten water verzamelt. De resulterende gebieden die naar hetzelfde punt afstromen dragen de naam 'drainagegebieden'. De drainagegebieden zijn input om in de derde fase een aantal factoren te bepalen die van belang zijn voor een kwalitatieve risicobepaling. Door deze factoren samen te voegen en wordt de gevoeligheid voor wateroverlast per gridcel bepaald. Onderstaande flowchart laat de methodiek schematisch zien.



Fase 1. Bare earth scan

In deze fase worden ongewenste objecten verwijderd uit het AHN door middel van een serie van filteroperaties. Het doel is om alle objecten die zichtbaar zijn op de AHN maar geen waterbarrière vormen te verwijderen. Dit wordt per gridcel (=vierkante meter) gedaan, op basis van de hoogtes van gridcellen in de directe omgeving.

Fase 2. Drainagegebieden

In fase twee wordt berekend waarheen gridcellen afstromen. Alle gridcellen die naar een bepaald punt afstromen vormen gezamenlijk één drainagegebied. Er is de mogelijkheid om drainagegebieden die zich te hoog bevinden (op daken) of die te klein zijn te verwijderen. Het resultaat is een kaart met daarop de significante drainagegebieden in het onderzoeksgebied.

Fase 3. Gevoeligheid voor wateroverlast binnen drainagegebied

In de derde fase van de quickscan wordt het risico op wateroverlast kwalitatief benaderd. De intrinsieke gevoeligheid wordt bepaald door de geomorfologie en de infiltratiemogelijkheden.

Geomorfologie is onderverdeeld in drie factoren:

- Vorm drainagegebied. Wanneer een gebied inundeert zal er pas schade optreden als de gevormde plas diep genoeg is. De figuur hiernaast illustreert dat een steil drainagegebied (rechts) gevoeliger is dan een platter drainagegebied (links);
- Plek in drainagegebied. Het onderscheid binnenin een drainagegebied wordt middels deze factor gemaakt. De afstand in hoogte NAP t.o.v. het drainagepunt is hierin bepalend;
- Grootte drainagegebied. In een groot drainagegebied stroomt er meer water naar het drainagepunt dan in een klein drainagegebied. Zoals in de figuur hiernaast duidelijk wordt is een groter gebied gevoeliger voor wateroverlast.



De infiltratiemogelijkheid vormt een factor die is opgebouwd uit twee subonderdelen:

- Bodem. Op basis van bodemdata wordt er voor elk gridcel een gevoeligheid toegekend. Hierbij is een oplopende gevoeligheid gehanteerd voor zandbodems, veenbodems en kleibodems;
- Verstening. Op basis van landgebruik wordt er ook hier voor elk gridcel een gevoeligheid toegekend. Hier is oplopende gevoeligheid gehanteerd voor natuurlijk, landbouw, buitenstedelijk en stedelijk gebied.

Samenvoeging van de factoren

Een leidende rol in of een gebied gevoelig is voor wateroverlast zijn de factoren Infiltratiemogelijkheid (I) en Grootte drainagegebied (G). De factoren Vorm drainagegebied (V) en Plek in het drainagegebied (P) moeten een onderverdeling maken voor respectievelijk drainagegebieden onderling en in het drainagegebied zelf. Om te waarborgen dat I en G bepalend zijn worden ze na samenvoeging met elkaar gekwadraterd. Omdat de waardes tussen 0 en 1 in zitten zorgt dit ervoor dat de waardes kleiner worden. Omdat kleine waardes sterker worden verkleind dan grote

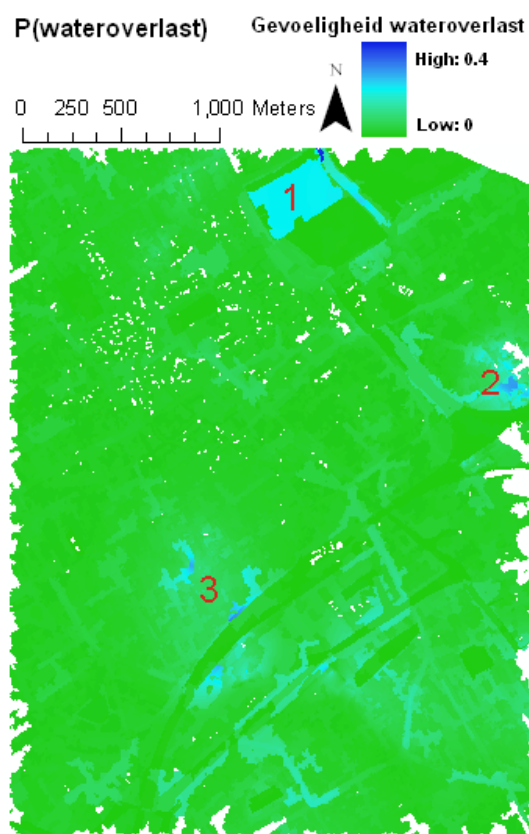
waardes, komen voornamelijk de kleinere waardes niet meer als gevoelig uit de quickscan, zelfs als de factoren V en P wel groot zijn. De gewichtsfactoren geven de mogelijkheid om in de samenvoeging extra nadruk te leggen op specifieke factoren.

$$GWO = F((0.5(w_1I + w_2G))^2 * 0.5(w_3V + w_4P))$$

- w_x , het gewicht van factor x.
- I, van 0-1: Infiltratiemogelijkheid
- G, van 0-1: Grootte drainagegebied
- V, van 0-1: Vorm drainagegebied
- P, van 0-1: Plek in het drainagegebied per gridcel

Resultaat en discussie

Het resultaat van de quickscan in het onderzoeksgebied Den Haag staat hieronder weergegeven. Gevoelige gebieden die opvallen zijn onder andere het Malieveld (1), de omgeving van de Haagse Poort (2) en tussen het Oranjeplein en de de Vaillantlaan (3). Van deze gebieden is in het verleden er bij één al wateroverlast geweest, het Malieveld.



Figuur: Wateroverlast gevoeligheidskaart

Een kanttekening is dat deze methodiek de intrinsieke gevoeligheid van een gebied toetst. Riolering en het oppervlaktewatersysteem worden niet meegenomen. De quickscan gaat er van uit dat drainagegebieden niet met elkaar in verbinding staan. Die aanname staat onder druk bij aanwezigheid van riolering en het oppervlaktewatersysteem.

Tevens betekent een hoge gevoeligheid niet dat een gebied gevaarlijk is. Een totaalbeeld van een gebied wordt niet geschept. De quickscan geeft echter wel een indicatie van welke gebieden gevoeliger zijn dan andere. Zodoende kan er na

verkenning m.b.v. de quickscan worden besloten om een gevoelig gebied nader te onderzoeken.

Bijlage 5. Landgebruikskaart en gevoeligheid 'Attribute table'

AREA	PERIMETER	BBG1996A	BBG2000A	landuse	verstening
6882623,62	764788,09	11	11	main road	0,80
1128,20	137,39	10	10	railway	0,05
38977,96	1593,06	20	20	residential area	0,70
440652,49	4007,51	20	20	residential area	0,70
68914,40	1665,20	60	60	forest	0,05
186191,57	2151,47	22	22	public facilities	0,70
279498,13	2422,24	60	60	forest	0,05
529172,16	3824,04	20	20	residential area	0,70
2397,05	578,64	10	78	other waters	0,00
1904,98	691,99	21	11	main road	0,80
418436,66	4663,14	21	21	retail and catering	0,80
10264,21	1602,82	10	11	main road	0,80
13168,87	528,00	23	23	socio-cultural facilities	0,80
70790,65	1168,57	20	20	residential area	0,70
46941,50	1077,17	22	22	public facilities	0,70
1117,18	690,58	60	24	industrial grounds	0,80
31961,74	1616,88	24	24	industrial grounds	0,80
628,73	144,55	78	78	other waters	0,00
511632,04	5745,31	21	21	retail and catering	0,80
334716,37	5531,70	20	20	residential area	0,70
126187,58	4550,52	40	40	parc or public garden	0,05
91,09	38,44	78	78	other waters	0,00
4120,16	849,21	78	78	other waters	0,00
11452,82	520,30	23	23	socio-cultural facilities	0,80
9492,23	749,25	51	40	parc or public garden	0,05
68135,56	1220,69	43	43	day trip location	0,05
532,25	138,79	20	23	socio-cultural facilities	0,80
18654,21	554,33	23	23	socio-cultural facilities	0,80
574,65	201,23	20	21	retail and catering	0,80
21957,25	692,82	23	23	socio-cultural facilities	0,80
20428,09	874,54	60	60	forest	0,05
795,36	200,08	78	60	forest	0,05
1980,61	312,15	20	24	industrial grounds	0,80
913185,23	5338,42	20	20	residential area	0,70
893,65	289,28	11	20	residential area	0,70
1209,31	434,29	11	60	forest	0,05
5833,76	1262,56	11	40	parc or public garden	0,05
17654,77	796,39	23	23	socio-cultural facilities	0,80
825,38	233,52	78	24	industrial grounds	0,80
762,93	204,87	75	75	water with recreational funct	0,00
4256,60	561,84	22	24	industrial grounds	0,80
3170,66	638,63	11	24	industrial grounds	0,80
54,29	31,14	75	75	water with recreational funct	0,00

14372,47	1439,58	75	75	water with recreational funct	0,00
14892,30	698,29	22	22	public facilities	0,70
23115,52	651,39	23	23	socio-cultural facilities	0,80
558,12	452,70	21	11	main road	0,80
1028,87	497,33	22	20	residential area	0,70
2281,80	199,43	51	40	parc or public garden	0,05
3537,17	855,54	11	22	public facilities	0,70
20604,78	731,42	40	34	construction site	0,70
44303,50	1005,42	22	22	public facilities	0,70
778,55	322,43	22	22	public facilities	0,70
1211,40	294,48	20	22	public facilities	0,70
9443,52	436,33	22	22	public facilities	0,70
528,96	110,30	22	22	public facilities	0,70
236233,70	2939,49	21	21	retail and catering	0,80
15785,68	535,54	21	21	retail and catering	0,80
688,69	173,86	20	23	socio-cultural facilities	0,80
23685,63	682,31	22	22	public facilities	0,70
21976,54	644,36	23	23	socio-cultural facilities	0,80
35634,97	1050,55	40	40	parc or public garden	0,05
122969,63	1585,33	24	24	industrial grounds	0,80
1981,11	239,95	40	22	public facilities	0,70
386631,35	15166,75	10	10	railway	0,05
2731,12	366,57	11	22	public facilities	0,70
1525,56	190,00	11	34	construction site	0,70
561,08	106,99	21	11	main road	0,80
9457,06	999,39	11	11	main road	0,80
15075,81	835,04	22	22	public facilities	0,70
22824,10	805,81	78	78	other waters	0,00
140836,48	1883,56	20	20	residential area	0,70
340,92	75,53	10	11	main road	0,80
40853,08	950,73	22	22	public facilities	0,70
19196,47	595,68	20	20	residential area	0,70
54122,52	1747,86	22	22	public facilities	0,70
2242,22	290,28	22	21	retail and catering	0,80
239621,16	3169,83	20	20	residential area	0,70
69,08	34,25	10	11	main road	0,80
996,72	208,18	11	20	residential area	0,70
5232,29	661,71	11	11	main road	0,80
1084,79	263,02	11	22	public facilities	0,70
636,72	272,03	20	21	retail and catering	0,80
10157,32	626,76	21	21	retail and catering	0,80
9549,00	572,49	24	11	main road	0,80
13739,93	892,81	20	20	residential area	0,70
3991,99	617,61	11	20	residential area	0,70
15527,25	507,65	23	23	socio-cultural facilities	0,80
3692,91	282,27	21	20	residential area	0,70

9247,93	406,38	24	24	industrial grounds	0,80
22995,39	694,66	23	23	socio-cultural facilities	0,80
29700,42	947,52	23	23	socio-cultural facilities	0,80
38085,34	911,71	23	23	socio-cultural facilities	0,80
5332,20	387,90	42	42	allotment gardens	0,05
220,05	102,47	10	10	railway	0,05
2040,88	600,39	23	20	residential area	0,70
61694,14	1693,30	20	20	residential area	0,70
1874,61	175,40	10	10	railway	0,05
534,23	171,82	21	20	residential area	0,70
606,90	121,31	10	10	railway	0,05
75215,59	1156,22	23	23	socio-cultural facilities	0,80
195,03	59,49	10	10	railway	0,05
1133907,76	8028,25	20	20	residential area	0,70
543,22	146,40	21	20	residential area	0,70
178,80	53,76	10	10	railway	0,05
32387,68	1196,67	22	22	public facilities	0,70
12823,32	476,66	20	20	residential area	0,70
69934,31	1775,88	20	20	residential area	0,70
27398,57	987,66	21	21	retail and catering	0,80
5147,25	713,23	10	24	industrial grounds	0,80
31547,21	938,23	24	24	industrial grounds	0,80
1375,88	218,29	20	23	socio-cultural facilities	0,80
1177055,14	7582,67	20	20	residential area	0,70
245,93	65,24	10	10	railway	0,05
520,39	93,53	11	11	main road	0,80
28025,97	1039,04	10	10	railway	0,05
458,94	89,25	10	10	railway	0,05
1304,18	185,01	11	11	main road	0,80
11559,31	464,81	21	21	retail and catering	0,80
206,72	60,69	10	10	railway	0,05
156679,31	5005,18	24	24	industrial grounds	0,80
31122,68	2666,61	11	11	main road	0,80
16422,51	951,04	31	31	wreckage ground	0,70
10781,03	454,91	22	22	public facilities	0,70
18122,87	588,17	34	34	construction site	0,70
55982,74	1556,74	22	22	public facilities	0,70
24602,81	661,39	20	20	residential area	0,70
64743,83	1222,78	24	24	industrial grounds	0,80
847,35	446,93	20	11	main road	0,80
19541,86	855,46	31	31	wreckage ground	0,70
10131,78	413,48	21	20	residential area	0,70
12168,49	513,58	23	23	socio-cultural facilities	0,80
424,47	94,15	10	10	railway	0,05
3265,93	268,93	10	10	railway	0,05
2033,38	360,09	22	24	industrial grounds	0,80

31781,67	1577,10	78	78	other waters	0,00
65462,58	1209,88	20	20	residential area	0,70
552,07	259,95	11	20	residential area	0,70
169162,62	4246,46	10	10	railway	0,05
16963,72	593,77	23	23	socio-cultural facilities	0,80
914,42	123,73	10	10	railway	0,05
6000,74	397,85	41	41	sports park	0,05
10962,70	912,68	11	11	main road	0,80
3443,12	573,08	22	78	other waters	0,00
9114,61	405,25	31	31	wreckage ground	0,70
20762,80	750,69	20	20	residential area	0,70
4968,37	851,26	11	23	socio-cultural facilities	0,80
93861,68	1667,56	34	23	socio-cultural facilities	0,80
9710,52	555,62	40	20	residential area	0,70
4731,79	621,22	11	24	industrial grounds	0,80
194466,61	3194,48	24	24	industrial grounds	0,80
59831,75	2964,87	78	78	other waters	0,00
969,11	188,54	78	11	main road	0,80
1439,56	372,89	11	11	main road	0,80
57991,98	4104,78	78	78	other waters	0,00
3314,42	538,75	11	21	retail and catering	0,80
14838,39	615,78	21	21	retail and catering	0,80
448764,48	4405,55	20	20	residential area	0,70
1665,99	732,14	20	11	main road	0,80
11721,67	1471,72	11	24	industrial grounds	0,80
1381,77	150,31	78	78	other waters	0,00
190548,23	1966,55	34	24	industrial grounds	0,80
2076,67	864,01	78	20	residential area	0,70
394966,48	3675,55	20	20	residential area	0,70
2588,79	1009,96	20	21	retail and catering	0,80
31517,40	1183,35	21	21	retail and catering	0,80
28150,02	937,97	42	42	allotment gardens	0,05
17558,49	572,78	40	40	parc or public garden	0,05
1136,22	451,12	21	20	residential area	0,70
873,53	289,54	40	20	residential area	0,70
273787,10	4396,75	20	20	residential area	0,70
612,84	875,07	78	20	residential area	0,70
2119,23	685,32	20	11	main road	0,80
64415,06	1120,13	20	20	residential area	0,70
117531,31	1587,10	20	20	residential area	0,70
7187,51	628,23	11	11	main road	0,80
114494,84	2672,57	24	24	industrial grounds	0,80
14267,04	474,56	41	41	sports park	0,05
3450,51	1025,18	10	20	residential area	0,70
48,29	110,92	10	10	railway	0,05
46,77	64,18	11	78	other waters	0,00

1193,40	139,24	78	78	other waters	0,00
33896,09	1453,90	78	78	other waters	0,00
358,18	97,86	10	10	railway	0,05
28897,26	930,06	22	22	public facilities	0,70
168148,87	2943,78	20	20	residential area	0,70
144883,33	1773,32	24	24	industrial grounds	0,80
35894,30	1182,27	24	24	industrial grounds	0,80
640565,02	7140,77	20	20	residential area	0,70
1050,55	424,80	10	20	residential area	0,70
30468,28	1304,49	23	23	socio-cultural facilities	0,80
1438,34	441,96	20	23	socio-cultural facilities	0,80
28822,59	1042,91	23	23	socio-cultural facilities	0,80
28091,56	1548,69	78	78	other waters	0,00
120158,24	2503,86	20	20	residential area	0,70
10538,40	469,93	41	41	sports park	0,05
829,96	270,89	24	20	residential area	0,70
5105,43	301,86	41	23	socio-cultural facilities	0,80
750,42	275,54	11	10	railway	0,05
20628,95	1010,10	78	78	other waters	0,00
154,54	49,72	10	10	railway	0,05
557,85	119,67	78	24	industrial grounds	0,80
17095,50	558,54	24	24	industrial grounds	0,80
483884,54	4680,74	20	20	residential area	0,70
17014,25	859,91	10	10	railway	0,05
1358,38	279,79	23	20	residential area	0,70
14998,13	473,06	23	23	socio-cultural facilities	0,80
41125,28	913,00	41	41	sports park	0,05
3714,35	833,21	21	20	residential area	0,70
234678,63	3310,16	20	20	residential area	0,70
49594,30	1566,74	21	21	retail and catering	0,80