

Parametrisatie van een surface-runoffmodel en de gevolgen hiervan op de afvoerpieken



Auteur: Harm de Jong
Datum: 3 juni 2010
Opleiding: Land- en Watermanagement, minor hydrologische modellering
School: Hogeschool Van Hall Larenstein
Opdracht: Afstudeerscriptie
Colloquiumnummer 14
Trefwoorden: Surface runoff, afvoer, afvoerpiek
Opdrachtgever: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR)

Interne begeleider: Elgard van Leeuwen

Externe begeleider HDSR: Joost Heijkers

Externe begeleider Alterra: Ab Veldhuizen



Voorwoord

Dit afstudeeronderzoek is uitgevoerd in het kader van de opleiding Land- en Watermanagement aan hogeschool Van Hall Larenstein te Velp. Het onderzoek gaat in op de parametrisatie van surface runoff (oppervlakkige afstroming) met een hydrologisch model, en de gevolgen daarvan op de met dit model berekende afvoerpieken. De opdrachtgever voor dit onderzoek is het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR).

Mijn dank gaat uit Elgard van Leeuwen, Joost Heijkers en Ab veldhuizen voor hun waardevolle begeleiding tijdens dit afstudeeronderzoek. Hier heb ik veel van geleerd en het heeft me geholpen om uiteindelijk het afstudeeronderzoek succesvol af te ronden.

Velp, juni 2010

Harm de Jong

Samenvatting

Tot nu toe is er relatief weinig bekend over de parametrisatie van surface runoff voor Nederlandse situaties. Dit is van belang omdat uit een aantal onderzoeken blijkt dat surface runoff kan bijdragen aan afvoerpieken van het watersysteem. In het kader van het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) en de Kaderrichtlijn Water (KRW) is het belangrijk om meer inzicht te verkrijgen over de invloed van surface runoff op de afvoerpieken. Het doel van dit onderzoek is daarom om meer inzicht te krijgen in het parametriseren van surface runoff in het hydrologisch model SIMGRO, en de effecten daarvan op de afvoerpieken.

De eerste stap in dit onderzoek is een literatuurstudie naar de verschillende typen surface runoff en typen waterafvoer. Daarbij is ervoor gekozen om in het vervolg van het onderzoek alleen onverzadigde en verzadigde surface runoff te gebruiken. Daarna zijn de gebieds- en neerslagkenmerken bepaald die invloed hebben op surface runoff. De volgende stap is het selecteren van deelgebieden, de rekenneerslag en het AHN. In het beheersgebied van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) zijn een aantal gebieden geselecteerd die in de modelberekeningen gebruikt zijn.

Als laatste is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om te bepalen welke parameters 'gevoelig' zijn bij surface runoff, en welke gevolgen dit heeft voor de afvoer(pieken) en de hoeveelheid surface runoff. Per modelberekening is steeds een 'gevoelige' parameter aangepast. De effecten hiervan zijn onderzocht aan de hand van een aantal neerslagperioden. Elke neerslagperiode heeft een verschillend verloop van de neerslag in de tijd. Daarnaast is ook onderzocht wat het effect is van de beschikbare berging in de onverzadigde zone in de startsituatie.

De hoogste afvoerpieken treden op bij een verlaging van de capaciteit van de microberging op het maaiveld en/of verlaging van de infiltratiecapaciteit. Als de microberging op het maaiveld en de infiltratiecapaciteit beide laag zijn, kan het ook voorkomen dat er meerdere relatief hoge afvoerpieken optreden. De verlaging van de microberging zorgt ervoor dat er relatief weinig neerslag op het maaiveld geborgen kan worden. Daardoor stroomt er veel neerslag als surface runoff af. De lage infiltratiecapaciteit heeft als gevolg dat er relatief weinig neerslag op het maaiveld kan infiltreren. Een groot deel van de neerslag stroomt daardoor af als surface runoff.

Met name in gebieden waar een lage infiltratiecapaciteit (zware klei, zavel etc.) en een lage capaciteit van de microberging voorkomt, moet rekening worden gehouden met een hoge kans op surface runoff (en hoge afvoerpieken).

Het aanpassen van de drainageweerstand, het AHN (1,2) of de neerslag (dagneerslag i.p.v. uurneerslag) heeft relatief weinig effect op de afvoerpieken (met uitzondering van een aantal situaties).

Als laatste blijkt dat de berging in de onverzadigde zone ook van invloed is op de afvoerpieken. Bij een lage beschikbare berging (natte omstandigheden) treden de grootste afvoerpieken op. In het geval van een natte startsituatie is de berging in de onverzadigde zone bijna geheel gevuld. De neerslag die dan valt kan niet of beperkt infiltreren in de bodem en stroomt dan af als surface runoff. Naarmate de beschikbare berging toeneemt (droge omstandigheden) komt er een lagere afvoerpiek voor. De neerslag kan dan wel infiltreren in de bodem en er ontstaat minder surface runoff.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	7
2	Aanpak	10
3	Typen waterafvoer en surface runoff	12
3.1	De hydrologische kringloop	12
3.2	Typen waterafvoer	13
3.3	Definitie surface runoff	13
3.4	Onverzadigde surface runoff	14
3.5	Verzadigde surface runoff	14
3.6	Surface runoff met korstvorming	15
3.7	Surface runoff over waterafstotende bodems	15
3.8	Typen surface runoff voor vervolg onderzoek	15
4	Beschrijving SIMGRO-model	16
4.1	SIMGRO	16
4.2	Waarom SIMGRO in dit onderzoek?	17
5	Gebieds- en neerslagkenmerken in SIMGRO	18
5.1	Gebiedskenmerken	18
5.1.1	Infiltratie	18
5.1.2	Grondsoort en eigenschappen	19
5.1.3	Horizontale maaiveldweerstand	19
5.1.4	Reliëf en plasmvorming	20
5.1.5	Bodembeheer en vegetatie	22
5.1.6	Slootafstand	23
5.2	Neerslagkenmerken	24
5.2.1	Neerslagintensiteit	24
5.2.2	Neerslagpatroon	24
5.2.3	Verplaatsingssnelheid	25
6	Selectie deelgebieden, rekenneerslag en AHN	26
6.1	Analyse kans op surface runoff binnen HDSR beheersgebied	26

6.1.1	Doorlatendheid	26
6.1.2	Initieel verzadigde gehalte van de bodem	27
6.1.3	Gevoeligheid voor verslumping.....	28
6.1.4	Vegetatie en landgebruik	29
6.1.5	Hellingen en depressies in het maaiveld.....	30
6.1.6	Grondsoort	30
6.1.7	Resultaten.....	30
6.2	Selectie deelgebieden	31
6.2.1	Selectiecriteria.....	31
6.2.2	Methode	32
6.2.3	Geselecteerde deelgebieden.....	33
6.3	Selectie rekenneerslag	33
6.4	Selectie AHN	34
7	Controle meetgegevens	35
7.1	Methode.....	35
7.2	Resultaten.....	35
7.3	Conclusie	36
8	Gevoelige parameters in SIMGRO.....	37
8.1	Methode.....	37
8.2	Selectie gevoelige parameters	38
8.2.1	Modelresultaten met een fictieve neerslagreeks	38
8.2.2	Modelresultaten met KNMI neerslagreeks	42
8.2.3	Conclusie	46
8.3	Bandbreedten gevoelige parameters.....	46
9	Gevoeligheidsanalyse met SIMGRO	47
9.1	Methode.....	47
9.2	Resultaten.....	51
9.2.1	Deelgebied 1 (peilgebied PG0245).....	51
9.2.2	Deelgebied 2 (peilgebied PG0263).....	57
9.2.3	Deelgebied 3 (peilgebied PG0551).....	62

9.3	Conclusies	68
10	Discussie	71
11	Conclusies en aanbevelingen	72
	Literatuurlijst	73
	Bijlagen	75
	Opdrachtschrijving en projectplan (bijlage los)	89

1 Inleiding

Dit document bevat de rapportage van het onderzoek naar de parametrisatie van oppervlakkige afstroming (surface runoff) in het model SIMGRO. Deze leeropdracht wordt uitgevoerd in het kader van de opleiding Land- en Watermanagement aan Hogeschool Van Hall Larenstein (minor hydrologische modellering).

Surface runoff is de waterstroom over het maaiveld en door greppels die ontstaat bij hevige neerslag wanneer de bodem volledig verzadigd is, de neerslagintensiteit hoger is dan de infiltratiecapaciteit van de bodem of als het bodemprofiel verstoord is dan wel als waterafstotend kan worden beschouwd. Het overtollige water stroomt dan over het maaiveld of greppels af naar een watergang.

Aanleiding

De aanleiding voor dit onderzoek wordt gevormd door de volgende twee beleidsstukken: het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) en de Kaderrichtlijn Water (KRW). Het NBW stelt dat het watersysteem in Nederland tot 2015 op orde moet worden gebracht en daarna op orde moet worden gehouden. Eén van de betrokken partijen hierbij is het waterschap Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR), waarvoor dit onderzoek wordt uitgevoerd.

Onderdeel van het NBW zijn normen die worden gesteld aan wateroverlast. Afhankelijk van het landgebruik mogen gebieden maximaal eens in een aantal gestelde jaren overstroomd worden. Om deze normen te halen is het belangrijk om een goed inzicht te hebben in de situaties waarin er wateroverlast kan ontstaan, zodat hier vervolgens op geanticipeerd kan worden. Uit een aantal onderzoeken blijkt (Rozemeijer et al., 2008; C.R. Meinardi et al., 2008) dat surface runoff mogelijk een sterke bijdrage kan leveren aan de waterafvoer. Daarom is het van belang om in te kunnen schatten onder welke omstandigheden en in welke mate er surface runoff kan plaatsvinden, en welke effecten de surface runoff heeft op de afvoerpieken. De surface runoff kan berekend worden met een hydrologisch model zoals SIMGRO. Hierbij treedt echter het probleem op dat er weinig bekend is over de parametrisatie van de surface runoff met een hydrologisch model in Nederlandse situaties. Welke effecten hebben de invoer (zoals neerslagintensiteit, neerslagpatroon etc.) en de modelparameters (maaiveldweerstand, landgebruik etc.) op de mate van surface runoff? En welke effecten heeft de surface runoff vervolgens op de afvoerpieken? In dit onderzoek wordt onder andere antwoord gegeven op deze vragen voor een aantal deelgebieden in het beheersgebied van HDSR.

De KRW is een Europees beleidsstuk dat als doel heeft om de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater in Europa op een voldoende niveau te krijgen en vervolgens te houden. Uit een aantal onderzoeken (Rozemeijer et al., 2008; C.R. Meinardi et al., 2008) blijkt dat surface runoff mogelijk tot een verminderde kwaliteit van het oppervlaktewater kan leiden. In de meeste situaties komt de neerslag terecht op het maaiveld en stroomt vervolgens door de bodem naar totdat het tot afvoer komt op het oppervlaktewater. De bodem dient hierbij als een soort filter waardoor verontreinigingen in het water verwijderd of verminderd worden. In een situatie waar surface runoff optreedt stroomt de neerslag direct naar het oppervlaktewater zodat verontreinigingen niet worden gefilterd en de kwaliteit van het oppervlaktewater achteruit gaat. Daarom is het van belang om goed in te kunnen schatten in welke situaties en in welke mate er surface runoff optreedt. Als dit bekend is kunnen er maatregelen genomen worden om onder andere de slechte invloed op de oppervlaktewaterkwaliteit door surface runoff te beperken. Ook hierbij treedt hetzelfde probleem op als bij het NBW, er is weinig bekend over de parametrisatie van surface runoff met een hydrologisch model voor Nederlandse situaties.

HDSR is verantwoordelijk voor de KRW doelstellingen voor haar beheersgebied en heeft behoefte aan het beantwoorden van deze vragen.

Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is meer inzicht te verkrijgen over het parametriseren van surface runoff in het hydrologisch model SIMGRO, en de gevolgen daarvan op de berekende afvoerpieken. Hierbij

wordt met name gedacht aan de parametrisatie van parameters die surface runoff kunnen veroorzaken (grondsoort, reliëf, neerslag etc.), en wat de gevolgen zijn op de afvoerpieken als de waarde van deze parameters verandert. De gevolgen van de afzonderlijke aanpassing van parameters zullen onderzocht worden, als mede de gevolgen van de aanpassing van meerdere parameters tegelijk.

Vraagstelling

Uit de doelstelling volgen de hoofd- en deelvragen. De hoofdvraag voor dit onderzoek luidt als volgt:

- Waar en onder welke omstandigheden kan surface runoff optreden, en tot welke variaties in afvoerpieken kan dit leiden?

Uit deze hoofdvraag zijn de volgende deelvragen afgeleid:

1. Welke typen surface runoff zijn er te onderscheiden?
2. Wat zijn de bepalende gebieds- en neerslagkenmerken die leiden tot deze surface runoff processen, en hoe zijn deze gemodelleerd in SIMGRO?
3. Waar kan de surface runoff, gegeven de antwoorden op deelvraag 1 en 2, voorkomen binnen het HDSR beheersgebied?
4. Wat zijn de gevoelige parameters, tussen welke bandbreedten komen deze voor in de deelgebieden en hoe worden deze verwerkt in SIMGRO?
5. Tot welke variaties in berekende afvoerpieken kunnen deze bandbreedtes leiden?
6. Optioneel: Hoe kan er middels (gerichte/representatieve) monitoring ingeschat worden wanneer en op welke locatie surface runoff voorkomt? (opzet voor monitoring)

Vanuit de deelvragen is het onderzoek opgedeeld in verschillende fasen. Een fase die niet vanuit de deelvragen volgt is de fase 'veldwerk'. Deze en andere fasen staan toegelicht in hoofdstuk 2 'Aanpak'.

Afbakening

In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van een reeds bestaand hydrologisch model van het HDSR beheersgebied. Dit model is opgesteld door Alterra (Wageningen UR) en maakt gebruik van het modelleringsprogramma SIMGRO. Dit modelleringsprogramma is tevens ontwikkeld door Alterra. Met SIMGRO zullen alleen berekeningen worden gemaakt voor een aantal deelgebieden van het beheersgebied van HDSR. Voor delen buiten deze deelgebieden zullen geen berekeningen uitgevoerd worden.

Er wordt gebruik gemaakt van een reeds bestaande methode van modellering van surface runoff. Binnen het modelleringsprogramma SIMGRO is al een methode aanwezig om de surface runoff te berekenen. Voor dit onderzoek wordt er vanuit gegaan dat deze methode juist is.

Alleen de effecten van de gevoelige parameters binnen de gestelde bandbreedten worden onderzocht. Parameters die niet gevoelig zijn voor het veroorzaken van surface runoff, en waarden van parameters buiten de gestelde bandbreedten zullen niet gebruikt worden bij de modelberekeningen in dit onderzoek.

Alleen de typen surface runoff die voorkomen binnen het beheersgebied van HDSR zullen gebruikt worden bij het berekenen van de variaties in de afvoerpieken. Andere typen surface runoff worden wel beschreven, maar niet gebruikt bij de berekeningen.

Het ontwerpen van een monitoringopzet is een optioneel onderdeel van het onderzoek. Dit onderdeel zal alleen worden uitgevoerd als er aan het eind van het onderzoek voldoende tijd beschikbaar is. In overleg met HDSR is besloten om uiteindelijk dit onderdeel niet uit te voeren vanwege tijdgebrek.

In de hiervoor beschreven hoofd- en deelvragen staat niet vermeld dat er mogelijk veldwerk verricht zal worden. Het veldwerk zou uitgevoerd worden in het kader van het HDSR project 'Nutriënten Lopikerwaard'. Uiteindelijk is er geen veldwerk uitgevoerd doordat er te weinig tijd beschikbaar was tijdens de onderzoeksfase.

Leeswijzer

De methode van dit onderzoek wordt beschreven in hoofdstuk 2 ('Aanpak'). Daarna worden in hoofdstuk 3 ('Typen waterafvoer en surface runoff') de verschillende typen waterafvoer en typen surface runoff behandeld. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 ('Beschrijving SIMGRO model') het SIMGRO model beschreven, dat gebruikt wordt bij de modelberekeningen. Hoofdstuk 5 ('Gebieds- en neerslagkenmerken in SIMGRO') behandelt de verschillende kenmerken van een gebied en een neerslag die kunnen leiden tot surface runoff, en hoe deze verwerkt zijn in SIMGRO. De selectie van deelgebieden, rekenneerslag en AHN (voor de modelberekeningen) wordt beschreven in hoofdstuk 6 ('Selectie deelgebieden, rekenneerslag en AHN') en de controle van de meetgegevens, voor invoer in het model, wordt beschreven in hoofdstuk 7 ('Controle meetgegevens'). Daarna worden de gevoelige parameters voor surface runoff in SIMGRO behandeld in hoofdstuk 8 ('Gevoelige parameters in SIMGRO'). Vervolgens wordt de gevoeligheidsanalyse van de parameters beschreven in hoofdstuk 9 ('Gevoeligheidsanalyse met SIMGRO'). Discussiepunten naar aanleiding van dit onderzoek worden behandeld in hoofdstuk 10 ('Discussie') en de conclusies en aanbevelingen worden beschreven in hoofdstuk 11 ('Conclusies en aanbevelingen').

Dit rapport vormt de eindrapportage van het onderzoek naar de parametrisatie van een surface runoffmodel en de gevolgen hiervan op de afvoerpieken. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van HDSR en is bedoeld voor de hydrologisch geschoolde lezer en overige geïnteresseerden.

2 Aanpak

Hieronder worden de verschillende fasen beschreven waarin het onderzoek is ingedeeld.

Typen waterafvoer en surface runoff

De eerste stap in het onderzoek is het definiëren van surface runoff en het plaatsen van surface runoff binnen de hydrologische kringloop. Vervolgens wordt bepaald welke typen surface runoff kunnen plaatsvinden. Dit wordt onderzocht door middel van literatuurstudie. Als bekend is welke typen surface runoff voorkomen, dan kan vastgesteld worden welke typen surface runoff gebruikt zullen worden bij de modellering in SIMGRO 7. Dit wordt bepaald in overleg met Joost Heijkers van HDSR.

Beschrijving SIMGRO model

Het SIMGRO model voor de modelberekeningen wordt beschreven. Daarbij gaat het om een algemene beschrijving van het model, de werking van het model en de motivering van de keuze voor dit model. Hierbij wordt gebruik gemaakt van literatuuronderzoek en het model zelf.

Gebieds- en neerslagkenmerken in SIMGRO

Door middel van literatuuronderzoek worden vervolgens de gebieds- en neerslagkenmerken bepaald die kunnen leiden tot surface runoff. De gebiedskenmerken (infiltratie, grondsoort, reliëf etc.) zijn van belang om een inschatting te kunnen maken van de locaties waar mogelijk surface runoff kan plaatsvinden binnen het HDSR beheersgebied. Deze locaties kunnen eveneens later in het onderzoek gebruikt worden voor de selectie van deelgebieden voor de modellering.

De neerslagkenmerken (neerslagintensiteit, neerslagpatroon etc.) zijn van belang om een inschatting te kunnen maken van de parameters die van belang zijn bij de selectie van de neerslag waarmee de modelberekeningen uitgevoerd zullen worden.

Bij elk gebieds- en neerslagkenmerk zal ook worden toegelicht hoe deze verwerkt zijn in SIMGRO. Dit om de methode waarop kenmerken ingevoerd worden en eventuele beperkingen van het model toe te lichten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van literatuurstudie en het model.

Selectie deelgebieden

Met de reeds verzamelde gegevens kunnen, binnen het HDSR beheersgebied, deelgebieden geselecteerd worden waar mogelijk surface runoff kan plaatsvinden. Hiervoor wordt eerst met behulp van de gebiedskenmerken een GIS analyse uitgevoerd. Uit deze analyse volgt een inschatting van locaties waar binnen het HDSR beheersgebied een kans op surface runoff aanwezig is.

Vervolgens worden behulp van deze locaties en een aantal criteria de uiteindelijke deelgebieden voor de modelberekeningen geselecteerd.

Controle meetgegevens

Voordat er gestart kan worden met het onderzoek is het van belang om te onderzoeken of de meetgegevens van HDSR betrouwbaar zijn. Hiervoor worden de gemeten afvoergegevens vergeleken met neerslaggegevens van een aantal KNMI neerslagstations in de buurt van de deelgebieden. Of de gemeten afvoergegevens betrouwbaar zijn wordt onderzocht door de neerslaghoeveelheden samen met de gemeten afvoeren in een grafiek te zetten. Deze grafiek wordt vervolgens geanalyseerd door bijvoorbeeld te controleren of er na een hevige neerslag een (vertraagde) afvoerpiek volgt. Als de meetgegevens niet realistisch of onvolledig blijken te zijn wordt er mogelijk een ander deelgebied geselecteerd.

Bepaling gevoelige parameters en bandbreedten

Vervolgens wordt bepaald welke parameters (invoer in het model of reeds aanwezige parameters in het model) een grote invloed hebben op surface runoff (gevoelige parameters) en in welke bandbreedten deze voorkomen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van gebiedsgegevens (bodemkaart, landgebruikskaart etc.), literatuuronderzoek en de informatie uit de fase 'Gebieds- en neerslagkenmerken in SIMGRO'. Later in het onderzoek zullen deze parameters, binnen de bandbreedten, in het SIMGRO model worden aangepast om te onderzoeken welke onzekerheden in afvoerpieken optreden.

Daarnaast zullen er analyses van neerslaggegevens en AHN resoluties (bijvoorbeeld 5x5m of 1x1m) plaatsvinden. Zo kan bepaald worden welke neerslaggegevens en AHN resoluties gebruikt kunnen worden bij de modelberekeningen. Bij de analyses wordt gebruik gemaakt van neerslaggegevens van het KNMI en verschillende AHN resoluties die aangeleverd zijn door het waterschap in GIS.

Gevoeligheidsanalyse met SIMGRO

Het grootste deel van het onderzoek vormt het uitvoeren van de modelberekeningen met SIMGRO 7. Het doel van deze berekeningen is het bepalen van de onzekerheden in de afvoerpieken als gevolg van de bandbreedten in de parameters. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het reeds bestaande SIMGRO model van het HDSR beheersgebied. In dit model worden de gevoelige parameters (invoer of modelparameters) gewijzigd binnen de gestelde bandbreedten. Verwacht wordt dat de gevoelige parameters verschillende effecten zullen hebben op de afvoerpieken. Daarom zullen eerst de effecten van de afzonderlijke gevoelige parameters bepaald en met elkaar vergeleken worden. Na een eerste indruk van deze effecten kunnen er meerdere gevoelige parameters tegelijk gewijzigd worden. De effecten van deze combinaties van wijzigingen zullen onderzocht worden en onderling vergeleken.

Tijdens de modelberekeningen zullen de door HDSR gemeten waterstanden en afvoeren gebruikt worden om te controleren of het model enigszins realistische afvoeren berekend. Blijkt dit niet zo te zijn dan zitten er fouten in het model, of in de gemeten waarden. Nader onderzoek moet dan uitwijzen waar de fout zit.

Uitvoeren veldwerk

Met name in het begin van het onderzoek is het mogelijk dat er veldwerk verricht wordt (afhankelijk van de weersomstandigheden). Dit in het kader van het 'nutriëntenonderzoek Lopikerwaard' dat uitgevoerd wordt door HDSR. Hierbij worden onder andere (waterkwaliteits)metingen uitgevoerd voor het bepalen van de hoeveelheid surface runoff die optreedt.

Uiteindelijk is dit veldwerk niet uitgevoerd door een tijdgebrek in de periode waarin het veldwerk verricht kon worden.

Opstellen rapport en colloquium

De laatste stap is het opstellen van dit rapport waarin het onderzoek en de resultaten beschreven worden. Ook wordt er een colloquium verzorgd over dit onderzoek.

Optioneel: opstellen monitoringopzet

Een optioneel onderdeel is het ontwerpen van een monitoringopzet. Het doel van deze monitoring is om een inschatting te kunnen maken wanneer en op welke locatie er surface runoff kan optreden. Deze fase zal alleen uitgevoerd worden wanneer er nog tijd beschikbaar is na de vorige fasen. Het besluit om deze fase uit te voeren zal genomen worden in overleg met de begeleiders van de afstudeeropdracht.

Uiteindelijk is dit onderdeel niet uitgevoerd doordat er aan het einde van dit onderzoek te weinig tijd beschikbaar was voor het opstellen van een monitoringopzet.

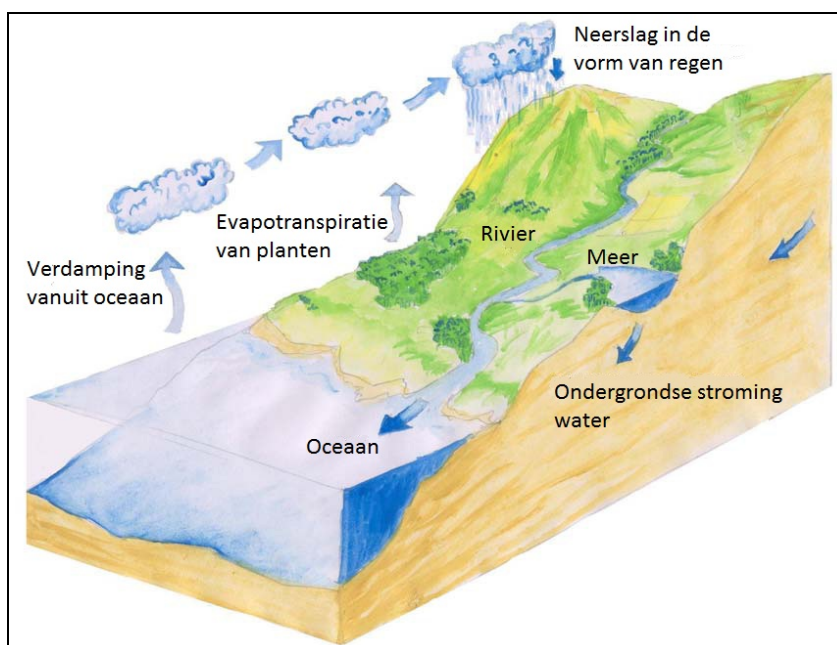
3 Typen waterafvoer en surface runoff

Dit hoofdstuk beschrijft de verschillende typen waterafvoer en de verschillende typen surface runoff. De typen waterafvoer worden onderverdeeld in basisafvoer ('baseflow'), tussenstroming ('interflow') en surface runoff. Hierover meer in paragraaf 3.2 "Typen waterafvoer". Daarnaast worden de typen surface runoff onderverdeeld in onverzadigde surface runoff, verzadigde surface runoff, surface runoff met korstvorming en surface runoff over waterafstotende bodems. Meer hierover in paragraaf 3.3 tot en met paragraaf 3.7.

Als eerste zal kort de waterkringloop worden besproken om het begrip surface runoff te kunnen plaatsen. Daarna zullen de verschillende typen afvoer toegelicht worden. Vervolgens zullen de definitie van surface runoff en de verschillende typen surface runoff behandeld worden. Als laatste wordt toegelicht welk type(n) surface runoff gebruikt worden voor het vervolg van het onderzoek.

3.1 De hydrologische kringloop

Een overzicht wat de waterkringloop is weergegeven in figuur 1.



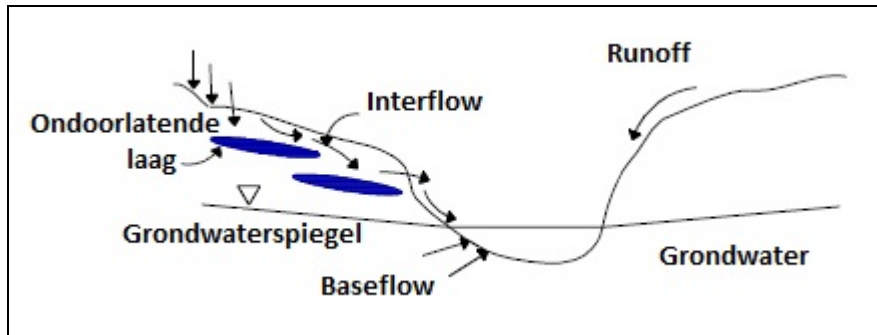
Figuur 1 De waterkringloop (Kharagpur, z.j.)

De hydrologische kringloop bestaat uit verschillende onderdelen, één van deze onderdelen is neerslag. De neerslag valt vanuit de atmosfeer op het maaiveld. Een deel van deze neerslag wordt opgevangen door vegetatie. Vanuit de vegetatie vindt er evapotranspiratie plaats naar de atmosfeer. Het water dat op het maaiveld terecht komt infiltreert in de bodem, en een deel verdampt. Als de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit van de bodem overstijgt vindt er oppervlakkige afvoer plaats (surface runoff).

Het geïnfiltreerde water stroomt door de onverzadigde zone naar de verzadigde zone (grondwater). In de verzadigde zone stroomt het water lateraal af. Als de onverzadigde zone verzadigd raakt treedt het water uit de bodem en komt dit op het maaiveld terecht (tussenstroming of 'interflow'). Het water stroomt vervolgens oppervlakkig af.

Als de onverzadigde zone uniform doorlatend is percoleert het grootste deel van het geïnfiltreerde water naar het grondwater. Hierdoor stijgt de grondwaterspiegel en ontstaan er hoogteverschillen in de grondwaterniveaus. Deze hoogteverschillen zorgen ervoor dat het grondwater van hoog naar laag gaat stromen. Uiteindelijk stroomt het water af op bijvoorbeeld een watergang. De wateraanvoer op de watergang wordt ook wel 'baseflow' genoemd. De totale waterafvoer ('streamflow') bestaat uit de

surface runoff, 'interflow' en de 'baseflow' (zie figuur 2). Meer hierover in paragraaf 1.2 'Typen afvoer'.



Figuur 2 Baseflow, interflow en surface runoff (Bron: Universiteit Zuid Florida)

3.2 Typen waterafvoer

De afstroming van regenwater naar waterlopen kan op drie manieren optreden; langs het maaiveld, via het grondwater en via de onverzadigde diepe ondergrond (Willems, 2007). Het regenwater dat op het maaiveld valt infiltreert in de bodem en vult zo het grondwater aan. Als bijvoorbeeld de infiltratiecapaciteit van de bodem overschreden wordt zal het regenwater afstromen over het maaiveld (surface runoff). Daarnaast zijn er nog een aantal oorzaken die surface runoff tot gevolg kunnen hebben (zie paragraaf 3.3 tot en met paragraaf 3.7).

Het regenwater dat in de bodem infiltreert, en niet oppervlakkig afstroomt, kan tot afvoer komen via de ondiepe en onverzadigde zone of via de diepere en verzadigde zone. Afstroming via de onverzadigde zone wordt samen met de drainagedebieten 'interflow' genoemd. Dit omdat deze stroom zich tussen de oppervlakte- en grondwaterstroming bevindt. De neerslag die tot afvoer komt via de diepere en verzadigde zone of via het grondwater is de 'basisafvoer' (baseflow). Hieronder vallen ook permanente debietbijdragen aan de waterloop, zoals huishoudelijke en industriële lozingen (Willems, 2007).

3.3 Definitie surface runoff

Uit de beschrijving van de waterkringloop blijkt dat surface runoff de stroming van water over het maaiveld betreft. Deze nogal vage beschrijving is omgezet in de volgende concrete definitie:

"Surface runoff is de waterstroom over het maaiveld en door greppels die ontstaat bij hevige neerslag als de bodem volledig verzadigd is, de neerslagintensiteit hoger is dan de infiltratiecapaciteit van de bodem, of als het bodemprofiel verstoord is danwel als waterafstotend beschouwd kan worden."

Het overtollige water stroomt dan over het maaiveld af naar greppels of naar een watergang. Voor dit proces zijn verschillende benamingen, zoals: oppervlakkige afvoer, oppervlakkige afstroming, 'overland flow' en 'runoff'.

In figuur 3 is een impressie van surface runoff weergegeven.



Figuur 3 Impressie surface runoff (Bron:Oppervlakkige afstroming ook van belang in het vlakke Nederland, Rozemeijer et al., 2008)

Zoals in de definitie aangegeven zijn er verschillende typen surface runoff te onderscheiden. Het voorkomen en ontstaan van elk type is anders. De vijf typen waar onderscheidt in gemaakt wordt staan in de volgende paragrafen beschreven.

3.4 Onverzadigde surface runoff

Het eerste type surface runoff is 'onverzadigde surface runoff' (in het engels 'Hortonian overland flow', 'unsaturated overland flow' of 'infiltration excess overland flow'). Dit vindt plaats bij een neerslagintensiteit die hoger is dan de infiltratiecapaciteit van de bodem. De overtollige neerslag kan niet in de bodem geborgen worden en blijft daarom op het maaiveld aanwezig (plassenvorming). Wanneer de plassen vol zitten met overtollige neerslag vindt er afstroming over het maaiveld plaats naar lager gelegen gebieden (bijvoorbeeld een greppel of watergang). De mate van afstroming hangt af van de infiltratiecapaciteit van de bodem. De infiltratiecapaciteit hangt weer af van een aantal factoren, zoals bodemtype, landgebruik en vegetatie.

Onverzadigde surface runoff komt vaak voor in situaties met hevige neerslagen op droge en semi-aride gebieden (American Society of Civil Engineers, 1996). Vegetatie is nauwelijks aanwezig waardoor de neerslag slechts voor een korte periode vastgehouden kan worden. In vochtige gebieden komt onverzadigde surface runoff nauwelijks voor. Vaak is er veel vegetatie aanwezig die de neerslag langdurig kan vasthouden. Een uitzondering hierop zijn de landbouwgebieden waar de natuurlijke vegetatie is verwijderd. Door de hevige neerslag vindt er verdichting van de bodem plaats, en wordt de infiltratiecapaciteit verder verlaagd.

3.5 Verzadigde surface runoff

Het tweede type surface runoff is 'verzadigde surface runoff' (in het engels 'saturation overland flow'). Dit vindt plaats wanneer de bodem volledig verzadigd is met water. Het verschil tussen de neerslagintensiteit en de infiltratiecapaciteit is hierbij niet meer van belang. Deze vorm van surface runoff treedt vaak op na een serie van hevige neerslagen. De eerste neerslag in de serie zorgt ervoor dat de bodem volledig verzadigd raakt. Vervolgens valt er in een korte tijd na de eerste neerslag, nog een hevige neerslag. Het water kan dan niet infiltreren in de bodem en stroomt daardoor direct over het maaiveld af naar lager gelegen gebieden (bijvoorbeeld een greppel of watergang). De mate van deze surface runoff wordt bepaald door het aantal neerslaggebeurtenissen en de hevigheid van neerslag. Dit type surface runoff komt voor in voornamelijk vochtige gebieden waar er veel en hevige neerslag valt (American Society of Civil Engineers, 1996; Abrahams, z.j.). Daarnaast komt het ook voor in gebieden met ondiepe niet-doorlatende lagen en hoge grondwaterstanden (Minerals Council of Australia, 1997).

3.6 Surface runoff met korstvorming

Het vierde type surface runoff is 'surface runoff met korstvorming' (in het engels 'surface crusting overland flow'). Dit vindt plaats bij zeer hevige neerslag waarbij 'onverzadigde surface runoff' ontstaat die erosie tot gevolg heeft. De geërodeerde bodemdeeltjes stromen met het water mee naar lager gelegen delen. Hier worden de bodemdeeltjes afgezet op het maaiveld waardoor er een ondoorlatende korst ontstaat. Deze korst heeft een verlaging van de infiltratiecapaciteit tot gevolg. De neerslag op de korst wordt vrijwel geheel omgezet in 'onverzadigde surface runoff'. De vorming van de korst is afhankelijk van onder andere de neerslagintensiteit, bodemtype en vegetatie. Surface runoff met korstvorming komt voornamelijk voor in droge en semi-aride gebieden met weinig of geen vegetatie (American Society of Civil Engineers, 1996).

3.7 Surface runoff over waterafstotende bodems

Het vijfde type surface runoff is surface runoff door waterafstotende bodems (in het engels 'waterrepellent soils'). Hierbij kan de neerslag niet in de bodem infiltreren en stroomt direct als surface runoff af. Deze waterafstotendheid van de bodem wordt in potentie veroorzaakt door organische materialen die worden geproduceerd door plantenwortels, rottend organisch bodemmateriaal en was van de bladeren van planten. Deze processen zorgen voor de productie van waterafstotende laagjes rondom en tussen bodemdeeltjes.

De mate van waterafstotendheid is afhankelijk van het aantal bodemdeeltjes dat een dergelijke waterafstotende laag bevat. Het aantal bodemdeeltjes waar dit het geval bij is wordt bepaald door het contactoppervlak van de bodem. Bij de grondsoort klei is het contactoppervlak bijvoorbeeld zeer groot, en bij de grondsoort zand is het contactoppervlak zeer klein¹.

3.8 Typen surface runoff voor vervolg onderzoek

In de vorige paragrafen zijn de vijf typen surface runoff beschreven. In het vervolg van dit onderzoek wordt gefocust op de volgende typen surface runoff: 'onverzadigde surface runoff' en 'verzadigde surface runoff'. Deze typen komen naar verwachting het meeste voor in het HDSR beheersgebied. Daarnaast heeft de opdrachtgever van dit onderzoek (HDSR) de wens geformuleerd om de parametrisatie van deze typen surface runoff te onderzoeken.

¹ www.water-repellency.alterra.nl

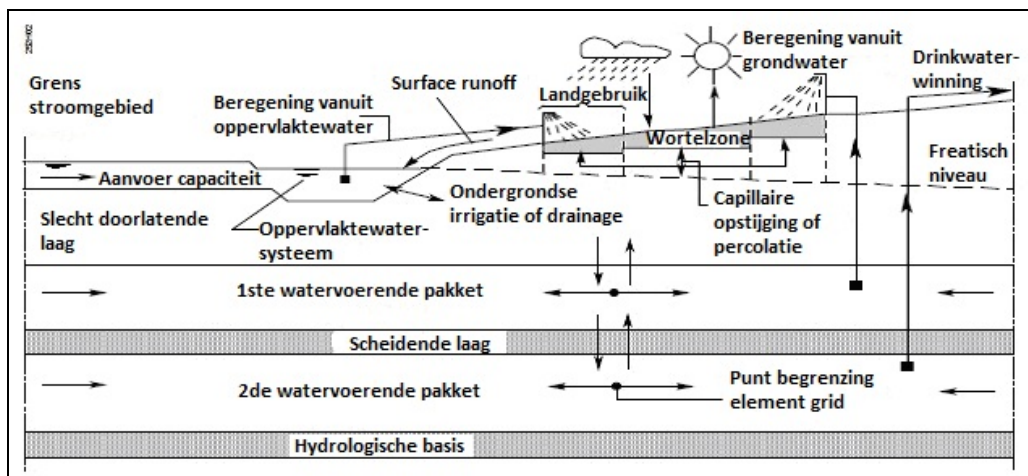
4 Beschrijving SIMGRO-model

In dit hoofdstuk wordt het SIMGRO-model beschreven wat in het onderzoek gebruikt zal worden. Vervolgens wordt beschreven waarom SIMGRO gebruik wordt in dit onderzoek.

4.1 SIMGRO

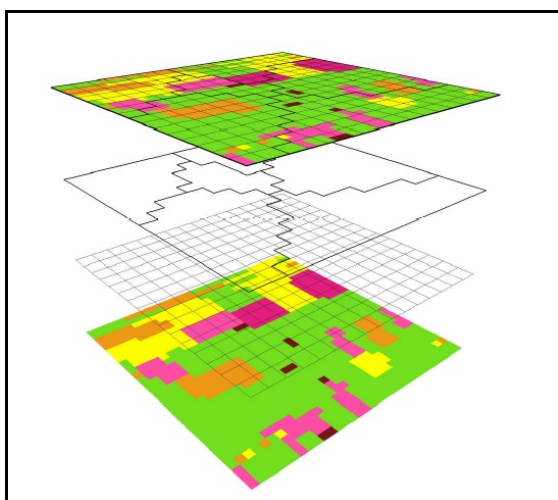
In de meeste gevallen simuleren hydrologische modellen slechts een deel van de hydrologische kringloop door de beperkte grootte van het modelgebied (P.E.V. van Walsum, 2010). Hierdoor moeten er ruimtelijke modelgrenzen gesteld worden, en aannamen gedaan worden over de externe randvoorwaarden van een model. Daarnaast worden vaak binnen een gebied niet alle processen van de hydrologische kringloop gesimuleerd, waardoor er interne randvoorwaarden nodig zijn. Vaak zijn deze interne grenzen een slechte en grove schematisatie van de situatie in de praktijk, en is er geen koppeling aanwezig tussen de randvoorwaarden.

Voor het integraal waterbeheer is een hydrologische model nodig dat het gehele hydrologische systeem kan simuleren. Voor dit doel is SIMGRO ontwikkeld. Een overzicht van de processen die plaats vinden in het model staan weergegeven in figuur 4.



Figuur 4 Schematisatie van de hydrologische kringloop in SIMGRO (Querner et al., 1989)

SIMGRO is opgebouwd uit al een verschillende submodellen die elk een deel van de hydrologische kringloop simuleren. De submodellen zien hieronder weergegeven in figuur 5.



Figuur 5 Submodellen in SIMGRO (Van Walsum et al., 2010)

De onderste laag van de submodellen wordt gevormd door de grondsoort en het landgebruik (figuur 5). Boven deze laag liggen de cellen van het grondwatermodel. Daarop volgen de stroomgebieden van het oppervlaktewater. De schematisering van het oppervlaktewater vindt plaats door een verbinding tussen deze stroomgebieden en waterlopen.

Uiteindelijk zijn alle submodellen gecombineerd in de bovenste laag. Deze laag bestaat uit SVAT kolommen. SVAT staat voor Soil (bodem) Vegetation (vegetatie) Atmosphere (atmosfeer) Transfer (uitwisseling). De interactie tussen de verschillende lagen wordt bepaald door tabellen.

In het model worden twee tijdstappen gehanteerd: één voor de 'langzame processen' en één voor de 'snelle' processen. De 'langzame' processen bestaan uit stroming van grondwater. De 'snelle' processen bestaan uit interacties tussen atmosfeer en planten, stroming over het maaiveld, stroming in watergangen en drainage met terugkoppeling naar het oppervlaktewater. Voor de 'langzame' processen wordt vaak een tijdstap van een dag gehanteerd. Voor de 'snelle' processen wordt vaak een tijdstap van een uur gehanteerd.

SIMGRO maakt gebruik van een cyclus vraag- en aanbod om fouten in de waterbalans te vermijden en de stabiliteit van het model te verbeteren. Bij infiltratie van oppervlaktewater naar grondwater wordt bijvoorbeeld eerst een verzoek gedaan aan het oppervlaktewater om water te leveren. Als er vanuit het oppervlaktewatermodel voldoende water beschikbaar is, kan er aan de vraag van het grondwater voldaan worden. De hoeveelheid geleverd water vanuit het oppervlaktewater wordt bijgehouden door het model.

Het water op het maaiveld (van belang voor surface runoff) kan in het model voorkomen op drie verschillende manieren. De eerste is oppervlaktewater dat verbonden is met een netwerk van watergangen. Daarnaast kan het freatisch grondwater zijn dat verbonden is met het regionale grondwatersysteem. Als laatste kan het plasmvorming zijn dat kan infiltreren in de grondkolom en onderdeel uitmaakt van het topsysteem.

SIMGRO berekend het water op het maaiveld in een aantal stappen. De eerste stap is het verlies van water door evaporatie of aanvulling van water door neerslag. Vervolgens wordt het water op het maaiveld geschematiseerd als een bak met een horizontale waterspiegel zonder gradiënt. Daarna vindt een update plaats van het oppervlaktewaterpeil en aan het einde van de tijdstap krijgt het grondwatermodel informatie over de plasmvorming (waterbalans van de plasmvorming). Het grondwatermodel berekend dan hoeveel water vanaf het maaiveld in de bodem infiltreert. Het submodel voor plasmvorming krijgt uiteindelijk aan het begin van de tijdstap de informatie over de verlaging van het water op het maaiveld.

4.2 Waarom SIMGRO in dit onderzoek?

In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van SIMGRO omdat het een integraal model is. Het gehele hydrologische systeem kan gesimuleerd worden. Dit is met name van belang voor het doel van dit onderzoek: het bepalen van de variaties in afvoerpieken door surface runoff. De surface runoff wordt onder andere beïnvloed door de interactie tussen oppervlaktewater en grondwater. Hiervoor is dus een model benodigd dat deze twee onderdelen van de hydrologische kringloop met elkaar kan koppelen. SIMGRO biedt deze mogelijkheid en zal daarom gebruikt worden.

Ook is SIMGRO met name geschikt voor de modellering van hoge grondwaterstanden in relatief vlakke gebieden. Daarnaast bestaat er reeds een SIMGRO model voor het gehele beheersgebied van HDSR. Het is de bedoeling dat de modelberekeningen plaatsvinden voor deelgebieden binnen dit beheersgebied. Het voordeel is dat er geen nieuw model voor deze deelgebieden opgesteld moet worden, wat resulteert in tijdsbesparing van het onderzoek. Waarschijnlijk is het ook een goed werkend model waardoor er betrouwbare resultaten behaald kunnen worden.

5 Gebieds- en neerslagkenmerken in SIMGRO

Dit hoofdstuk beschrijft de verschillende gebieds- en neerslagkenmerken die van invloed zijn op de verschillende vormen van surface runoff. Daarbij wordt ook beschreven hoe deze kenmerken verwerkt zijn in het SIMGRO model.

Als eerste worden de gebiedskenmerken behandeld. Dit zijn achtereenvolgens infiltratie, grondsoort en eigenschappen, maaiveldweerstand, reliëf, landgebruik en plasvorming. Hierna worden de neerslagkenmerken behandeld. Dit zijn achtereenvolgens neerslagintensiteit, neerslagpatroon en verplaatsingssnelheid.

5.1 Gebiedskenmerken

De gebiedskenmerken bestaan uit de biotische en abiotische omstandigheden in een willekeurig gebied. Hierbij worden verschillende aspecten zoals bodem en vegetatie betrokken.

5.1.1 Infiltratie

De infiltratiecapaciteit van de bodem heeft onder andere een invloed op het optreden van de verschillende typen surface runoff. Als de infiltratiecapaciteit lager is dan de neerslagintensiteit resulteert dit in 'onverzadigde surface runoff'. Is de infiltratiecapaciteit van de bodem overschreden dan vindt er 'verzadigde surface runoff' plaats. Bij een goede infiltrerende toplaag en een slecht doorlatende onderliggende laag kan er 'tussenstroming' plaatsvinden. Als een hevige neerslag optreedt met erosie kan er korstvorming ontstaan ('surface runoff met korstvorming') die lokaal een zeer lage infiltratiecapaciteit veroorzaakt. Als laatste kan de infiltratiecapaciteit van een bodem zeer laag zijn door bepaalde organische materialen. De bodem kan hierdoor als waterafstotend beschouwd worden ('surface runoff door waterafstotende bodems'). Hiernaast beïnvloedt de infiltratie het afvoerverloop, het afvoervolume en de grootte van de piek van surface runoff (Tate, 1996).

Tijdens een neerslaggebeurtenis varieert de neerslagintensiteit. Bij een hoge neerslagintensiteit neemt de infiltratiecapaciteit van de bodem steeds verder af doordat de bodem verzadigd raakt. Bij een lage of geen neerslaghoeveelheid kan de infiltratiecapaciteit zich geleidelijk herstellen door de bodemdrainage (Tate, 1996). Hieruit volgt dat ook het initieel verzadigde gehalte van de bodem van belang is voor de mate van infiltratie tijdens neerslag. Een hevige neerslag op een verzadigde bodem resulteert in zeer lage hoeveelheden geïnfilterd water in vergelijking met dezelfde neerslag op een onverzadigde bodem (Tate, 1996).

Als laatste is de vegetatie van groot belang voor het behouden en verbeteren van de infiltratiecapaciteit. Verschillende typen vegetatie hebben verschillende waterbehoeften en nemen dit op via de wortels. Bij een dichte vegetatie met een grote waterbehoefte zal de infiltratiecapaciteit zich sneller herstellen na een hevige neerslag doordat de vegetatie het bodemvocht opneemt.

In SIMGRO kan infiltratie plaatsvinden vanaf het maaiveld de bodem in. Het water dat infiltreert is afkomstig van neerslag of van overgebleven water van eerdere tijdstappen. In het geval van een verzadigde bodem en vrije percolatie naar het grondwater, kan het water in de verzadigde zone vrij stromen (zonder weerstand) of met een weerstand. In het geval van een weerstand wordt de maximale infiltratiecapaciteit bepaald door een weerstand voor opwaartse stroming of benedenwaartse stroming. De beschikbare berging voor infiltratie wordt door een aantal aspecten bepaald, hierbij wordt ook rekening gehouden met de transpiratie en/of de evapotranspiratie vanuit de wortelzone. De percolatie naar het grondwater wordt berekend aan de hand van de bodemeigenschappen. (Van Walsum, 2010; Van Walsum et al., 2010)

5.1.2 Grondsoort en eigenschappen

Verschiedende grondsoorten hebben verschillende bodemstructuren. Zandgronden hebben bijvoorbeeld grote individuele poriën terwijl kleigronden kleine individuele poriën hebben. Het totale poriënvolume bij kleigronden is echter weer groter dan bij zandgronden. De infiltratiecapaciteit van de bodem wordt bepaald door zes factoren:

1. Door de grootte van de individuele poriën.
2. Door de bodemporositeit. De bodemporositeit is het percentage van de bodem dat bestaat uit poriën. De interne verbindingen tussen de poriën bepalen hierbij mede de mogelijkheid voor water om door de bodem opgenomen te worden en zich door het bodemprofiel te verplaatsen. Veel interne verbindingen tussen de poriën en een hoge porositeit zorgen voor een hoge infiltratiecapaciteit (Tate 1996).
3. Door de gevoeligheid van de bodem voor verslemping. Verslemping kan ontstaan door het gebruik van zware landbouwmachines, hevige neerslag of een combinatie van beiden. Hierdoor raken de bodemporiën in het bovenste deel van het bodemprofiel verstopt met lutum- en siltdeeltjes (Locher et al. 1992). Dit resulteert in een zeer lage infiltratiecapaciteit van het bovenste bodemlaagje. Vooral zavelgronden zijn gevoelig voor verslemping.
4. Door het organisch materiaal dat de bodemstructuur voor opbouwt en onderhoudt. In het algemeen betekent een hoog gehalte aan organisch materiaal een hoge infiltratiecapaciteit (Tate, 1996).
5. Door de macroporiën als grote verbonden stroomwegen door de bodem. Dit zijn bijvoorbeeld wortelkanalen, krimpscheuren, mollengangen en wormengangen. Deze macroporiën kunnen leiden tot zeer snel transport van water door de bodem en een hoge infiltratiecapaciteit (Tate, 1996).
6. Door het initiële vochtgehalte in de bodem (zie ook paragraaf 5.2.1 'Infiltratie'). Per bodem is het initiële vochtgehalte verschillend. Veengronden hebben bijvoorbeeld een zeer hoog initieel vochtgehalte. Zandgronden hebben hierintegen een laag initieel vochtgehalte.

In SIMGRO worden de grondsoort- en eigenschappen ingevoerd in het programma 'MetaSWAP'. Dit programma is onderdeel van SIMGRO en voert berekeningen uit voor de onverzadigde zone en evapotranspiratie. De eerste stap is de invoer van de grondsoort- en eigenschappen in het programma 'preMetaSWAP'. Deze invoer zal later gebruikt worden voor berekeningen door het programma 'MetaSWAP' (Soil, Water, Atmosphere and Plant). Hierbij kunnen diverse grondsoort- en eigenschappen ingevoerd worden, zoals: bodemhorizonten, diepte wortelzone, dikte van bodemcompartimenten, parameters voor de functie van transpiratie reductie etc. Vervolgens wordt deze invoer door 'preMetaSWAP' verwerkt als invoer voor 'MetaSWAP'. De uitvoer van 'preMetaSWAP' bestaat uit onder andere: grondwaterstanden per bodem fysische eenheid, profielen van watergehalte per bodem fysische eenheid, verzadigde watergehalten per bodem fysische eenheid etc. Uiteindelijk gebruikt 'MetaSWAP' de uitvoer van 'preMetaSWAP' voor de berekeningen voor de onverzadigde zone en de evapotranspiratie. (Van Walsum, 2010; van Walsum et al., 2008).

5.1.3 Horizontale maaiveldweerstand

De ruwheid van het maaiveld vormt de fysieke scheiding tussen afstroming over het maaiveld en de bodem. Uit verschillende onderzoeken blijkt dat een verhoogde ruwheid van het maaiveld tot een verminderde surface runoff leidt (Darboux et al. 2004). Door de verhoogde ruwheid wordt de afstromende neerslag vertraagd en krijgt het de kans om te infiltreren in de onverzadigde zone. Uit andere onderzoeken blijkt echter dat een verhoogde ruwheid niet zozeer leidt tot een hogere infiltratie (Darboux et al. 2004). Bij de modellering van surface runoff zal nader onderzoek worden gedaan naar het verband tussen de ruwheid en de infiltratiecapaciteit.

Ook heeft de maaiveldweerstand invloed op de generatie van surface runoff. Door de maaiveldweerstand wordt de generatie van surface runoff vertraagd.

De maaiveldweerstand wordt vaak uitgedrukt met de factor Manning 'n'. Met deze factor kan een waarde toegekend worden aan de ruwheid van het maaiveld (waarde tussen 0 en 1). Bij een lage maaiveldruwheid is de waarde van 'n' laag, en bij een hoge maaiveldruwheid is de waarde hoog. De factor 'n' wordt onder andere gebruikt in de berekening van de gemiddelde snelheid van de waterstroom over het maaiveld (Arcement et al, z.j.). De formule voor de berekening van de gemiddelde snelheid van de waterstroom staat hieronder weergegeven.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

V= gemiddelde stroomsnelheid, m/s

n= Manning ruwheidscoëfficiënt, -

R= Hydraulische straal, m

S= Verhang van de waterspiegel, -

In deze formule wordt de gemiddelde stroomsnelheid van het afstromende water berekend met behulp van de ruwheidscoëfficiënt, de hydraulische straal en het verhang van de waterspiegel.

In SIMGRO wordt de maaiveldweerstand onder andere gebruikt bij de berekening van surface runoff. Hierbij zijn twee methoden van berekening mogelijk: zonder maaiveldweerstand en met maaiveldweerstand. Met de methode zonder maaiveldweerstand wordt het opgeslagen water in de macro berging overgebracht naar het oppervlaktewatermodel. Bij de methode met maaiveldweerstand vindt er een vertraging in de tijd plaats bij de stroming van het water over het maaiveld. Deze vertraging is afhankelijk van de hoeveelheid water in de macro berging en de stand van het oppervlaktewater. (Van Walsum, 2010; Van Walsum et al., 2010)

5.1.4 Reliëf en plasvorming

De helling van het maaiveld bepaald de stroomsnelheid, en dus de verblijftijd, van surface runoff (Chibber 2004). Dit blijkt uit de verschillende formules die zijn opgesteld om de verblijftijd van de oppervlakkige afstroming te berekenen (zie tabel 1). De hellingsterm komt vaak voor in de noemer waardoor een laag hellingspercentage leidt tot hoge waarden voor de verblijftijd van de surface runoff, en dus lage stroomsnelheden. Als alle variabelen gelijk blijven en de helling veranderd, blijkt dat dit een grote invloed heeft op de verblijftijd van surface runoff.

Onderzoek door Darboux et al. (2002) toont aan dat verhouding tussen de helling van het maaiveld en de willekeurige maaiveldweerstand een belangrijke variabele is.

Tabel 1 Verschillende formules voor berekening verblijftijd surface runoff (Chibber, 2004)

S.no.	Hydraulic Model/Method	Time of concentration (minutes)	Remarks
1	Velocity Method	$t_c = 1/60 \sum_{i=1}^N L_i/V_i$	Where V= Velocity in fps = $KS^{1/2}$ N = Number of segments, L = Flow Length in feet, S = Slope (McCuen, 1998)
3	Overton and Meadows	$t_c = \frac{0.42}{\sqrt{P_2}} \left(\frac{nL}{\sqrt{S}} \right)^{0.8}$	Where 'n' is Manning's roughness, 'L' is flow length in feet, 'S' is the slope and P_2 is 2 Year, 24 hour rainfall depth (Gupta, 1989)
4	Izzard	$q = aV^m$	Where 'q' is unit discharge in cfs/ft of flow width, 'y' is flow depth in feet, 'k' and 'm' are coefficients. Experimentally $a = (0.0007i + k)/S^{1/3}$, 'i' is rainfall intensity in in./hr. and 'k' is the retardance coefficient.
5	Izzard- Gupta	$t_c = (0.024i^{1/3} + 878k/i^{2/3})L^{2/3}/C^{2/3}H^{1/3}$	Where 'C' is Rational Method coefficient, 'i' is rainfall intensity in mm/hr, 'H' is drop in elevation in meters (Gupta, 1989)
6	Izzard - Horton	$t_c = (2i^{1-1/m})(nL/\sqrt{S})^{1/m}$	where 'i' is rainfall intensity in mts./hr., 'L' is in meters.

Depressies in het maaiveld beïnvloeden eveneens de verblijftijd van surface runoff (Chibber, 2004).

Als de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit van de bodem overschrijdt beginnen de depressies vol te lopen (plasvorming). Een deel van de neerslag kan vervolgens verdampen of infiltreren.

Onderzoek door Hansen (2000) toont aan dat de surface runoff al start voordat de depressies gevuld zijn. Daarnaast blijkt ook dat de locaties van de depressies een belangrijke invloed hebben op de berging van neerslag in de depressies.

De uitstroming van neerslag vanuit een depressie wordt bepaald door het geborgen volume en het drainerende gebied. Het drainerende gebied kan vergroot worden als een depressie volstroomt en via surface runoff verbonden wordt met een andere depressie. De ratio tussen het draineerde gebied en het geborgen volume wordt hierdoor verhoogt. Als de ratio omhoog gaat betekent dit een betekenisvolle vulling en verbinding van de depressies (Darboux et al. 2002). Dit komt terug in de rol die de depressies spelen in het proces van surface runoff. Net na de start van de neerslag is het drainerende gebied van een depressie en het afwaterende gebied nog beperkt. Uitwisselingen tussen depressies zijn nog klein door een beperkte verbinding tussen depressies en een beperkte hoeveelheid surface runoff. De drainerende gebieden nemen in grootte toe als de depressies (plassen) gevuld raken en gaan overstromen. Het aantal verbindingen tussen depressies neemt uiteindelijk toe en zorgt voor een grotere afvoer van surface runoff. Dit proces vertoont een sterke overgang wanneer de aanvoer van neerslag gelijk is aan de totale bergingscapaciteit (Darboux et al. 2002). Het watersysteem is hierbij het meest onstabiel en er vindt een ontwikkeling plaats van een systeem zonder interne verbindingen naar een systeem met interne en externe verbindingen naar de afwatering (bijvoorbeeld een watergang of greppel).

Onderzoek door Darboux et al. (2004) toont aan dat depressies die initieel aanwezig zijn op het maaiveld ook een invloed hebben op de hoeveelheid surface runoff. Wanneer oppervlakkige afstroming ontstaat wordt de surface runoff verhoogd door de aanwezige depressies. Dit komt mogelijk doordat er in de depressies meer water zich aan het oppervlak bevindt wat meegenomen kan worden door de surface runoff.

In SIMGRO kunnen de maaiveldhoogten worden verwerkt door middel van een grid. Elke gridcel heeft dan een bepaalde maaiveldhoogte (AHN). De maaiveldhoogten worden onder andere gebruikt bij de berekening van plasmvorming en surface runoff op het maaiveld. Aan het begin van de eerste tijdstap in de berekeningscyclus wordt dan berekend hoeveel grondwater er boven het maaiveld aanwezig is. Dit grondwater wordt vervolgens omgezet in water in plassen op het maaiveld. Een beperkende factor in het model is de resolutie van het AHN. Om de berekeningstijden De verblijftijd van oppervlakkige afstroming (surface runoff) kan niet in SIMGRO worden berekend. Het water op het maaiveld wordt in SIMGRO op twee manieren geschematiseerd; als microberging en als macroberging. Kleine depressies in het maaiveld vormen de microberging. Als het land na een overstroming weer droogvalt blijft het water in de microberging staan. Het verschil tussen de microberging en de macroberging is dat bij de macroberging (plassen) het water vrij over het maaiveld kan stromen (met uitzondering van bijvoorbeeld natuurlijke barrières), terwijl dit bij de microberging niet het geval is. Bij de berekening van de hoeveelheid water in de macroberging wordt gebruik gemaakt van de tijdstap voor snelle processen ('dtgw'). De hoeveelheid water in de macroberging reageert namelijk direct op de neerslag en de interactie met het oppervlaktewatermodel. (Van Walsum, 2010; Van Walsum et al., 2010)

5.1.5 Bodembeheer en vegetatie

Bodembeheer en vegetatie zijn beide afgeleid van landgebruik. In literatuur wordt ook het kenmerk landgebruik genoemd, maar in het SIMGRO model is landgebruik een algemene term die bestaat uit verschillende parameters. Daarom is ervoor gekozen om bij het (onderstaande) literatuuronderzoek de term 'landgebruik' te hanteren, en bij de beschrijving van het model de term 'bodembeheer en vegetatie' te hanteren.

De invloed van landgebruik op surface runoff is vrij ingewikkeld. Het landgebruik en de bodembedekking hebben namelijk effect op evapotranspiratie, interceptie, waterberging op het maaiveld en weerstand tegen surface runoff (Liu et al. 2006). Bebouwde gebieden hebben bijvoorbeeld vaak hogere volumes van surface runoff, hogere piekafvoeren en korte verblijftijden van de surface runoff. Dit komt door de verharde oppervlakken die infiltratie van de neerslag in de bodem tegengaan. Daarnaast is de maaiveldweerstand in bebouwde gebieden laag en dit heeft als gevolg dat de surface runoff maar kort vastgehouden kan worden op het maaiveld. Bij bijvoorbeeld graslanden en bosgronden zijn ook de dichte netwerken van plantenwortels, het opgehoopte organische materiaal en de dichte vegetatie van belang voor de mate van surface runoff. De dichte netwerken van plantenwortels zorgen voor een verhoogde infiltratiecapaciteit en bodemporositeit. Het opgehoopte organische materiaal op het maaiveld heeft als gevolg dat de bergingscapaciteit van depressies en de retentieperiode van surface runoff op het maaiveld toeneemt. Als laatste zorgt de dichte vegetatie zorg voor een hoge evapotranspiratie (Liu et al. 2006).

Onder normale omstandigheden is de invloed van het landgebruik op de generatie van surface runoff beperkt tot zones die dicht onder maaiveld liggen (Bronstert et al. 2002). Het landgebruik beïnvloedt dus alleen de stromingen en berging op en dicht onder het maaiveld. De verschillende potentiële invloeden van landgebruik op de verschillende zones zijn hieronder in tabel 2 weergegeven.

Tabel 2 Potentiële invloeden van landgebruik (Bronstert et al, 2002)

Proces	Potentiële impact van de verandering van landgebruik en relevantie voor componenten van de hydrologische kringloop
Berging interceptie	Grotendeels beïnvloed door veranderingen in vegetatie (bv. gewasoogst, boskap); relevant voor evapotranspiratie/energie balans
Berging afval	Beïnvloed door veranderingen in vegetatie, met name boskap; relevant voor evapotranspiratie/energie balans
Berging wortelzone	Beïnvloed door beheer zoals grondbewerking, etc.; relevant voor evapotranspiratie en surface runoff generatie
Onverzadigde surface runoff	Beïnvloed door gewas cultivatie en beheer; relevant voor surface runoff

	generatie in het geval van hoge neerslagintensiteiten en lage intreeweerstand van de bodem; kan verhoogt worden door depositie van bodemdeeltje en korstvorming
Verzadigde surface runoff	Alleen lichtelijk beïnvloed door verandering van landgebruik (proces wordt bepaald door topografie en ondergrondse omstandigheden)
Tussenstroming	Alleen lichtelijk beïnvloed door verandering van landgebruik (proces wordt bepaald door topografie en ondergrondse omstandigheden)
Surface runoff van bebouwde gebieden	Grotendeels beïnvloedt door rioolsysteem en rioolretentie maatregelen; relevant voor surface runoff van bebouwde gebieden
Gedecentraliseerde retentie in het landschap	Beïnvloed door landschapsstructuur en reorganisatie van landbouw op bouwland; relevant voor surface runoff concentratie op bouwland

Uit tabel 2 blijkt dat voornamelijk de berging in de wortelzone, 'onverzadigde surface runoff', surface runoff van bebouwde gebieden en niet centrale waterretentie wordt beïnvloed door landgebruik. De stroomprocessen en bergingsprocessen ondervinden hierbij beide effect van landgebruik.

In SIMGRO heeft het landgebruik te maken met een aantal verschillende parameters. Deze parameters zijn onder te verdelen in bodembeheer en vegetatie. Het bodembeheer is (nog) niet verwerkt in SIMGRO. Het onderdeel vegetatie is verwerkt in SIMGRO met de volgende parameters; interceptie door het bladerdek, evapotranspiratie en de optie om het 'WOFOST model' voor gewasgroei te gebruiken. In het model is het proces van interceptie verwerkt in een aantal stappen. De interceptie door het bladerdek vindt plaats als er neerslag valt. Hierbij kan de neerslag geborgen worden op het bladerdek (en verdampen) of doorstromen naar het maaiveld (via bijvoorbeeld waterdruppels van bladeren). De grootte van het bladerdek bepaald de grootte van de berging op het bladerdek, de berging verschilt dus per seizoen. Van de berging wordt vaak gebruik gemaakt in het dynamische proces van interceptie. Daarom wordt bij berekeningen de tijdstap voor snelle processen gebruikt ('dtsw').

De evapotranspiratie kan op twee verschillende manieren in het model gebruikt worden. De eerste is het gebruik van een referentie gewas verdamping volgens Makkink (meest gebruikt in Nederland), of de Penman-Monteith transpiratie voor kort gras. De referentie gewas verdamping volgens Makkink kan berekend worden, maar voor meestal wordt deze verkregen vanuit metingen van het KNMI. De formule van Penman-Monteith is afgeleidt van de formule van Makkink. De laatstgenoemde formule kan gebruikt worden voor berekening van de evapotranspiratie bij extensieve, droge, horizontaal uniforme vegetatieoppervlakken met optimale waterlevering (Van Walsum, 2010; Van Walsum et al., 2010).

5.1.6 Slootafstand

Door HDSR is aangegeven dat de slootafstand bij landbouwpercelen mogelijk ook van invloed is op surface runoff. Bij een dicht slotenpatroon kan de surface runoff snel afstromen naar het oppervlaktewater. De afstand die de surface runoff dan aflegt tot het oppervlaktewater is dan relatief gering. Bij een open slotenpatroon is de afstand die surface runoff aflegt tot het oppervlaktewater groter. Er zijn dan minder sloten en dus duurt het langer voor de surface runoff het oppervlaktewater bereikt heeft. Na literatuuronderzoek zijn er echter geen bronnen gevonden die deze vermoedens bevestigen. Daarom is deze factor verder niet in dit onderzoek meegenomen.

In SIMGRO is de slootafstand verwerkt in een aantal modelparameters. Er kan een slootafstand of een slootlengte ingesteld worden. Daarnaast is de slootafstand verwerkt in de capaciteit van de microberging op het maaiveld. Een grotere slootafstand betekent een grotere microberging omdat de surface runoff minder gemakkelijk het oppervlaktewater kan bereiken, en er dus meer plaspvorming zal ontstaan.

5.2 Neerslagkenmerken

Neerslag speelt een belangrijke rol bij het optreden van surface runoff. De neerslag kan direct infiltreren in de bodem, of direct over het maaiveld afstromen als de bodem al verzadigd is (zie hoofdstuk 3 'Typen waterafvoer en surface runoff'). De neerslag zorgt dus voor de wateraanvoer die benodigd is voor surface runoff. Deze neerslag heeft verschillende kenmerken die elk een verschillende invloed hebben op de mate en de vorm van surface runoff. Een aantal van deze kenmerken worden hieronder beschreven.

5.2.1 Neerslagintensiteit

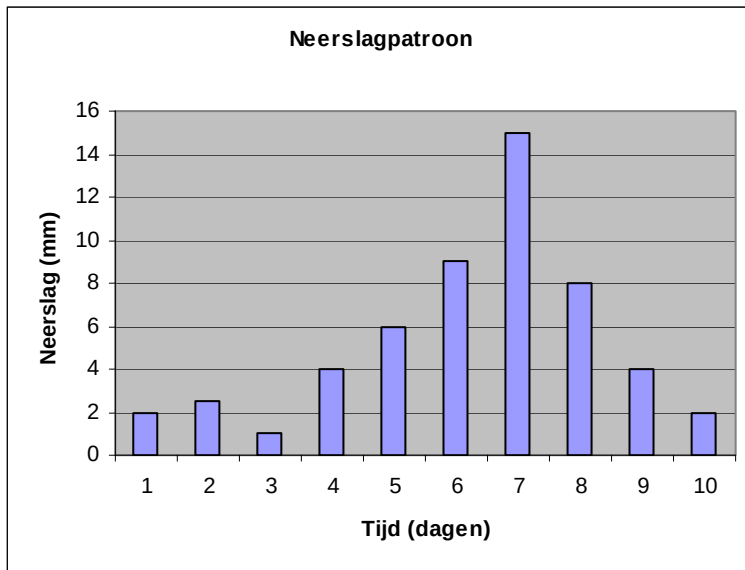
De neerslagintensiteit bepaald welke hoeveelheid neerslag er valt binnen een bepaalde tijdsduur (vaak uitgedrukt in mm/uur). Bij een hoge neerslagintensiteit op een onverzadigde bodem treedt sneller surface runoff op dan bij een lage neerslagintensiteit op dezelfde bodem. Bij een hoge neerslagintensiteit wordt al snel de infiltratiecapaciteit van de bodem overschreden waardoor de neerslag oppervlakkig af kan stromen. Bij een verzadigde bodem kan er ook bij een lage neerslagintensiteit surface runoff optreden doordat er geen neerslag in de bodem kan infiltreren ('verzadigde surface runoff'). De neerslag stroomt hierbij vrijwel direct oppervlakkig af. Daarnaast worden bij een hoge neerslagintensiteit ook de laagtes in het maaiveld sneller opgevuld. Als de berging van de laagtes overschreden wordt vindt er geen berging meer plaats en stroomt de neerslag oppervlakkig af. Bij een lage neerslagintensiteit kan de geborgen neerslag in de laagtes verdampen of infiltreren in de bodem. Als laatste spelen de gebiedskenmerken een belangrijke rol in het optreden van surface runoff bij een bepaalde neerslagintensiteit (zie paragraaf 5.1 'Gebiedskenmerken').

In SIMGRO wordt de neerslagintensiteit per interval berekend als som van de 'natuurlijke' neerslag per interval en de hoeveelheid beregening per interval. De 'natuurlijke' neerslagintensiteit kan worden afgeleid uit gegevens van het KNMI. De neerslagintensiteit wordt door SIMGRO gebruikt voor de berekening van onder andere de infiltratie in de bodem, interceptie door het bladerdek van vegetatie, de evapotranspiratie, de hoeveelheid neerslag in micro- en macroberging etc. (Van Walsum, 2010; Van Walsum et al., 2010)

5.2.2 Neerslagpatroon

Een neerslagpatroon representeert het verloop van de neerslag in de tijd. Dit beïnvloedt voornamelijk het moment waarop een eventuele piekafvoer optreedt in de surface runoff (Lima et al. 2002). Als het neerslagpatroon bestaat uit een lage neerslagintensiteit gevolgd door een zeer hoge neerslagintensiteit, dan is het waarschijnlijk dat de piekafvoer zal optreden in het tijdsbestek van de zeer hoge neerslagintensiteit. Daarnaast is aangetoond dat ook het afvoerverloop in de tijd sterk afhangt van het neerslagpatroon.

Een voorbeeld van een neerslagpatroon staat in figuur 6.



Figuur 6 Voorbeeld van een neerslagpatroon

In SIMGRO kan het neerslagpatroon verwerkt worden in de invoer van de neerslag. Per tijdstap (dag, uur etc.) kan een neerslagintensiteit toegekend worden waardoor uiteindelijk een neerslagpatroon ontstaat. Voor uitgebreidere informatie over de neerslagintensiteit in SIMGRO zie paragraaf 5.2.1 'Neerslagintensiteit'. (Van Walsum, 2010; Van Walsum et al., 2010)

5.2.3 Verplaatsingssnelheid

De verplaatsingssnelheid van neerslag heeft ook invloed op surface runoff (Lima et al. 2002). Het verloop van de afvoer in de tijd, de grootte van de afvoerpiek en het tijdstip van de afvoerpiek zijn significant anders voor dezelfde neerslag met verschillende verplaatsingssnelheden. Snelle verplaatsende neerslagen hebben als gevolg een hoge neerslagintensiteit, een hoge en snel optredende afvoerpiek, en een relatief korte periode waarin neerslagafvoer optreedt. Daarnaast heeft het neerslagpatroon een verminderd effect op de surface runoff bij hoge verplaatssnelheden. Bij neerslagen met een lage verplaatsingssnelheid is vooral het neerslagpatroon van belang voor het verloop van de afvoer in de tijd, de hoogte van de piekafvoer en het tijdstip van de piekafvoer.

In SIMGRO kan de verplaatsingssnelheid niet verwerkt worden. Dit betekent dat dit neerslagkenmerk wel hier wordt beschreven (omdat het van invloed is op surface runoff) maar verder niet wordt gebruik bij de modelberekeningen met SIMGRO.

6 Selectie deelgebieden, rekenneerslag en AHN

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke deelgebieden, neerslaggegevens en welk AHN geselecteerd zullen worden voor de berekening van onzekerheden in de afvoerpieken. Hierbij wordt als eerst onderzocht waar er in het HDSR beheersgebied kans is op surface runoff. Met onder andere een indicatie van deze gegevens kan bepaald worden welke deelgebieden geselecteerd zullen worden voor de modelberekeningen. Daarna volgt een toelichting voor welke neerslaggegevens en welk AHN geselecteerd zullen worden voor de modelberekeningen.

6.1 Analyse kans op surface runoff binnen HDSR beheersgebied

Uit het vorige hoofdstuk 'Neerslag- en gebiedskenmerken' blijkt dat er verschillende factoren invloed hebben op het voorkomen van surface runoff. Zoveel mogelijk van deze factoren zijn betrokken in de analyse van de potentiële surface runoff binnen het HDSR beheersgebied. Hierbij is gebruik gemaakt van het programma GIS (Geografisch Informatie Systeem). Sommige factoren konden niet betrokken worden in deze analyse omdat de gegevens niet aanwezig of niet af te leiden zijn vanuit GIS (macroporiën, bodemporositeit, organisch materiaal, ruwheid maaiveld en maaiveldweerstand). De volgende factoren zijn gebruikt in de analyse; infiltratiecapaciteit, initieel verzadigde gehalte van de bodem, grondsoort, gevoeligheid voor verslemping, vegetatie en landgebruik, helling van het maaiveld en depressies in het maaiveld.

Per factor is een globale inschatting gedaan van de invloed op surface runoff. Meestal zijn de factoren ingedeeld in verschillende klassen (goed, matig, slecht) door een inschatting te maken. De behaalde resultaten zijn dus slechts een inschatting van de potentiële locaties van surface runoff binnen het beheersgebied van HDSR. In de werkelijkheid kunnen de locaties van surface runoff verschillend zijn dan dat uit deze analyse blijkt.

Na deze inschatting zijn verschillende combinaties van factoren geselecteerd om de potentie voor surface runoff in te delen in drie klassen; laag, midden en hoog. Hieruit volgt de kaart van de locaties van potentiële surface runoff binnen het HDSR beheersgebied.

De methodiek per factor zal hieronder beschreven worden.

6.1.1 Doorlatendheid

De doorlatendheid per grondsoort is opgedeeld in een aantal klassen. Hierbij zijn vier klassen gehanteerd; slecht, matig, vrij goed en goed (zie tabel 3). Elke grondsoort is naar de doorlatendheid (K-waarde) ingedeeld in een aantal klassen.

Tabel 3 Indeling klassen doorlatendheid (F. van Dreven et al., 2000)

Klasse	K waarde (m/dag)
Slecht	<0.1
Matig	0.1-0.50
Vrij goed	0.50-1.0
Goed	>1.0

In tabel 4 staat per grondsoort de klasse van doorlatendheid en de K-waarde.

Tabel 4 Infiltratiecapaciteit per grondsoort (Massop et al., 2005)

Grondsoort	Klasse doorlatendheid	K-waarde (m/dag)
Bebouwing	n.v.t.	n.v.t.
Lichte zavel	Matig	0.13
Lichte klei	Matig	0.33
Moeras	Slecht	0.01

Overige	n.v.t.	n.v.t.
Veen	Slecht	0.05
Water	n.v.t.	n.v.t.
Zand	Goed	10
Zware klei	Slecht	0.08
Zware zavel	Slecht	0.08

Uit de tabel blijkt dat vooral de grondsoorten moeras, veen, zware klei en zavel een lage doorlatendheid hebben. Een lage doorlatendheid (infiltratiecapaciteit) is mede van belang voor de generatie van 'surface runoff' (zie paragraaf 5.1.1 "Infiltratie").

6.1.2 Initieel verzadigde gehalte van de bodem

Bij de bepaling van het initieel verzadigde gehalte van de bodem is gebruik gemaakt van het volumepercentage vocht bij veldcapaciteit (pF 2.0) en de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG). De gebruikte klassen voor het volumepercentage vocht bij veldcapaciteit zijn weergegeven in tabel 5.

Tabel 5 Klassen volumepercentage vocht bij veldcapaciteit

Klasse	Volumepercentage vocht bij veldcapaciteit (%)
Laag	0-10
Midden	10-49
Hoog	>49

Per grondsoort staat het exacte volumepercentage vocht bij veldcapaciteit weergegeven in tabel 6.

Tabel 6 Volumepercentage bij veldcapaciteit per grondsoort (G. Baert, z.j.; W.P. Locher et al., 1990)

Grondsoort	Volumepercentage vocht bij veldcapaciteit (%)
Zand	10
Leem	38
Klei	49
Veen	65

In tabel 7 staat per grondsoort de klasse van het volumepercentage vocht bij veldcapaciteit. De grondsoort lichte zavel is ingedeeld in de klasse midden. De bodem van een moeras is ingedeeld in de klasse hoog. Ten slotte is zware zavel ingedeeld in de klasse midden.

Tabel 7 Initieel verzadigde gehalte van de bodem per grondsoort

Grondsoort	Klasse volumepercentage vocht bij veldcapaciteit
Bebouwing	n.v.t.
Lichte zavel (zand/leem)	Midden
Lichte klei	Midden
Moeras (klei en hoger)	Hoog
Overige	n.v.t.
Veen	Hoog
Water	n.v.t.
Zand	Laag
Zware klei	Hoog
Zware zavel (leem)	Midden

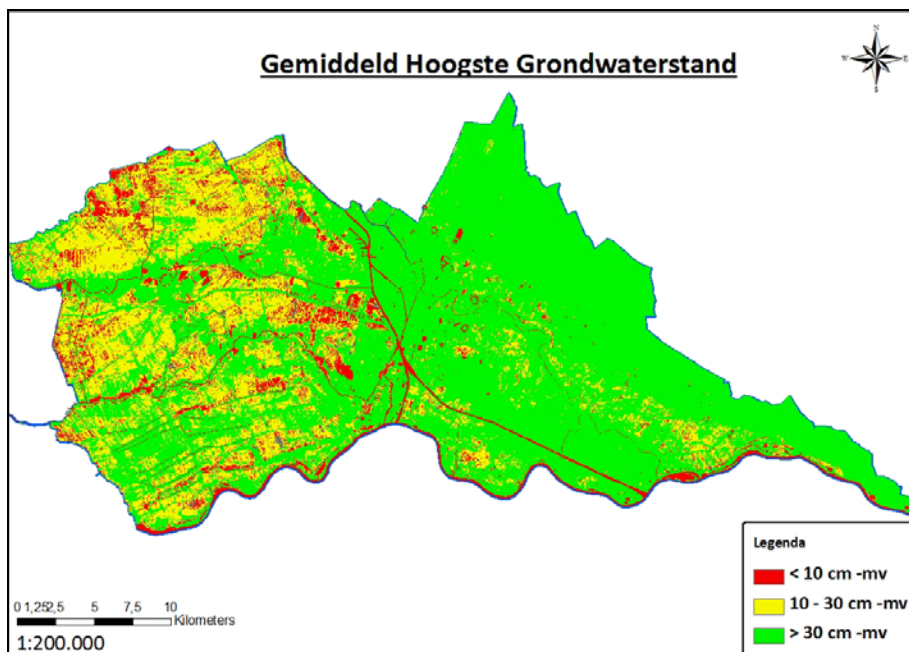
Uit de tabel blijkt dat het volumepercentage vocht van de bodem hoog is bij de grondsoorten moeras, veen en zware klei. Een hoog initieel verzadigd gehalte van de bodem kan tot surface runoff leiden (zie paragraaf 5.1.2 "Grondsoort en eigenschappen").

Hiernaast is het initieel verzadigde gehalte van de bodem bepaald met behulp van de GHG. Er is gebruikt gemaakt van de GHG omdat dit de meest gevoelige grondwaterstanden zijn voor het veroorzaken van surface runoff. Bij de analyse zijn de klassen uit tabel 8 gebruikt.

Tabel 8 Klassen per GHG

Klasse	Gemiddeld hoogste grondwaterstand (cm -mv)
Laag	>30
Midden	10-30
Hoog	<10

Een impressie van de GHG voor het beheersgebied van HDSR is in figuur 7 weergegeven.



Figuur 7 GHG in beheersgebied HDSR

Uit de bovenstaande figuur blijkt dat vooral in het westelijk deel van het beheersgebied een GHG optreedt die dicht onder maaiveld zit (<10 cm onder maaiveld). De GHG is mede gebruikt om het initieel verzadigde gehalte van de bodem te bepalen.

6.1.3 Gevoeligheid voor verslemping

De gevoeligheid voor verslemping is per grondsoort ingeschat. Hierbij is gebruik gemaakt van de hoeveelheid fijne delen (lutum en silt) die nodig zijn voor veroorzaken van verslemping (F. van Dreven et al., 2000).

Tabel 9 Gevoeligheid van verslemping per grondsoort

Grondsoort	Gevoeligheid voor verslemping
Bebouwing	n.v.t.
Lichte zavel	Hoog
Lichte klei	Midden
Moeras	Laag
Overige	n.v.t.
Veen	Midden
Water	n.v.t.
Zand	Laag
Zware klei	Hoog
Zware zavel	Hoog

De zavelgronden en de zware klei zijn ingedeeld in de klasse 'hoog' deze veel fijne delen bevatten. Daarnaast zijn lichte klei en veen ingedeeld in de middenklasse omdat deze nog een matig aantal fijne delen bevatten. Als laatste zijn moeras en zand ingedeeld in de klasse 'laag' omdat deze weinig fijne delen bevatten.

6.1.4 Vegetatie en landgebruik

De vegetatie en het landgebruik zijn ingeschat met behulp van de landgebruikskaart (LGN5). Per type landgebruik is een inschatting gemaakt van de kans dat surface runoff kan optreden. Bij de inschatting is gebruik gemaakt van aspecten zoals bodembedekking, waterbehoefte gewas en infiltratiecapaciteit. Bij de indeling worden de volgende klassen gehanteerd: laag, midden en hoog.

Tabel 10 Inschatting kans op surface runoff per landgebruik

Landgebruik	Kans op surface runoff	Landgebruik	Kans op surface runoff
Gras	Midden	Naaldbos in beb. gebied	n.v.t.
Maïs	Hoog	Bos met dicht beb.	n.v.t.
Aardappelen	Hoog	Gras in beb. gebied	n.v.t.
Bieten	Hoog	Kale grond in beb. buit.	n.v.t.
Granen	Hoog	Hoofdwegen, spoorw.	n.v.t.
Overige landbouwgew.	Hoog	Beb. in agrarisch geb.	n.v.t.
Glastuinbouw	Laag	Open stuifzand	Laag
Boomgaard	Midden	Heide	Laag
Bollen	Midden	Matig vergraste heide	Laag
Loofbos	Laag	Sterk vergraste heide	Midden
Naaldbos	Laag	Overige moerasveg.	Midden
Zoet water	n.v.t.	Rietvegetatie	n.v.t.
Stedelijk bebouwd geb.	n.v.t.	Bos in moerasgebied	Laag
Beb. In buitengebied	n.v.t.	Over. Begroeid natuurg.	Laag
Loofbos in beb. gebied	n.v.t.	Kale grond	Hoog

Uit de bovenstaande tabel blijkt dat vooral landbouwgewassen een hoge kans hebben op het veroorzaken van surface runoff. Dit komt doordat er relatief veel kale grond aanwezig bij de teelt van de landbouwgewassen. Het water wordt zo weinig vastgehouden en kan snel afstromen.

6.1.5 Hellingen en depressies in het maaiveld

De helling en depressies in het maaiveld zijn niet meegenomen in de selectie van de deelgebieden. Dit omdat het complex is om deze factoren te verwerken in een GIS analyse. Het doel van deze analyse is juist om op eenvoudige wijze een indicatie te krijgen van de plaatsen met kans op surface runoff.

6.1.6 Grondsoort

Per grondsoort is een inschatting gemaakt van de kans van surface runoff op basis de voorgaande verkregen gegevens van doorlatendheid, initieel verzadigde gehalte van de bodem, gevoeligheid voor verslamping en vegetatie. Hierbij is gebruikt gemaakt van tabel 4, 7, 8, 11 en 12.

Per grondsoort is de kans ingedeeld naar één van de volgende klassen: laag, midden en hoog. De resultaten van de inschatting zijn in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 11 Inschatting kans op surface runoff per grondsoort

Grondsoort	Kans op surface runoff
Bebouwing	n.v.t.
Lichte zavel	Hoog
Lichte klei	Midden
Moeras	Hoog
Overige	n.v.t.
Veen	Hoog
Water	n.v.t.
Zand	Laag
Zware klei	Hoog
Zware zavel	Hoog

Uit de bovenstaande tabel blijkt dat er een hoge kans op surface runoff is bij de grondsoorten lichte zavel, moeras, veen, zware klei en zware zavel. Dit heeft vooral te maken met de bodemstructuur en het vochtgehalte in de bodem.

6.1.7 Resultaten

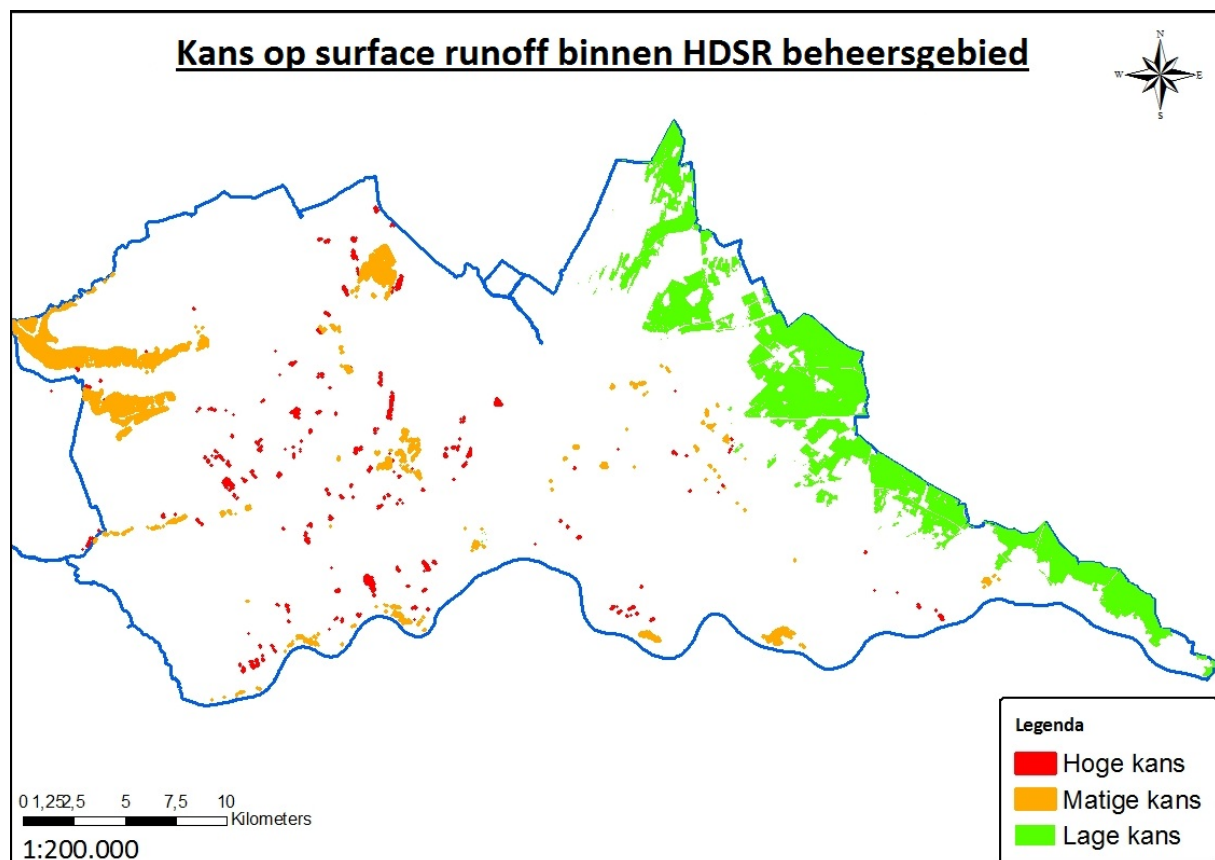
Na de inschatting van de verschillende factoren zijn er combinaties gemaakt van de factoren. De factoren zijn allemaal ingedeeld in 3 klassen. Meestal zijn de klassen verdeeld in laag (slecht), midden (matig) en hoog (goed). Vanuit deze klassen zijn er combinaties gemaakt om de klassen voor de potentie van surface runoff te bepalen. Dit staat weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 12 Factoren per klasse potentiële surface runoff

Factor	Lage potentie	Matige potentie	Hoge potentie
Doorlatendheid	Goed	Matig	Slecht
Volumepercentage vocht	Laag	Midden	Hoog
GHG	> 30 cm –mv	10-30 cm –mv	<10 cm –mv
Gevoeligheid voor verslamping	Laag	Midden	Hoog
Vegetatie en landgebruik	Laag	Midden	Hoog
Kans op surface runoff	Laag	Midden	Hoog

Met de klassen die zijn toegelicht in de bovenstaande tabel is de GIS analyse uitgevoerd. Dit betekent dat er dus alleen onderzoek is gedaan naar de combinaties die in de bovenstaande tabel zijn weergegeven. In werkelijkheid zijn er nog veel meer verschillende combinaties van factoren mogelijk. Deze analyse is echter beperkt tot de drie combinaties omdat zo het benodigde globale beeld van de

potentie van surface runoff behaald kan worden. Daarnaast is met name belangrijk waar in het HSDR beheersgebied een hoge potentie aanwezig is voor surface runoff. Uit de analyse volgt de onderstaande kaart.



Figuur 8 Kans op surface runoff binnen het HSDR beheersgebied

In de bovenstaande figuur is de kans op surface runoff binnen het HSDR beheersgebied weergegeven. De gebieden met een hoge en een matige kans zijn in werkelijkheid wat kleiner doordat er op de kaart een dikke belijning is gebruikt.

Uit de kaart blijkt dat er met name in het westelijk deel van het beheersgebied een aantal gebieden liggen waar de kans op potentiële surface runoff hoog is. Daarnaast zijn er met name in het meest westelijke deel van het gebied een aantal gebieden waar de kans op potentiële surface runoff matig is. Als laatste is er een groot gebied in het oosten waar de kans op runoff laag is.

6.2 Selectie deelgebieden

In de voorgaande (sub)paragrafen is onderzocht waar er in het HSDR beheersgebied kans is op surface runoff. Met behulp van onder andere dit criteria kunnen de deelgebieden worden vastgesteld voor gebruik bij de modelberekeningen. In de volgende subparagrafen wordt hierop ingegaan.

6.2.1 Selectiecriteria

De deelgebieden worden geselecteerd aan de hand van de volgende criteria:

- **Kans op surface runoff:** De gebieden die volgens de analyse een hoge of matige kans op surface runoff hebben geven een indicatie van de plaatsen waar mogelijk surface runoff op kan treden. Deze gebieden hebben de voorkeur om gebruikt te worden indien er meetpunten dichtbij aanwezig zijn (met maximale afstand van +/- 1.5 km).

- **Afvoergebied:** Het afvoergebied moet bovenstrooms van de afvoerende watergang(en) liggen. Dit omdat er dan zo weinig mogelijk wateraanvoer vanuit andere gebieden plaatsvindt, en de waterafvoer dus geheel bepaald wordt door de gebiedskenmerken.
- **Grondsoort:** De deelgebieden moeten verspreidt liggen over een aantal verschillende grondsoorten. Dit omdat de grondsoort van groot belang is voor de mate van surface runoff (zie paragraaf 5.1.2 'Grondsoort en eigenschappen').
- **Meetpunten:** De deelgebieden moeten bij voorkeur een meetpunt bevatten waar de waterstanden gemeten worden. Door het vergelijken van de gemeten waterstanden en de berekende waterstanden, kan onderzocht worden of het model representatief is voor de werkelijkheid.
- **Stuwlocatie:** De meetpunten moeten bij voorkeur op een stuwlocatie gemeten worden en niet op een gemaallocatie. Een gemaal heeft namelijk een sterke invloed op de waterstand (het aan- en afvoeren van water door middel van een pomp) en kan zo een vertekend beeld geven van de waterstanden in het gebied. Een stuw heeft deze problemen niet en zorgt zo voor betrouwbaardere waterstandsmetingen.
- **Rivieren of kanalen:** Gebieden dichtbij rivieren en kanalen (+/- 1.5 km) zijn zoveel mogelijk vermeden in de selectie van deelgebieden. De rivieren en kanalen dienen vaak als afwatering en liggen dus benedenstrooms. Volgens eerder gestelde criteria moeten de deelgebieden zoveel mogelijk bovenstrooms liggen.
- **Verspreide ligging:** De deelgebieden die uiteindelijk geselecteerd worden moet verspreidt liggen over het HDSR beheersgebied om een representatief beeld te vormen van de verschillende landschapstypen in het beheersgebied (zoals het rivierkleigebied, het zandgebied (Utrechtse Heuvelrug) en het veenweidegebied).
- **Nutriënten project Lopikerwaard:** HDSR voert in het gebied de Lopikerwaard een onderzoek uit naar de verspreiding van nutriënten door onder andere oppervlakkige afstroming van water. In de Lopikerwaard is een hoge concentratie van nutriënten aanwezig, welke gevolgen hebben voor de kwaliteit van het oppervlaktewater. De modelberekeningen van dit onderzoek over surface runoff kunnen een nuttige bijdrage leveren aan de inschatting van de hoeveelheid surface runoff die optreedt, en de daarmee de verspreiding van nutriënten door surface runoff.
Daarom is besloten om een deel van de Lopikerwaard als deelgebied te gebruiken in de modelberekeningen. Een peilgebied in de polder Keulevaart is hiervoor geselecteerd. In de buurt van het peilgebied liggen drie meetpunten waarbij de stand van het oppervlaktewater gemeten wordt.
- **Drainageproblemen Overlangbroek:** In de polder Overlangbroek (zuidwestelijk in beheersgebied) doet HDSR onderzoek naar drainageproblemen. Door drainageproblemen treedt er waarschijnlijk surface runoff op en ontstaat er wateroverlast.
De polder maakt op verzoek van HDSR onderdeel uit van een deelgebied voor de modelberekeningen.
- **Peilgebieden:** De grens van de deelgebieden wordt gelegd op de grenzen van peilgebieden van het waterschap. De peilgebieden vormen vaak een gescheiden hydrologische eenheden door bijvoorbeeld verschillende peilen of verschillende afvoergebieden. Bij de modelberekeningen is dit van belang omdat er in een deelgebied zo weinig mogelijk invloed van andere gebieden moet zijn. De afvoer is dan niet afhankelijk van andere gebieden, maar van de gebiedskenmerken van het deelgebied.

6.2.2 Methode

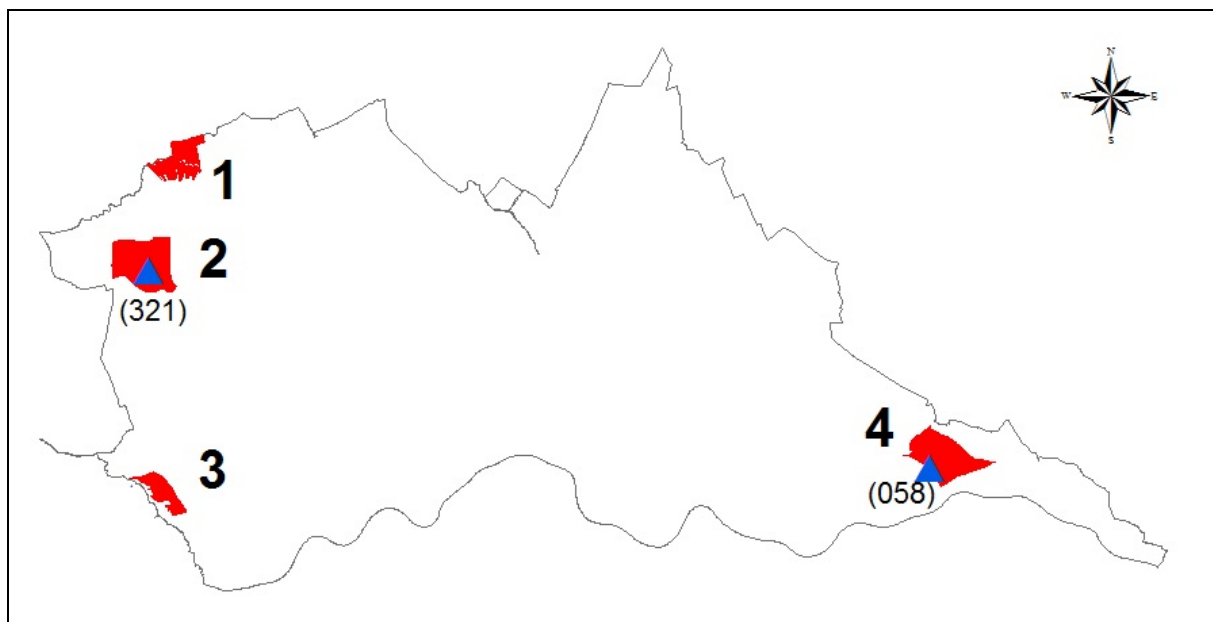
De eerste stap in de selectie van de deelgebieden bestaat uit het verzamelen van de gegevens. De verzamelde gegevens bestaan uit kaartlagen in het programma GIS, welke zijn aangeleverd door HDSR.

De afvoergebieden staan weergegeven in een peilgebiedenkaart, de grondsoorten in de (digitale) bodemkaart en de meetpunten (stuwen en gemalen) in een meetpuntenkaart.

Vervolgens zijn als eerste de meetpunten op gemaallocaties verwijderd. Zo bleven de meetpunten op stuwlocaties over. Daarna zijn er ongeveer 60 meetpunten op stuwlocaties verwijderd omdat deze niet voldoen aan de bovengestelde criteria. Uiteindelijk bleven er ongeveer 30 meetpunten op stuwlocaties over die voldoen aan de bovengestelde criteria. Vervolgens zijn, met behulp van de criteria voor deelgebieden, de deelgebieden vastgesteld. Als laatste is er een selectie van de meetpunten gemaakt waarbij het gebied dat in de werkelijkheid op het meetpunt afwatert overeenkomt met (een gedeelte van) de deelgebieden.

6.2.3 Geselecteerde deelgebieden

In het beheersgebied van HDSR zijn 4 deelgebieden geselecteerd. Deze deelgebieden staan weergegeven in figuur 9.



Figuur 9 Deelgebieden (rood) en meetpunten (blauwe driehoeken)

Per deelgebied zijn verschillende gegevens weergegeven in tabel 15.

Tabel 13 Gegevens per deelgebied

	Deelgebied 1	Deelgebied 2	Deelgebied 3	Deelgebied 4
Ligging	Noordwesten	Westen	Zuidwesten	Oosten
Grondsoort(en)	Veen	Veen, klei, zavel	Veen	Zand, klei, zavel
Oppervlak (m²)	4.031.963	7.847.584	2.567.260	6.757.921
Meetpunt(en) ID	-	321	-	058
Peilgebied(en)	PG0245, PG0244, PG0359	PG0263, PG0255	PG0551	PG0597, PG0598, PG0599, PG0034
Kenmerk	Veenweidegebied	Oeverwal	Veenweidegebied	Stuwwal

6.3 Selectie rekenneerslag

Naast de selectie van de deelgebieden dient er ook een selectie van de rekenneerslag plaats te vinden. De rekenneerslag is afkomstig uit KNMI-gegevens voor het neerslagstation De Bilt. Dit station bevindt zich op een centraal punt tussen de deelgebieden, en bij dit station zijn urneerslaggegevens beschikbaar.

De neerslag in de periode van 2002 tot en met 2009 wordt geselecteerd voor de modelberekeningen. Deze periode is gekozen omdat de metingen (waterstanden en afvoeren) van HDSR sinds 2002 uitgevoerd worden met een verbeterd meetsysteem. Daarnaast zijn de neerslaggegevens uit 2010 (op het moment van dit onderzoek) nog niet compleet.

Als laatste worden de uurneerslaggegevens en de dagneerslaggegevens verzameld. Dit omdat de uurneerslag vermoedelijk het grootste effect heeft op surface runoff (neerslagpiek in een korte tijd). Bij gebruik van daggegevens in het model wordt de neerslag verdeeld over de gehele dag waardoor er minder snel neerslagpieken optreden. De invloed van de verschillende neerslagen op de afvoerpieken zullen met het model onderzocht worden.

Hiernaast worden de KNMI gegevens gebruikt om de 9-daagse neerslagreeksen met de hoogste neerslagsom te bepalen. Het doel van deze analyse is om inzicht te verkrijgen in welke perioden er hevige neerslag voorkomt die kan leiden tot surface runoff. Deze perioden kunnen gebruikt worden voor de analyse van de modelresultaten van het HDSR model. Verwacht wordt dat de surface runoff met name in deze perioden hoog zal zijn. De selectie van de 9-daagse neerslagreeksen staat uitgebreid toegelicht in bijlage 1.

6.4 Selectie AHN

Voor de modelberekeningen zijn er een aantal AHN2 bestanden beschikbaar met een verschillende resolutie. De beschikbare resoluties zijn: 5x5m, 1x1m en 0.5x0.5m. Deze resoluties kunnen echter niet gebruikt worden in de modelberekeningen. Dit omdat dit zou leiden tot onacceptabele rekentijden. Voor het model is een resolutie van tenminste 25x25m benodigd. Daarom zal het AHN2 met een resolutie van 5x5m omgezet worden naar een resolutie van 25x25m voor de modelberekeningen.

Een analyse van de verschillende AHN resoluties staat weergegeven in bijlage 2. Deze analyse toont de verschillen tussen de AHN resoluties aan. Deze verschillen zijn van belang voor dit onderzoek omdat er bij een modelberekeningen een keuze gemaakt moet worden welke AHN resolutie gebruikt zal worden voor de modelberekeningen.

7 Controle meetgegevens

Het doel van deze controle is het bepalen van de betrouwbaarheid en bruikbaarheid van de meetgegevens die zijn aangeleverd door HDSR. De meetgegevens bestaan uit gemeten afvoeren op een bepaald punt (zie paragraaf 6.2.3 “Geselecteerde deelgebieden”). Deze gegevens zullen later in dit onderzoek gebruikt worden om te controleren of de afvoeren die door het SIMGRO model berekend worden overeen komen met de afvoeren in de praktijk. Daarnaast kan vergeleken welke verandering in de afvoeren optreedt na de verandering van invoer of reeds aanwezig parameters in het model.

Hieronder zullen de controle en de resultaten besproken worden.

7.1 Methode

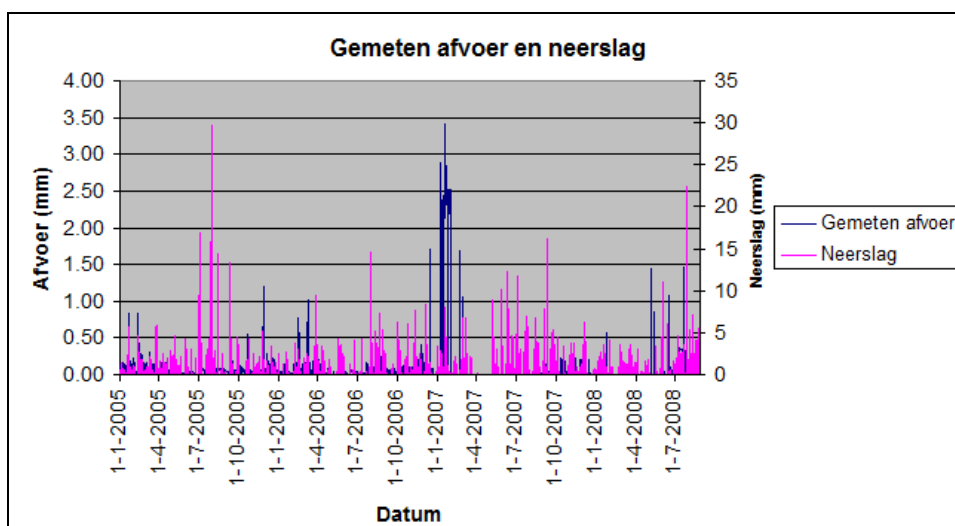
Om de betrouwbaarheid en bruikbaarheid van de meetgegevens te bepalen zijn de aangeleverde gegevens vergeleken met neerslaggegevens van een het KNMI neerslagstation de Bilt. Dit neerslagstation is gekozen omdat er bij de modelberekeningen ook gebruikt gemaakt zal worden van dit neerslagstation.

De neerslaghoeveelheden en de gemeten afvoeren zijn in een grafiek gezet. Vervolgens is vergeleken of de neerslaghoeveelheden op logische wijze overeen komen met de gemeten afvoeren. De verwachting is bijvoorbeeld dat er na een neerslagpiek een verhoogde afvoer zal plaatsvinden. Mocht blijken dat de gemeten afvoeren waarschijnlijk niet kloppen, dan kan er voor gekozen worden om deze gemeten afvoeren niet te gebruiken bij de vergelijking van de berekende (SIMGRO) afvoeren en de gemeten afvoeren.

De afvoeren zullen alleen voor een aantal meetpunten gecontroleerd worden. De meetpunten zijn eerder in dit onderzoek geselecteerd en staan weergegeven in figuur 9.

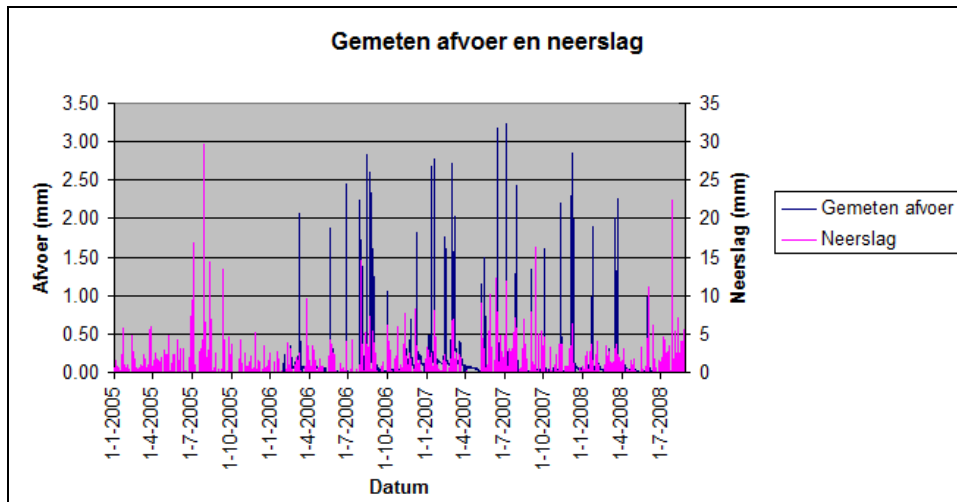
7.2 Resultaten

De vergelijking van de gemeten afvoer en de neerslag voor meetpunt 321 staat in het onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 10 Gemeten afvoer en neerslag, meetpunt 321

Uit het bovenstaande figuur blijkt dat de gemeten afvoer en neerslag niet met elkaar overeenkomen. In 2007 treden veel afvoerpieken op, maar er treden geen neerslagpieken op. In ieder geval blijkt dat de gemeten afvoeren waarschijnlijk niet betrouwbaar zijn voor de vergelijking met de berekende afvoeren later in dit onderzoek.



Figuur 11 Gemeten afvoer en neerslag, meetpunt 058

In figuur 11 staan de gemeten afvoer en neerslag voor meetpunt 058. Bij dit meetpunt zijn geen metingen in het begin van 2006 beschikbaar. Daarna blijkt dat de metingen redelijk overeenkomen met de neerslag. In de meeste gevallen treden de afvoerpieken op dezelfde momenten op als de neerslagpieken. Daarbij leiden de hogere neerslagpieken vaak tot hogere afvoerpieken.

7.3 Conclusie

Uit de vergelijking van de metingen met de neerslag blijkt dat niet alle metingen betrouwbaar zijn. Bij de vergelijking van meetpunt 321 is er geen verband tussen de neerslag en de gemeten afvoer. Bij meetpunt 058 zijn er wel verbanden tussen de neerslag en de gemeten afvoer, deze gegevens lijken betrouwbaarder te zijn.

8 Gevoelige parameters in SIMGRO

In dit hoofdstuk worden de gevoelige parameters beschreven en met welke bandbreedten deze gebruikt zullen worden in SIMGRO.

De gevoelige parameters hebben een grote invloed op surface runoff. Daarom wordt onderzocht wat het effect van deze parameters is op de afvoerpieken als deze parameters gewijzigd worden.

8.1 Methode

Een gevoelige parameter is een parameter die een relatief grote invloed heeft op surface runoff. De mogelijk gevoelige parameters zijn geselecteerd uit de gebieds- en neerslagkenmerken uit hoofdstuk 5 'Gebieds- en neerslagkenmerken in SIMGRO' (zie tabel 14).

Hoe groot de invloed per gebieds- of neerslagkenmerk is, wordt berekend met een vereenvoudigd SIMGRO model. Dit model heeft slechts 1 SVAT-kolom en 1 oppervlaktewatereenheid. Hierdoor is er geen invloed van andere modelgebieden en wordt de afvoer geheel bepaald door de gebieds- en neerslagkenmerken. De modelomstandigheden (zoals de bodemeigenschappen, het oppervlak etc.) zijn willekeurig bepaald, maar wel op basis van realistische inschattingen. Bij elke modelberekening is dus gerekend met bijvoorbeeld dezelfde bodemeigenschappen en oppervlak, tenzij één van deze modelparameters gewijzigd diende te worden voor de selectie van de gevoelige parameters.

De neerslagreeksen zijn wel verschillend. Er is gerekend met twee neerslagreeksen; een fictieve neerslagreeks (20 mm gedurende de eerste 198 dagen, daarna tot dag 365 geen neerslag, piekneerslag van 110mm op dag 64) en een neerslagreeks van 1998 op basis van KNMI gegevens (De Bilt). Daarnaast is ook de standaard ingestelde capaciteit van de microberging verschillend. Bij de modelberekeningen met een willekeurige reeks is een microberging gebruikt van 0.10m. Deze berging is relatief hoog en kan niet voorkomen in natuurgebieden. In landbouwgebieden is de berging over het algemeen lager. Daarom is bij de modelberekeningen met de KNMI neerslagreeks standaard een capaciteit van de microberging van 0.005m gehanteerd.

Bij de modelberekeningen wordt steeds één gebieds- of neerslagkenmerk per modelberekening gewijzigd. In de onderstaande tabel staat beschreven welke gebieds- en neerslagkenmerken gekoppeld worden aan welke modelparameters.

Tabel 14 Modelparameters gekoppeld aan gebieds- en neerslagkenmerken

Gebieds- of neerslagkenmerk	SIMGRO parameter(s)	Beschrijving
Infiltratiecapaciteit	Qinfbasic	Infiltratie capaciteit van het maaiveld
Grondsoort- en eigenschappen	Qinfbasic Rein Vxmu Crunoff	Infiltratiecapaciteit van het maaiveld Drainageweerstand Capaciteit van microberging Runoff weerstand
Maaiveldweerstand	Crunoff	Runoff weerstand
Reliëf	Glk	Maaiveldhoogte
Neerslagintensiteit	Prec	Neerslaghoeveelheid
Neerslagpatroon	Prec	Neerslaghoeveelheid
Bodembeheer en vegetatie (landgebruik)	Qinfbasic Rein Vxmu Crunoff Faevvg	Infiltratiecapaciteit van het maaiveld Drainageweerstand Capaciteit van microberging Runoff weerstand Vegetatiefactor
Algemeen SR	Dtgw	Tijdstap grondwaterberekeningen

Uit de bovenstaande tabel blijkt dat verschillende gebieds- of neerslagkenmerken gekoppeld kunnen worden aan dezelfde modelparameters. Dit komt doordat dezelfde gebieds- of neerslagkenmerken beschreven worden door meerdere modelparameters. Bij verschillende gebieds- of neerslagkenmerken kunnen hierdoor dezelfde modelparameters gebruikt worden.

De volgende stap is het uitvoeren van de modelberekeningen en de analyse van de resultaten aan de hand van een aantal berekende parameters. Bij de analyse worden de volgende parameters gebruikt:

- hoeveelheid surface runoff,
- berging in de onverzadigde zone,
- plasdiepte en verandering van de microplasberging (bij de macroplasberging treden slechts minimale verschillen op en wordt daarom niet meegenomen in de analyse).

Met deze parameters wordt geanalyseerd hoe groot de invloed van een gebieds- of neerslagkenmerk is op surface runoff. Na de analyse kunnen de gevoelige parameters geselecteerd worden.

De laatste stap is het bepalen van de bandbreedten van de gevoelige parameters. Hiervoor wordt een inschatting gemaakt van de bandbreedten op basis van realistische in de praktijk mogelijke grenzen.

Daarnaast moet opgemerkt worden dat in het SIMGRO model een aantal aannamen gedaan zijn die in de werkelijkheid niet voor komen. De infiltratiecapaciteit bij alle grondsoorten is bijvoorbeeld aangepast naar 0.01m/dag. Dit terwijl de grondsoorten in werkelijkheid allemaal een verschillende infiltratiecapaciteit hebben.

Ook blijkt in de resultaten dat het gebruik van het AHN2 soms tot opvallende modelresultaten leidt in vergelijking met de startsituatie (AHN1). Het verschil tussen het AHN2 en het AHN1 zou in theorie niet zo groot moeten zijn.

8.2 Selectie gevoelige parameters

In deze paragraaf worden de resultaten van de wijziging van de modelparameters beschreven. Als eerste worden de resultaten behandeld van de modelberekeningen met de willekeurige neerslagreeks. Vervolgens worden de resultaten behandeld van de modelberekeningen met de neerslagreeks van het KNMI.

8.2.1 Modelresultaten met een fictieve neerslagreeks

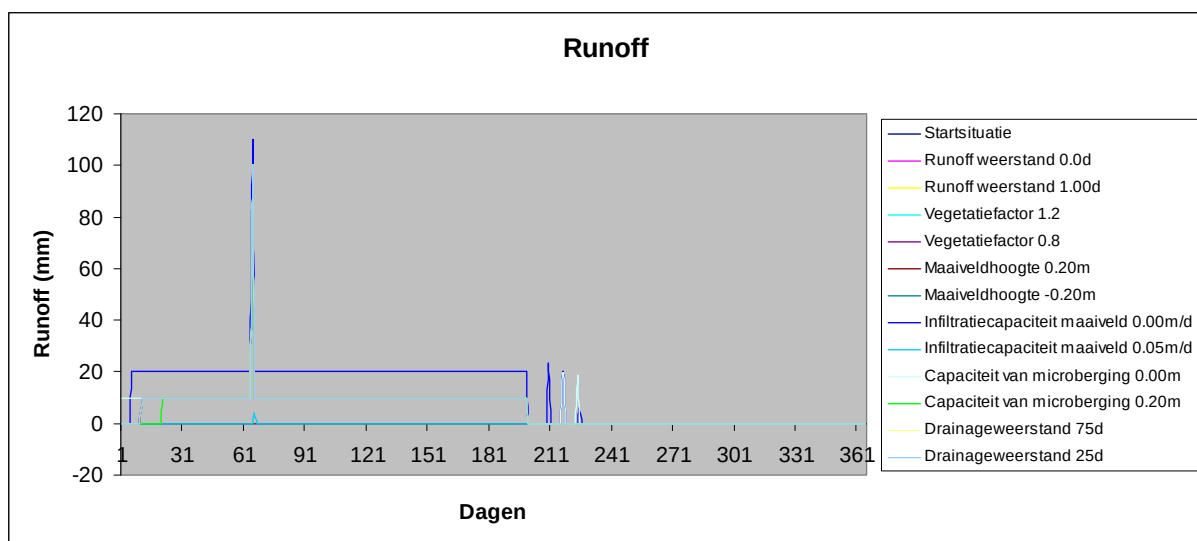
In de figuren en tabellen die hierna volgen staan de resultaten weergegeven van de modelberekeningen na de wijzigingen van de modelparameters (fictieve neerslagreeks).

Tabel 15 Totale hoeveelheid surface runoff na de wijziging van modelparameters, berekend met de fictieve neerslagreeks

Modelparameter	Totale runoff (mm)
Startsituatie	1980
Runoff weerstand 0.0d	1980
Runoff weerstand 1.00d	1980
Vegetatiefactor 1.2	1980
Vegetatiefactor 0.8	1980
Maaiveldhoogte 0.20m	1980
Maaiveldhoogte -0.20m	1980
Infiltratiecapaciteit 0.00m/d	4019.6
Infiltratiecapaciteit 0.05m/d	4.12
Capaciteit microberging 0.00m	2118.49
Capaciteit microberging 0.20m	1880
Drainageweerstand 75d	1980
Drainageweerstand 25d	1980

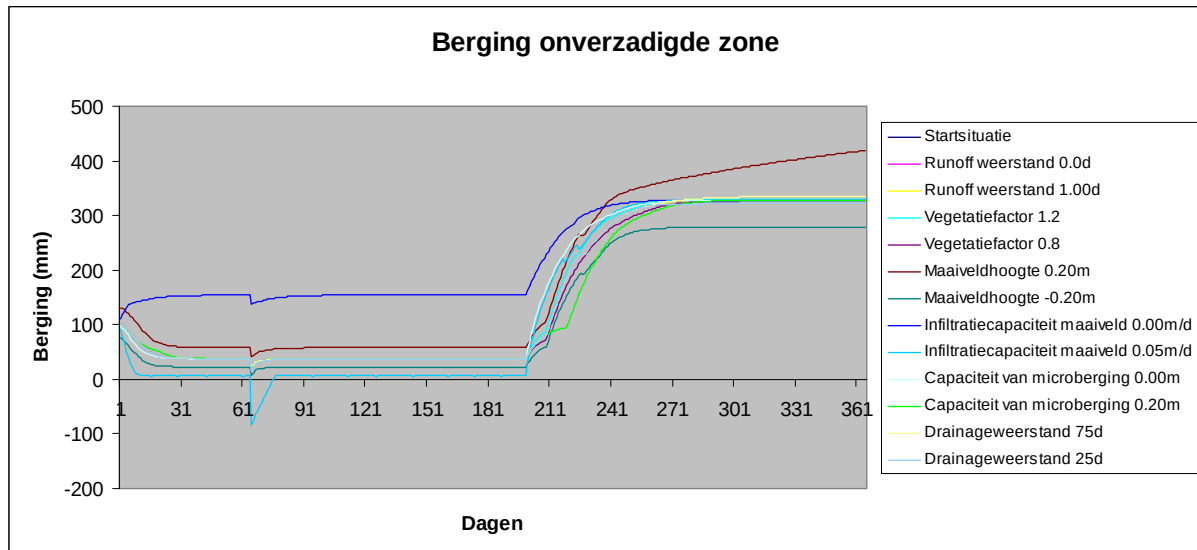
In de bovenstaande tabel staat per modelparameter de hoeveelheid surface runoff (mm) die ontstaat bij de fictieve neerslagreeks. Uit de tabel blijkt dat er in de startsituatie in totaal 1980 mm runoff plaatsvindt. Na de wijziging van overige modelparameters blijkt dat in bijna alle gevallen dezelfde hoeveelheid surface runoff optreedt als in de startsituatie. Dat betekent dat deze modelparameters in de huidige bandbreedte geen invloed hebben op surface runoff. Uit de tabel blijkt wel dat de modelparameters infiltratiecapaciteit en capaciteit van de microberging een grote invloed hebben op surface runoff.

Het verloop van de runoff in de tijd staat weergegeven in figuur 12.

**Figuur 12 Hoeveelheid surface runoff uitgezet tegen de tijd voor de gewijzigde parameters, berekend met de fictieve neerslagreeks**

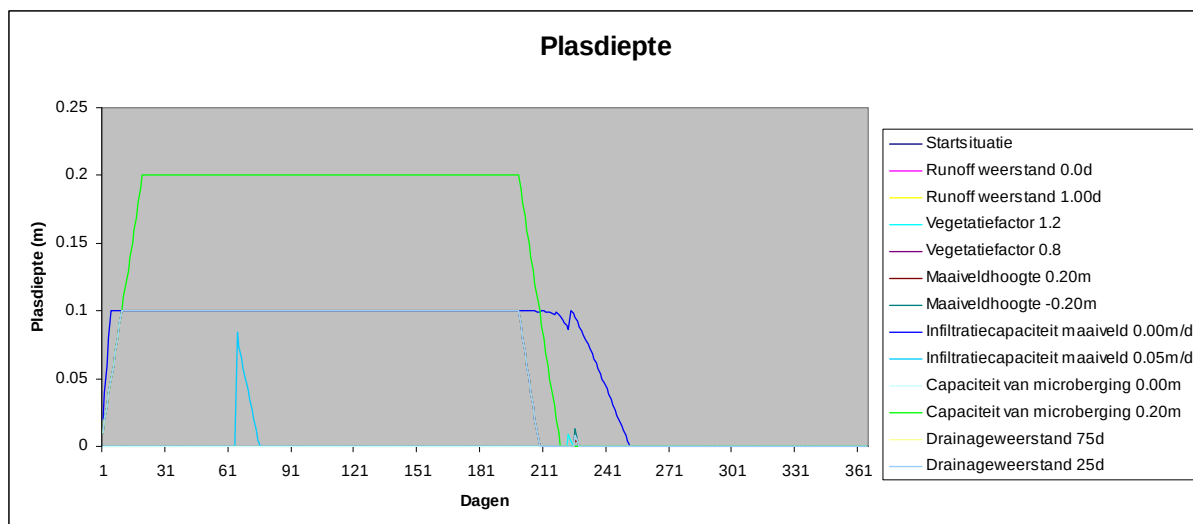
Uit het bovenstaande figuur blijkt dat er een piek in de hoeveelheid surface runoff optreedt na ongeveer 64 dagen. Dit wordt veroorzaakt door een piekneerslag van 110mm. De daling van de surface runoff rond dag 200 wordt veroorzaakt door het stoppen van de neerslag. Verder blijkt uit het figuur dat de meeste surface runoff optreedt bij een verlaging van de modelparameter 'infiltratiecapaciteit maaiveld'. Er kan dan geen neerslag meer infiltreren in de bodem waardoor de neerslag oppervlakkig moet afstromen. Hierdoor treedt ook na een korte tijdsperiode al surface

runoff op. Daarnaast valt op dat bij een hogere infiltratiecapaciteit (0.05m/d) nauwelijks surface runoff plaatsvindt. De neerslag infiltreert hierbij snel in de bodem waardoor er weinig neerslag oppervlakkig afstroomt. Als laatste valt op dat de tijdsperiode waarbij de eerste surface runoff optreedt verschillend is per modelparameter. Een hoge capaciteit van de microberging (0.20m) heeft als gevolg dat er veel neerslag geborgen kan worden in plassen en dergelijke. Pas als de microberging vol is start de surface runoff.



Figuur 13 Hoeveelheid berging in de onverzadigde zone uitgezet tegen de tijd per gewijzigde modelparameter, berekend met de fictieve neerslagreeks

Het bovenstaande figuur geeft de hoeveelheid berging in de onverzadigde zone aan, uitgezet tegen de tijd. Door de piekneerslag op dag 64 daalt de berging in de onverzadigde zone bij elke modelparameter. Als de neerslag stopt op dag 200 stijgt de berging in de onverzadigde zone. Verder blijkt uit de figuur dat de berging in de onverzadigde zone van dag 1 tot ongeveer dag 200 het grootste is bij een infiltratiecapaciteit van 0.00m/d. De neerslag kan dan niet in de bodem infiltreren waardoor de berging in de onverzadigde zone niet gevuld kan worden door de neerslag. In de periode van dag 200 tot dag 365 is de berging het grootste met een maaiveldhoogte van 0.20m. Het maaiveld is hierbij hoger dan gebruikt is bij de andere modelparameters. Hierdoor is de grootte van de onverzadigde zone toegenomen en kan er meer geborgen worden. Als laatste is opvallend dat in de periode van dag 1 tot ongeveer dag 200 de berging het laagste is met een infiltratiecapaciteit van 0.05m/d. De hoge infiltratiecapaciteit leidt tot een verzadigde zone die snel vol raakt en uiteindelijk ook water afvoert bij de neerslagpiek rond dag 64 (verzadigde surface runoff).

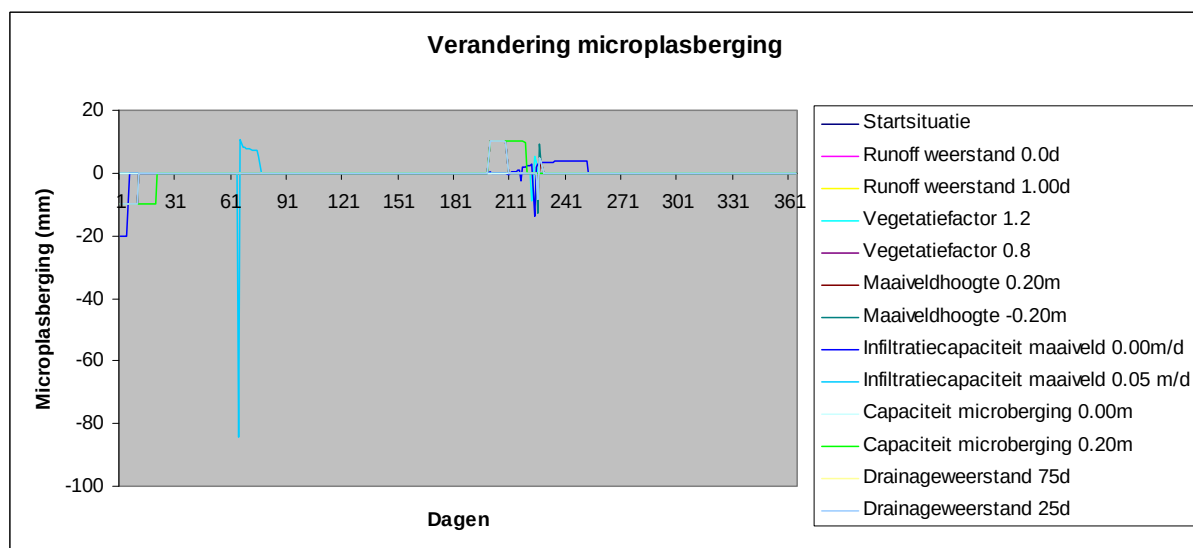


Figuur 14 Hoeveelheid surface runoff uitgezet tegen de tijd per gewijzigde modelparameter, berekend met de fictieve neerslagreeks

In het bovenstaande figuur staat de plasdiepte weergegeven van plassen op het maaiveld. In het begin van de tijdsperiode treedt een stijging van de plasdiepte op door de neerslag. Rond dag 200 treedt een daling van de plasdiepten op door het stoppen van de neerslag.

Met een infiltratiecapaciteit van 0.00m/d lopen de plassen snel vol in het begin van de tijdsperiode. De neerslag kan niet infiltreren in de bodem en de plasdiepte stijgt hierdoor snel. Na het stoppen van de neerslag duurt het lang voordat de plasdiepte daalt. Het water in de plas kan niet via de bodem worden afgevoerd en moet daarom verdampen waarna daling van de plasdiepte optreedt.

Als laatste is opvallend dat bij een microberging van 0.00m geen plasvorming optreedt. Doordat de berging 0 is kan er geen plasvorming optreden en stroomt de neerslag direct over het maaiveld af (surface runoff). Bij een microberging van 0.20m blijkt echter dat de hoogste plasdiepte wordt bereikt. Dit komt door de capaciteit van de microberging die bepaald wat de maximale plasdiepte bedraagt.



Figuur 15 Hoeveelheid surface runoff uitgezet tegen de tijd per gewijzigde modelparameter, berekend met de fictieve neerslagreeks

In het bovenstaande figuur staat de verandering van de microplasberging uitgezet tegen de tijd.

Opvallend is de grote verandering in microberging bij infiltratiecapaciteit maaiveld 0.05m/d. De grote

bergingsverandering treedt op door de piekneerslag rond dag 64. De microplasberging wordt hierbij negatief, wat betekent dat de neerslag uit de plassen verdwijnt (door infiltratie, verdamping en/of surface runoff). Daarnaast blijkt dat aan het begin van de tijdsperiode de microplasberging niet overal tegelijk volloopt. Dit wordt veroorzaakt doordat de grootte van de microplasberging bijvoorbeeld verhoogd is naar 0.20m in plaats van de gebruikelijke 0.10m. Na het stoppen van de neerslag rond dag 200 treedt er negatieve verandering van de microplasberging op. De neerslag is gestopt en door verdamping en infiltratie loopt de microplasberging leeg. Dit heeft ook als gevolg dat er na het leeglopen van de microplasberging een verhoging van de beschikbare microplasberging optreedt.

8.2.2 Modelresultaten met KNMI neerslagreeks

In de figuren en tabellen die hierna volgen staan de resultaten weergegeven van de modelberekeningen na de wijzigingen van de modelparameters (KNMI neerslagreeks). Ten opzichte van het model dat gebruikt is bij de fictieve neerslagreeks, zijn er een aantal dingen veranderd. Door een aantal modelparameters anders in te stellen wordt er een realistischere situatie gemodelleerd die meer overeenkomt met de situatie in de deelgebieden. De volgende veranderingen zijn hiervoor doorgevoerd; de oppervlaktewaterstand is verhoogd van -1.50m naar -1.20m; de capaciteit van de microberging is teruggebracht van 0.10m naar 0.005m; de infiltratiecapaciteit van het maaiveld is verhoogd van 0.01m/dag naar 0.03m/dag en de drainageweerstand (en infiltratieweerstand) verhoogd van 50dagen naar 100dagen.

Tabel 16 Totale hoeveelheid surface runoff na de wijziging van modelparameters, berekend met de KNMI neerslagreeks

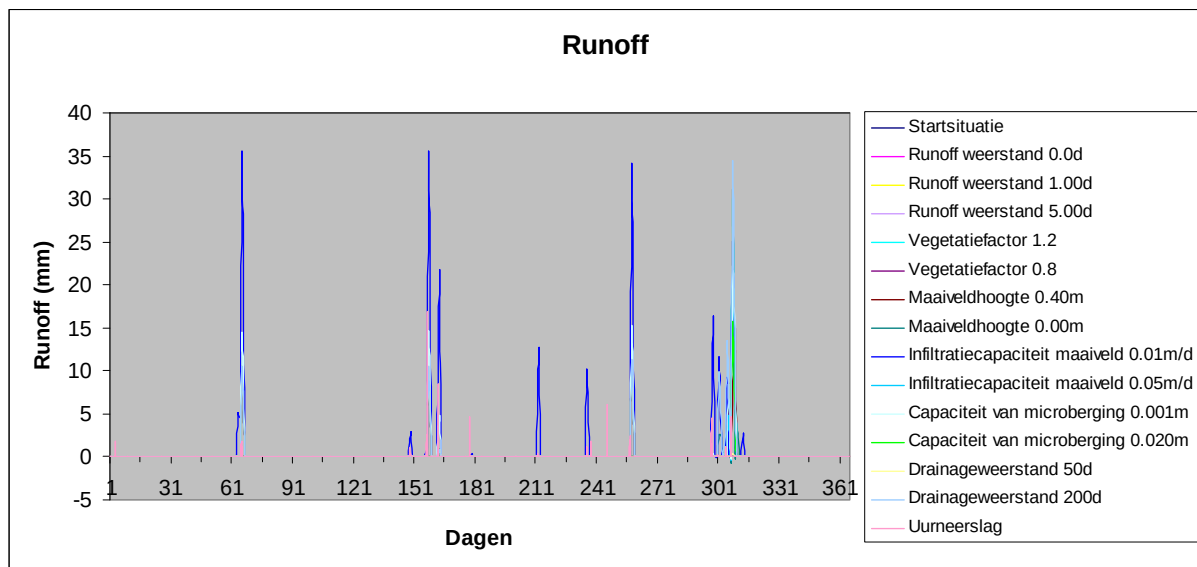
Parameter	Totale runoff (mm)
Startsituatie (dagneerslag)	69.93
Uurneerslag	121.34
Runoff weerstand 0.0d	69.93
Runoff weerstand 1.00d	69.93
Runoff weerstand 5.00d	69.93
Vegetatiefactor 1.2	63.27
Vegetatiefactor 0.8	70.74
Maaiveldhoogte 0.40m	52.37
Maaiveldhoogte 0.00m	90.06
Infiltratiecapaciteit 0.01m/d	234.8
Infiltratiecapaciteit 0.05m/d	36.76
Capaciteit microberging 0.001m	92.41
Capaciteit microberging 0.020m	18.27
Drainageweerstand 50d	33.76
Drainageweerstand 200d	116.81

Uit de bovenstaande tabel blijkt dat de infiltratiecapaciteit en de capaciteit van de microberging ook bij deze modelsituatie een grote invloed hebben op surface runoff (afwijking van ongeveer 21 tot 164mm). Daarnaast blijkt dat ook in deze modelsituatie de runoff weerstand en vegetatiefactor geen of een kleine invloed hebben op surface runoff (afwijking van ongeveer 1 tot 7mm). Ten opzichte van de modelberekening met de fictieve neerslag is er een extra berekening uitgevoerd voor de runoff weerstand. Dit omdat er tijdens de berekeningen bleek dat de gehanteerde bandbreedte geen effect had op surface runoff, en dat het vermoeden bestond dat mogelijk een andere bandbreedte wel tot een verandering van totale hoeveelheid surface runoff kon leiden.

De invloed van de maaiveldhoogte is matig (ongeveer 18 tot 21mm). De maaiveldhoogte zal echter in het vervolg van het onderzoek niet gebruikt worden als 'gevoelige' parameter. Dit omdat de verhogingen van het maaiveld in de praktijk niet realistisch zijn. De maaiveldhoogte is in de

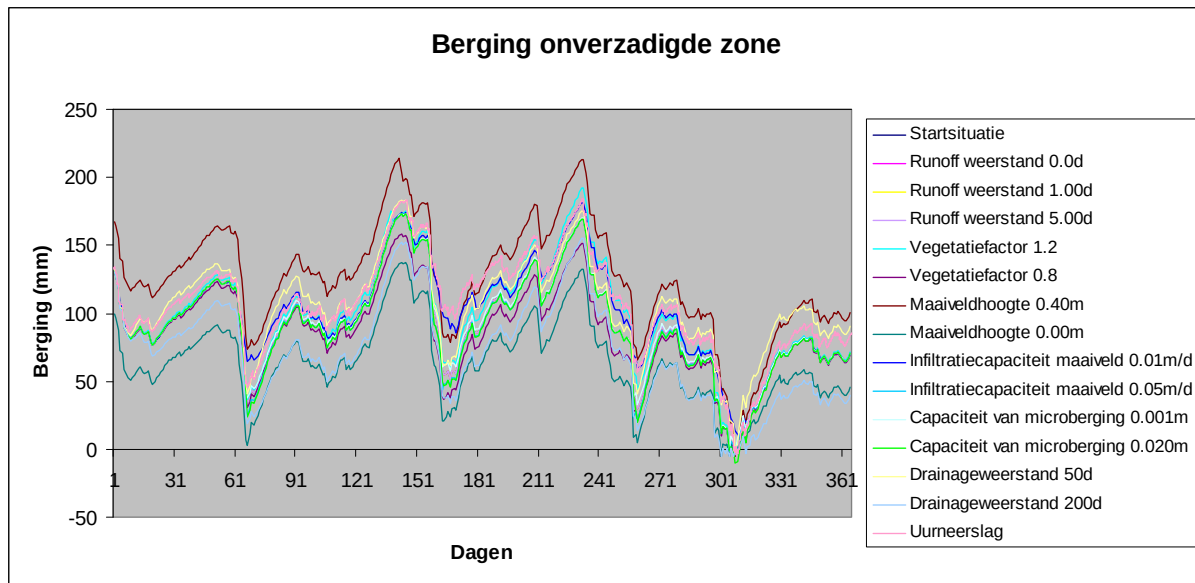
berekeningen gewijzigd met 0.20m naar boven en 0.20m naar beneden. In de praktijk zijn zulke verhogingen of verlagingen niet relevant.

Hiernaast heeft ook de drainageweerstand een grote invloed op surface runoff (afwijking van ongeveer 37 tot 46mm). Als laatste is opmerkelijk dat het rekenen met een uurneerslag leidt tot een verhoging van de totale runoff van ongeveer 51mm. Hieruit volgt dat de uurneerslag tot de hoogste hoeveelheid surface runoff leidt. Daarom zal er in de modelberekeningen voor de HDSR deelgebieden gebruik gemaakt worden van de uurneerslag.



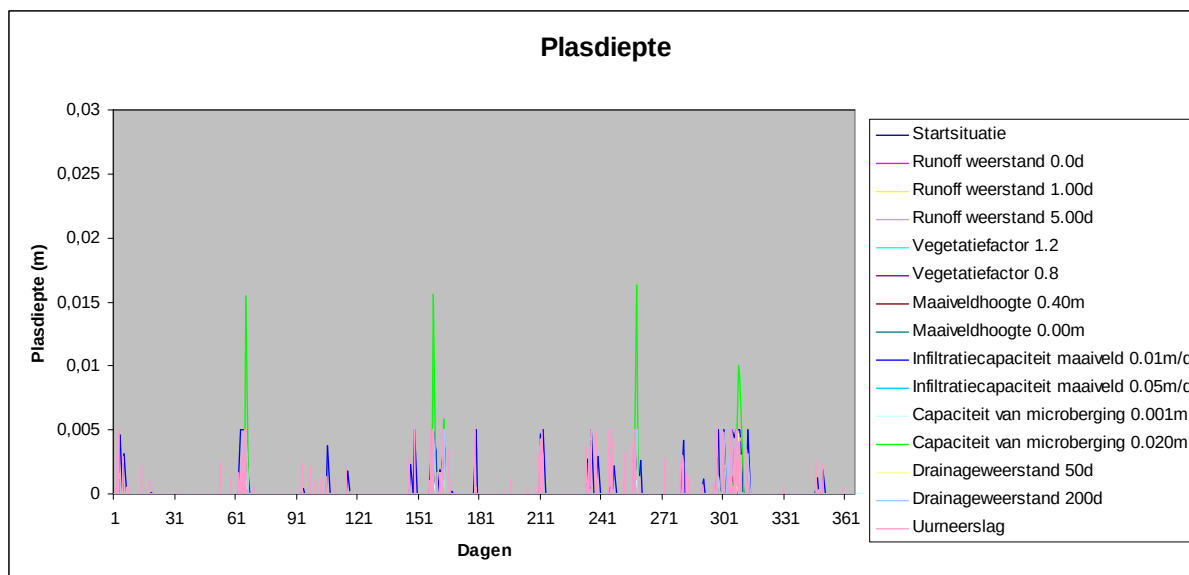
Figuur 16 Hoeveelheid surface runoff uitgezet tegen de tijd voor de gewijzigde parameters, berekend met de KNMI neerslagreeks

In het bovenstaande figuur staat de hoeveelheid surface runoff afgezet tegen de tijd. Uit het figuur blijkt dat er meerdere hoge pieken in de surface runoff optreden met een maximum van ongeveer 35mm. Deze pieken worden veroorzaakt door hoge neerslagen over een aantal achtereenvolgende dagen. Opvallend is dat er zeer vaak en met hoge pieken surface runoff plaatsvindt bij een infiltratiecapaciteit van 0.01m/d. Doordat de neerslag beperkt in de bodem kan infiltreren wordt het water alleen afgevoerd door verdamping en/of door surface runoff. Daarnaast blijkt ook dat er bij een microberging met een capaciteit van 0.001m veel surface runoff plaatsvindt. De neerslag kan dan niet in de microberging geborgen wordt en stroomt daarom direct oppervlakkig af (surface runoff) en/of verdampt. Als laatste treedt ook veel surface runoff op bij een drainageweerstand van 200d en bij een maaiveldhoogte van 0.00m. Bij een hoge drainageweerstand kan de geïnfiltreerde neerslag minder snel afgevoerd worden door het drainagesysteem. Dit heeft een verhoogde surface runoff als gevolg. Daarnaast zorgt de maaiveldhoogte van 0.0m voor surface runoff doordat de maaiveldhoogte is verlaagd ten opzichte van de maaiveldhoogte in de startsituatie. Hierdoor kan er minder neerslag in de bodem geborgen worden en treedt er dus sneller surface runoff op.



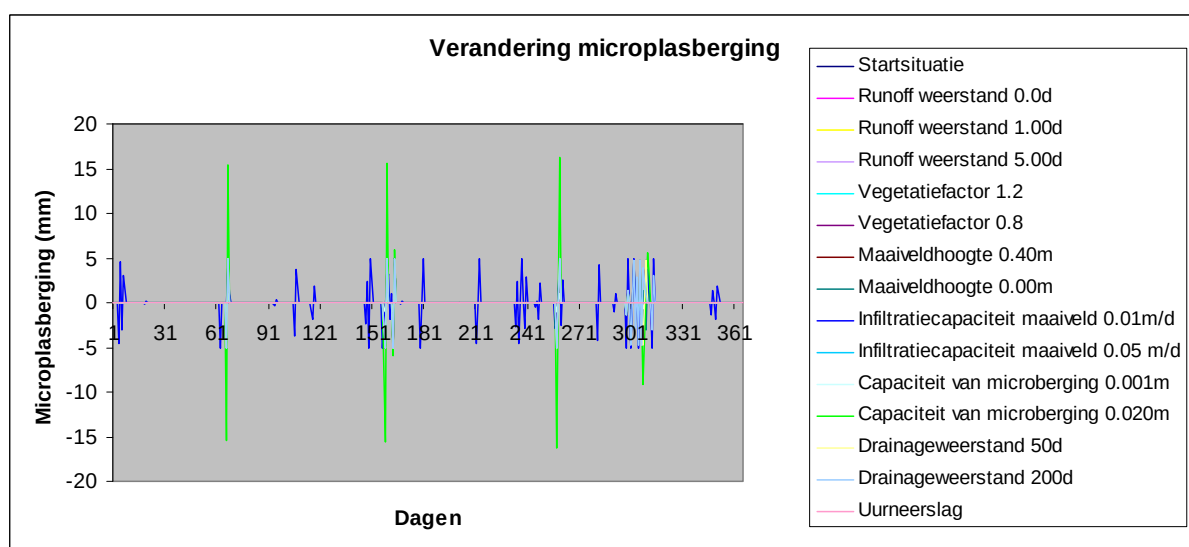
Figuur 17 Hoeveelheid berging in de onverzadigde zone uitgezet tegen de tijd per gewijzigde modelparameter, berekend met de KNMI neerslagreeks

In het bovenstaande figuur staat de hoeveelheid berging in de onverzadigde zone uitgezet tegen de tijd. Na de neerslagpieken treedt er bij alle modelparameters een daling van de capaciteit van de berging op. Dit wordt veroorzaakt door de neerslag die infiltreert in de bodem. Na de piekneerslagen wordt het water uit de bodem afgevoerd en zorgt zo voor een toename van de beschikbare berging. Verder blijkt dat gedurende bijna de gehele tijdsperiode het meeste berging beschikbaar is bij een maaiveldhoogte van 0.40m. Door een verhoging van het maaiveld ten opzichte van de startsituatie kan er meer neerslag geborgen worden in de onverzadigde zone (deze zone is immers groter). Daarnaast blijkt dat gedurende bijna de gehele tijdsperiode het minste berging beschikbaar is bij een maaiveldhoogte van 0.00m. In dit geval is de grootte van de onverzadigde zone juist kleiner dan in de startsituatie. Hierdoor kan er minder neerslag in de onverzadigde zone geborgen worden. Wanneer de berging van de onverzadigde zone negatief wordt treedt er verzadigde surface runoff op (rond dag 305). Doordat de berging van de onverzadigde vol raakt stijgt de grondwaterstand. Wanneer de berging vol is staat de grondwaterstand tot aan het maaiveld. De neerslag die dan valt kan niet meer infiltreren in de bodem en stroomt oppervlakkig af (surface runoff). Dit blijkt het geval bij met name de modelparameters infiltratiecapaciteit, capaciteit van microberging en drainageweerstand.



Figuur 18 Plasdiepte uitgezet tegen de tijd per gewijzigde modelparameter, berekend met de KNMI neerslagreeks

In het bovenstaande figuur staat de plasdiepte weergegeven van plassen op het maaiveld. De neerslagpieken zorgen ervoor dat de plasdiepte tijdelijk bij de meeste modelparameters toeneemt. Vervolgens loopt de plas leeg door infiltratie in de bodem, verdamping of door afvoer van water via surface runoff. De plasdiepte is het hoogste bij een capaciteit van de microberging van 0.020m. Ten opzichte van de startsituatie is de grootte van de microberging verhoogd waardoor er meer neerslag geborgen kan worden en de maximale plasdiepte het hoogste is. Verder is opvallend dat er bij een microplasberging van 0.00m geen plasvorming optreedt. Doordat de berging 0 is kunnen er geen plassen ontstaan en stroomt de neerslag direct oppervlakkig af (surface runoff). Ook vindt er vaak plasvorming plaats bij een infiltratiecapaciteit van 0.01m/d. Door de lage infiltratiecapaciteit kan het water zeer traag infiltreren en vindt er veel plasvorming plaats. Als laatste is opvallend dat er vaak plasvorming optreedt bij een berekening met urneerslag. De berekening met de urneerslag zorgt voor een dynamischer systeem waarbij in stappen van een uur (in plaats van een dag) plassen vollopen en leeglopen.



Figuur 19 Verandering microplasberging uitgezet tegen de tijd per gewijzigde modelparameter, berekend met de KNMI neerslagreeks

Het bovenstaande figuur geeft de verandering van de microplasberging in de tijd weer. Opvallend zijn de grote veranderingen van de microplasberging bij een capaciteit van de microberging van 0.020m. Deze berging is groter dan de gebruikelijke berging van 0.005m. Daardoor vinden er grotere veranderingen in de microplasberging plaats dan bij de overige modelparameters. Verder treden er vaak veranderingen op bij een infiltratiecapaciteit van 0.01m/d. Doordat de infiltratiecapaciteit beperkt is wordt de microplasberging snel gevuld. Daarna stroomt de microplasberging weer leeg waardoor de negatieve microplasberging optreedt.

8.2.3 Conclusie

Uit de gevoeligheidsanalyse zoals beschreven in paragraaf 8.2.1 en 8.2.2 blijkt dat niet alle modelparameters evenveel invloed hebben op surface runoff. Wijziging van de runoff weerstand en de vegetatiefactor blijken weinig invloed te hebben. Het wijzigen van de maaiveldhoogte heeft wel invloed, maar deze modelinput wordt niet meegenomen in het vervolg van het onderzoek omdat dergelijke verhogingen niet relevant zijn in de praktijk.

De neerslag heeft ook invloed op de surface runoff, maar de neerslag is eigenlijk modelinput in plaats van een parameter. Deze modelinput zal echter wel gebruikt worden bij de modelberekeningen.

De volgende parameters zijn als 'gevoelig' geselecteerd:

- de infiltratiecapaciteit van het maaiveld,
- de capaciteit van de microberging,
- de drainageweerstand

8.3 Bandbreedten gevoelige parameters

De bandbreedten die gehanteerd zullen worden bij de gevoelige parameters zijn vastgesteld op basis van een realistische inschatting met waarden die ook in de praktijk voor kunnen komen in de HDSR deelgebieden. De bandbreedten die uit deze inschatting volgen zijn in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 17 Gehanteerde bandbreedten voor de gevoelige parameters

Modelparameter	Eenheid	Startsituatie	Bandbreedte
Infiltratiecapaciteit maaiveld ($q_{infbasic}$)	m/d	0.050	0.030, 0.010
Capaciteit microberging (v_{xmu})	m	0.005	0.001, 0.020
Drainageweerstand (rein)	d	100%	+20%, -20%

In het HDSR model is een waarde toegekend aan de bovengenoemde modelparameters. Uit deze waarden kan een onderscheidt gemaakt worden tussen landelijk gebied en stedelijk gebied. In het stedelijk gebied is het niet van belang om bijvoorbeeld de infiltratiecapaciteit van het maaiveld aan te passen. Dit onderzoek richt zicht met name op de surface runoff in het landelijk gebied. Daarom zullen de gevoelige parameters voor het stedelijk gebied niet aangepast worden.

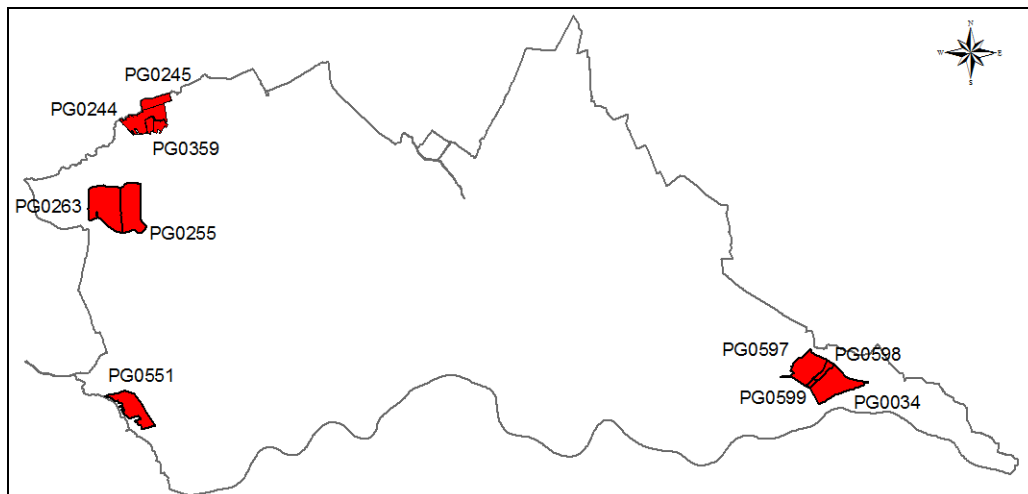
9 Gevoeligheidsanalyse met SIMGRO

Dit hoofdstuk behandelt de gevoeligheidsanalyse met SIMGRO voor de surface runoff parameters. Dit vormt het belangrijkste onderdeel van dit onderzoek.

Als eerste wordt de methode behandeld van de gevoeligheidsanalyse. Vervolgens worden de resultaten van de gevoeligheidsanalyse beschreven.

9.1 Methode

De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd met behulp van het model SIMGRO. De modelgebieden in SIMGRO bestaan uit een aantal peilgebieden in het beheersgebied van HDSR. Deze peilgebieden zijn samengevoegd tot een aantal deelgebieden. Na het uitvoeren van de modelberekeningen waren er zeer veel resultaten beschikbaar per deelgebied. Daarom is besloten om per deelgebied één peilgebied te selecteren waarvan de modelresultaten gebruikt zullen worden. De peilgebieden met de grootste hoeveelheden surface runoff zijn hiervoor geselecteerd. Voor deelgebied 1 is dit peilgebied PG0245, deelgebied 2 PG0263, deelgebied 3 PG0551 en deelgebied 4 PG0034. Deze peilgebieden staan in het onderstaande figuur weergegeven, en zullen beschreven worden in paragraaf 9.2.



Figuur 20 Peilgebieden per deelgebied

Het oppervlak per peilgebied staat in de onderstaande tabel weergegeven.

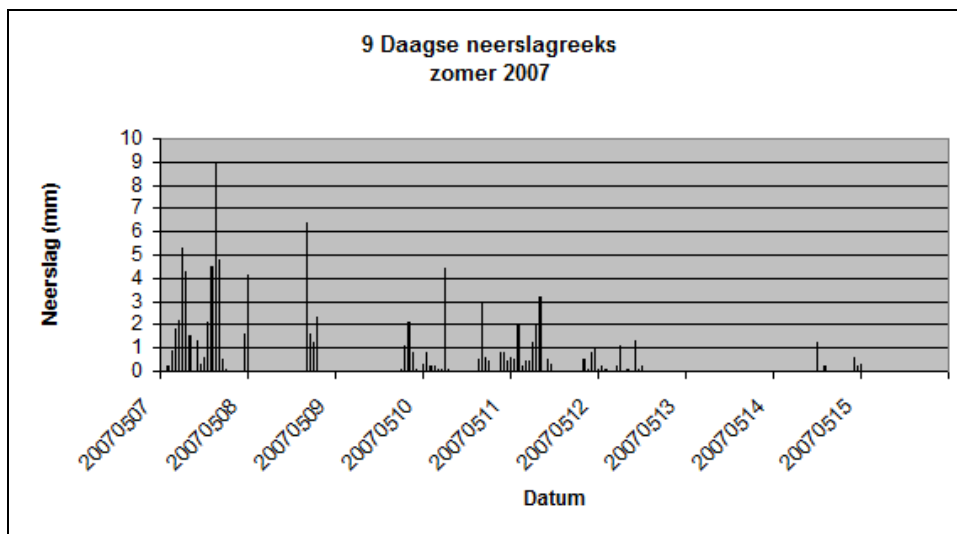
Tabel 18 Kenmerken geselecteerde peilgebieden modelresultaten

Peilgebied	Oppervlak (m2)	Deelgebied
PG0245	951571	1
PG0263	4371480	2
PG0551	2567260	3
PG0034	3521507	4

De modelgrenzen vallen niet samen met deze peilgebieden. De modelgrenzen zijn gelegd op de randen van het beheersgebied van HDSR. Dit betekent dat de peilgebieden in het model ook invloed ondervinden van aangrenzende gebieden.

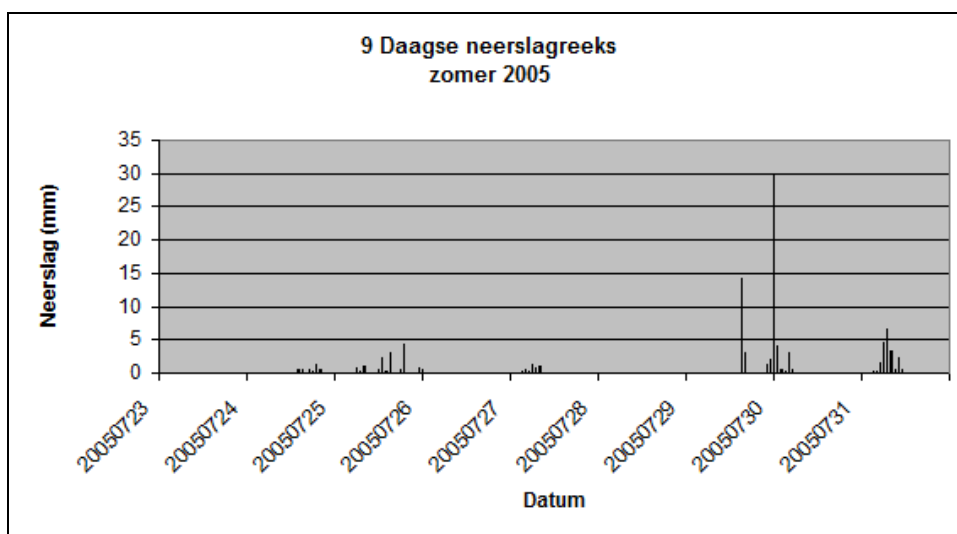
Voor de gevoeligheidsanalyse is een serie van berekeningen uitgevoerd. Per berekening is steeds één gevoelige parameter of een combinatie van twee gevoelige parameters gewijzigd binnen de gestelde bandbreedte. Vervolgens is er uit de modelresultaten een selectie gemaakt die gebruikt zal worden

voor de gevoeligheidsanalyse. Hierbij wordt er onderscheidt gemaakt in resultaten voor oppervlaktewater en resultaten voor grondwater. Bij de resultaten voor het oppervlaktewater worden de totale afvoer, de afvoerpiek en de hoeveelheid surface runoff geselecteerd. Bij de resultaten voor het grondwater worden de volgende resultaten geselecteerd: de berging in de onverzadigde zone en de diepte van de plassen op het maaiveld. Daarnaast zijn de resultaten geselecteerd op basis van een aantal neerslagperioden en de berging in de onverzadigde zone in de startsituatie. De neerslagperioden worden gekenmerkt door een bepaald neerslagverloop, namelijk: een neerslagpiek aan het begin van de neerslagperiode, een neerslagpiek aan het einde van de neerslagperiode en een verdeelde neerslag over de gehele neerslagperiode. De neerslagverlopen zijn bepaald uit de neerslaguurgegevens van het KNMI voor neerslagstation de Bilt. In de onderstaande grafiek staan de verschillende neerslagverlopen weergegeven.



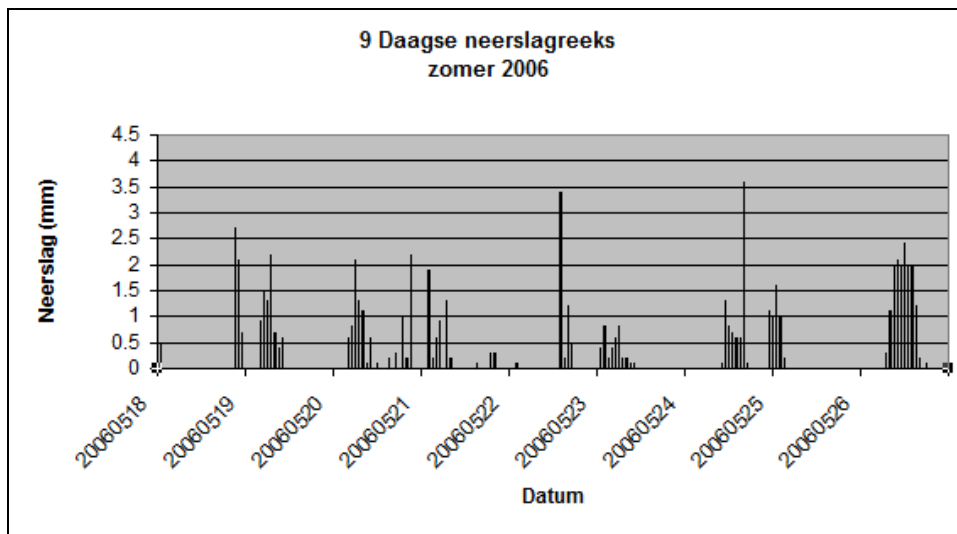
Figuur 21 Neerslagverloop met neerslagpiek aan het begin, zomer 2007

Figuur 21 geeft het neerslagverloop weer met een aantal neerslagpieken aan het begin van de neerslagperiode. De maximale neerslagpiek bedraagt 9mm aan het einde van de eerste dag in de neerslagperiode. De hoeveelheid neerslag neemt geleidelijk af naarmate de neerslagperiode ten einde loopt.



Figuur 22 Neerslagverloop met neerslagpiek aan het einde, zomer 2005

In figuur 22 staat het neerslagverloop weergegeven met twee neerslagpieken aan het einde van de neerslagperiode. De neerslagpieken bedragen ongeveer 14.7mm en 30mm op dezelfde dag. Gedurende de rest van de neerslagperiode komen nog een aantal kleine neerslagen voor.

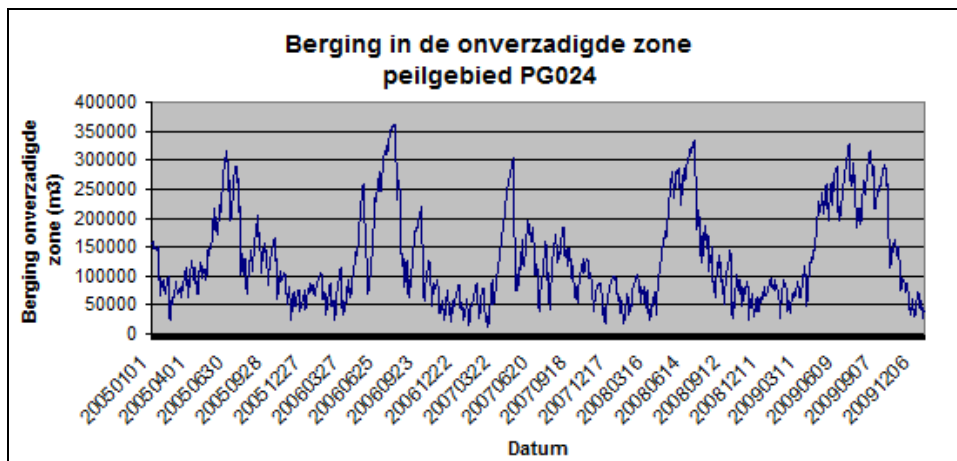


Figuur 23 Neerslagverloop met verdeelde neerslag, zomer 2006

Het laatste neerslagverloop met een verdeelde neerslag staat weergegeven in figuur 23. Tijdens de gehele neerslagperiode valt er met regelmaat neerslag. De maximale neerslagpiek bedraagt ongeveer 3.6mm.

Naast de neerslagverlopen is ook de berging in de onverzadigde zone in de startsituatie gebruikt bij het analyseren van de resultaten. Uit paragraaf 5.2.1 ('Neerslagintensiteit') blijkt namelijk dat er bij een met water verzadigde bodem sneller surface runoff optreedt dan een bodem die niet verzadigd is met water. In de modelresultaten is de verzadiging van de bodem verwerkt in de berging in de onverzadigde zone. Een hoge berging in de onverzadigde zone betekent een onverzadigde bodem, en omgekeerd.

Voor de analyse van de resultaten worden een aantal tijdsperioden geselecteerd waarbij de berging in de onverzadigde zone een bepaalde waarde heeft. Hierbij is uitgegaan van de berging in de onverzadigde zone in de startsituatie (met AHN1 en zonder gewijzigde modelparameters). Het verloop van de onverzadigde berging in de tijd is bij elk peilgebied ongeveer gelijk (veel berging beschikbaar in de zomer, weinig berging beschikbaar in de winter). Daarom is er een willekeurig peilgebied gekozen waarvan de tijdsperioden geselecteerd worden (peilgebied PG0245, deelgebied 2). Het verloop van deze berging staat in het onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 24 Verloop van de berging in de onverzadigde zone in de tijd, peilgebied PG0245

Bij de selectie van de tijdsperioden met een bepaalde berging in de onverzadigde zone is gebruik gemaakt van het bovenstaande figuur en de gemiddelde berging over een 9-daagse tijdsperiode. Het is namelijk de bedoeling om de extreemste 9-daagse neerslagreeks, die eerder in dit onderzoek is vastgesteld, te laten vallen bij een berging in de onverzadigde zone met een bepaalde waarde. Zo wordt een situatie gesimuleerd waarbij de bodem bijvoorbeeld al in het begin verzadigd is, en waar vervolgens een extreme neerslag op valt. Deze verzadiging van de bodem aan het begin van de simulatie zou dan in theorie moeten zorgen voor een verhoogde hoeveelheid surface runoff. De tijdsperioden die uiteindelijk geselecteerd zijn staan in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 19 Tijdsperioden met bepaalde waarde voor berging in de onverzadigde zone in de startsituatie

Startsituatie	Van	Tot	Gemiddelde berging in onverzadigde zone (m3)	Percentage t.o.v. maximale berging in onverzadigde zone
Zeer nat	12-1-2008	20-1-2008	38706	11%
Nat	31-7-2005	8-8-2005	118946	33%
Vochtig	30-4-2009	8-5-2009	226420	63%
Droog	9-7-2006	17-7-2006	327638	91%

In de tijdsperioden uit tabel 19 zal vervolgens de extreemste 9-daagse neerslagreeks gesimuleerd worden. Deze neerslagreeks is geselecteerd op basis van de hoogste hoeveelheid neerslag die in 9 dagen valt. Deze neerslagreeks blijkt de neerslagreeks in de zomer van 2005 te zijn (zie figuur 20) met een totale hoeveelheid neerslag van 99.6mm.

De resultaten worden vervolgens in tabellen en grafieken verwerkt om de resultaten te kunnen analyseren. In deze tabellen staan de volgende gegevens weergegeven: totale hoeveelheid surface runoff, maximale toename plaspvorming, totale hoeveelheid afvoer, afvoerpiek, maximale afname berging onverzadigde zone en minimum beschikbare berging in de onverzadigde zone. De totale hoeveelheid runoff is de som van de surface runoff die tijdens de 9-daagse neerslagreeks optreedt (9-daagse neerslagreeks met neerslagpiek aan het begin, aan het einde of verdeelde neerslag). De maximale toename van de plaspvorming geeft de maximale waarde van de plaspvorming in m³ ten opzichte van de plaspvorming op de dag voordat de 9-daagseneerslagreeks start. De afvoer is de som van de afvoer in de 9-daagseneerslagperiode en 6 dagen daarna. Uit de modelresultaten blijkt namelijk dat de afvoer vertraagt optreedt. Na een periode van 15 dagen blijkt de afvoer significant afgenomen. Als laatste geeft de minimum beschikbare berging aan tot welke waarde de berging in de onverzadigde zone daalt. Hoe dichter de waarde bij nul ligt, des te hoger de kans op verzadigde surface runoff.

De beschrijving van de resultaten zal voornamelijk gericht zijn op de afvoerpieken en de totale hoeveelheid surface runoff die optreedt. Daarbij is de afvoer in de tijd uitgezet in een grafiek omdat de afvoer(pieken) van het grootste belang zijn voor de oplossing van de probleemstelling in dit onderzoek.

Meestal is per modelberekening een enkele modelparameter aangepast. Maar er zijn ook een tweetal combinaties gemaakt van modelparameters. Uit de modelresultaten van de wijziging van de enkele parameters bleek dat de capaciteit van de microberging (0.001mm) en de infiltratiecapaciteit (0.01 of 0.03m/dag) steeds leidden tot de grootste hoeveelheden runoff. Daarom zijn deze parameters gecombineerd in een tweetal modelberekeningen.

Tijdens de analyse zijn ook de waterbalansfout en de oppervlaktewaterstanden onderzocht. Een grote waterbalansfout of een extreem hoge of lage oppervlaktewaterstand kan duiden op een fout in het model. In de uiteindelijke modelresultaten blijkt de waterbalansfout acceptabel en zijn er geen extreme afwijkende oppervlaktewaterstanden opgetreden. Daarom worden deze resultaten niet verder behandeld.

De resultaten die hieronder beschreven worden zijn ingedeeld per modelgebied en vervolgens per neerslagverloop en berging in de onverzadigde zone in de startsituatie. Alleen bij een aantal extreme hoeveelheden runoff zullen grafieken worden getoond. Dit omdat het aantal grafieken anders zeer hoog is.

9.2 Resultaten

Per deelgebied zullen de modelresultaten beschreven worden. De modelresultaten zijn vervolgens onderverdeeld in een aantal neerslagverlopen en de berging in de onverzadigde zone in de startsituatie.

De resultaten van deelgebied 4 staan hierna niet beschreven. De modelresultaten gaven namelijk een afvoer van 0mm aan, terwijl er surface runoff optreedt. Dit is niet mogelijk omdat surface runoff leidt tot afvoer van oppervlaktewater. Het is niet duidelijk wat de oorzaak van deze fout is, maar in ieder geval was er binnen dit onderzoek niet voldoende tijd om dit uitgebreid te onderzoeken.

9.2.1 Deelgebied 1 (peilgebied PG0245)

De modelresultaten van het neerslagverloop met een neerslagpiek aan het begin van de tijdsperiode staan weergegeven in tabel 20 op de volgende pagina.

Tabel 20 Modelresultaten deelgebied 1, neerslagverloop piek aan het begin

Neerslagpiek begin	Totale hoeveelheid surface runoff	Maximale toename plasvorming	Som afvoer	Afvoer-piek	Minimum beschikbare berging onverzadigde zone
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
AHN1 Startsituatie	39.24	3.01	44.23	6.09	0.62
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m	34.36	0.47	25.97	3.93	2.33
AHN1 Capaciteit microberging 0.02m	27.34	12.61	37.16	4.22	0.43
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	50.66	3.19	47.54	8.42	5.34
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	41.65	2.57	45.46	6.11	1.07
AHN1 Drainageweerstand 80%	38.38	3.29	41.43	6.04	0.58
AHN1 Drainageweerstand 120%	38.74	2.92	43.87	6.09	0.67
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	51.6	0.43	36.48	8.21	15.68
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	39.75	0.46	28.07	6.11	5.02
AHN1 Dagneerslag	37.17	3.02	42.12	6.13	0.48
AHN2 Startsituatie	47.37	3.04	39.14	5.27	0.59

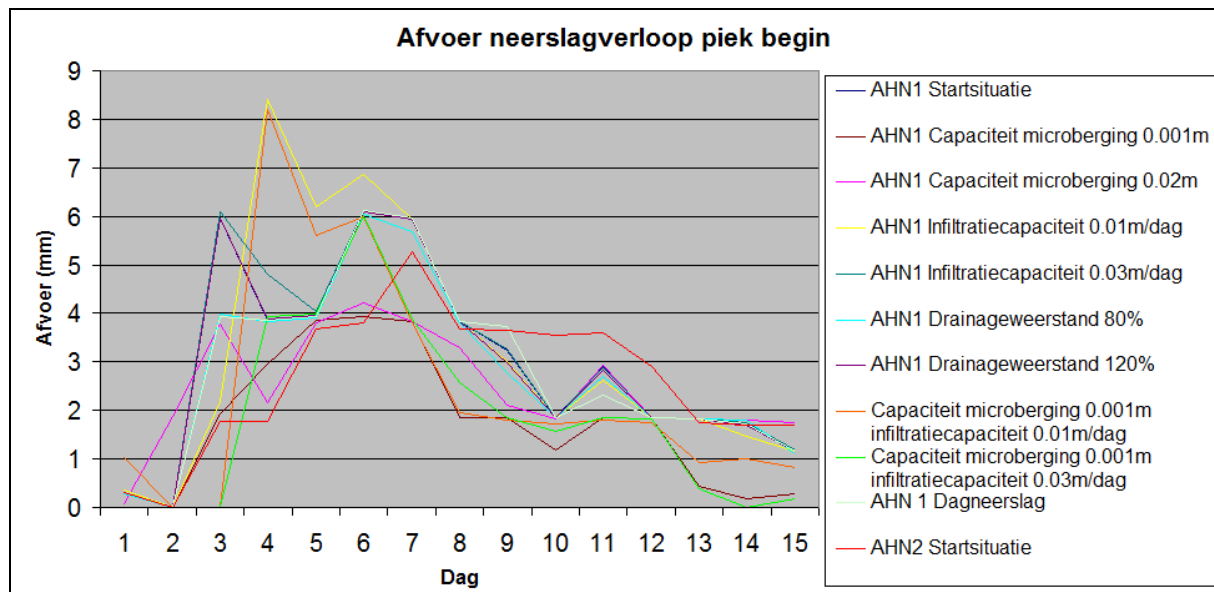
Tabel 19 geeft de modelresultaten weer voor een neerslagverloop met een neerslagpiek aan het begin. In de startsituatie treedt een surface runoff op van in totaal 39.24mm. De grootste hoeveelheid surface runoff (51.6mm) treedt op bij de verlaging van de microberging (0.001m) en de infiltratiecapaciteit (0.01m/dag). Hierbij neemt de plasvorming relatief sterk af door de beperkte capaciteit van de microberging. Opmerkelijk is echter dat ook de totale afvoer afneemt en de beschikbare berging in de onverzadigde zone nog relatief groot blijkt te zijn. De relatief lage totale afvoer wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de onderdelen waaruit de afvoer bestaat (baseflow, interflow en surface runoff) anders verdeeld zijn dan bij de overige parameters.

Bij de wijziging van een enkele parameter leidt de verlaging van de infiltratiecapaciteit tot 0.01m/dag tot de grootste hoeveelheid surface runoff (50.66mm). Daarbij neemt de plasvorming relatief veel toe ten opzichte van de startsituatie. De verlaagde infiltratiecapaciteit zorgt ervoor dat de neerslag minder snel in de bodem kan infiltreren, en dat er daardoor plassen ontstaan op het maaiveld.

De wijziging van de parameters drainageweerstand en dagneerslag (in plaats van urneerslag) blijken ten opzichte van de startsituatie relatief weinig gevolgen te hebben.

Opvallend is dat de surface runoff ongeveer 8mm toeneemt (t.o.v. startsituatie met AHN1) bij gebruik van het AHN2. De lage afvoer en de lage minimale beschikbare berging duiden erop dat de meeste neerslag infiltreert in de bodem (weinig surface runoff, veel baseflow en interflow).

Het verloop van de afvoer in de tijd staat weergegeven in figuur 25.



Figuur 25 Afvoer deelgebied 1, neerslagverloop piek begin

Uit het bovenstaande figuur blijkt dat er een sterke stijging van de afvoer ontstaat rond dag 2. Vervolgens ontstaan er in sommige gevallen 2 afvoerpieken, en in andere gevallen 1 afvoerpiek. Na de afvoerpiek dalen de afvoeren geleidelijk.

De grootste afvoerpieken treden op bij een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag (8.42mm) en bij een combinatie van een capaciteit van de microberging van 0.001m met een infiltratiecapaciteit van 0.01m (8.21mm).

Opvallend is dat er grote verschillen bestaan tussen de afvoerverlopen. Bij bijvoorbeeld een drainageweerstand van 120% en een infiltratiecapaciteit van 0.03m/dag treden er 2 ongeveer even grote afvoerpieken op (dag 3 en 6, afvoerpiek ongeveer 6mm). Bij de grootste afvoerpieken treedt één keer een grote afvoerpiek op en vervolgens neemt de afvoer geleidelijk af. Als laatste blijkt ook dat er relatief snelle afvoer plaatsvindt bij een capaciteit van de microberging van 0.02m.

Tabel 21 Modelresultaten deelgebied 1, neerslagverloop piek aan het einde

Neerslagpiek einde	Totale hoeveelheid surface runoff (mm)	Maximale toename plasvorming (mm)	Afvoer (mm)	Afvoer-piek (mm)	Minimum beschikbare berging onverzadigde zone (mm)
AHN1 Startsituatie	60.15	3.32	50.36	18.82	0.61
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m	65.14	0.49	53.9	21.09	1.77
AHN1 Capaciteit microberging 0.02m	48.77	14.54	47.76	13.11	0.51
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	63.07	2.51	51.67	18.67	4.02
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	60.09	3.01	50.38	19.18	0.89
AHN1 Drainageweerstand 80%	60.85	3.36	50.26	15.97	0.55
AHN1 Drainageweerstand 120%	60.19	3.12	52.65	20.51	0.61
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	69.23	0.55	45.7	10.78	22.88
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	66.55	0.46	52.93	19.18	4.20
AHN1 Dagneerslag	57.63	3.68	45.43	13.02	0.59
AHN2 Startsituatie	69.6	2.35	38.15	10.6	0.57

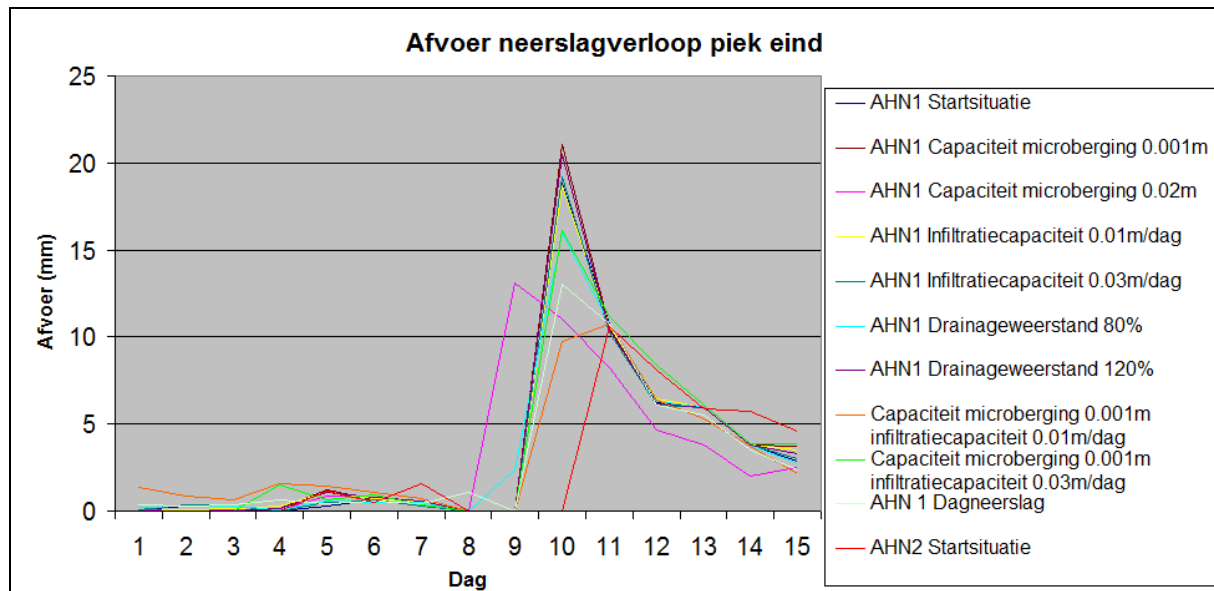
In de startsituatie treedt een surface runoff op van 60.15mm. Opvallend is dat bij het gebruik van AHN2 de grootste hoeveelheid surface runoff optreedt (69.6mm). De plasvorming en afvoer zijn hierbij minder dan bij gebruik van het AHN1. Dit betekent dat er relatief veel neerslag infiltreert in de bodem (minimum beschikbare berging is laag).

Daarnaast leidt een aanpassing van de capaciteit van de microberging (0.001mm) en infiltratiecapaciteit (0.01m/dag) tot een relatief hoge hoeveelheid runoff van 69.23mm. Hierbij infiltreert relatief weinig neerslag in bodem (minimum beschikbare berging is hoog) waardoor er relatief weinig baseflow en interflow kan plaatsvinden. De afvoer wordt dus voornamelijk gevormd door surface runoff en dit heeft kennelijk als gevolg dat de afvoer relatief laag is.

Ook blijkt bij aanpassing van een enkele parameter de verlaging van de capaciteit van de microberging (0.001m) te leiden tot de grootste hoeveelheid runoff (65.14mm). De totale afvoer en de afvoerpiek zijn hierbij relatief hoog. Dit wordt veroorzaakt doordat er slechts een zeer beperkte berging op het maaiveld beschikbaar is, en daarom zal de neerslag snel tot afvoer komen en slechts gedeeltelijk infiltreren.

De aanpassing van de drainageweerstand en het rekenen met dagneerslag blijken, in vergelijking met de startsituatie, weinig effect te hebben.

Het verloop van de afvoer in de tijd staat weergegeven in figuur 26.



Figuur 26 Afvoer deelgebied 1, neerslagverloop piek eind

Uit het bovenstaande figuur blijkt dat de afvoeren stijgen rond ongeveer dag 9. Vervolgens vinden de meeste afvoerpieken plaats rond dag 10. Daarna neemt de afvoer geleidelijk af.

De hoogste afvoerpiek bedraagt 21.09mm bij een capaciteit van de microberging van 0.001m. Ook treedt er een hoge afvoerpiek op (20.51mm) bij een drainageweerstand van 120%. Het verschil tussen deze twee grootste afvoerpieken en de overige afvoeren is relatief klein.

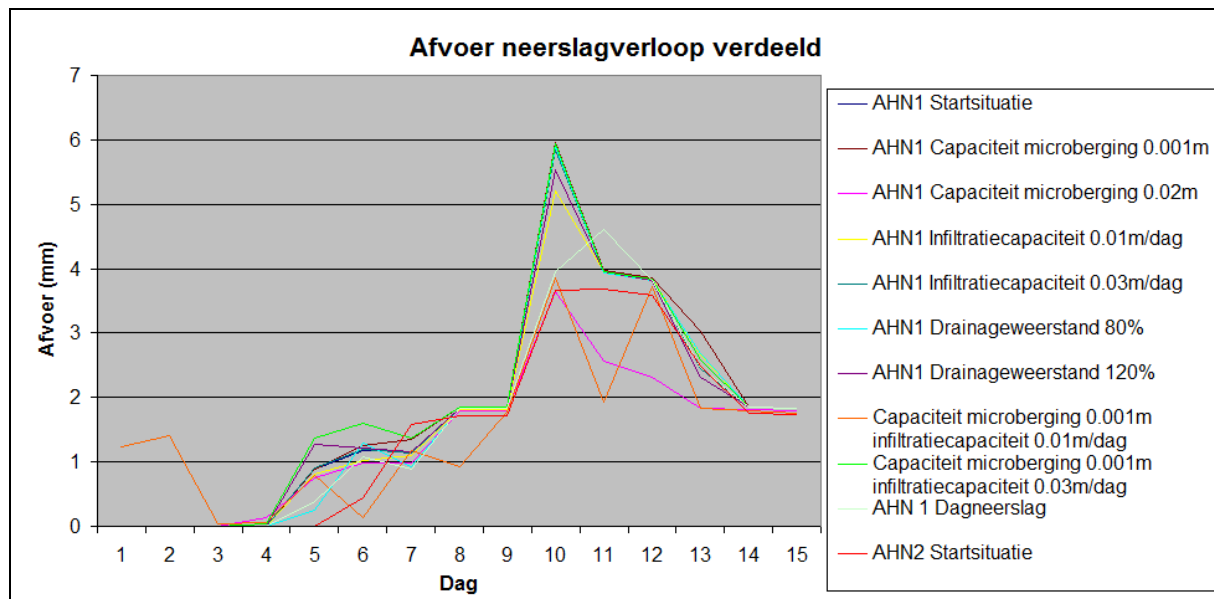
Opvallend is ook in deze situatie er als eerste afvoer plaatsvindt bij een capaciteit van de microberging van 0.02m. Daarnaast blijkt ook dat er bij het AHN2 pas een dag later afvoerpiek optreedt in vergelijking met de meeste andere modelparameters.

Tabel 22 Modelresultaten deelgebied 1, verdeelde neerslag

Neerslag verdeeld	Totale hoeveelheid surface runoff (mm)	Maximale toename plasvorming (mm)	Afvoer (mm)	Afvoer- piek (mm)	Minimum beschikbare berging onverzadigde zone (mm)
AHN1 Startsituatie	25.74	3.48	26.73	5.91	0.34
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m	29.14	0.61	27.68	5.96	0.47
AHN1 Capaciteit microberging 0.02m	15.62	12.66	20.42	3.65	0.31
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	25.7	3.08	25.91	5.21	0.55
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	25.67	3.47	26.69	5.85	0.35
AHN1 Drainageweerstand 80%	25.58	3.48	26.19	5.91	0.35
AHN1 Drainageweerstand 120%	25.43	3.46	26.61	5.53	0.34
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	33.84	0.38	22.46	3.86	7.27
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	30.09	0.56	28.09	5.85	0.59
AHN1 Dagneerslag	24.35	3.55	24.55	4.61	0.36
AHN2 Startsituatie	33.85	3.11	22.38	3.69	0.35

In de startsituatie treedt een totale hoeveelheid surface runoff op van 25.74mm. De grootste hoeveelheid runoff komt voor bij berekening met het AHN2 (33.85mm). Ongeveer dezelfde hoeveelheid surface runoff treedt op bij een verlaging van de capaciteit van de microberging (0.001m) en infiltratiecapaciteit (0.01m/dag). Bij de laatstgenoemde parameters valt op dat de plasvorming relatief zeer veel afneemt en dat beschikbare berging in de onverzadigde zone relatief groot is. Dit betekent dat de neerslag met name als surface runoff afstroomt en dat de afvoer uit een klein deel van baseflow en interflow bestaat. Kennelijk leidt dit tot een relatief lage afvoer(piek). Bij de wijziging van een enkele parameter leidt de verlaging van de microberging (0.001m) tot de grootste hoeveelheid surface runoff (29.14mm). Hierbij neemt de maximale hoeveelheid plasvorming relatief sterk af, een deel van de neerslag infiltreert in de bodem en een deel stroomt oppervlakkig af. De plasvorming is relatief laag doordat de capaciteit van de microberging beperkt is. Als laatste blijkt de aanpassing van de drainageweerstand of het rekenen met dagneerslag relatief weinig effect te hebben ten opzichte van de startsituatie.

Het verloop van de afvoer in de tijd staat weergegeven in figuur 27.



Figuur 27 Afvoer deelgebied 1, neerslagverloop verdeeld

Uit het bovenstaande figuur blijkt dat de afvoer in het begin van de tijdsperiode geleidelijk toeneemt. Vervolgens treden de meeste afvoerpieken op rond dag 10, waarna de meeste afvoeren dalen. De grootste afvoerpiek (5.96mm) komt voor bij een capaciteit van de microberging van 0.001m. Het verschil tussen deze afvoerpieken en de meeste andere afvoerpieken is echter relatief klein (< 1mm). Opvallend is dat er veel verschillen bestaan tussen de afvoerverlopen rond dag 4 tot en met dag 7. Daarnaast blijkt ook dat er twee ongeveer gelijke afvoerpieken na elkaar optreden (van ongeveer 3.8mm) bij een combinatie van een capaciteit van de microberging van 0.001m en een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag. Als laatste valt op dat er bij de modelberekeningen met dagneerslag pas relatief laat een afvoerpiek optreedt (dag 11).

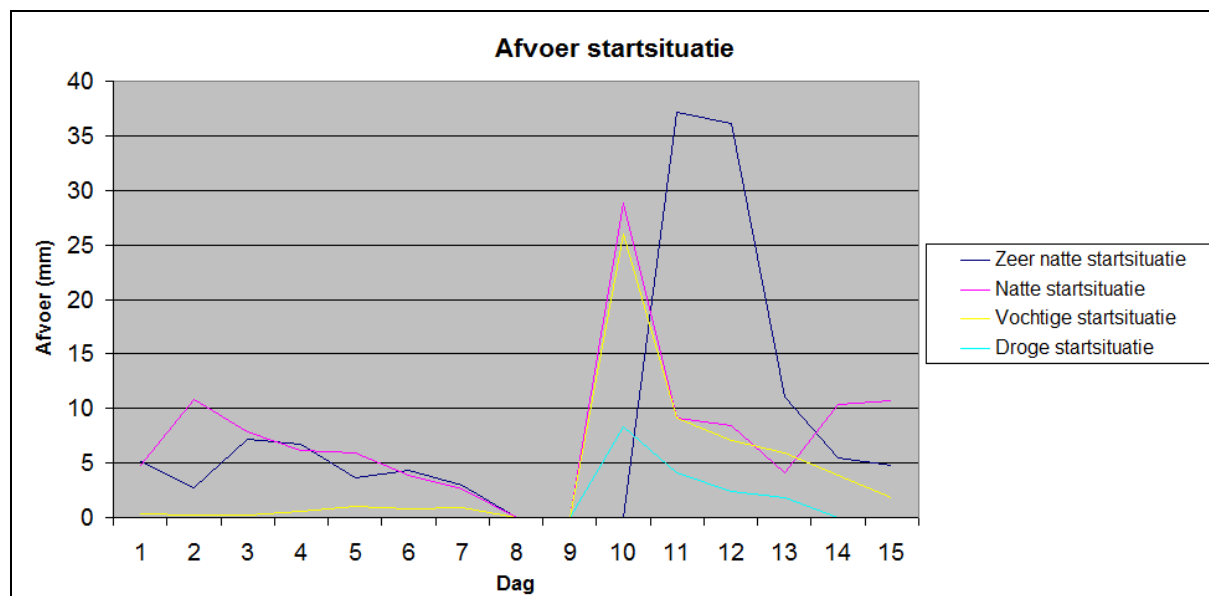
Tabel 23 Modelresultaten deelgebied 1, berging onverzadigde zone startsituatie

Startsituatie	Totale hoeveelheid surface runoff (mm)	Maximale toename plasvorming (mm)	Afvoer (mm)	Afvoer-piek (mm)	Minimum beschikbare berging onverzadigde zone (mm)
AHN1 Zeer natte startsituatie	90.11	0.24	127.33	37.17	0.25
AHN1 Natte startsituatie	69.01	0.72	113.51	28.82	0.43
AHN1 Vochtige startsituatie	65.09	3.00	57.97	25.98	0.43
AHN1 Droge startsituatie	35.48	2.12	16.7	8.31	0.34

Bij een zeer natte startsituatie komt de grootste hoeveelheid surface runoff voor (90.11mm). Dit wordt veroorzaakt doordat de neerslag in deze startsituatie het hoogste is. Hierdoor kan er veel surface runoff plaatsvinden.

Daarnaast blijkt dat er relatief weinig plasvorming plaatsvindt, en dat er relatief veel neerslag in de bodem infiltreert (minimum beschikbare berging relatief laag). Waarschijnlijk zijn de plassen aan het begin van een zeer natte startsituatie al grotendeels gevuld. Daardoor zal de plasvorming relatief weinig toenemen bij na een extreme neerslag.

Als laatste blijkt dat de kleinste hoeveelheid surface runoff optreedt bij een droge startsituatie (35.48mm). Daarbij treedt relatief veel plasvorming op en vindt er relatief weinig afvoer plaats. Het verloop van de afvoer in de tijd staat weergegeven in figuur 28.



Figuur 28 Afvoer deelgebied 1, startsituatie

Uit het bovenstaande figuur blijkt dat in het begin van de tijdsperiode sommige afvoeren geleidelijk afnemen. Vervolgens treedt er een afvoerpiek op rond dag 10 of dag 11 en 12.

De grootste afvoerpiek (37.17mm) treedt op bij een zeer natte startsituatie. De afvoerpieken van de natte en vochtige startsituatie zijn ongeveer gelijk (relatief 28.82mm en 25.98mm). De laagste afvoerpiek van 8.31mm treedt op bij een droge startsituatie.

Opvallend zijn de relatief grote verschillen in afvoerpieken tussen de verschillende beginsituaties. Met name bij een zeer natte beginsituatie treedt er een hoge afvoerpiek op die na ongeveer 1 dag pas sterk afneemt. Als laatste valt op dat er alleen bij een natte beginsituatie een stijging van de afvoer plaatsvindt rond dag 2.

9.2.2 Deelgebied 2 (peilgebied PG0263)

De modelresultaten met een neerslagverloop van een neerslagpiek in het begin staan weergegeven in tabel 24.

Tabel 24 Modelresultaten deelgebied 2, neerslagverloop piek aan het begin

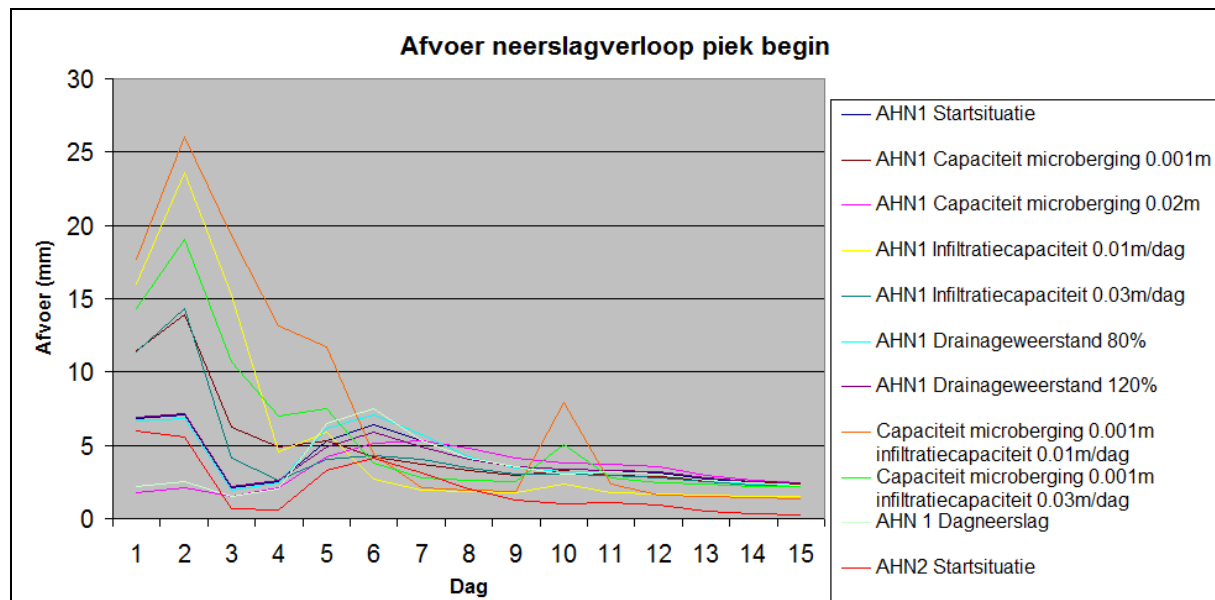
Neerslagpiek begin	Totale hoeveelheid surface runoff (mm)	Maximale toename plasvorming (mm)	Afvoer (mm)	Afvoer-piek (mm)	Minimum beschikbare berging onverzadigde zone (mm)
AHN1 Startsituatie	21.61	2.17	60.53	7.04	12.57
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m	32.19	0.15	72.5	13.92	17.19
AHN1 Capaciteit microberging 0.02m	11.12	6.05	50.15	5.28	10.72
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	48.42	3.33	83.96	23.6	29.93
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	27.94	0.98	67	14.3	15.59
AHN1 Drainageweerstand 80%	21.65	2.16	61.29	7.09	12.87
AHN1 Drainageweerstand 120%	21.35	2.09	59.68	7.19	12.25
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	63.03	0.30	114.53	26.05	43.98
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	41.29	0.00	87.31	14.3	23.53
AHN1 Dagneerslag	15.9	1.97	51.87	7.52	11.09
AHN2 Startsituatie	11.86	2.12	30.8	5.99	13.32

De totale hoeveelheid surface runoff in de startsituatie bedraagt 21.6mm. De grootste hoeveelheid surface runoff bedraagt 63.03mm en is het resultaat van verlaging van de capaciteit van de microberging (0.001m) en de infiltratiecapaciteit (0.01m/dag). Relatief weinig neerslag infiltreert (minimum beschikbare berging groot) en relatief veel neerslag stroomt af als surface runoff en zorgt voor een hoge afvoer(piek).

Bij aanpassing van een enkele parameter leidt het verlagen van de infiltratiecapaciteit (0.01m/dag) tot de grootste hoeveelheid surface runoff (48.42mm). Hierbij stijgt de afvoer en daalt de berging in de onverzadigde zone ten opzichte van de startsituatie. Relatief veel neerslag stroomt dus af als surface runoff, en relatief weinig neerslag infiltreert in de bodem.

Daarnaast is opvallend dat het rekenen met het AHN2 nu leidt tot een lagere totale hoeveelheid surface runoff dan het rekenen met het AHN1. Dit in tegenstelling tot de resultaten bij deelgebied 1. Als laatste treden bij een aanpassing van de drainageweerstand of het rekenen met de dagneerslag slechts beperkte verschillen op, ten opzichte van de startsituatie.

Het verloop van de afvoer in de tijd staat weergegeven in figuur 29.



Figuur 29 Afvoer deelgebied 2, neerslagverloop piek begin

Uit het bovenstaande figuur blijkt dat de afvoeren in het begin van de tijdsperiode een afvoerpiek bereiken. Vervolgens dalen de meeste afvoeren naarmate de tijdsperiode vordert.

De hoogste afvoerpiek (26.05mm) treedt op bij een combinatie van een capaciteit van de microberging van 0.001m en een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag. Daarnaast treedt ook een relatief hoge afvoerpiek op (23.6mm) bij een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag.

Opvallend is dat bij een combinatie van een capaciteit van de microberging van 0.001m en een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag, het relatief lang duurt voordat de afvoer significant is afgenomen, en dat er rond dag 10 een stijging van de afvoer optreedt die bij de meeste overige afvoeren niet voorkomt.

Tabel 25 Modelresultaten deelgebied 2, neerslagverloop piek aan het einde

Neerslagpiek einde	Totale hoeveelheid surface runoff	Maximale toename plasvorming	Afvoer	Afvoer-piek	Minimum beschikbare berging onverzadigde zone
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
AHN1 Startsituatie	45.28	2.50	92.89	27.05	15.52
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m	55.65	0.27	106.5	29.45	22.77
AHN1 Capaciteit microberging 0.02m	25.25	13.38	67.49	17.51	9.50
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	59.15	1.51	107.13	30.86	31.70
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	48.61	1.61	92.52	28.17	18.61
AHN1 Drainageweerstand 80%	46.28	2.68	95.13	27.26	15.52
AHN1 Drainageweerstand 120%	44.51	2.30	91.45	26.91	15.49
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	76.54	0.34	136.61	33.29	51.96
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	61.09	0.29	117.4	28.17	29.66
AHN1 Dagneerslag	31.76	3.47	67.27	21.1	9.09
AHN2 Startsituatie	40.42	2.70	72.31	25.05	16.16

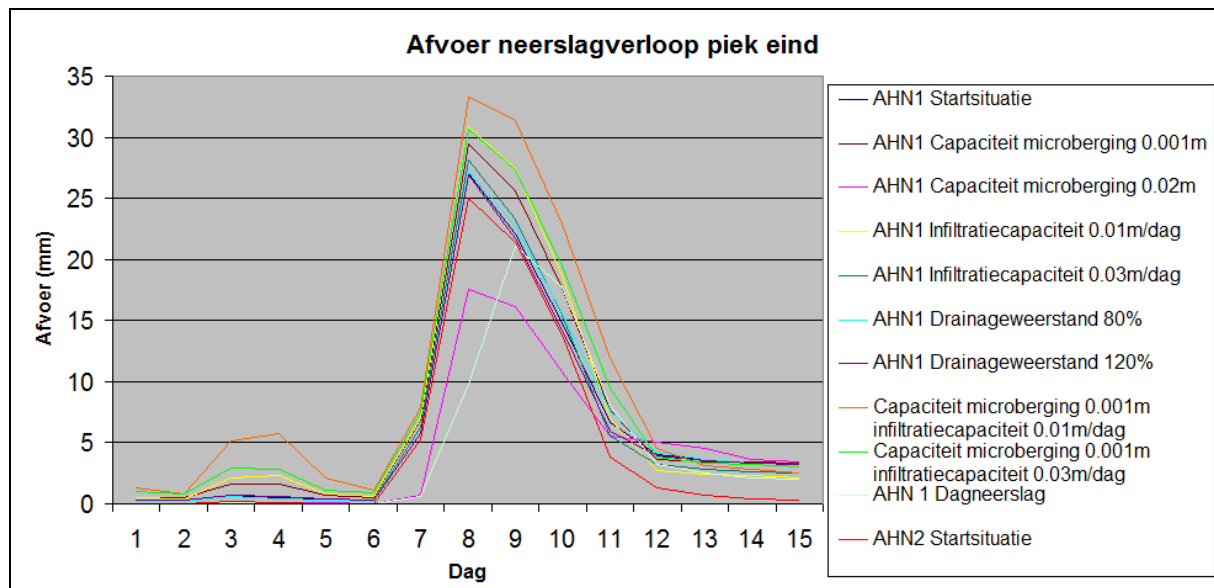
In de startsituatie komt een totale hoeveelheid surface runoff voor van 45.28mm. De grootste totale hoeveelheid surface runoff (76.54mm) komt voor bij een verlaging van de microberging (0.001mm) en de infiltratiecapaciteit (0.01m/dag). Hierbij neemt de plasvorming relatief sterk af (door de beperkte capaciteit van de microberging), en stijgt de afvoer relatief veel (ten opzichte van de startsituatie). De neerslag kan hierbij slechts beperkt infiltreren en zal daardoor grotendeels als surface runoff afgevoerd worden.

Bij een wijziging van een enkele parameter blijkt dat de verlaging van de infiltratiecapaciteit (0.01m/dag) leidt tot de grootste totale hoeveelheid surface runoff. Ook hierbij neemt de plasvorming relatief weinig toe (de plassen waren waarschijnlijk al bijna gevuld) en neemt de afvoer relatief veel toe. De neerslag wordt hierbij dus met name afgevoerd als surface runoff.

Daarnaast is er een relatief groot verschil tussen de berekeningen met uurneerslag (startsituatie) en de dagneerslag. Het verschil in de totale hoeveelheid runoff bedraagt ongeveer 14mm. Dit wordt veroorzaakt doordat bij de dagneerslag de neerslag verdeeld wordt over een hele dag. Bij uurneerslag wordt de neerslag verdeeld over een uur. Surface runoff ontstaat vaak bij een hevige neerslag die in een korte tijdsperiode valt (dus per uur en niet per dag).

Als laatste zijn de verschillen tussen de resultaten van de startsituatie en de aanpassing van de drainageweerstand relatief klein.

Het verloop van de afvoer in de tijd staat weergegeven in figuur 30.



Figuur 30 Afvoer deelgebied 2, neerslagverloop piek eind

Uit het bovenstaande figuur blijkt dat er een geringe stijging in de afvoeren optreedt rond dag 2 tot en met 4. Vervolgens daalt de afvoer geleidelijk totdat de meeste afvoeren een sterke stijging vertonen rond dag 7. Daarna worden de afvoerpieken bereikt en neemt de afvoer geleidelijk af. De hoogste afvoerpiek bedraagt 33.29 mm en wordt bereikt bij een combinatie van een capaciteit van de microberging van 0.001mm en een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag. Daarnaast blijkt dat de afvoerpieken van de meeste andere modelparameters relatief dichtbij elkaar liggen (25-31mm). Opvallend is dat er pas relatief laat afvoer optreedt bij het rekenen met dagneerslag. Daarnaast is ook opvallend dat er een afvoerpiek van dag 2 tot en met 4 en wordt bereikt bij een combinatie van de capaciteit van de microberging van 0.001m en een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag. Deze afvoerpiek is vergeleken met de overige afvoeren relatief hoog. Als laatste is de afvoerpiek bij een capaciteit van de microberging van 0.02m relatief zeer laag vergeleken met de overige afvoerpieken.

Tabel 26 Modelresultaten deelgebied 2, verdeelde neerslag

Neerslag verdeeld	Totale hoeveelheid surface runoff (mm)	Maximale toename plasvorming (mm)	Afvoer (mm)	Afvoer-piek (mm)	Minimum beschikbare berging onverzadigde zone (mm)
AHN1 Startsituatie	9.01	2.81	34.88	5.63	12.03
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m	12.33	0.36	36.57	6.08	11.55
AHN1 Capaciteit microberging 0.02m	7.18	4.97	32.42	4.66	11.74
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	12.6	0.72	32.43	7.12	17.00
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	8.66	2.74	33.52	5.38	12.25
AHN1 Drainageweerstand 80%	9.15	2.96	35.83	6.31	12.39
AHN1 Drainageweerstand 120%	8.98	2.67	34.79	5.22	11.69
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	36.92	0.10	65.71	9.95	35.45
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	16.54	0.18	40.28	5.38	16.32
AHN1 Dagneerslag	7.89	2.49	30.25	5.34	12.68
AHN2 Startsituatie	3.96	2.83	17.97	4.54	13.15

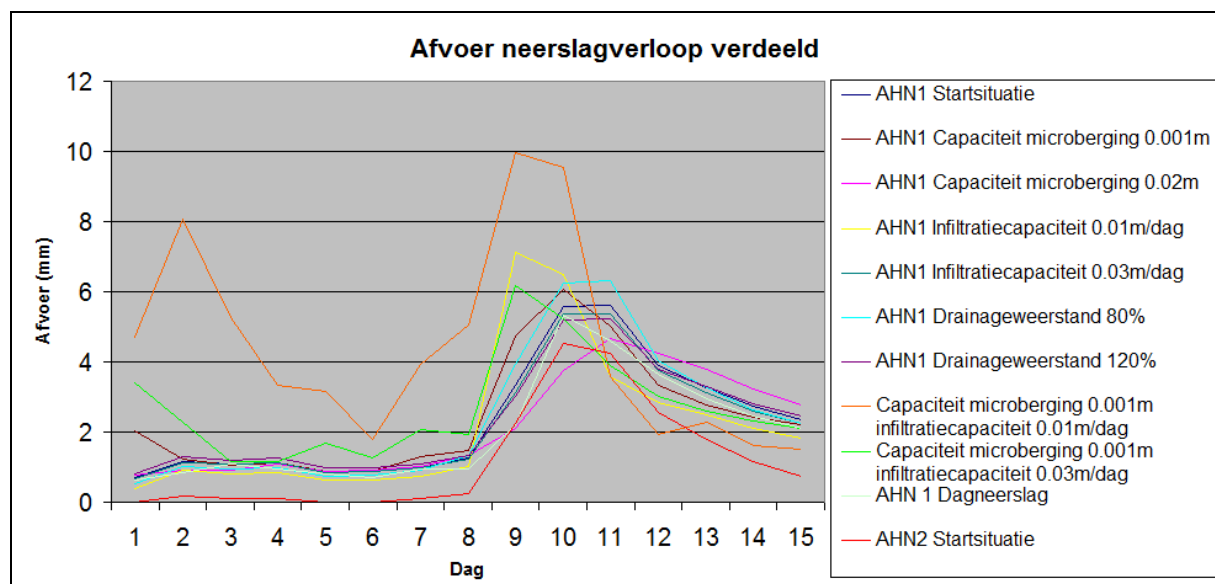
De totale hoeveelheid surface runoff in de startsituatie bedraagt 9.01mm. Bij een verlaging van de microberging (0.001m) en de infiltratiecapaciteit (0.01m/dag) wordt de grootste hoeveelheid surface

runoff bereikt (36.92mm). De plasvorming ten opzichte van de startsituatie neemt hierbij relatief weinig toe doordat de capaciteit van de microberging beperkt is. De afvoer(piek) is relatief hoog doordat de neerslag maar zeer beperkt in de bodem kan infiltreren, en dus grotendeels afstroomt als surface runoff.

Bij het aanpassen van een enkele parameter blijkt dat de verlaging van de microberging naar 0.001m leidt tot de grootste totale hoeveelheid surface runoff (12.33mm). Hierbij neemt de plasvorming relatief weinig toe (capaciteit microberging beperkt) en stijgt de afvoer en daalt de berging in de onverzadigde zone (een deel van de neerslag infiltreert).

Als laatste zorgt een aanpassing van de drainageweerstand of het rekenen met de dagneerslag voor een beperkt effect in vergelijking met de startsituatie.

Het verloop van de afvoer in de tijd staat weergegeven in figuur 31.



Figuur 31 Afvoer deelgebied 2, neerslagverloop verdeeld

Uit het bovenstaande figuur blijkt dat de meeste afvoeren in de eerste 8 dagen ongeveer gelijk verlopen. Vervolgens treedt er een stijging op rond dag 8 en worden de hoogste afvoerpieken bereikt. Daarna dalen de afvoeren geleidelijk.

De hoogste afvoerpiek (9.91mm) treedt op bij een combinatie van een capaciteit van de microberging van 0.001m en een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag.

Opvallend is dat de hierboven genoemde combinatie een afvoerverloop heeft dat sterk afwijkt van de overige modelparameters. Met name in het begin van de tijdsperiode treedt een afvoerpiek op die bij de andere modelparameters niet optreedt. Daarnaast treedt er ook een relatief snelle stijging van de afvoer op vanaf dag 6.

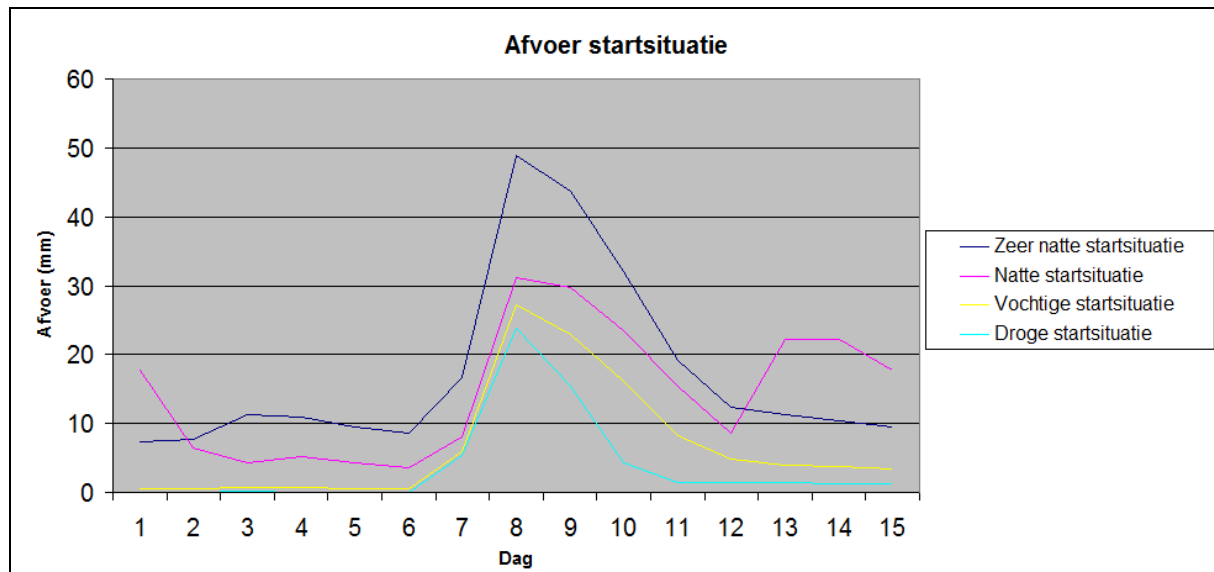
Tabel 27 Modelresultaten deelgebied 2, berging onverzadigde zone startsituatie

Startsituatie	Totale hoeveelheid surface runoff (mm)	Maximale toename plasvorming (mm)	Afvoer (mm)	Afvoer-piek (mm)	Minimum beschikbare berging onverzadigde zone (mm)
AHN1 Zeer natte beginsituatie	84.03	0.16	259.68	48.98	3.83
AHN1 Natte beginsituatie	66.26	1.19	220.29	31.21	10.51
AHN1 Vochtige beginsituatie	45.56	2.43	100.02	27.28	10.51
AHN1 Droge beginsituatie	27.25	0.83	55.82	23.86	11.58

De grootste totale hoeveelheid surface runoff (84.03mm) treedt op bij een zeer natte startsituatie. De plasvorming is hierbij relatief klein en dit wordt veroorzaakt doordat de plassen in deze startsituatie al bijna gevuld zijn. Door de zeer natte beginsituatie treedt er veel surface runoff op (en daarbij een hoge afvoer(piek)), en daalt de berging in de onverzadigde zone (een deel van de neerslag infiltreert).

De kleinste totale hoeveelheid surface runoff treedt op bij een droge startsituatie. Hierbij is de afvoer en de plasvorming relatief laag.

Het verloop van de afvoer in de tijd staat weergegeven in figuur 32.



Figuur 32 Afvoer deelgebied 2, startsituatie

Uit het bovenstaande figuur blijkt dat de afvoeren een sterke toename vertonen rond dag 6 en 7. Vervolgens worden de hoogste afvoerpieken bereikt en dalen de meeste afvoeren geleidelijk. De hoogste afvoerpiek bedraagt 48.98mm bij een zeer natte startsituatie. Het verschil van deze afvoerpiek met de afvoerpieken van de andere startsituaties zijn relatief groot (ongeveer 20-25mm). Opvallend is dat er rond dag 12 een stijging in de afvoer optreedt bij een natte startsituatie. Bij de overige startsituaties treedt deze plotselinge stijging niet op.

9.2.3 Deelgebied 3 (peilgebied PG0551)

In tabel 28 staan de modelresultaten van een neerslagverloop met een neerslagpiek aan het begin van de tijdsperiode (zie volgende pagina).

Tabel 28 Modelresultaten deelgebied 3, neerslagverloop piek aan het begin

Neerslagpiek begin	Totale hoeveelheid surface runoff	Maximale toename plasvorming	Afvoer	Afvoer-piek	Minimum beschikbare berging onverzadigde zone
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
AHN1 Startsituatie	8.54	0.49	23.63	7.11	7.50
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m	21.38	0.01	32.4	15.29	14.02
AHN1 Capaciteit microberging 0.02m	1.12	1.31	18.47	2.68	5.19
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	35.92	3.06	46.69	26.79	24.09
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	17.84	0.07	30.04	15.73	12.03
AHN1 Drainageweerstand 80%	8.56	0.52	23.35	7.02	6.99
AHN1 Drainageweerstand 120%	8.65	0.41	24.21	7.36	7.81
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	53.5	0.00	70.09	31.12	40.31
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	33.3	0.02	44.68	15.73	21.34
AHN1 Dagneerslag	1.58	0.97	18.14	2.73	5.41
AHN2 Startsituatie	9.22	0.95	25.29	7.21	5.66

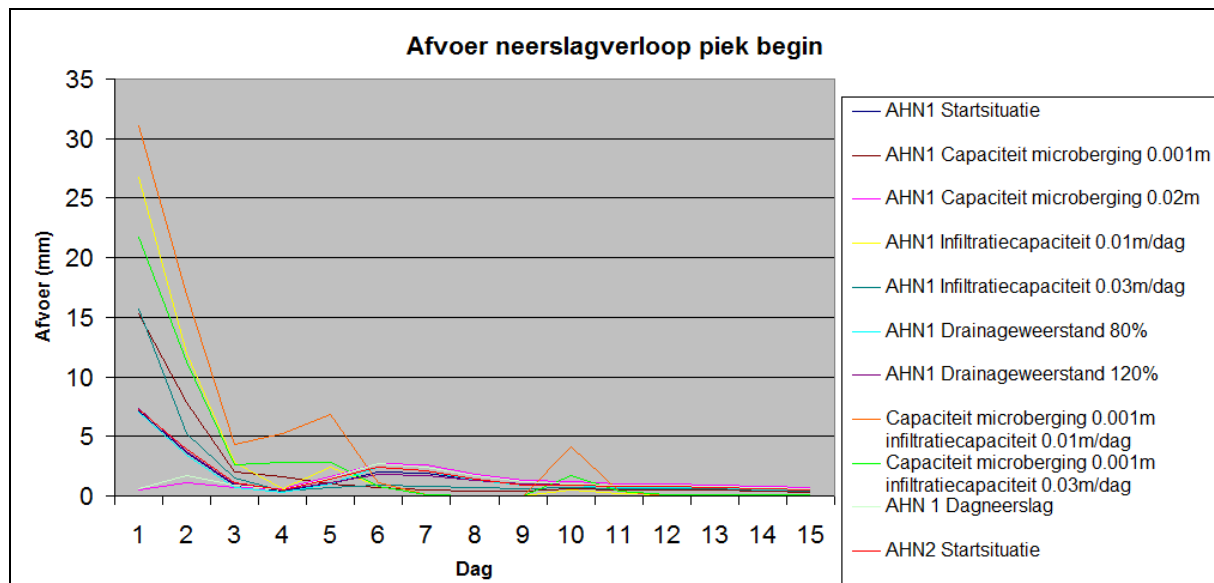
De totale hoeveelheid surface runoff in de startsituatie bedraagt 8.54mm. De grootste totale hoeveelheid surface runoff (53.5mm) treedt op bij een verlaging van de capaciteit van de microberging (0.001mm) en de infiltratiecapaciteit (0.01m/dag). Hierbij neemt de plasvorming niet toe en is de afvoer relatief zeer hoog. De neerslag wordt grotendeels als surface runoff afgevoerd en heeft de hoge afvoer(pieken) als gevolg. Relatief weinig neerslag infiltreert door de beperkte infiltratiecapaciteit.

Bij aanpassing van een enkele parameter blijkt een verlaging van de infiltratiecapaciteit (0.01m/dag) tot de grootste totale hoeveelheid surface runoff te leiden. Daarbij treedt relatief veel plasvorming op (de neerslag kan slechts beperkt infiltreren), en relatief veel afvoer en een hoge afvoerpiek. De afvoer bestaat grotendeels uit surface runoff en voor een relatief klein deel uit baseflow en interflow (de neerslag kan maar beperkt infiltreren).

Als laatste is opvallend dat er bij het rekenen met dagneerslag tot een relatief lage totale hoeveelheid surface runoff leidt (1.58mm) in vergelijking met de startsituatie waar gerekend is met uurneerslag (8.54mm). Dit wordt veroorzaakt doordat de neerslag bij dagneerslag over de hele dag verdeeld wordt.

Het rekenen met een andere drainageweerstand blijkt een relatief klein verschil te veroorzaken in vergelijking met de startsituatie.

Het verloop van de afvoer in de tijd staat weergegeven in figuur 33.



Figuur 33 Afvoer deelgebied 3, neerslagverloop piek begin

Uit het bovenstaande figuur blijkt dat de afvoeren in het begin van de tijdsperiode sterk dalen. Vervolgens stijgt de afvoer in de meeste gevallen tot ongeveer 3mm en daalt daarna weer. De hoogste afvoerpiek (70.09mm) treedt op bij een capaciteit van de microberging van 0.001m in combinatie met een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag. Opvallend zijn de twee afvoerpieken rond dag 5 en dag 10 bij de combinatie een capaciteit van de microberging van 0.001m en een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag. Bij de overige afvoeren treedt er geen of slechts een geringe afvoer op deze dagen op.

Tabel 29 Modelresultaten deelgebied 3, neerslagverloop piek aan het einde

Neerslagpiek einde	Totale hoeveelheid surface runoff (mm)	Maximale toename plasvorming (mm)	Afvoer (mm)	Afvoer-piek (mm)	Minimum beschikbare berging onverzadigde zone (mm)
AHN1 Startsituatie	34.73	0.91	50.1	29.37	7.01
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m	45.89	0.01	58.35	31.52	16.89
AHN1 Capaciteit microberging 0.02m	16.22	12.03	38.22	14.24	2.71
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	53.55	0.36	65.85	34.64	27.86
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	40.61	0.19	53.48	31.06	11.98
AHN1 Drainageweerstand 80%	34.95	1.04	51.1	29.17	5.84
AHN1 Drainageweerstand 120%	34.57	0.87	49.5	29.53	7.95
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	70.49	0.01	84.02	38.6	52.09
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	54.62	0.54	66.65	31.06	55.78
AHN1 Dagneerslag	25.78	3.91	43.36	18.47	2.85
AHN2 Startsituatie	40.42	1.92	51.36	26.7	4.83

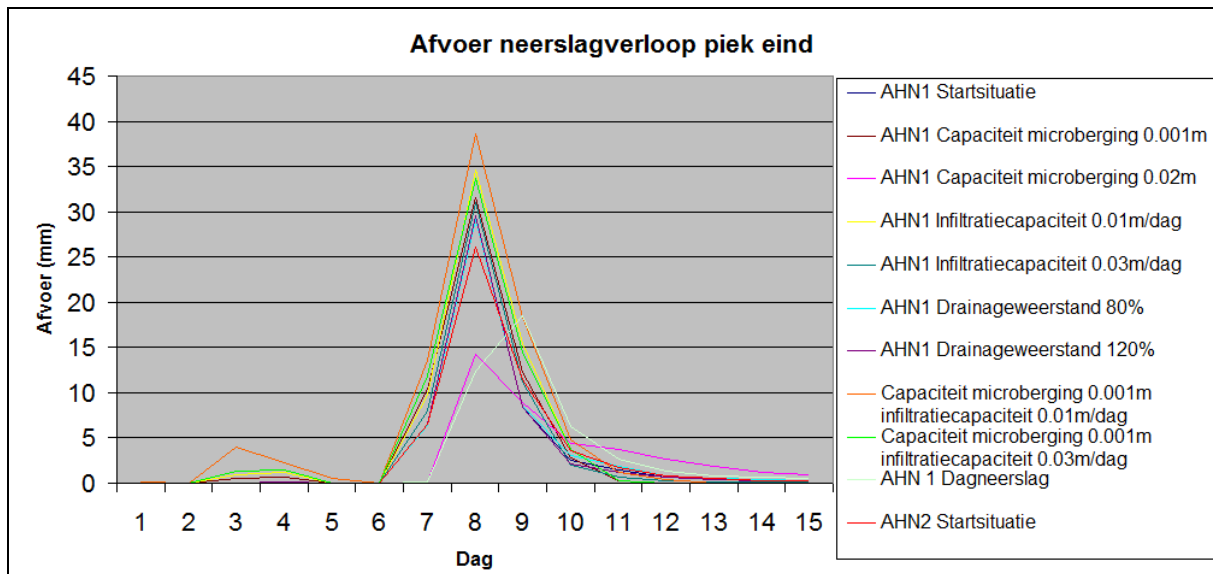
In de startsituatie bedraagt de totale hoeveelheid surface runoff 70.49mm. De grootste hoeveelheid surface runoff (70.49mm) komt voor bij een verlaging van de capaciteit van de microberging (0.001m) en de infiltratiecapaciteit (0.01m/dag). Daarbij treedt er relatief zeer weinig plasvorming op, en een relatief hoge afvoer. De lage plasvorming wordt veroorzaakt door de lage capaciteit van de microberging. Door de beperkte infiltratiecapaciteit infiltreert slechts een klein deel van de

neerslag. Het grootste deel van de afvoer wordt gevormd door surface runoff, en heeft hoge afvoer(pieken) als gevolg.

Bij de aanpassing van een enkele parameter treedt de meeste surface runoff op (53.55mm) bij een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag. De plasvorming is hierbij relatief laag en de afvoer is relatief hoog. Ook hierbij kan er relatief weinig neerslag infiltreren, en wordt het grootste deel van de afvoer dus gevormd door surface runoff.

Als laatste treden er, in vergelijking met de startsituatie, weinig verschillen op bij verandering van de drainageweerstand, en relatief kleine verschillen bij het rekenen met dagneerslag.

Het verloop van de afvoer in de tijd staat weergegeven in figuur 34.



Figuur 34 Afvoer deelgebied 3, neerslagverloop piek eind

Uit het bovenstaande figuur blijkt dat de afvoer in de meeste gevallen licht stijgt rond dag 2 en vervolgens de grootste afvoerpieken bereikt rond dag 8. Daarna dalen de afvoeren.

De grootste afvoerpiek bedraagt 84.02mm en komt voor bij een capaciteit van de microberging van 0.001m in combinatie met een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag.

Opvallend is dat er bij de modelberekening met dagneerslag relatief laat een afvoerpiek optreedt (rond dag 9). Daarnaast blijkt ook dat de afvoerpiek relatief laag is (43.36mm) ten opzichte van de startsituatie met urneerslag (50.1mm). Als laatste valt op dat er ook bij een capaciteit van de microberging van 0.02m een relatief late en lage afvoerpiek optreedt (rond dag 8, afvoerpiek 38.22mm).

Tabel 30 Modelresultaten deelgebied 3, verdeelde neerslag

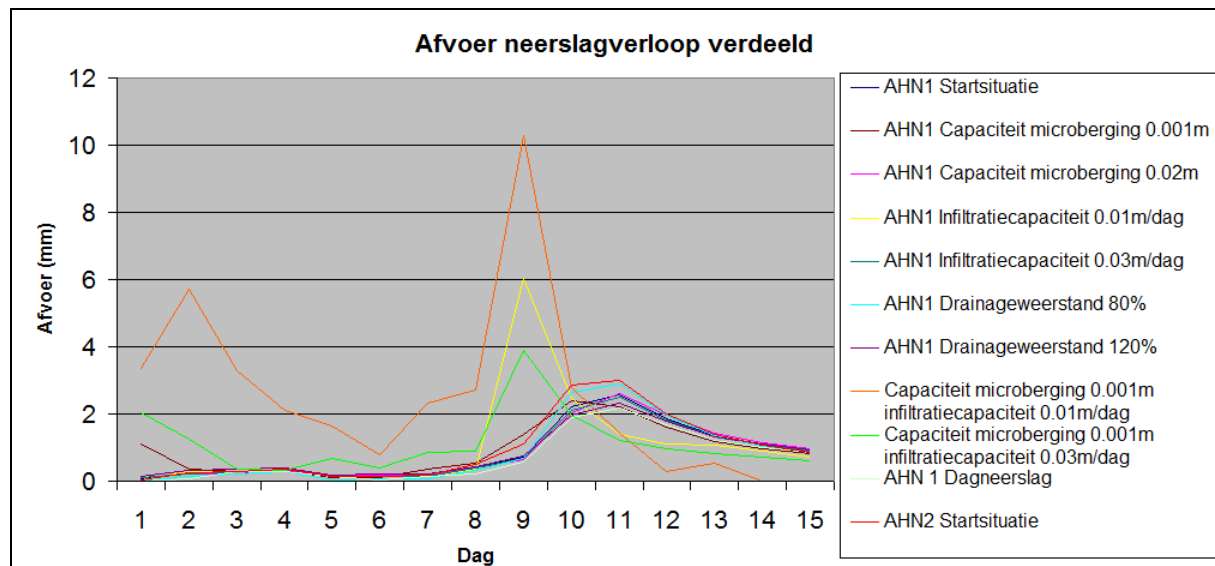
Neerslag verdeeld	Totale hoeveelheid surface runoff	Maximale toename plasvorming	Afvoer	Afvoer- piek	Minimum beschikbare berging onverzadigde zone
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
AHN1 Startsituatie	0.93	1.23	12.44	2.57	6.20
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m	3.25	0.02	13.75	2.38	0.49
AHN1 Capaciteit microberging 0.02m	0.78	1.43	12.52	2.6	6.10
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	6.9	0.02	15.39	6.04	11.58
AHN1 Infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	0.91	1.20	12.22	2.5	6.38
AHN1 Drainageweerstand 80%	0.93	1.25	12.56	2.9	5.79
AHN1 Drainageweerstand 120%	0.94	1.25	12.4	2.33	6.48
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.01m/dag	30.15	0.00	37.26	10.28	29.59
AHN1 Capaciteit microberging 0.001m en infiltratiecapaciteit 0.03m/dag	9.63	0.34	16.97	2.5	30.68
AHN1 Dagneerslag	0.75	1.05	10.55	2.17	7.12
AHN2 Startsituatie	3.96	2.40	14.18	3.01	4.45

In de startsituatie bedraagt de totale hoeveelheid surface runoff slechts 0.93mm. De grootste totale hoeveelheid surface runoff (30.15mm) treedt op bij een capaciteit van de microberging van 0.001m en een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag. De plasvorming neemt hierbij niet toe (door de beperkte capaciteit van de microberging) en de afvoer(piek) neemt relatief veel toe. De afvoer bestaat grotendeels uit surface runoff, de beschikbare berging in de onverzadigde zone is namelijk relatief hoog.

Na aanpassing van een enkele parameter blijkt dat verlaging van de infiltratiecapaciteit (0.01m/dag) tot de grootste totale hoeveelheid surface runoff leidt (6.9mm). Daarbij neemt de plasvorming relatief veel toe (de neerslag kan slechts beperkt infiltreren) en stijgt de afvoer(piek). De beschikbare berging in de onverzadigde zone is relatief hoog, wat betekent dat het grootste deel van de neerslag door surface runoff afgevoerd wordt.

Als laatste leidt aanpassing van de drainageweerstand of het rekenen met dagneerslag tot relatief kleine verschillen met de startsituatie.

Het verloop van de afvoer in de tijd staat weergegeven in figuur 35.



Figuur 35 Afvoer deelgebied 3, neerslagverloop verdeeld

Uit het bovenstaande figuur blijkt dat er grote verschillen bestaan tussen het verloop van de afvoeren in de tijd. In de meeste gevallen treedt er een lichte daling en vervolgens een geleidelijke stijging van de afvoer op. De hoogste afvoerpieken worden in de meeste gevallen rond dag 10 bereikt. Daarna daalt de afvoer geleidelijk.

Bij een capaciteit van de microberging van 0.001m in combinatie met een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag treedt de hoogste afvoerpiek op (37.26mm). Daarbij treedt er rond dag 2 nog een afvoerpiek op die bij de meeste andere afvoeren niet waargenomen kan worden. Ook neemt de afvoer al relatief vroeg sterk toe en vindt de grootste afvoerpiek al relatief snel plaats (rond dag 9). Daarnaast valt op dat het verloop van de afvoer bij een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag afwijkt van de meeste afvoeren. Ook hierbij treedt relatief snel een afvoerpiek op (rond dag 9). Dit komt ook voor bij een capaciteit van de microberging van 0.001m in combinatie met een infiltratiecapaciteit van 0.03m/dag.

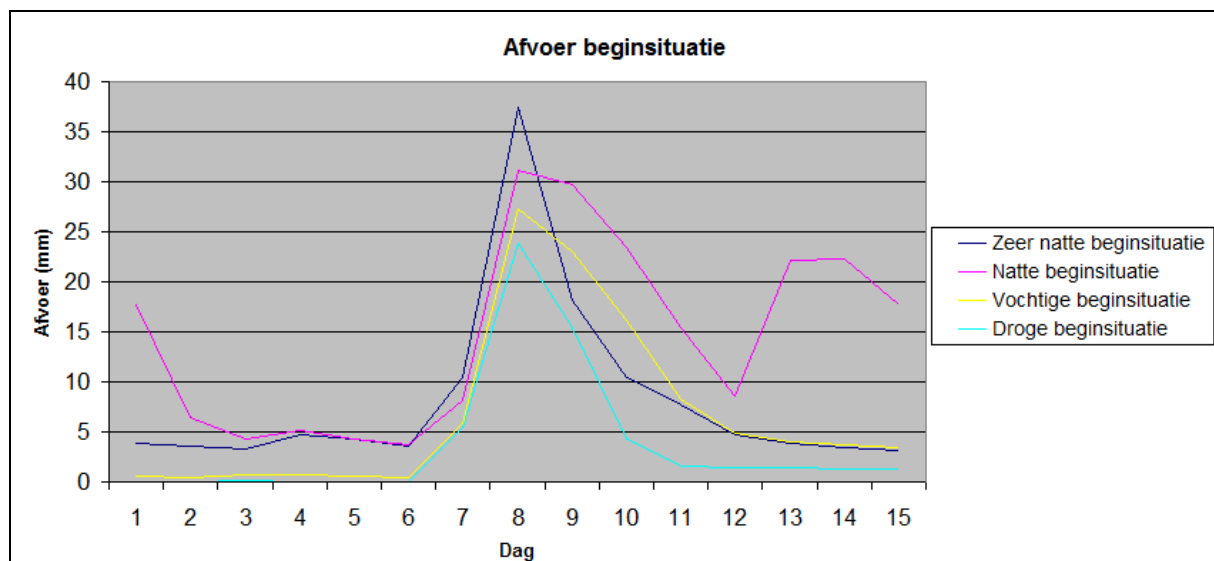
Tabel 31 Modelresultaten deelgebied 3, berging onverzadigde zone startsituatie

Startsituatie	Totale hoeveelheid surface runoff (mm)	Maximale toename plasvorming (mm)	Afvoer (mm)	Afvoer-piek (mm)	Minimum beschikbare berging onverzadigde zone (mm)
AHN1 Zeer natte startsituatie	52.31	1.88	122.16	37.36	2.38
AHN1 Natte startsituatie	42.65	1.08	102.7	32.19	3.22
AHN1 Vochtige startsituatie	35.18	1.04	53.91	29.91	3.22
AHN1 Droge startsituatie	0.11	0.02	0.73	0.57	4.20

Een zeer natte startsituatie leidt tot de hoogste totale hoeveelheid surface runoff (52.31mm). Daarbij treedt relatief veel plasvorming en een relatief hoge afvoer op. Waarschijnlijk waren de plassen nog niet geheel gevuld in de startsituatie, zodat er een toename van de plasvorming ontstaat. De relatief hoge afvoer wordt voornamelijk veroorzaakt door de grote hoeveelheid surface runoff. De beschikbare berging in de onverzadigde zone wijkt namelijk bij een zeer natte startsituatie relatief weinig af van de berging in de overige situaties.

De kleinste totale hoeveelheid surface runoff treedt op bij een droge startsituatie (0.11mm). De toename van plasvorming is hierbij relatief klein en veel van de surface runoff infiltreert in de bodem (maximale afname berging in de onverzadigde zone relatief zeer groot).

Het verloop van de afvoer in de tijd staat weergegeven in figuur 36.



Figuur 36 Afvoer deelgebied 3, startsituatie

Uit het bovenstaande figuur blijkt dat de meeste afvoeren sterk stijgen rond dag 7, vervolgens een afvoerpiek bereiken en daarna relatief sterk dalen.

De hoogste afvoerpiek bedraagt 122.16mm en treedt op bij een zeer natte startsituatie.

Opvallend is de afvoer bij een natte startsituatie in het begin van de tijdsperiode sterk afneemt. Dit komt niet voor bij de overige startsituaties. Daarnaast treedt er gedurende een relatief lange tijd een hoge afvoer op (rond dag 7 en dag 9) waarna de afvoer vervolgens langzaam daalt en nog een kleinere afvoerpiek bereikt van ongeveer 23mm rond dag 14. Als laatste valt op dat de afvoer in een zeer natte startsituatie relatief snel daalt na de grootste afvoerpiek (rond dag 8).

9.3 Conclusies

Hieronder zijn de conclusies beschreven die uit paragraaf 9.1 en 9.2 volgen.

Afvoer(piek)

In bijna alle gevallen leidt de aanpassing van de capaciteit van de microberging en/of de infiltratiecapaciteit tot de hoogste afvoerpieken. Bij een capaciteit van de microberging van 0.001m in combinatie met een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag treden met name in deelgebied 2 en 3 de hoogste afvoerpieken op. De verlaging van de capaciteit van de microberging zorgt ervoor dat er minder neerslag in plassen op het maaiveld geborgen kan worden. De neerslag stroomt dus grotendeels af als surface runoff. Daarnaast heeft de lage infiltratiecapaciteit als gevolg dat de neerslag langzamer infiltreert en er dus meer neerslag afstroomt als surface runoff.

In deelgebied 1 worden de hoogste afvoerpieken bereikt bij een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag of een capaciteit van de microberging van 0.001m (dus niet bij een combinatie van beide). Dit zal waarschijnlijk te maken hebben met de omstandigheden van het deelgebied. In ieder geval blijkt wel dat een verlaging van de capaciteit van de microberging in combinatie met een verlaging van de infiltratiecapaciteit, niet altijd leidt tot de grootste hoeveelheden surface runoff. De omstandigheden van het deelgebied spelen hierbij ook een rol.

Verder is opvallend dat, er met name in deelgebied 2, meestal twee afvoerpieken optreden bij een capaciteit van de microberging van 0.001m in combinatie met een infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag. Bij de afvoeren van de overige parameters is meestal maar 1 hoge afvoerpiek te onderscheiden. De twee afvoerpieken worden veroorzaakt doordat er, met een verlaging van de capaciteit van de

microberging en een verlaging van de infiltratiecapaciteit, sneller surface runoff optreedt dan bij bijvoorbeeld alleen aanpassing van de infiltratiecapaciteit.

Daarnaast blijkt dat een grote capaciteit van de microberging (0.02m) tot een relatief vroege of een relatief late start van de afvoer kan leiden. In deelgebied 1 treedt er relatief snel afvoer op, dit terwijl de afvoer van de overige parameters pas een dag later start (bij een neerslagverloop met een neerslagpiek aan het begin of aan het einde). Wat de oorzaak hiervan is, is onbekend.

In deelgebied 2 en 3 start de afvoer pas relatief laat (bij een neerslagverloop met een neerslagpiek aan het einde). Dit wordt veroorzaakt doordat de microberging na neerslag eerst volloopt en daarna pas gaat afvoeren.

Het rekenen met dagneerslag in plaats van uurneerslag blijkt in sommige gevallen te leiden tot een relatief late en lage afvoer (met name in deelgebied 2 en 3 met een neerslagpiek aan het einde van de tijdsperiode). Bij berekeningen met de dagneerslag wordt de neerslag namelijk verdeeld over een gehele dag. Bij de uurneerslag wordt de neerslag verdeeld over een uur, hierdoor kan er in een korte tijdsperiode een hevige neerslag optreden. Dit heeft vaak surface runoff als gevolg.

Ook treden er verschillen op tussen de afvoerpieken bij gebruik van het AHN1 of het AHN2. In sommige gevallen zijn de afvoerpieken van het AHN2 hoger dan bij het AHN1, of omgekeerd. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de hoogteverschillen tussen AHN1 en AHN2.

De effecten van de overige parameters op de afvoerpieken of de afvoerverlopen zijn, ten opzichte van de startsituatie met AHN1, relatief beperkt.

Ook blijkt de berging in de onverzadigde zone in de startsituatie een invloed te hebben op de afvoer(pieken). Bij een zeer natte beginsituatie treedt de hoogste afvoer(piek) op. Doordat er hierbij weinig berging in de onverzadigde zone beschikbaar is, kan er relatief weinig neerslag infiltreren en stroomt een groot deel van de neerslag af als surface runoff.

Hoeveelheid surface runoff

De grootste hoeveelheden surface runoff treden in bijna alle gevallen op bij een capaciteit van de microberging van 0.001m en infiltratiecapaciteit van 0.01m/dag. Dit leidt vaak tot een grote hoeveelheid afvoer en een hoge afvoerpiek. Opvallend is dat in deelgebied 1 de hoeveelheid afvoer en de afvoerpiek juist relatief laag zijn bij deze waarden van de microberging en de infiltratiecapaciteit. Het is onbekend waardoor deze verschillen worden veroorzaakt. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de verschillende omstandigheden tussen de deelgebieden (bodempopbouw, landgebruik etc.). Dit geeft aan dat een lage capaciteit van de microberging en een lage infiltratiecapaciteit niet altijd leiden tot de hoogste hoeveelheden surface runoff. Per gebied is dit verschillend.

Bij de aanpassing van een enkele parameter blijkt vaak de aanpassing van de infiltratiecapaciteit naar 0.01m/dag de grootste hoeveelheid surface runoff te veroorzaken. De neerslag kan dan maar zeer beperkt infiltreren waardoor er veel surface runoff ontstaat.

De capaciteit van de microberging (0.001mm) veroorzaakt in sommige gevallen de grootste hoeveelheid surface runoff. Hierbij kan er relatief weinig neerslag geborgen worden in plassen op het maaiveld. Daardoor raken de plassen snel vol en ontstaat er surface runoff.

Het rekenen met dagneerslag in plaats van uurneerslag (startsituatie) zorgt in sommige gevallen voor een relatief groot verschil in de hoeveelheid surface runoff. In sommige gevallen betekent dit een grotere hoeveelheid surface runoff, en in sommige gevallen betekent dit een lagere hoeveelheid surface runoff. Bij de berekeningen met dagneerslag wordt de neerslag verdeeld over de gehele dag. Bij de uurneerslag wordt de neerslag verdeeld over een uur waardoor er in een korte tijdsperiode

een hevige neerslag kan optreden. Dit is met name van belang voor de hoeveelheid surface runoff die optreedt.

Bij gebruik van het AHN2 in plaats van het AHN1 (startsituatie) een aantal verschillen in de hoeveelheid surface runoff. In deelgebied 1 en 3 treedt er bij het gebruik van AHN2 een grotere hoeveelheid surface runoff op dan bij gebruik van het AHN1. In deelgebied 2 is de hoeveelheid surface runoff juist lager bij gebruik van het AHN2. Dit wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt door de hoogteverschillen tussen AHN1 en AHN2. De helling van het maaiveld heeft namelijk effect op de hoeveelheid surface runoff die optreedt. Opmerkelijk is wel dat de verschillen tussen het AHN1 en het AHN2 relatief klein zijn.

De beschikbare berging in de onverzadigde zone in de startsituatie heeft ook invloed op de hoeveelheid surface runoff. Bij een zeer natte startsituatie kan er weinig neerslag infiltreren en stroomt het grootste deel van de neerslag af als surface runoff. De hoeveelheden surface runoff nemen af naarmate de berging in de onverzadigde zone in de startsituatie toeneemt.

10 Discussie

Representatief?

De vraag aan het einde van dit onderzoek blijft in welke mate de resultaten representatief zijn voor andere gebieden dan alleen de deelgebieden. Uit de analyse van de parameters die van invloed zijn op surface runoff blijkt dat er veel parameters een invloed hebben op surface runoff (infiltratiecapaciteit bodem, microberging op het maaiveld, hoogteverschillen etc.). In de deelgebieden komen slechts bepaalde combinaties van deze parameters voor. In werkelijkheid bestaan er nog veel meer combinaties van deze parameters met elk een verschillend effect op de surface runoff (en afvoerpieken).

Daarnaast zijn ook alleen de effecten van bepaalde neerslagverlopen en de berging in de onverzadigde zone in de startsituatie onderzocht. Naast deze neerslagverlopen zijn er nog talloze andere mogelijkheden hoe de neerslag kan verlopen in de tijd. Ook de effecten van de berging in de onverzadigde zone in de startsituatie is slechts voor een aantal waarden onderzocht. Dit terwijl er in de werkelijkheid veel meer waarden van de onverzadigde zone in de startsituatie voorkomen. Verwacht wordt dat andere neerslagverlopen kunnen leiden tot een andere verlopen van de afvoer, een kleinere of grotere hoeveelheid surface runoff, meerdere afvoerpieken etc. Bij de berging in de onverzadigde zone in de startsituaties is echter een duidelijke trend waarneembaar. Wanneer de startsituatie natter wordt neemt de afvoer(piek) en de hoeveelheid surface runoff toe. Daarvoor is het niet nodig om dit nader te onderzoeken.

11 Conclusies en aanbevelingen

De hoofdvraag van dit onderzoek is als volgt:

- Waar en onder welke omstandigheden kan surface runoff optreden, en tot welke variaties in afvoerpieken kan dit leiden?

Capaciteit microberging en infiltratiecapaciteit

Uit dit onderzoek blijkt dat de hoogste afvoerpieken optreden bij een verlaging van de capaciteit van de microberging op het maaiveld en /of de infiltratiecapaciteit. De verlaging van de capaciteit van de microberging zorgt ervoor dat er minder neerslag geborgen kan worden op het maaiveld. Daardoor stroomt er meer neerslag als surface runoff af. Daarnaast heeft een verlaging van de infiltratiecapaciteit als gevolg dat de neerslag beperkt in de bodem kan infiltreren. Meer neerslag stroomt dan af als surface runoff.

De verlaging van de capaciteit van de microberging in combinatie met verlaging van de infiltratiecapaciteit, kan ook als gevolg hebben dat er meerdere relatief hoge afvoerpieken optreden. Bij het verlagen van deze parameters treedt er namelijk zeer snel surface runoff op dat leidt tot een of meerdere grote afvoerpieken.

Overige parameters

De aanpassing van de drainageweerstand, dagneerslag (in plaats van uurneerslag) en het AHN hebben relatief weinig invloed op de afvoerpieken en de hoeveelheden surface runoff (met een aantal uitzonderingen).

Berging onverzadigde zone in startsituatie

Een zeer natte startsituatie blijkt de grootste afvoerpieken als gevolg te hebben. Doordat er weinig neerslag in de bodem kan infiltreren vindt er veel surface runoff plaats. Naarmate er meer infiltratie kan plaatsvinden (drogere startsituatie) neemt ook de afvoerpiek en de hoeveelheid surface runoff af.

Aanbevelingen

Met name in gebieden waar een lage infiltratiecapaciteit voorkomt (zware klei, zavel etc.) en/of een lage microberging op het maaiveld aanwezig is, moet rekening worden gehouden met een hoge kans op surface runoff (en hoge afvoerpieken). Een betere inschatting van de bergingscapaciteit op het maaiveld kan eventueel uitgevoerd worden met behulp van het AHN2.

Ook is het van belang om in de bovenstaande gebieden te controleren of de afvoercapaciteit van de kunstwerken voldoende is. De afvoer kan namelijk sterk stijgen door surface runoff.

Mogelijk kan meer inzicht in het surface runoff proces worden verkregen door veldwerk en het meten van afvoeren. Door het veldwerk is het mogelijk dat er nieuwe inzichten ontstaan die niet uit een hydrologisch model volgen. Daarnaast kan met name het meer meten van afvoeren hierbij nuttig zijn.

Als laatste kan de representativiteit van de modelresultaten vergroot worden door voor meer deelgebieden en meer neerslagverlopen de gevoelige parameters aan te passen en de effecten te onderzoeken.

Literatuurlijst

A.D. Abrahams, *Overland flow; Interrill flow, rill flow, Horton overland flow, return flow, saturation overland flow, soil detachment, sediment transport*, z. pl., z.j.

G.J. Arcement, V.R. Schneider, *Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains*, z. pl., z.j.

G.Baert, z.j., *pF*, Gent, z.j.

A. Bronstert, D. Niehoff, G. Bürger, *Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modelling capabilities*, z. pl., 2002

P. Chibber, *Overland flow time of concentration on flat terrains*, z. pl., 2004

F. Darboux, J.M. Reichert, C. Huang, *Soil roughness effects on runoff and sediment production*, z. pl., 2004

F. Darboux, P. Davy, C. Gascuel-Odoux, *Effect of depression storage capacity on overland flow generation for rough horizontal surfaces: water transfer distance and scaling*, z. pl., 2002

F. van Dreven et al., *Cultuurtechnisch vademecum, handboek voor inrichting en beheer van het landelijk gebied*, Krips, Meppel, 2000

B. Hansen, *Estimation of surface runoff and water-covered area during filling of surface microrelief depressions*, z. pl., 2000

J.M.L.P. de Lima, V.P. Singh, *The influence of the pattern of moving rainstorms on overland flow*, z. pl., 2002

Y.B. Liu, S. Gebremeskel, F. De Smedt, L. Hoffman, L. Pfister, *Predicting storm runoff from different land-use classes using a geographical information system-based distributed model*, z. pl., 2006

W.P. Locher, H. de Bakker, *Bodemkunde van Nederland, Deel 1 Algemene bodemkunde*, 2^e druk, Malmberg, Den Bosch, 1992

C.R. Meinardi, C.G.J. Schotten, J.J. de Vries, *Grondwateraanvulling en oppervlakkige afstroming in Nederland, Langjaarlijkse gemiddelden voor de zand- en leemgebieden*, z. pl., 1998

H.Th.L Massop, J.W.J. van der Gaast, E. Kietstra, *De doorlatendheid van de bodem voor infiltratiedoeleinden, Een gebiedsdekkende inventarisatie voor het Waterschap Peel en Maasvallei*, Wageningen, 2005

Minerals Council of Australia, *Minesite watermanagement handbook*, eerste druk, z. pl., 1997,

E.P. Querner, P.J.T. van Bakel, *Description of the regional groundwater flow model SIMGRO*, Wageningen, 1989

J. Rozemeijer, Y. van der Velde, *Oppervlakkige afstroming ook van belang in het vlakke Nederland*, z. pl., 2008

K. W. Tate, *Rangeland watershed program, Fact sheet infiltration and overland flow*, U.C. Cooperative extension en U.S.D.A. Natural resources conservation service, z. pl., 1996

Task Committee on Hydrology Handbook of Management Group D of the American Society of Civil Engineers, *Hydrology handbook*, 2e druk, New York, 1996

P. Willems, *Waterloopmodellering*, z. pl., 2007

P.E.V. van Walsum, A.A. Veldhuizen, P. Groenendijk, *SIMGRO 7.1.0, Theory and model implementation*, Alterra, Wageningen, 2010

P.E.V. van Walsum, *SIMGRO V7.1.0, User's guide*, Alterra, Wageningen, 2010

P.E.V. van Walsum, A. Veldhuizen, J. Heijkers, *SIMGRO6: we maken de balans op, deel 1*, z. pl., 2008

P.E.V. van Walsum, A. Veldhuizen, J. Heijkers, *SIMGRO6: we maken de balans op, deel 2*, z. pl. 2008

GIS kaartlagen van HDSR:

- Top 10 topografische kaart
- Landgebruikskaart 5
- Bodemkaart
- Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG)
- Gemiddelde Laagste grondwaterstand (GLG)
- Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (GVG)
- Gemiddelde Grondwaterstand (GG)
- Algemeen Hoogtebestand Nederland 1 (AHN1)
- Algemeen Hoogtebestand Nederland 2 (AHN2)
- Meetlocaties
- Peilgebiedenkaart
- Watergangen
- Beheersgebied

Bijlagen

Bijlage 1 Selectie 9-daagse neerslagreeksen

Selectie 9-daagse neerslagreeksen

De neerslag speelt een belangrijke rol bij het optreden van surface runoff. Vooral de hevige neerslag is een veroorzaker van surface runoff. De neerslag is geanalyseerd met behulp van meetgegevens van het Koninklijk Nederlands meteorologisch Instituut (KNMI). Het doel van deze analyse is om inzicht te verkrijgen in welke perioden er hevige neerslag voorkomt die kan leiden tot surface runoff. Deze perioden kunnen gebruikt worden voor de analyse van de modelresultaten van het HDSR model. Verwacht wordt dat de surface runoff met name in deze perioden hoog zal zijn. De neerslaggegevens van het meetstation de Bilt zijn gebruikt omdat dit station centraal tussen de deelgebieden gelegen is. De neerslaggegevens zijn beschikbaar per uur en per dag. Er is gekozen voor het hanteren van 9-daagse neerslagreeksen met de hoogste neerslagsommen. In dergelijke perioden met veel neerslag is de kans groot dat er surface runoff optreedt. Per zomer en winter wordt er een 9-daagseneerslagreeks geselecteerd omdat er in het algemeen een groot verschil bestaat tussen de hoeveelheid neerslag in de zomer en in de winter. De neerslag in de periode van 2002 tot en met 2009 wordt geselecteerd voor de modelberekeningen. Deze periode is gekozen omdat de metingen (waterstanden en afvoeren) van HDSR sinds 2002 uitgevoerd worden met een verbeterd meetsysteem. Daarnaast zijn de neerslaggegevens uit 2010 (op het moment van dit onderzoek) nog niet compleet.

Methodiek

De eerste stap in de analyse is het bepalen van de 9 daagse neerslagreeksen met de hoogste neerslagsom. Deze neerslagsom zal naar verwachting in de zomer een groot verschil vertonen met de neerslagsom in de winter. De zomer duurt van 1 maart tot en met 31 augustus (lente en zomer volgens het KNMI) en de winter duurt van 1 september tot en met 28 februari (herfst en winter volgens het KNMI).

Vervolgens is per zomer en winter de maximale 9 daagse neerslagsom bepaald met behulp van de neerslagdaggegevens. Dit resulteerde in 17 maximale 9 daagse neerslagsommen per meetstation (inclusief een halve winter in 2002 en een halve winter in 2009). In sommige gevallen is het voorgekomen dat de maximale 9 daagse neerslagsom startte aan het einde van de zomer en nog een aantal dagen doorging in de winter. In deze gevallen is ervoor gekozen om deze maximale 9 daagse neerslagsommen toch te gebruiken.

De maximale 9 daagse neerslagsommen worden geselecteerd met behulp van de dagneerslag. De urneerslag is hierbij niet gebruikt omdat de selectie dan complexer wordt door de aanzienlijk grotere hoeveelheid neerslaggegevens.

De neerslaggegevens per uur zullen gebruikt worden als invoer voor het SIMGRO model. De verwachting is dat de urneerslag zal leiden tot meer surface runoff. Bij de dagneerslag wordt de neerslag door het SIMGRO model verdeeld over de gehele dag. Surface runoff ontstaat echter vooral bij hevige neerslag in een korte tijd. Bij het gebruik van de urneerslag is het wel mogelijk dat in een korte tijd een hevige neerslag valt omdat de neerslag niet wordt verdeeld over de gehele dag.

Resultaten

In de onderstaande tabellen staan weergegeven welke maximale 9 daagse neerslagsommen volgen uit de neerslagdaggegevens.

Tabel 32 Maximale 9 daagse neerslagsommen De Bilt

De Bilt			
Seizoen	Van (mm-dd)	Tot (mm-dd)	9 daagse neerslagsom (mm)
0.5 winter 2002	02-18	02-26	75
Zomer 2002	07-30	08-07	88.8
Winter 2002-2003	12-26	01-03	83
Zomer 2003	05-17	05-25	50.8
Winter 2003-2004	01-11	01-19	81.3
Zomer 2004	08-10	08-18	76.4
Winter 2004-2005	02-10	02-18	62.1
Zomer 2005	07-23	07-31	99.6
Winter 2005-2006	11-17	11-25	61.8
Zomer 2006	05-18	05-26	71.5
Winter 2006-2007	02-27	03-07	71.7
Zomer 2007	05-07	05-15	93
Winter 2007-2008	11-30	12-08	72.7
Zomer 2008	07-05	07-13	58
Winter 2008-2009	09-27	10-05	79.4
Zomer 2009	07-16	07-24	53.1
0.5 winter 2009	10-03	10-11	68.1

Uit de bovenstaande tabel blijkt dat de hoogste 9 daagse neerslagsom 99.6 mm bedraagt in de zomer van 2005. De laagste 9 daagse neerslagsom bedraagt 50.8 mm in de zomer van 2003. Daarnaast blijkt dat er geen verband bestaat tussen de neerslagsommen in de zomer en in de winter. Verwacht werd dat de maximale 9 daagse neerslagsom in de winter het grootste zou zijn. De tabel geeft aan dat deze maximale neerslagsom zowel in de zomer als in de winter kan voorkomen. Verder valt op dat de maximale neerslagsom relatief sterk varieert over de seizoenen en de verschillende jaren.

Conclusie

Uit de selectie van de maximale 9 daagse neerslagreeksen blijkt welke maximale 9 daagse neerslagreeksen gehanteerd zullen worden bij de analyse van de modelresultaten van het HDSR model.

Bijlage 2 Analyse maaiveldresoluties

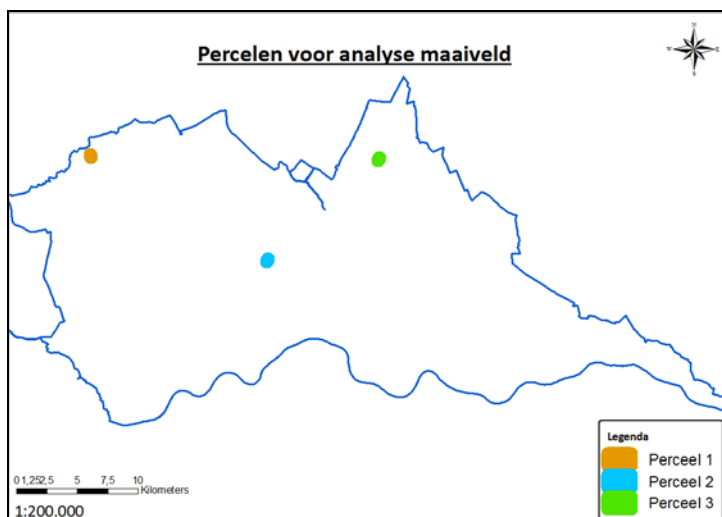
Analyse maaiveldresoluties

De depressies en hellingen in het maaiveld zijn factoren die van invloed zijn op surface runoff. Bij de modelberekeningen wordt hiervoor het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN2) gebruikt. Met behulp van GIS wordt de analyse van de maaiveldresoluties uitgevoerd.

Er zijn een aantal mogelijkheden om het AHN te gebruiken voor de modelberekeningen. Het AHN is beschikbaar in verschillende resoluties. In deze analyse worden alleen de resoluties van 5x5m, 1x1m en 0.5x0.5m onderzocht. Dit omdat deze resoluties representatief geacht worden voor de beschikbare resoluties.

Het doel van deze analyse is om de verschillen tussen de AHN resoluties te bepalen. Met name is het microreliëf van belang. Dit microreliëf kan namelijk zorgen voor plasvorming tijdens hevige neerslagen. Deze plasvorming kan vervolgens weer leiden tot surface runoff.

Op perceelsniveau wordt het microreliëf onderzocht. In het beheersgebied van HDSR zijn een drietal percelen geselecteerd, zie het onderstaande figuur.



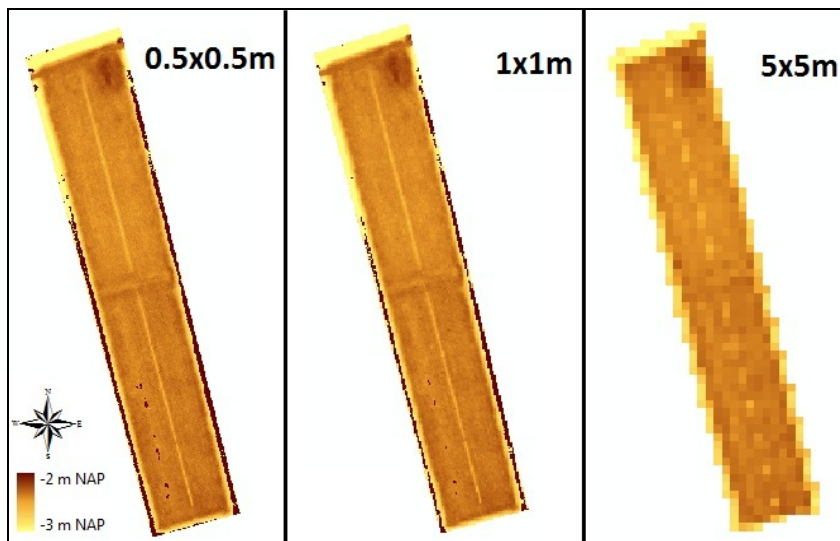
De percelen liggen verspreid over het beheersgebied, hebben een verschillende grondsoort en zijn ongeveer even groot (+/- 2 ha.). Per perceel zijn de gegevens weergegeven in de onderstaande tabel.

	Perceel 1	Perceel 2	Perceel 3
Ligging	Noordwesten	Midden	Noordoosten
Grondsoort	Veen	Zware klei	Zand
Subgroep	Koopveengronden	Drechtvaaggronden	Laarpodzolgronden
Opbouw	Veraarde bovengrond op diep veen	Klei op veen	Zwak lemig fijn zand
Landgebruik	Grasland	Grasland	Grasland
Oppervlak (m²)	17.508	16.844	20.007

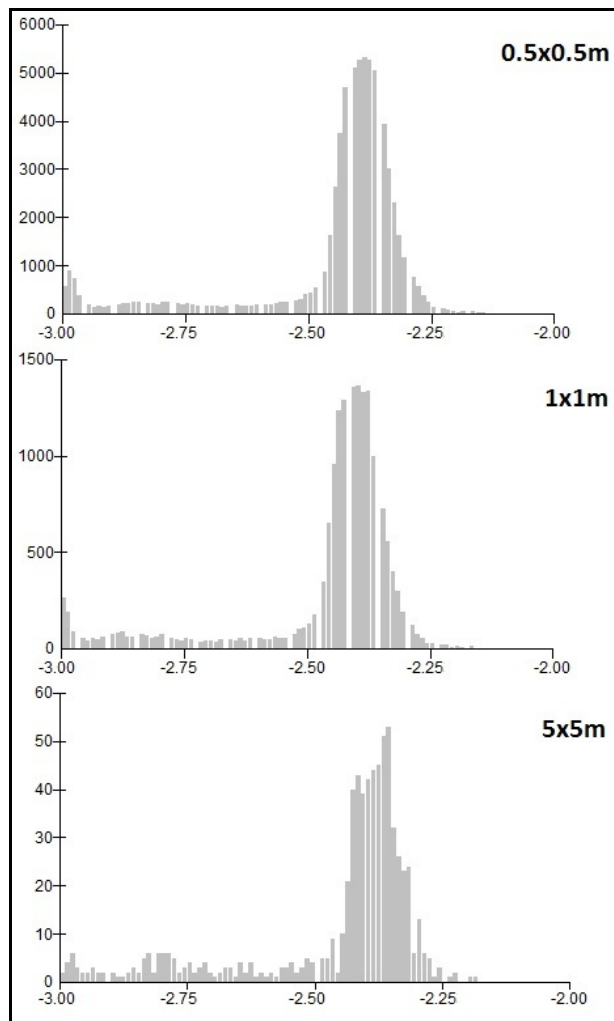
Vervolgens zijn de verschillende resoluties van het AHN naast elkaar gelegd om een visuele analyse en histogram-analyse uit te voeren. De resultaten van deze vergelijkingen staan hieronder beschreven.

Vergelijking perceel 1

De verschillende resoluties van het AHN voor perceel 1 staan weergegeven in het onderstaande figuur. De resolutiegrootte staat bovenin weergegeven in meters. De legenda staat onderin weergegeven in meters.



Uit het bovenstaande figuur blijkt dat er verschillen in hoogte bestaan tussen de verschillende resoluties van het AHN voor perceel 1. De hoogten bij de resoluties 0.5x0.5m en 1x1m komen redelijk overeen. Met name in de zuidelijke hoge delen van het perceel treden kleine verschillen op. De hoogten van de resolutie van 5x5 wijken met name aan de randen sterk af van de overige resoluties. De hoge delen aan de randen van het perceel zijn niet meer zichtbaar bij deze resolutie. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat deze hoge delen mogelijk de sloten rondom het perceel kunnen betreffen.

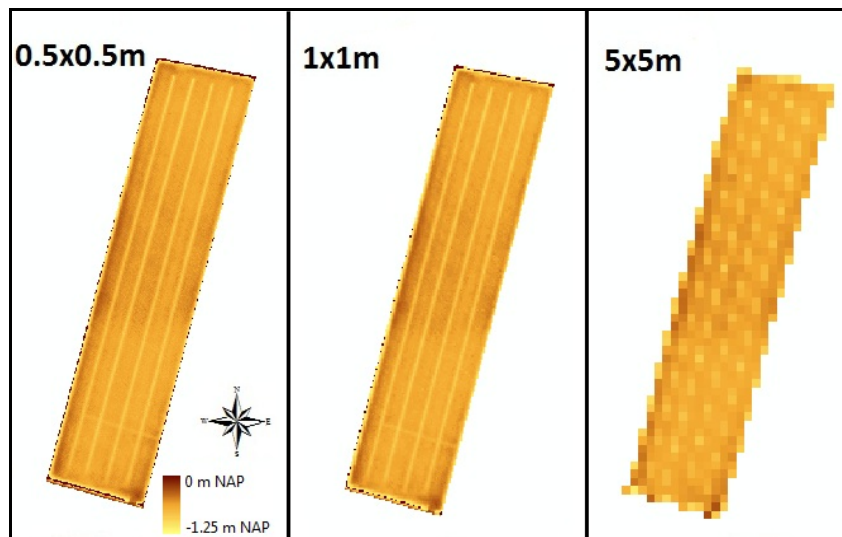


In het bovenstaande figuur zijn de histogrammen weergegeven van de verschillende AHN resoluties voor perceel 1. Op de horizontale as staan de maaiveldhoogten in meters en op de verticale as staan het aantal gridcellen. De resolutie van het AHN staat in de rechterbovenhoek weergegeven. Het minimum en maximum van de horizontale as is voor alle histogrammen gelijk. Bij sommige histogrammen kwamen er een aantal maaiveldhoogten voor die sterk afweken van de overige waarden. Deze extreme waarden zijn weggelaten in het histogram omdat er anders een vertekend beeld ontstaat.

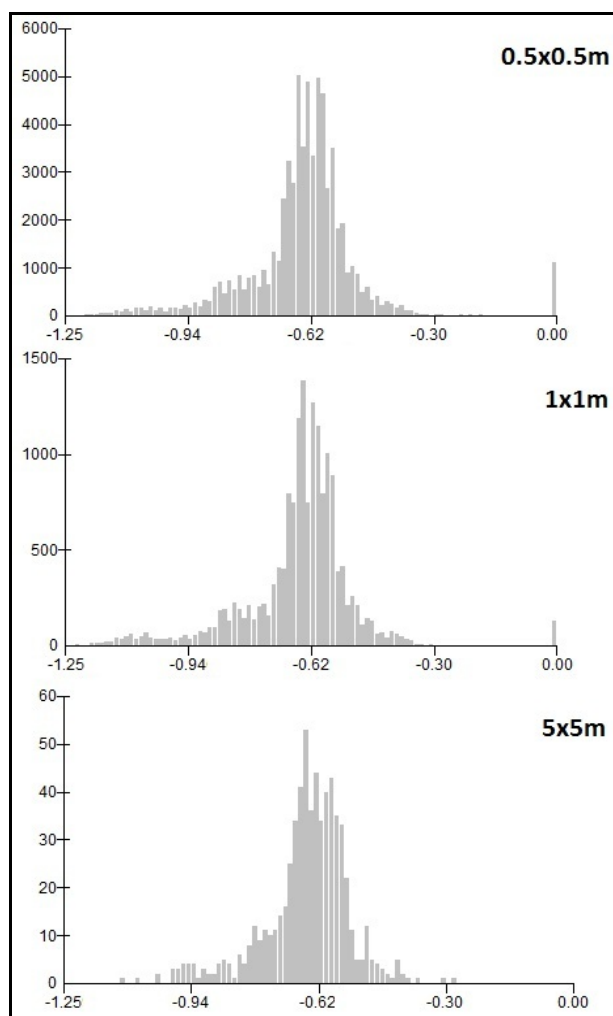
Uit het figuur blijkt dat het histogram van 5x5m het sterkst van de andere histogrammen afwijkt. Opvallend is de hoge frequentie aan bij een maaiveldhoogte van ongeveer -2.35m NAP. Bij de overige histogrammen is deze piek minder aanwezig.

Vergelijking perceel 2

De verschillende resoluties van het AHN voor het perceel staan weergegeven in het onderstaande figuur. De resolutiegrootte staat bovenin weergegeven in meters. De legenda staat onderin weergegeven in meters.



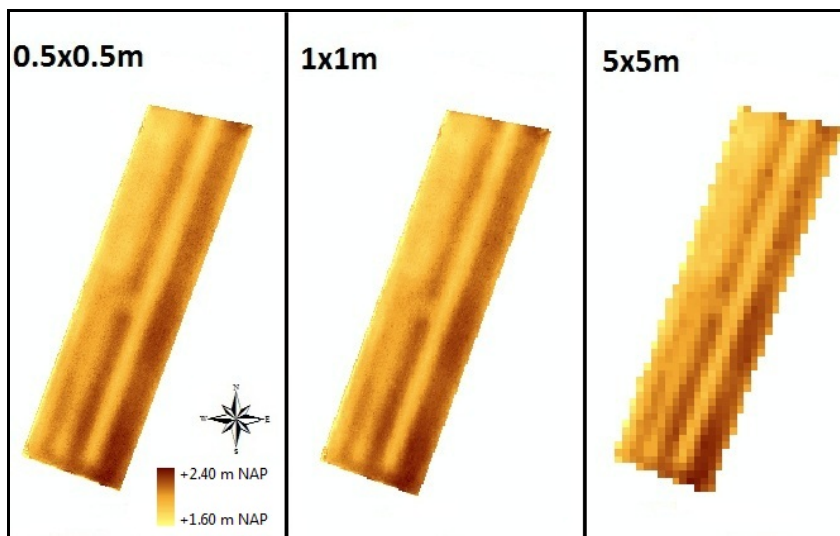
In het bovenstaande figuur staan de verschillen tussen de resoluties voor perceel 2. Uit de figuur blijkt dat de verschillen in maaiveldhoogten kleiner zijn dan bij perceel 1. De resoluties komen redelijk met elkaar overeen, kleine verschillen treden op aan de randen van het perceel. Daarnaast zijn de (vermoedelijk) ontwateringsgeulen in het perceel minder duidelijk waar te nemen bij de resolutie van 5x5m dan bij de overige resoluties.



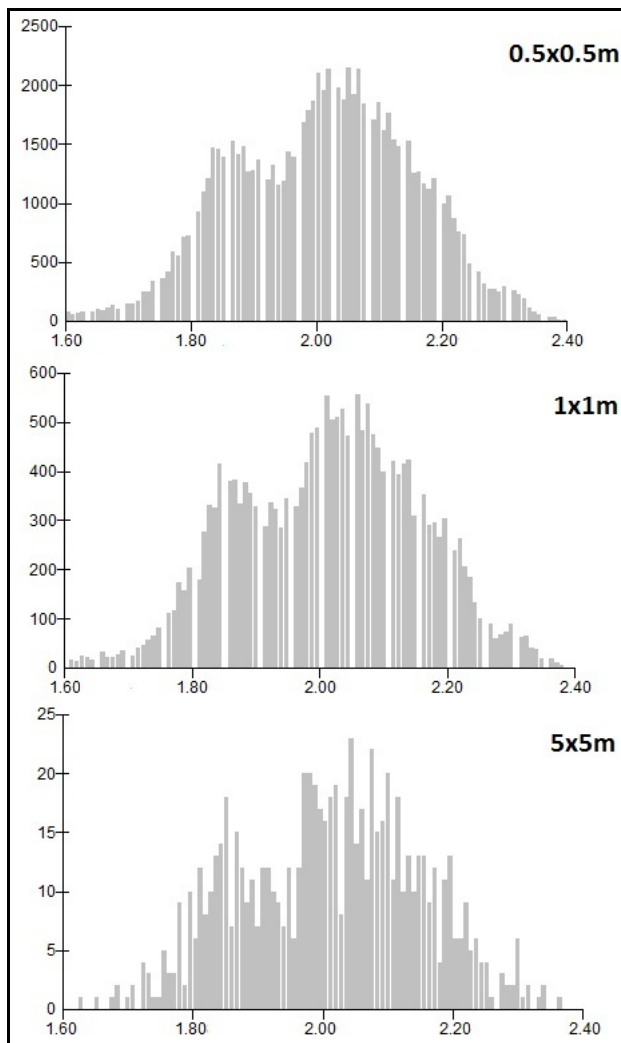
In het bovenstaande figuur zijn de histogrammen weergegeven van de verschillende AHN resoluties voor perceel 2. De histogrammen zijn op dezelfde wijze als de voorgaande histogrammen opgesteld. Uit het figuur blijkt dat de histogrammen redelijk overeen komen. De opvallende piek met maaiveldhoogten van -0.65m komt in elk histogram voor. Bij het histogram met de AHN resolutie van $5\text{m}\times 5\text{m}$ echter opvallend dat er hoge frequenties rond de -0.62m NAP verkomen in vergelijking met de overige histogrammen. Bij de overige histogrammen worden bij een maaiveldhoogte van ongeveer -0.62m NAP de hoge frequentiepieken afgewisseld met lagere frequentiepieken.

Vergelijking perceel 3

De verschillende resoluties van het AHN voor het perceel staan weergegeven in het onderstaande figuur. De resolutiegrootte staat bovenin weergegeven in meters. De legenda staat onderin weergegeven in meters.



In de bovenstaande figuur staan voor perceel 3 de verschillende maaiveldhoogten met resoluties. Uit het figuur blijkt dat er relatief weinig verschillen optreden tussen de percelen. De resoluties komen in maaiveldhoogten redelijk overeen, kleine verschillen treden op bij de rand van het perceel.



In het bovenstaande figuur zijn de histogrammen weergegeven van de verschillende AHN resoluties voor perceel 3. De histogrammen zijn op dezelfde wijze als de voorgaande histogrammen opgesteld. Uit het figuur blijkt dat de histogrammen redelijk overeen komen. Bij het histogram van 5x5m valt op dat de hoge frequentiepieken steeds afgewisseld worden met lage frequenties. Bij de overige histogrammen is het verschil tussen de frequenties kleiner.

Conclusie

De visuele analyse van de AHN resoluties geeft aan dat er enige verschillen bestaan tussen de maaiveldhoogten aan met name de randen van de percelen. Niet duidelijk is of het hier gaat om afwateringssloten aan de randen van een perceel.

De analyse van de histogrammen geeft aan dat er relatief weinig verschil zit in de maaiveldhoogten per resolutie. Het aantal frequenties per maaiveldhoogte is wel anders per resolutie. Dit komt door de grootte van de gridcellen.

In het algemeen kan de conclusie getrokken worden dat er, visueel en door middel van een histogram, enige verschillen waargenomen worden tussen met name de 5x5m resolutie en de overige resoluties. Onduidelijk is nog of dit van wezenlijk belang is voor de surface runoff.

Bijlage 3 Vergelijking gemeten afvoeren en berekende afvoeren

Met behulp van het SIMGRO model zijn de afvoeren voor de deelgebieden berekend. Daarnaast zijn er door HDSR afvoeren gemeten op een aantal punten. Door deze afvoeren te vergelijken kan een indruk gegeven worden of de modelresultaten enigszins overeenkomen met de afvoeren in de praktijk. Voorwaarde hiervoor is dat de afvoerende gebieden geen of zo weinig mogelijk aanvoer krijgen vanuit andere gebieden. De afvoer die in SIMGRO berekend wordt geldt namelijk alleen voor een bepaald (peil)gebied. Als het meetpunt ook aanvoer krijgt vanuit andere gebieden zijn de afvoeren dus niet gelijk.

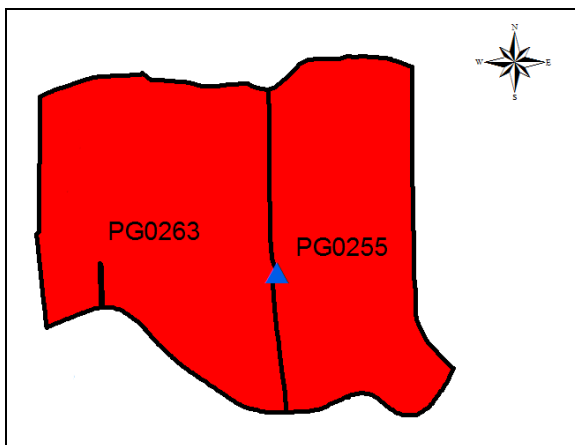
Methode

Als eerst worden er een aantal meetpunten geselecteerd waarbij de aanvoer plaatsvindt vanuit de peilgebieden die in de SIMGRO berekeningen gebruikt worden. Vervolgens kunnen de modelresultaten opgezocht worden voor de peilgebieden die afvoeren op deze meetpunten. Hierbij worden de meetresultaten van de startsituatie met AHN1 gebruikt. Daarna kunnen de gemeten afvoeren en de berekende afvoeren in een grafiek gezet worden voor de analyse van de resultaten.

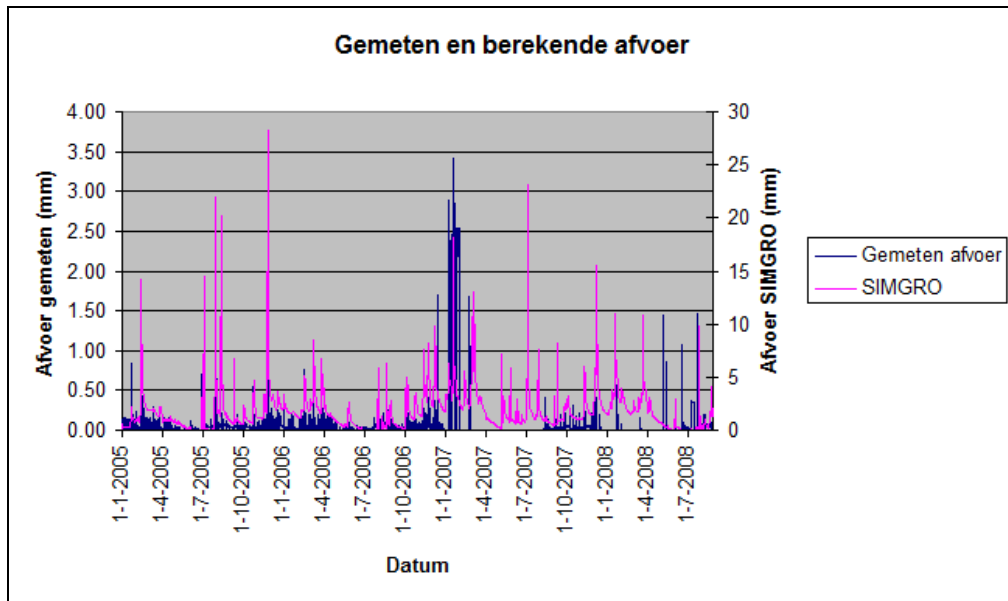
Resultaten

Na de selectie van de meetpunten blijkt dat er slechts één meetpunt overblijft waarbij de aanvoer bestaat uit een gebied waarvoor gemeten en berekende afvoeren beschikbaar zijn (meetpunt 321). Bij de overige meetpunten vindt er aanvoer plaats vanuit gebieden waarvoor geen modelberekeningen uitgevoerd zijn, of waarvan de berekende afvoer niet realistisch bleek te zijn (deelgebied 4).

Het gebied dat op meetpunt 321 afwatert komt overeen met peilgebied PG0255 (deelgebied 2). Het meetpunt (blauwe driehoek) en peilgebied staan in het onderstaande figuur weergegeven.



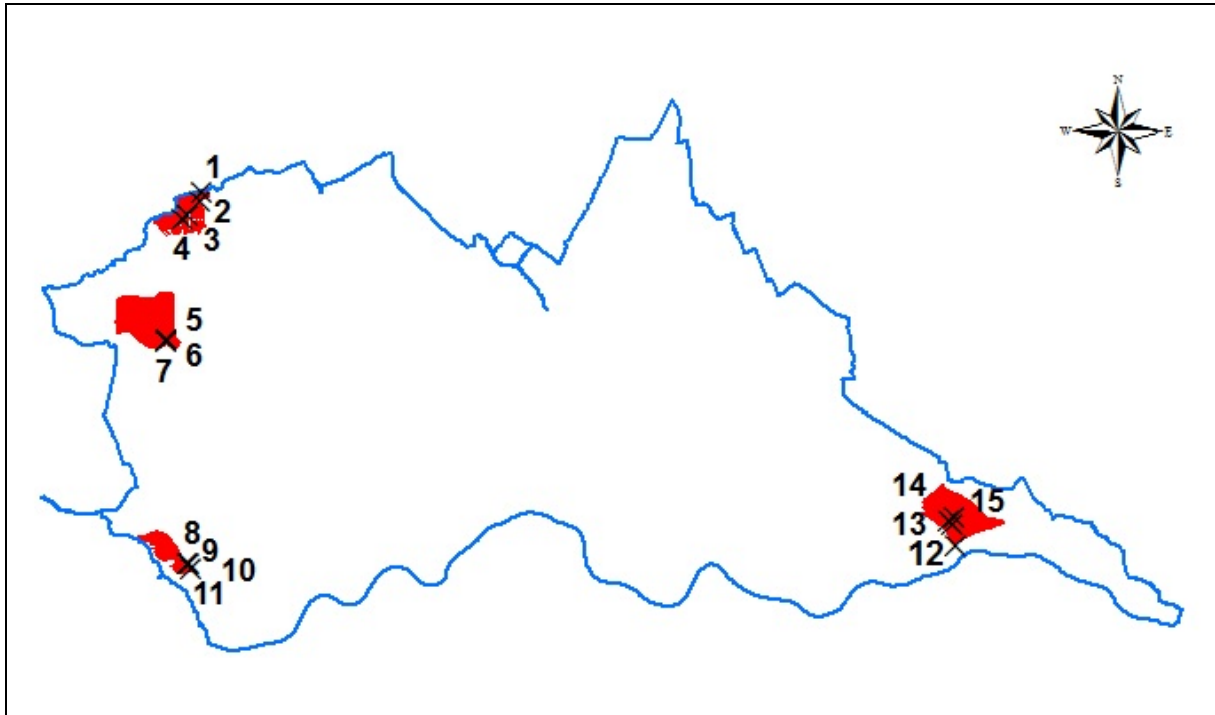
De gemeten afvoeren en de berekende afvoeren staan in het onderstaande figuur weergegeven.



Uit de grafiek van de gemeten en de berekende afvoer blijkt dat deze totaal niet overeenkomen. Er zitten grote verschillen tussen de hoeveelheden surface runoff. Onbekend is deze oorzaak van deze verschillen, mogelijk is er bij de analyse een fout gemaakt.

Bijlage 4 Foto's deelgebieden

In alle vier deelgebieden zijn een aantal foto's genomen om een indruk te krijgen hoe de deelgebieden er in de werkelijkheid uitzien. Een selectie van deze foto's staan hieronder weergegeven. Maar eerst volgt een kaartje waarop de locaties voor de foto's staan aangegeven.



Deelgebied 1 (Noordwesten)



1, zichtrichting: Zuid



2, zichtrichting: Zuid



3, zichtrichting: Zuid



4, zichtrichting: West

Deelgebied 2 (Westen)



5, zichtrichting: Oost



6, zichtrichting: Noord



7, zichtrichting: Oost

Deelgebied 3 (Zuidwesten)



8, zichtrichting: Zuid



9, zichtrichting: Noord



10, zichtrichting: West



11, zichtrichting: Oost

Deelgebied 4 (Oosten)



12, zichtrichting: Noord



13, zichtrichting: Oost



14, zichtrichting: Zuid



15, zichtrichting: Noord

Opdrachtomschrijving en projectplan (bijlage los)