



ALTERRA

WAGENINGEN UR



Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden

Metingen op zandgrond in Limburg

Alterra-rapport 2270
ISSN 1566-7197

H.Th.L. Massop, I.G.A.M. Noij, W.M. Appels en A. van den Toorn

Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het Innovatieprogramma KRW (KRW08085)
Projectcode [5236185]

Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden

Metingen op zandgrond in Limburg

H.Th.L. Massop, I.G.A.M. Noij, W.M. Appels en A. van den Toorn

Alterra-rapport 2270

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2012

Referaat

Massop H.Th.L., I.G.A.M. Noij, W.M. Appels en A. van den Toorn, 2012. *Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden; Metingen op zandgrond in Limburg*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2270. 104 blz.; 25 fig.; 24 tab.; 25 ref.

Er is relatief weinig kennis beschikbaar over het fenomeen oppervlakkige afstroming van water en de bijdrage aan de belasting van het oppervlaktewater. Daarom zijn drie proeflocaties ingericht op zandgrond in Noord-Limburg om te kunnen meten aan hoeveelheden, kwaliteit en frequentie van het voorkomen van oppervlakkige afvoer. De metingen zijn uitgevoerd in de periode december 2007 - juni 2011. Aanvullend op de genoemde metingen zijn gedetailleerde hoogtekarten gemaakt van de afspoelingsplekken, zijn infiltratiemetingen gedaan binnen de afspoelingsplekken, is het bodemprofiel beschreven en zijn bodem-chemische parameters van de toplaag vastgesteld. De frequentie van afspoelingsevents is vergeleken met frequentie van hoge dag- en uur-neerslagen. Verder is nagegaan of deze locatie representatief is voor zandgronden in Nederland vanuit het oogpunt van neerslag. Uit dit onderzoek blijkt dat oppervlakkige afspoeling vooral in de periode januari tot en maart optreedt en dat het afspoelingswater hoge gehalten aan P en N bevat.

Trefwoorden: N, P, runoff, infiltratie, winderosie.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2012 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra-rapport 2270

Wageningen, oktober 2012

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding en leeswijzer	11
2 Locatie op zandgrond in Noord-Limburg	13
2.1 Inleiding	13
2.2 Locatiekeuze	13
2.2.1 Meetprogramma	15
3 Gegevensverzameling	17
3.1 Frequentie van afspoelingsevents	17
3.2 Waterfluxen	17
3.3 Waterkwaliteit	17
3.4 Aanvullende metingen op de percelen	18
3.4.1 Hoogteverdeling van de percelen	18
3.4.2 Infiltratie	19
3.4.3 Bodemprofiel	20
3.4.4 Bodemchemie	21
3.5 KNMI-neerslaggegevens	21
4 Resultaten	23
4.1 Frequentie van afspoelingsevents	23
4.2 Waterfluxen	25
4.3 Waterkwaliteit	28
4.4 Samenvatting gegevens meetlocaties	30
4.5 Aanvullende metingen	30
4.5.1 Bergingscapaciteit maaiveld	31
4.5.2 Infiltratiesnelheid	32
4.5.3 Bodemprofiel	37
4.5.4 Bodemchemie	37
4.6 Neerslaggegevens	40
4.6.1 Dagneerslag KNMI-station Heibloem	40
4.6.2 Urneerslag KNMI-station Ell	41
4.6.3 Neerslagmetingen bij Asdonk	45
5 Discussie	47
5.1 Extrapolatie van plot naar veld	47
5.2 Effect klimaatverandering op oppervlakkige afspoeling	48
5.3 Representativiteit	50
5.4 Wind	52
5.5 Oppervlakkige afspoeling in de zomer	53

6	Conclusies en aanbevelingen	55
6.1	Conclusies	55
6.2	Aanbevelingen	56
	Literatuur	59
	Bijlage 1 Geselecteerde percelen met hoogteverdeling	61
	Bijlage 2 Schematische weergave meetinrichting in Limburg	63
	Bijlage 3 Locaties waar bodemmonsters zijn verzameld en infiltratiemetingen zijn uitgevoerd	65
	Bijlage 4 Analysegegevens van opgevangen water tijdens runoffmomenten	69
	Bijlage 5 Coördinaten meetlocaties infiltratiemetingen	75
	Bijlage 6 Infiltratiemetingen	77
	Bijlage 7 Profielbeschrijvingen	87
	Bijlage 8 Frequentie dagneerslagen te Heibloem periode 2007 t/m 2011	91
	Bijlage 9 Meteogegevens op runoff-momenten	93
	Bijlage 10 Frequentie uurneerslagen te Ell periode 2007 t/m 2011	95
	Bijlage 11 Neerslagmetingen bij Asdonk periode 18 januari 2008 t/m 21 april 2011	99
	Bijlage 12 Temperatuurmetingen te Ell en waarnemingen van dooi	103

Woord vooraf

Uitvoering van dit project was niet goed mogelijk geweest zonder de welwillende medewerking van een groot aantal mensen. Allereerst willen we de heren Asdonk, Mestrom en Ulen bedanken. Op hun bedrijven zijn de meetinstallaties geplaatst en mochten we wekelijks het land betreden om werkzaamheden te verrichten, zoals onderhoud van de meetinstallatie en het nemen van watermonsters. Antonie van de Toorn heeft naast de plaatsing van de meetinrichting gedurende het afspoelseizoen de meetlocaties wekelijks bezocht, gecontroleerd en watermonsters verzameld, hij vormde daarmee onze ogen in het veld. Verder wil ik Willy de Groot bedanken voor de uitvoering van de infiltratiemetingen en de monsternamen van de grondmonsters. Philip Wenting wil ik bedanken voor het verzamelen van gedetailleerde maaiveldhoogtegegevens met de door hem boven een fietswiel gemonteerde meetapparatuur.

Tot slot wil ik Joop Harmsen, Caroline van der Salm, Ab Veldhuizen en Frank van der Bolt (allen Alterra) bedanken voor het kritisch doorlezen en becommentariëren van dit rapport.

Harry Massop

Samenvatting

Omdat er relatief weinig kennis beschikbaar is over het fenomeen oppervlakkige afstroming van landbouwpercelen en de bijdrage daarvan aan de belasting van het oppervlaktewater zijn proeflocaties ingericht om hoeveelheden, kwaliteit en frequentie van oppervlakkige afvoer te meten. Op drie meetlocaties op zandgrond in Noord-Limburg zijn meetinrichtingen geplaatst. De metingen zijn uitgevoerd in de periode december 2007 - juni 2011. Aanvullend op genoemde metingen zijn gedetailleerde hoogtekarten gemaakt van de afspoelingsplekken, zijn infiltratiemetingen gedaan binnen de afspoelingsplekken, is het bodemprofiel beschreven en zijn bodemchemische eigenschappen van de toplaag vastgesteld.

De afspoelingsgebeurtenissen traden voornamelijk op in de periode januari t/m maart met een gemiddelde frequentie van vijf tot negen keer per seizoen. De frequentie verschilt sterk tussen de jaren, in de winter 2008-2009 zijn nauwelijks afspoelingsgebeurtenissen opgetreden in tegenstelling tot de winter 2009-2010, toen de frequentie varieerde tussen zeven tot twaalf gebeurtenissen. De gemeten afvoeren variëren sterk in grootte. Van zeer gering tot meer dan 50 m³/week/afspoelingsplek. De gemiddelde afspoeling tussen de drie locaties varieert van 740-1100 L/week voor de weken waarin oppervlakkige afspoeling is gemeten. Afstromend water bevat relatief hoge concentraties aan nutriënten. De mediane waarde voor N_{tot} varieert van 2 - 9 mg/L en voor P_{tot} tussen 0,5 en 4,3 mg/L. Om uitspraken te kunnen doen op perceelniveau of stroomgebiedsniveau van de omvang van de nutriëntenafspoeling wordt aanbevolen om de vrachten met behulp van modellen voor de meetlocaties te modelleren en vervolgens op te schalen naar perceelniveau en stroomgebiedsniveau.

Op de lage plekken bij de afstromingslocaties met een ruime omgeving zijn gedetailleerde hoogtemetingen gedaan om een digitaal hoogtemodel te maken. Modellen kunnen worden gebruikt voor ruimtelijke analyses van maaiveldberging en oppervlakkige afstroming. Om inzicht te krijgen in de infiltratiecapaciteit van de bodem zijn op elke locatie op vijf plekken infiltratiemetingen verricht met de dubbele ring infiltrometer. De mediaan van de gemeten infiltratiecapaciteit (3,6 - 9 cm/d) was duidelijk lager dan de k_{sat}-waarden volgens de Staringreeks, omdat er door hoge grondwaterstanden tijdens de metingen geen sprake was van vrije infiltratie.

Uit boorbeschrijvingen van de bodem ter plaatse van de infiltratieplekken blijkt dat er dieper in het profiel storende lagen voorkomen die de verticale waterstroming belemmeren. Verder blijkt dat de bodem volgens bemonstering en analyse op alle locaties fosfaatverzadigd was.

De frequentie van afstromingsincidenten in de winterperiode is vergeleken met de frequentie van dag- en uurneerslagsommen. De frequentie van neerslagsommen groter dan 8 mm per dag en groter dan 2,5- 3 mm per uur komen sterk overeen met de frequentie van afstromingsgebeurtenissen. In het groeiseizoen komen vaker hogere neerslagintensiteiten voor dan in de winterperiode, maar geen afstromingsincidenten als gevolg van een grotere infiltratiecapaciteit. In de zomer is wel sprake van vrije infiltratie door diepere grondwaterstanden.

Door klimaatverandering zal de intensiteit en de frequentie van hoge (winter)neerslagen toenemen, en daarmee de frequentie en omvang van de afspoeling en de belasting van het oppervlaktewater. De gebruikte meetlocaties in Midden-Limburg liggen in een relatief droog deel van Nederland. Dit betekent dat bij overigens gelijke omstandigheden de kans op oppervlakkige afstroming in andere delen van het Nederlandse zandgebied groter is.

1 Inleiding en leeswijzer

Oppervlakkige afvoer van water met daarin opgeloste stoffen wordt op hellende percelen als de belangrijkste verliesroute van nutriënten onderkend. In vlakke gebieden lijkt de kans op het optreden van oppervlakkige afvoer veel geringer en wordt algemeen verondersteld dat de afvoer van water door de bodem de belangrijkste bron van belasting van het oppervlaktewater is (Chardon en Schoumans, 2007). Deze veronderstelling geldt in het bijzonder voor zand- en veengronden. Op zware kleigronden is aangetoond (Van der Salm et al., 2006) dat oppervlakkige afvoer van N en P via greppels de dominante route vormt voor verliezen naar het oppervlaktewater. Metingen van oppervlakkige afvoer op graspercelen op zandgrond (Torenbeek, 2003 en Oosterom en Steenvoorden, 1980) en op veengrond (Van Beek et al., 2003) tonen aan dat in oppervlakkig afstromingswater hoge concentraties worden aangetroffen. Ruwe schattingen geven aan dat op deze locaties resp. 15 en 88% van de fosfaatverliezen plaatsvinden via oppervlakkige afvoer (Van der Weerd en Torenbeek, 2007; Van Beek et al., 2009). De onzekerheid in deze schattingen is groot doordat oppervlakkige afstroming vaak een zeer lokaal proces is. Metingen gedurende zes jaar op relatief vlakke gedraineerde akkerbouwpercelen op lemige en kleiige gronden in Illinois bevestigen dit beeld. Op deze percelen bedroegen de P-verliezen door oppervlakkige afstroming 22-48% van de totale P-verliezen (Algoazany et al., 2007). De bovenstaande gegevens vormen een aanwijzing dat in Nederland de oppervlakkige afstroming en de bijdrage van oppervlakkige afstroming aan de nutriëntenverliezen op vlakke percelen mogelijk groter is dan tot op heden verondersteld werd.

Oppervlakkige afvoer kan op twee manieren ontstaan. In de winterperiode, als de grondwaterstand is gestegen, is er weinig waterbergend vermogen in het bodemprofiel waardoor na veel neerslag water zichtbaar wordt aan maaiveld en wordt geborgen in plassen op het land, totdat ook het bergend vermogen van het maaiveld wordt overschreden en de plassen tot afvoer naar de sloot komen. In de zomer, wanneer de grondwaterstand dieper ligt, kan maaiveldberging en oppervlakkige afvoer optreden wanneer de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit van het bodemoppervlak overschrijdt. Dit komt over het algemeen alleen voor bij hevige onweersbuien na een droge periode. Bij sommige zware kleigronden is de doorlatendheid van de toplaag zo gering dat bij het ontbreken van scheuren regelmatig water op het maaiveld staat, vaak zijn op deze gronden maaiveldgreppels gemaakt om het water over het maaiveld te kunnen afvoeren. In het water dat op het maaiveld staat en dat enige tijd in contact staat met de bovengrond, zal fosfaat desorberen vanuit de relatief rijke (bemeste) bovengrond, waardoor vermoedelijk fosfaatrijke vrachten ontstaan naar de sloot. Dit vermoeden is mede gebaseerd op de resultaten van modelberekeningen (Van Bakel et al., 2007; Noij et al., 2008 en door Van der Salm, 2006).

Omdat er weinig kennis beschikbaar is over dit fenomeen zijn proeflocaties ingericht om te kunnen meten aan hoeveelheden, kwaliteit en frequentie van het voorkomen van oppervlakkige afvoer. Vanuit de project 'Fosfaatpilot Limburg' (Noij et al., 2007) zijn drie proeflocaties ingericht in Noord-Limburg, en in het project 'Diffuse belasting van het oppervlaktewater vanuit de veehouderij' (DOVE) (Van der Salm et al., 2006) is een proeflocatie ingericht te Waardenburg. Beide projecten waren eind 2008 afgerond. Het optreden van oppervlakkige afstroming is sterk weersafhankelijk, er zijn lange meetperioden nodig om een goed beeld te krijgen van het fenomeen. Daarom zijn de metingen voortgezet binnen het IP-KRW project 'Maatregelen tegen oppervlakkige afspoeling'. De metingen zijn medio 2011 beëindigd.

Als vervolg op voorgaand onderzoek zijn de metingen naar oppervlakkige afstroming in twee gebieden voortgezet, op resp. zand en komklei. In Limburg (dit rapport) en in Waardenburg (Koopmans et al., 2012) zijn gegevens verzameld waarvan de resultaten afzonderlijk worden behandeld vanwege verschil in opzet van de

meetinrichting. In Limburg is alleen aandacht besteed aan de oppervlakkige afstroming, terwijl in Waardenburg naast de greppelafvoer ook de drainafvoer is bemeten. De metingen in Limburg zijn begonnen in december 2007 in het kader van de P-Pilot Limburg (Noij et al., 2007). Vanaf januari 2009 vallen de metingen onder dit project (Innovatieprogramma KRW (IP-KRW)). De metingen in Waardenburg zijn begonnen in 2002 als onderdeel van het project Diffuse belasting van het Oppervlaktewater vanuit de Veehouderij (DOVE), vervolgens is het DOVE-project voortgezet in het kader van het LNV BO-project Relatie grond-oppervlaktewater (Koopmans et al., 2009) en sinds januari 2009 valt het project ook onder dit project (IP-KRW). Over beide onderzoeken wordt apart gerapporteerd. Voor de volledigheid worden in beide rapporten ook de metingen die al beschikbaar waren voor aanvang van dit project gepresenteerd.

Leeswijzer

In dit rapport worden de resultaten beschreven van de metingen aan oppervlakkige afspoeling in Limburg. In hoofdstuk 2 wordt de locatiekeuze, inrichting en het meetprogramma beschreven. In hoofdstuk 3 wordt beschreven welke gegevens zijn verzameld en de daarbij gebruikte methoden. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de verzamelde gegevens besproken en de frequentie van afstromingsevents wordt vergeleken met neerslagwaarnemingen. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op mogelijkheden van extrapolatie van plek naar perceel naar stroomgebied, effecten van klimaatverandering, representativiteit van de meetlocaties voor het zandgebied van Nederland en andere bronnen van oppervlakkige belasting van het oppervlaktewater. Tenslotte volgen in hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen.

2 Locatie op zandgrond in Noord-Limburg

2.1 Inleiding

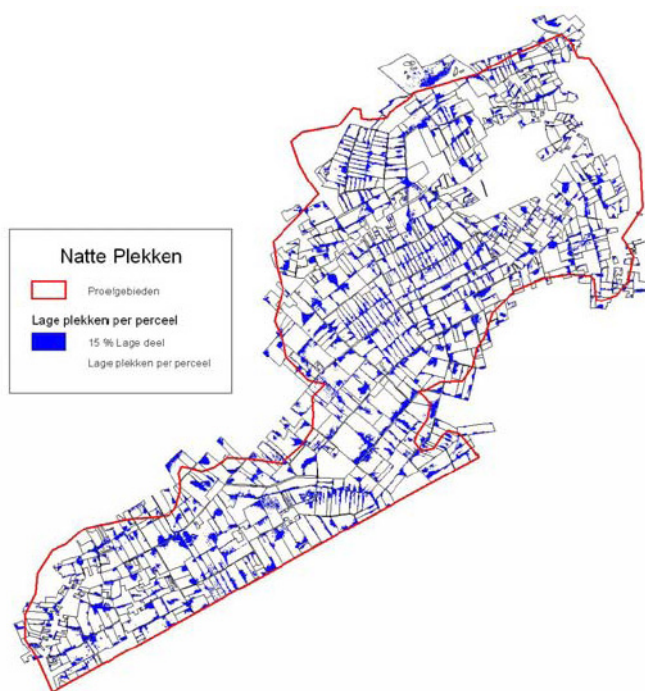
Bij stagnatie van water op het maaiveld verzamelt het water zich in lage plekken op het perceel en als deze lage plekken zich bevinden nabij oppervlaktewater kan er oppervlakkige afstroming plaatsvinden. Oppervlakkige afstroming is meestal niet uniform over het perceel verdeeld maar geconcentreerd op bepaalde (lage) plekken. Verliezen van nutriënten treden pas op als deze lage plekken in verbinding staan met het oppervlaktewater. Voor het meten van oppervlakkige afvoer is een juiste keuze van de meetlocatie essentieel. In de P-pilot Limburg (Noij et al., 2007) zijn de verschillende transportroutes, waarlangs het neerslagoverschot wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater, in kaart gebracht. Binnen deze studie is een methode ontwikkeld om met gebruikmaking van hoogte-informatie, perceelsinformatie en informatie over de ligging van waterlopen het risico voor oppervlakkige afstroming in kaart te brengen. Per perceel zijn de lage plekken geïdentificeerd, en als deze lage plekken contact maken met het oppervlaktewater (connectiviteit), dan vormen deze een potentieel risico voor belasting van het oppervlaktewater met N en P.

Op basis van de met deze methode afgeleide lage plekken kaart zijn in overleg met agrariërs, drie locaties geselecteerd waar oppervlakkige afstroming regelmatig optreedt. Op deze locaties zijn meetinrichtingen geplaatst om inzicht te krijgen in de bijdrage van oppervlakkige afvoer aan de P-belasting van het oppervlaktewater. Naast de directe meting van frequentie, debiet en kwaliteit, zijn er nog aanvullende gegevens verzameld ter plaatse van de lage/natte plek, nl.:

- Hoogtemetingen voor een gedetailleerde hoogtekaart.
- Infiltratiemetingen.
- Beschrijving bodemprofiel.
- Bodemchemische bemonstering.

2.2 Locatiekeuze

Om lage plekken in kaart te brengen is gebruik gemaakt van het Actueel Hoogtebestand van Nederland (AHN, <http://www.ahn.nl/>) en de kaart met basisregistratie percelen (BRP-percelen, http://assen.nederland-web.nl/overheid/Inv_dienst_basisregistraties/), dit zijn percelen die agrarisch worden gebruikt. Voor elk afzonderlijk perceel is op basis van de maaiveldhoogteverdeling volgens het AHN het 15% laagste areaal bepaald. Dit areaal is meestal verdeeld over één of meerdere plekken/laagten. Vervolgens is nagegaan of deze lage plekken grenzen aan waterlopen. Als dit niet het geval is, is de plek verwijderd. Immers een natte plek midden op het land vormt geen direct risico voor belasting van het oppervlaktewater mits er geen kortsluitroute is, zoals bijvoorbeeld een gegraven sleuf naar de sloot of een verticale pijp op een drainbuis. Dit water zal uiteindelijk infiltreren of verdampen en zal niet via een snelle oppervlakkige route in het oppervlaktewater komen. De resterende plekken zijn wel potentiële risicoplekken (figuur 1). De op deze manier vervaardigde kaarten zijn in het kader van het deelproject 'Maatregelen op bedrijfsniveau' voorgelegd aan boeren, voor hen waren deze kaarten herkenbaar (Massop en Noij, 2012). Of er werkelijk oppervlakkige afstroming plaatsvindt via deze plekken is van nog meer factoren afhankelijk zoals de bodem, grondwaterstand, helling etc. Binnen deze resterende lage plekken zijn drie locaties (tabel 1) geselecteerd waar een meetinrichting is geïnstalleerd.



Figuur 1

Lage plekken per perceel in de Fosfaatpilot Limburg tussen Meijel en Ospel. Het is de weergave van het laagste 15-percentiel van het totale areaal per perceel. De hoogteverdeling tussen percelen is niet weergegeven, alleen de hoogteafwijkingen binnen de percelen. Bron AHN1.

In bijlage 1 en 3 zijn de geselecteerde percelen met de hoogteverdeling en de locatie van de lage plekken weergegeven. Bij de keuze van de percelen is onderscheid gemaakt in landgebruik, er is een perceel met (grove) tuinbouw, een maïs en een graslandperceel geselecteerd. In tabel 1 zijn enkele karakteristieken van de locaties gegeven en in tabel 2 is het grondgebruik gedurende de meetperiode weergegeven.

Tabel 1

Enkele gegevens over de percelen waar een meetinrichting voor oppervlakkige afstroming is geplaatst.

Locatie	Recno	Perceel	Greppels	Waterschaps-sloot	Greppels	Waterschaps-sloot	Totaal	Bodem 1 : 50 000
		ha	m	m	m/ha	m/ha	m/ha	
Asdonk	700	1,857	289	308	156	166	322	zVpE-III/zWpE-III
Mestrom	716	2,405	442	246	184	102	286	Hn23E-V
Ulen	508	4.687	462	399	99	85	184	Hn23-V

Het zijn drie percelen met een GHG < 40 cm.

Tabel 2

Grondgebruik op de drie onderzoeklocaties gedurende de meetperiode.

Jaar	Asdonk	Mestrom	Ulen
2007	Weiland/beweiding	Mais	mais
2008	Weiland/beweiding	Sperziebonen	cichorei
2009	Weiland/beweiding	Waspeen	mais
2010	Weiland/beweiding	Wintertarwe	mais
2011	Weiland/beweiding	Suikerbieten	mais

2.2.1 Meetprogramma

Op de drie percelen is een meetinrichting geïnstalleerd. In bijlage 2 is de meetinrichting schematisch weergegeven en in figuur 2 is de situatie bij de installatie van de meetinrichting weergegeven.



Figuur 2

Installatie meetinrichting voor oppervlakkige afvoer in Noord-Limburg.

Met deze meetinrichting wordt ingeval er oppervlakkige afvoer optreedt het afstromende water over een breedte van ca. 10 m opgevangen en naar een vat ter grootte van 1 m³ geleid. Dit vat kan overstromen naar

de sloot, waarbij het debiet wordt gemeten. Uit het vat kunnen monsters worden genomen om de kwaliteit van het oppervlakkig afstromende water te kunnen meten.

De lengte van de goten was bij Asdonk: 2*5 meter, bij Ulen 2*5 meter en bij Mestrom: 2*6 meter. De goten bij Asdonk en Ulen waren parallel aan de sloot aangebracht, terwijl bij Mestrom de goten een hoek maakten van 90 graden. Bij Mestrom lag de natte plek in een hoek van een perceel waarbij beide perceelszijden grensden aan een sloot. Alle goten waren zo aangebracht dat alle afvoer van de plek werd opgevangen. Door de goten werd niet alle oppervlakkige afvoer van het betreffende perceel opgevangen. Op het perceel zijn er nog andere plekken waar het water oppervlakkig naar de sloot kan stromen.

De meetlocaties zijn wekelijks bezocht gedurende de periode dat er oppervlakkige afstroming op kon treden, nl. in de winterperiode en in de zomerperiode bij intensieve buien. Bij het wekelijkse bezoek is de werking van de apparatuur geïnspecteerd en zijn de volgende gegevens verzameld:

- neerslag (aflezing regenmeter en registratie),
- afvoer (aflezing afvoermeter en volume reservoir),
- kwaliteit (nemen van een watermonster uit het opvangvat na menging).

3 Gegevensverzameling

3.1 Frequentie van afspoelingsevents

De metingen naar oppervlakkige afvoer zijn verricht in de periode december 2007 tot en met april 2011. In de periode waarin oppervlakkige afspoeling kan worden verwacht is wekelijks de locatie bezocht om de neerslagmeter en de debietmeter af te lezen. Op basis van deze informatie is bepaald of er zich in de voorgaande week een afspoelingsevent heeft voorgedaan en is zonodig een watermonster genomen.

3.2 Waterfluxen

Aanvankelijk was de opzet om de gehele afspoeling op te vangen in een verzamelton. De inhoud van de ton was ingeschat op een maximale afvoer 1 m³/week. Bij de eerste oppervlakkige afstromingsevents bleek de inhoud van de ton kleiner dan de afstromende hoeveelheid. Om toch de juiste hoeveelheid te kunnen meten is een debietmeter geplaatst tussen de ton en de uitstroomopening naar de sloot. Uit de waterhoogte in de ton en het gemeten debiet kon direct de hoeveelheid worden berekend. Bij elk bezoek is de ton leeggepompt, zodat de netto-afvoer en kwaliteit van het volgende event kon worden gemeten.

Op één locatie bij Asdonk is een regenmeter geplaatst van het type 'tipping bucket'. Hierbij vindt steeds na elke 0,2 mm registratie plaats van de hoeveelheid en de tijd.

3.3 Waterkwaliteit

De bijdrage aan de belasting van het oppervlaktewater met N en P wordt niet alleen bepaald door frequentie van het optreden van afspoelingsevents en de hoeveelheden water die via de oppervlakkige afstromingsroute naar de sloot worden getransporteerd maar ook door de concentraties aan nutriënten in het afspoelingswater. Daarom zijn wekelijks monsters genomen uit het opvangvat mits afvoer had plaatsgevonden. Als het vat niet was overgestroomd naar de sloot, kon uit de inhoud van het vat een mengmonster worden genomen van de totale afvoer door voorafgaand het vat door te pompen. Ook indien het vat wel was overgestroomd was sprake van een mengmonster, maar er was dan sprake van een ongecontroleerde menging. Aan de monsters zijn de volgende bepalingen gedaan:

N-(NO₃+NO₂)

P-PO₄

N-NH₄

N_{tot}

P_{tot}

Cl⁻

De metingen aan de verschillende componenten van N en P zijn gedaan om inzicht te krijgen in de kwaliteit van het afspoelingswater en de bijdrage aan de belasting van het oppervlaktewater, terwijl Cl⁻ is gemeten omdat deze stof een indicator is voor het gebruik van mest.

3.4 Aanvullende metingen op de percelen

Naast de metingen met de meetgoot zijn eigenschappen van de plek en dus van de bron van de belasting vastgesteld: de hoogte van het maaiveld, de infiltratie-eigenschappen van de bodem, de bodemopbouw en de bodemchemische eigenschappen.

3.4.1 Hoogteverdeling van de percelen

Voor het bepalen van de locatie van de meetgoten is gebruik gemaakt van hoogte informatie. Het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) bevat hoogte-informatie, er zijn twee opnamen beschikbaar (www.ahn.nl). AHN1 geeft hoogte-informatie met als hoogste resolutie $5 \times 5 \text{ m}^2$. Het AHN2 geeft naast kaarten met een resolutie van $5 \times 5 \text{ m}^2$ ook kaarten met een resolutie van $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$. Echter het AHN2 is nog niet beschikbaar voor Limburg. In bijlage 1 zijn de hoogtekaarten weergegeven van de drie percelen op basis van het AHN1. Omdat deze informatie onvoldoende gedetailleerd was, zijn aanvullende hoogtemetingen gedaan voor de lage plekken, de delen van de drie percelen waar op basis van AHN1 oppervlakkige afspoeling kon worden verwacht. Wageningen UR (Philip Wenting) heeft een methode ontwikkeld waarbij meetapparatuur is bevestigd boven een fietswiel (figuur 3). Het meetsysteem maakt gebruik van GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) satellieten, dit is een Russisch satellietplaatsbepalingssysteem vergelijkbaar met het Amerikaanse GPS en het Europese Galileo. Er zijn op dit moment 21 satellieten operationeel en drie reserve satellieten. Voorafgaande aan de veldopname wordt een tijdelijk grondstation opgesteld, nabij het te karteren oppervlak, waarvoor de coördinaten exact bekend zijn. Bij de opname wordt in evenwijdige lijnen met onderlinge afstand van ca. 0,5 m het te karteren oppervlak afgelopen (figuur 3).



Figuur 3

Maaiveldhoogtemetingen op basis van een meetsysteem dat gebruik maakt van GLONASS satellieten.

Het resultaat van de metingen is een puntenbestand met voor elk punt een ID, een X-coördinaat, Y-coördinaat en een hoogte in NAP. De afstand tussen de punten is bij benadering 0,5 m. Dit puntenbestand kan met GIS worden omgezet in een TIN of een gridbestand. In deze studie is gewerkt met grids.

3.4.2 Infiltratie

Er zijn meetmethoden beschikbaar om de infiltratiesnelheid te bepalen, de hoeveelheid water die de bodem per tijdseenheid kan opnemen. Omdat de grootte van de infiltratiesnelheid een belangrijke factor is voor het ontstaan van plassen en daarmee ook voor de kans op het optreden van oppervlakkige afstroming zijn op de drie locaties infiltratiemetingen verricht op vijf meetplekken per locatie.

De infiltratiemetingen zijn uitgevoerd met de zogenaamde dubbele ring-infiltrometer (figuur 4). Beide ringen worden rechtstandig enkele centimeters in de bodem gedrukt (ca. 5 cm). Bij het indrukken wordt er op gelet dat er geen verstoring van het bodemprofiel optreedt. Na plaatsing worden beide ringen tot dezelfde hoogte, ca. 5 cm boven maaiveld, met water gevuld. Vervolgens wordt de daling van de waterstand in de binnenste ring gemeten in de tijd. Uit deze meetgegevens wordt de infiltratiesnelheid afgeleid.



Figuur 4
Dubbele ring-infiltrometer.

De infiltratiesnelheid van water in de onverzadigde zone kan met de formule van Darcy worden beschreven als

$$v = K_s \left(1 + \frac{s+h}{s} \right) \quad (1)$$

waarbij:

v	=	infiltratiesnelheid [cm/min]
K_s	=	verticale verzadigde doorlatendheid van de transmissiezone [cm/min]
s	=	zuigspanning aan de onderkant van de transmissiezone [cm]
z	=	dikte van de transmissiezone [cm]
h	=	hoogte van de waterlaag in de infiltrometer [cm]

De dikte van de transmissiezone wordt groter naarmate meer water infiltreert en kan geschat worden door de cumulatieve infiltratie (gemeten in de infiltrometer) te delen door het verschil tussen verzadigd vochtgehalte en

vochtgehalte van de bodem aan het begin van het experiment. Tijdens het experiment wordt de invloed van s en h steeds kleiner ten opzichte van z , zodat aan het eind van het experiment geldt:

$$v \approx K_s \quad (2)$$

Wanneer de bodem aan het begin van een experiment al vrijwel verzadigd is (zoals het geval was bij veel van de meetpunten), dan is de transmissiezone vanaf het begin van het experiment al zo groot dat vergelijking 2 opgaat.

Om het verloop van de infiltratie in de tijd te beschrijven kun je ook gebruik maken van de vergelijking van Philip (1957) voor cumulatieve infiltratie (3) en de daaruit afgeleide vergelijking voor infiltratiesnelheid (4) :

$$I(t) = S\sqrt{t} + K_s t \quad (3)$$

$$i(t) = \frac{S}{2\sqrt{t}} + K_s \quad (4)$$

waarbij:

I	=	cumulatieve infiltratie [cm],
i	=	infiltratiesnelheid [cm/min] ,
t	=	tijd [min],
K_s	=	verticale verzadigde doorlatendheid aan het oppervlak [cm/min],
S	=	sorptivity van de ondergrond [cm/min ^{1/2}].

Sorptivity S is een maat voor de absorptiecapaciteit van de bodem. De parameter S hangt af van het type bodem (zand, klei, etc.) en het initiële vochtgehalte van de bodem. Hoe droger de bodem aan het begin van de infiltratie is, des te hoger de sorptivity. Aangezien er geen metingen zijn gedaan aan de zuigspanning onder de transmissiezone en het vochtgehalte van de bodems aan het begin van het experiment, kunnen we daar niets sluitends over zeggen, maar door de sorptivity te schatten uit de data, kunnen we bij het modelleren meer rekening houden met de ontwikkeling van infiltratiesnelheid als gevolg van de toestand van de ondergrond. Naarmate er meer water is geïnfiltreerd wordt het effect van de sorptivity steeds kleiner en wordt de infiltratiesnelheid i gelijk aan de verticale verzadigde doorlatendheid K_s . Als de bodem al verzadigd is voordat de infiltratie begint, geldt al meteen het steady state bereik van de infiltratiecurve ($S=0$).

Bij de uitwerking is vergelijking 3 gefit op de meetdata van Ulen, Asdonk, en Mestrom, waarbij K_s en S worden geschat. Beide formules (1 en 4) zijn geldig onder de voorwaarde dat er geen beperking is aan de hoeveelheid water die kan infiltreren. Als de onverzadigde zone dun is, of erg nat als gevolg van neerslag in de periode voor de meting, gaat deze aanname niet op. Het infiltratiefront bereikt dan snel het grondwater, waardoor de infiltratiesnelheid vanaf dat moment gelijk is aan de snelheid waarmee het grondwater zakt of lateraal wegstroomt en niet aan de verticale verzadigde doorlatendheid. Onder natuurlijke omstandigheden zal er bij deze natte situatie nauwelijks infiltratie meer plaatsvinden, omdat ook laterale grondwaterbeweging ervoor zorgt dat de plekken in kwestie nat blijven.

3.4.3 Bodemprofiel

Op de drie locaties zijn grondboringen verricht om de bodemopbouw te beschrijven. Bij de beschrijving van het bodemprofiel is speciale aandacht besteed aan het voorkomen van storende lagen, omdat deze lagen de verticale waterbeweging in het profiel en daarmee de infiltratie vertragen waardoor eerder plassen op het maaiveld ontstaan.

3.4.4 Bodemchemie

Het oppervlakkig geborgen water staat in contact met de vruchtbare toplaag van de bodem waardoor het een hoge nutriëntenconcentratie krijgt. Daarnaast kunnen bij afstroming ook bodemdeeltjes (erosie) worden meegevoerd. Ook deze bodemdeeltjes bevatten nutriënten. Om inzicht te krijgen in de relatie tussen de kwaliteit van bodem en afstromend water is de N- en P-toestand van de bovengrond bepaald door bodembemonstering. Bij de verzameling van de bodemmonsters is als volgt te werk gegaan. Per locatie zijn visueel twee strata onderscheiden, namelijk het gebied dat relatief snel volloopt en oppervlakkig afstroomt en een gebied er omheen dat minder snel volloopt c.q. tot afstroming komt. Binnen elk stratum (bijlage 3) zijn drie mengmonsters genomen. Elk mengmonster is samengesteld uit tien random steken. De gehanteerde boordiepte is bij grasland 10 cm en voor bouwland de diepte van de bouwvoor. Totaal zijn achttien monsters verzameld van drie locaties * twee strata * één diepte * drie mengmonster. Van alle monsters is het vochtgehalte bepaald, N_{min} en het totaal gehalte stikstof en fosfor. Op grasland is ook het PAL-getal bepaald en op de beide bouwlandpercelen het Pw-getal. Beide indices worden gebruikt als maat voor het beschikbare deel van het bodemfosfaat. De bepaling is vastgelegd in een protocol (<https://www.hetInVloket.nl/>).

De bemonstering van de twee bouwlandlocaties is op 25-3-2010 uitgevoerd. Op het grasland perceel was toen al bemest, dit perceel is 22-11-2010 bemonsterd. De bemonsteringen hebben vooral relatie met de afspoeling in respectievelijk de winter van 2009/2010 en de winter 2010/2011.

3.5 KNMI-neerslaggegevens

Bij intensieve regenbuien kan de infiltratiecapaciteit worden overschreden, waardoor water op het maaiveld blijft staan. Ook kan een ondiepe storende laag, zoals een leemlaag of ploegzool, tot gevolg hebben dat er water op het maaiveld zichtbaar is. Omdat de infiltratiecapaciteit van de storende laag beperkt is, zal water boven de laag stagneren. Dit kan er toe leiden dat de bodem boven de storende laag tot maaiveld verzadigd raakt en plassen op het maaiveld ontstaan, ondanks dat er op enige diepte nog een onverzadigde laag aanwezig is.

Of oppervlakkige afvoer optreedt heeft ook te maken met de intensiteit van de bui in relatie tot de voorgeschiedenis, die tot uiting komt in de freatische grondwaterstand en de resterende bergingscapaciteit in de bodem. Neerslaggegevens kunnen dus informatie geven over de kans van voorkomen van oppervlakkige afstroming, we kunnen daarbij kijken naar neerslag(overschot)hoeveelheden over wat langere tijd (bijv. zeven dagen, de tijd tussen twee bezoeken aan de meetlocatie) en neerslagintensiteiten van korte duur bijv. één uur of één dag.

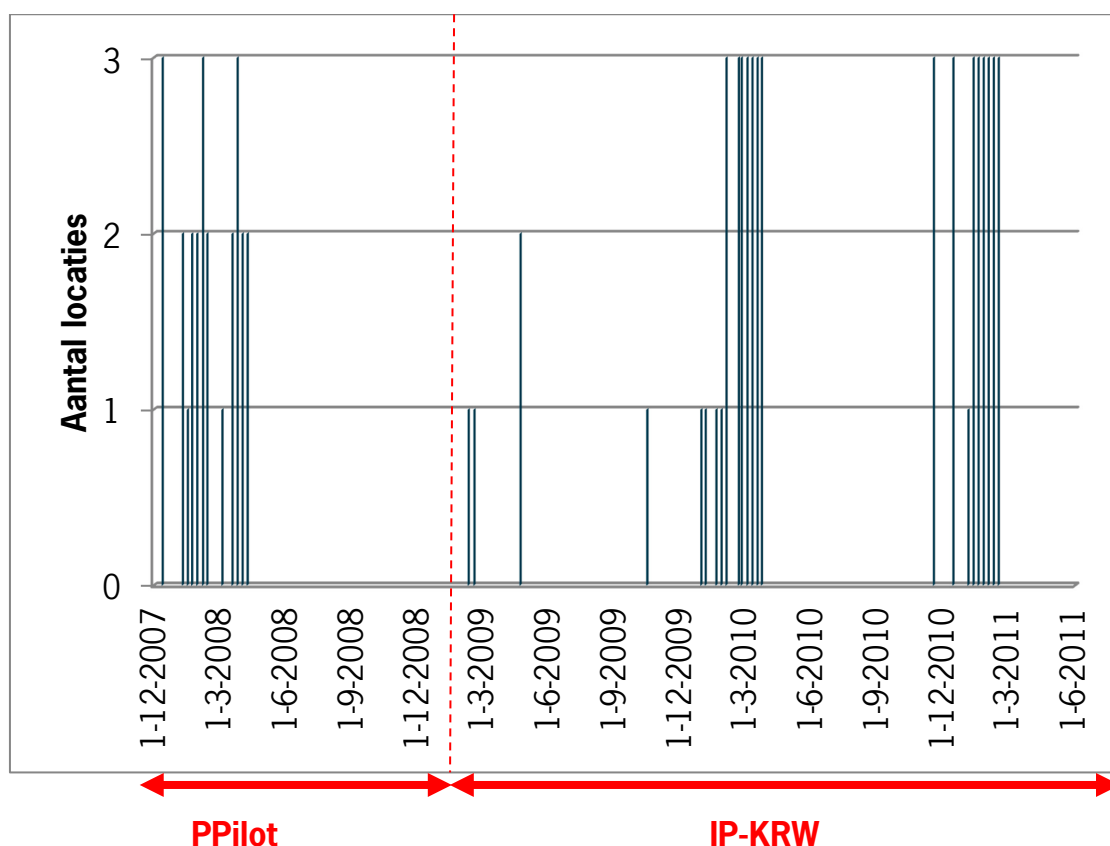
Dagelijkse neerslaghoeveelheden worden, relatief dichtbij, op ca. 3 km afstand gemeten op het KNMI-neerslagstation Heibloem (KNMI stationnummer 967). Urneerslagen en neerslagduur worden gemeten op neerslagstation EII (KNMI stationnummer 377), gelegen op 13 km afstand van de meetlocaties ten zuidoosten van Weert.

Om het neerslagoverschot, neerslag min verdamping, te bepalen is gebruik gemaakt van de gegevens van KNMI-station Eindhoven (KNMI stationnummer 370).

4 Resultaten

4.1 Frequentie van afspoelingsevents

In figuur 5 is de frequentie van het optreden van oppervlakkige afstroming weergegeven. Gedurende de periode met oppervlakkige afspoeling zijn de meetlocaties wekelijks bezocht. Als oppervlakkige afstroming is opgetreden zijn monsters genomen van het afstromingswater en zijn de opgevangen en uitgedompte hoeveelheden afgelezen. Een afspoelings-event betekent dus feitelijk dat er in een periode van een week gedurende kortere of langere tijd oppervlakkige afspoeling heeft plaatsgevonden.

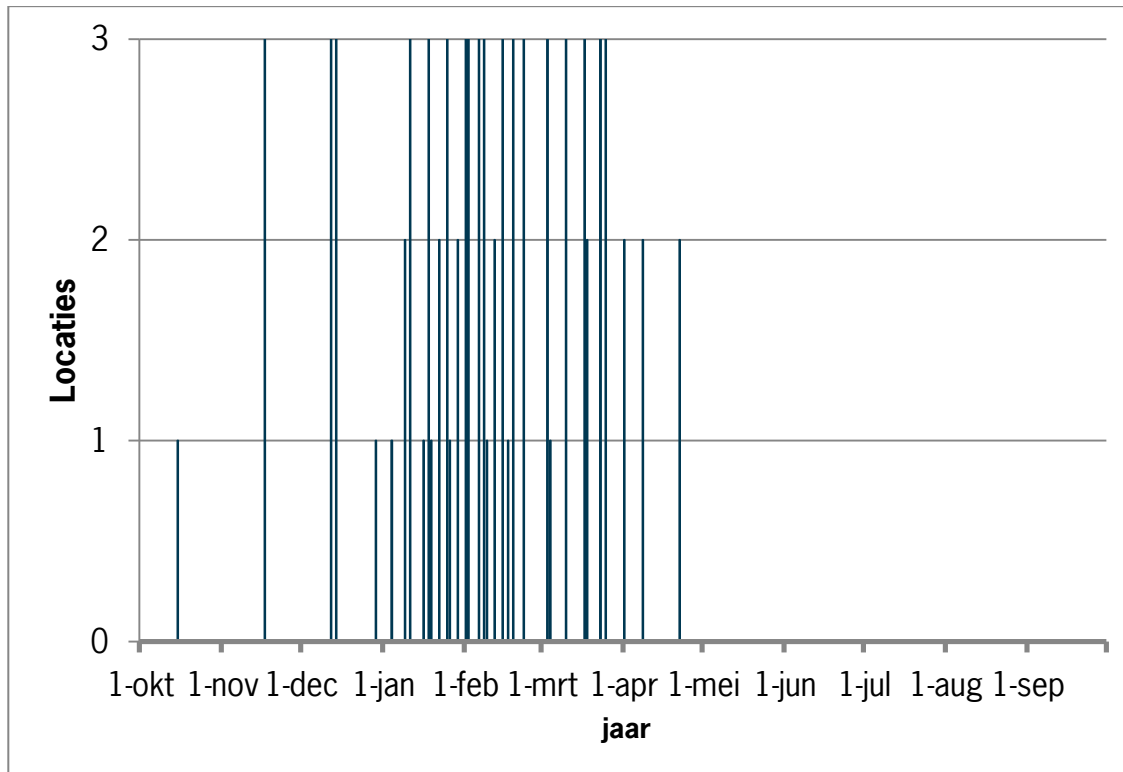


Figuur 5

Oppervlakkige afspoelingsincidenten voor de drie locaties in Noord-Limburg in de periode 1-12-2007 tot en met 1-6-2011.

Uit figuur 5 blijkt dat oppervlakkige afstroming niet altijd op alle drie percelen op hetzelfde moment optreedt. In het groeiseizoen wordt ondanks de soms heftige neerslag nauwelijks oppervlakkige afstroming waargenomen. Verder zien we dat oppervlakkige afstroming in de ene winter vaker voorkomt dan in de andere winter. In de winter 2008-2009 komt nauwelijks oppervlakkige afstroming voor.

In figuur 6 is de verdeling van alle afstromingsevents in één jaar weergegeven, hierbij zijn alle metingen tussen 1-12-2007 en 1-6-2011 weergegeven binnen de periode van één jaar dat we laten beginnen op 1 oktober en eindigen op 30 september. De laatste datum in het voorjaar waarop oppervlakkige afstroming is gemeten is 22 april en de vroegste datum in het najaar is 15 oktober.



Figuur 6

Verdeling van de afspoelingsincidenten over een periode van een jaar (1 oktober tot 30 september).

Omstreeks 1 oktober overtreft de neerslag de verdamping en wordt het grondwater weer aangevuld, hetgeen leidt tot een stijgende grondwaterstand. We zien in figuur 6 dat er in het najaar sporadische oppervlakkige afspoeing optreedt. De neerslag kan aanvankelijk nog geheel worden geborgen in de bodem. De meeste afspoelingsincidenten vinden plaats in de maanden januari t/m maart. Vanaf begin april overtreft de verdamping de neerslag, en begint de grondwaterstand te dalen waardoor meer berging in de ondergrond mogelijk wordt, en het aantal afspoelingsincidenten daalt. In april zijn nog enkele afspoelings-events waargenomen, in de daaropvolgende zomermaanden zijn gedurende de meetperiode geen afspoelings-events gemeten. Op 1 oktober vindt eveneens de overgang plaats van zomerpeil naar winterpeil, waarbij het oppervlaktewaterpeil wordt verlaagd, hierdoor ontstaat meer berging in het oppervlaktewaterstelsel. Bij lagere oppervlaktewaterstanden zal eerder drainage optreden als het grondwater stijgt.

In tabel 3 is een overzicht gegeven van het aantal afspoelings-events per locatie. Op achttien momenten is gelijktijdig op alle drie locaties oppervlakkige afspoeing gemeten, op zeven momenten alleen bij Asdonk en Mestrom, op negen momenten alleen bij Asdonk. Verder is er nog één keer alleen bij Mestrom en één keer zowel bij Ulen als Asdonk oppervlakkige afspoeing gemeten. Op locatie Asdonk (grasland) zijn dus de meeste afspoelings-events gemeten, gemiddeld per winter treedt gedurende negen weken kortere of langere tijd

oppervlakkige afstroming op. Op de bouwlandpercelen is het aantal events ca. 19-26, dit betekent dat gedurende 5-7 weken kortere of langere tijd oppervlakkige afstroming plaatsvindt.

Tabel 3

Runoff-events per seizoen.

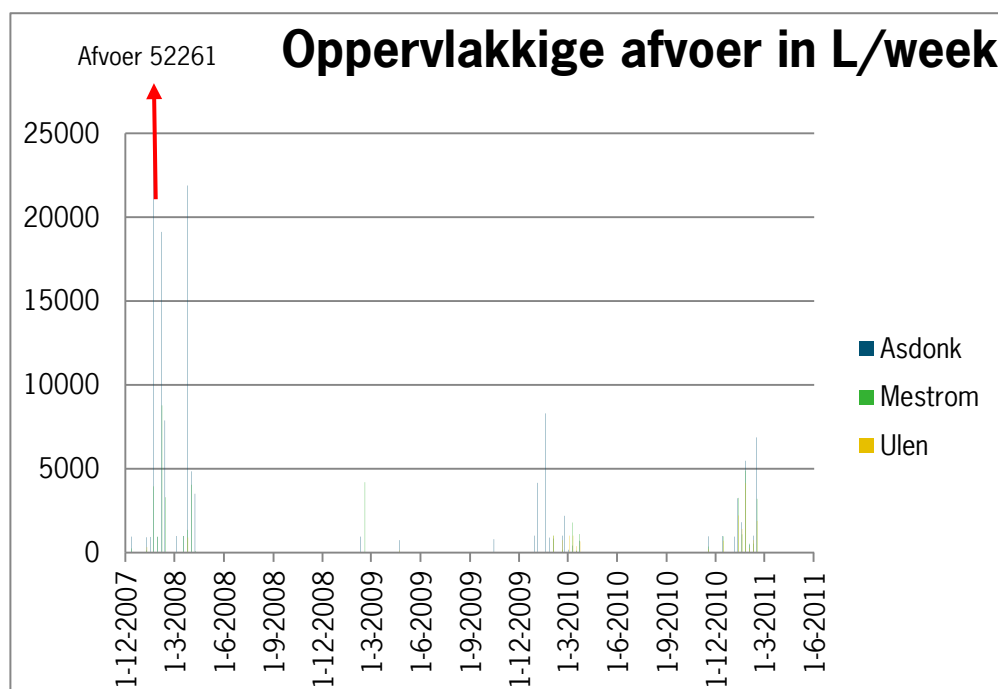
Locatie	Aantal events	Gemiddeld per seizoen
Asdonk	35	8.8
Mestrom	26 ¹	7.5
Ulen	19 ²	4.8
Totaal	80	6.7

¹Voor locatie M is gedurende één event geen afvoer gemeten en voor één event is de afvoer geschat op basis van het debiet.

²Voor locatie U voor één event is de afvoer geschat op basis van het debiet.

4.2 Waterfluxen

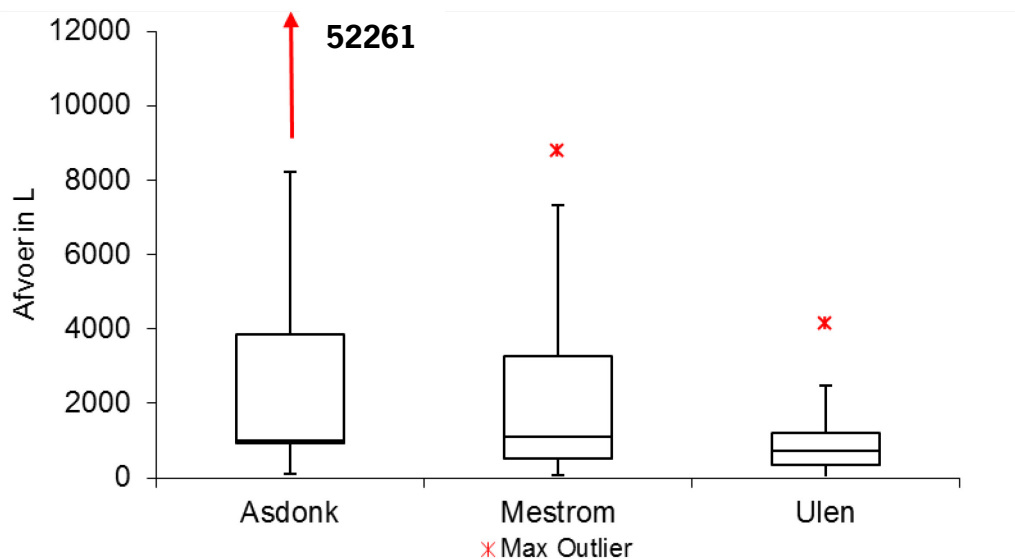
De gemeten afvoeren zijn genoteerd en weergegeven in figuur 7.



Figuur 7

Frequentie en gemeten hoeveelheden afspoelingsevents op de drie meetlocaties in L/ week.

Uit figuur 7 blijkt dat de gemeten afvoeren bij Asdonk meestal het grootst zijn en dat de grootste afvoeren zijn gemeten in de winter van 2007-2008. In figuur 8 zijn de afvoeren als boxplot gegeven, de bijbehorende gegevens staan ook in tabel 4.



Figuur 8

Boxplot van de gemeten afvoeren.

Tabel 4

Statistische karakteristieken van gemeten afvoeren (L/week) op de drie locaties.

Labels	Asdonk	Mestrom	Ulen
Counts	35	25	19
Min	110	82	0
Q ₁	916	535	364
Mediaan	997	1100	740
Q ₃	3845	3260	1214
Max	52261	8776	4150
IKR	2928	2725	850
Gemiddeld	4557	2006	1152
Aantal hoge uitschieters	4	1	2

Vijftig procent van de waarden ligt binnen de box. De onderste lijn (Q₁) en bovenste lijn (Q₃) van de box geven het eerste en derde kwartiel van het databereik weer. De afstand tussen Q₃ en Q₁ is de interkwartielafstand (IKA). De lijn in de box is de mediane waarde. Verder is een haardraad weergegeven, de bovenste grens is bepaald door het derde kwartiel gesommeerd met $1,5 \cdot \text{IKA}$. Als deze groter is dan de maximale waarde, dan wordt de maximale waarde als bovengrens weergegeven. Hetzelfde geldt voor de onderste begrenzing van de haardraad, deze is gelijk aan Q₁ verminderd met $1,5 \cdot \text{IKA}$. Ook hier geldt dat als de onderste begrenzing kleiner is dan de gemeten minimale waarde, de haardraad wordt begrensd door de minimale waarde. Waarden op grotere afstand dan $1,5 \cdot \text{IKA}$ zijn verwijderd van de box en worden als uitschieters beschouwd, in de boxplot is per box, indien van toepassing, alleen de maximale uitschieter weergegeven.

De mediaan van de op de drie locaties gemeten afvoeren varieert van 740 tot 1100 liter. Er komen enkele hoge uitschieters voor, bij Asdonk is een maximale afvoer gemeten van 52261 L/week.



Figuur 9

Extreme afvoersituatie bij Mestrom, waarbij een erosiegeul is ontstaan en de goot is over- en onderspoeld.

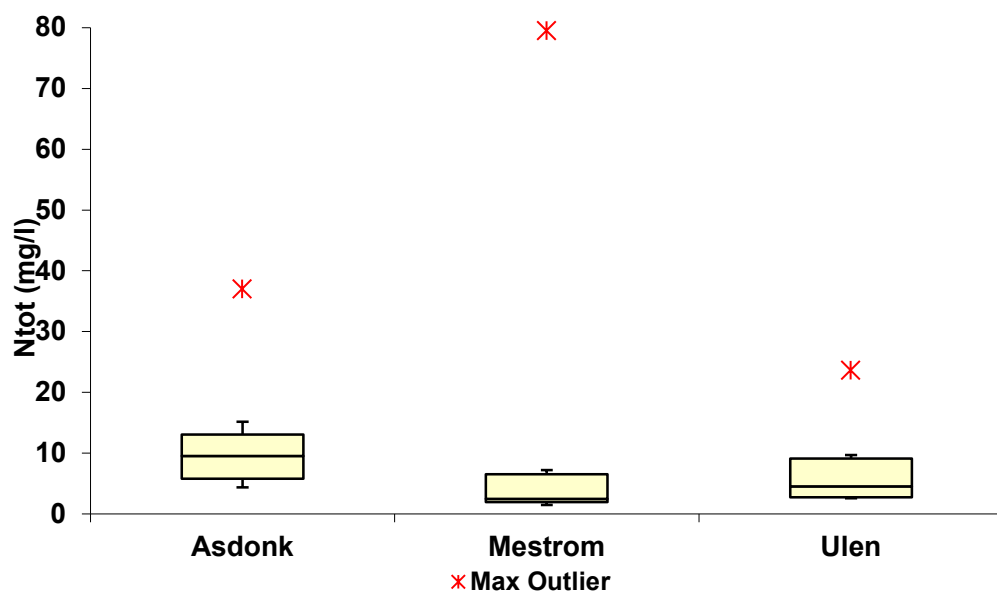
Er zijn situaties voorgekomen waarbij zoveel water op het land stond dat de goten de grote hoeveelheid water en zand niet konden verwerken. Deze situatie is opgetreden bij dooi na een vorstperiode op 23 februari 2010. Er ontstaan erosiegeulen en bij Mestrom is geconstateerd dat ook grond onder de goot in de sloot is gespoeld (figuur 9). Op 23 februari 2010 zijn bij Mestrom en Ulen alleen debieten gemeten, respectievelijk 3 m³/uur en 4m³/uur, voor het samenstellen van figuur 8 en tabel 4 is aangenomen dat het event een uur heeft geduurd. Dit betekent dat in incidentele gevallen grote hoeveelheden water oppervlakkig afgevoerd werden, die niet volledig zijn gemeten. Daarnaast heeft de meetlocatie slechts betrekking op een strook perceelsrand ter lengte van 10 m en kunnen zich op meer plekken langs de rand van het perceel afstromingssituaties voordoen die in frequentie en hoeveelheid kunnen verschillen. De hoeveelheid water die oppervlakkig tot afvoer komt, kan dus per perceel groter zijn dan de gemeten hoeveelheid omdat in extreme situaties de afvoer vaak niet is te meten. Onderzoek door Rozemeijer (2010) toont aan dat ook stroming door bioporiën (muize- of mollegangen) significant bijdraagt aan de afvoer. Deze afvoer wordt niet opgevangen met een oppervlakkige constructie bedoeld om de oppervlakte-afvoer op te vangen. Tijdens dit onderzoek zijn op de meetlocatie echter geen kortsluitroutes via bioporiën ontdekt en ook niet bij het opruimen van de installaties. De gemeten afvoer is een onderschatting van de hoeveelheid die op de meetlocaties oppervlakkig afstroomt, vooral bij zeer grote neerslaghoeveelheden en in dooiperiodes volgend op een vorstperiode.



Figuur 10
Natte plek bij Ulen.

4.3 Waterkwaliteit

Als er oppervlakkige afstroming heeft plaatsgevonden, dan is een monster genomen van het water uit het opvangreservoir. De meetresultaten staan in bijlage 4. Voor parameters N_{tot} (mg/l), P_{tot} (mg/l) en $P\text{-}PO_4$ (mg/l) zijn boxplots gemaakt (figuur 11 t/m 12), de bijbehorende gegevens staan in tabellen 5 en 6. Door omzettingsprocessen die plaats vinden tussen het moment van afstroming en het moment van monsternamen kunnen de waarden voor N onderschattingen zijn.



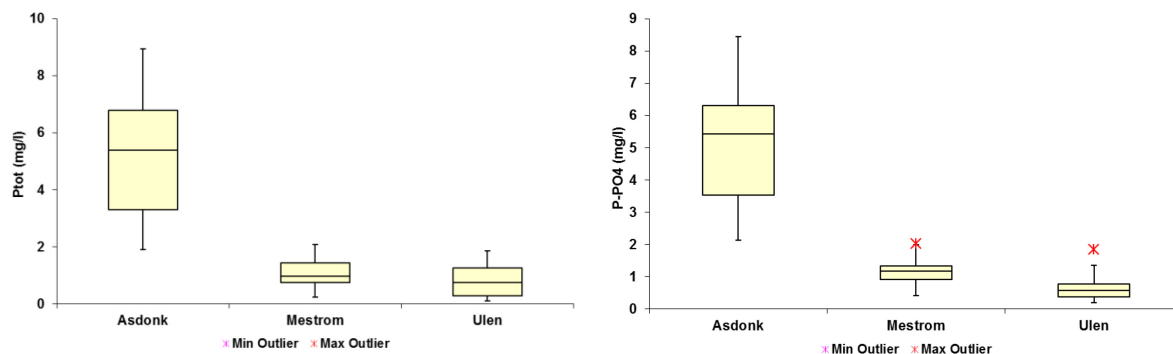
Figuur 11
Boxplot van N_{tot} van de metingen over de periode dec 2007 t/m april 2010 op drie locaties in Noord-Limburg.

Tabel 5

Enkele statistische karakteristieken van N_{tot} .

Labels	Asdonk	Mestrom	Ulen
Counts	46	32	32
Min	2.32	1.32	1.32
Q_1	4.91	1.7	2.45
Mediaan	8.91	2.06	3.42
Q_3	12.6	4.70	6.77
Max	37	79.5	23.6
IKR	7.69	3.00	4.33
Gemiddeld	9.97	7.96	5.30
Aantal hoge uitschieters	4	4	3

De mediane waarde varieert tussen 2,1 en 8,9 mg N/l.

**Figuur 12**

Boxplot van P_{tot} en $P-PO_4$ van de metingen over de periode dec 2007 t/m april 2010 op drie locaties in Noord-Limburg.

Tabel 6

Enkele statistische karakteristieken van P_{tot} en $P-PO_4$.

Labels	P_{tot}			$P-PO_4$		
	Asdonk	Mestrom	Ulen	Asdonk	Mestrom	Ulen
Counts	42	28	28	28	19	17
Min	1.11	0.64	0.22	2.13	0.41	0.20
Q_1	2.82	1.00	0.42	2.92	0.99	0.26
Mediaan	4.32	1.36	0.51	4.65	1.23	0.41
Q_3	6.64	1.59	1.15	6.14	1.39	0.70
Max	10.5	2.16	2.49	8.45	2.03	1.84
IKR	3.82	0.59	0.73	3.22	0.39	0.44
Gemiddeld	5.13	1.35	0.87	4.74	1.21	0.53
Aantal hoge uitschieters	0	0	2	0	2	1

Uit figuur 12 en tabel 6 kunnen we afleiden dat de mediane waarde voor P_{tot} varieert tussen 0,5 en 4,3 mg/l en voor $P\text{-PO}_4$ tussen 0,4 en 4,7 mg/l. Dat de mediane waarde voor $P\text{-PO}_4$ groter is dan de mediane waarde voor P_{tot} wordt veroorzaakt door het verschil in het aantal monsters waaraan $P\text{-PO}_4$ is gemeten vergeleken met van het aantal monsters waaraan P_{tot} is gemeten.

4.4 Samenvatting gegevens meetlocaties

Op de meetlocatie wordt het water opgevangen over een breedte van 10 of 12 m. In tabel 7 en 8 zijn de gemiddelde meetresultaten samengevat en vertaald in vrachten.

Tabel 7

Gemeten fosfaatvrachten.

Resultaat proeflocaties				
Locatie	Aantal	Hoeveelheid	Concentratie	Vracht
		m ³	g/m ³	g
Asdonk	8.8	4.557	5.13	205.7
Mestrom	7.5	2.006	1.35	20.3
Ulen	4.8	1.152	0.87	4.8
	Gemiddeld			76.9

Tabel 8

Gemeten stikstofvrachten.

Resultaat proeflocaties				
Locatie	Aantal	Hoeveelheid	Concentratie	Vracht
		m ³	g/m ³	g
Asdonk	8.8	4.557	9.97	399.8
Mestrom	7.5	2.006	7.96	119.8
Ulen	4.8	1.152	5.30	29.3
	Gemiddeld			183.0

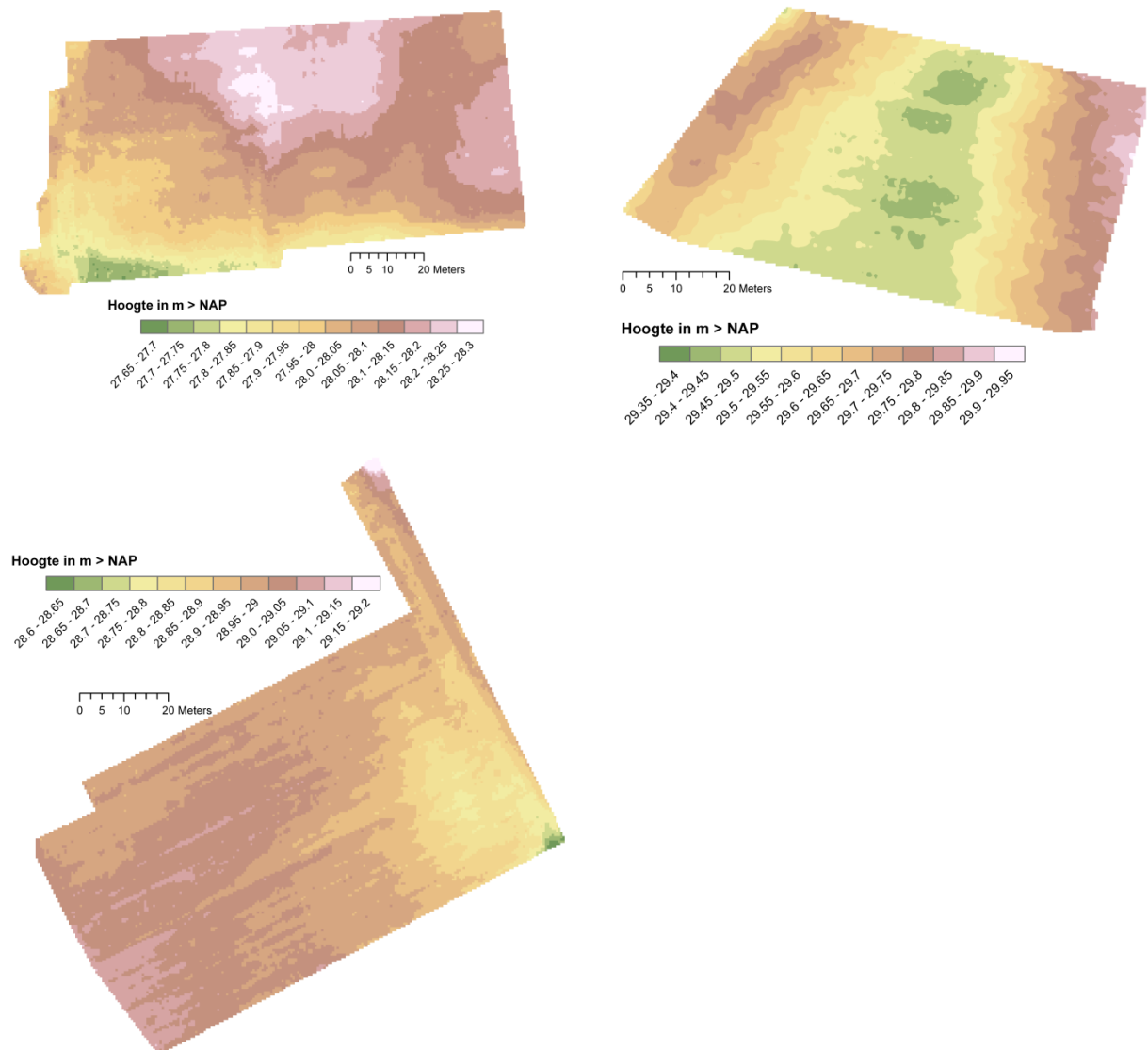
Uit de tabellen 7 en 8 volgt dat er op de meetlocaties gedurende het onderzoek gemiddeld 76.9 g fosfor en 183.0 gram stikstof per jaar oppervlakkig is afgestroomd naar het oppervlaktewater.

4.5 Aanvullende metingen

Oppervlakkige afstroming wordt bepaald door bergingscapaciteit aan maaiveld, infiltratiesnelheid en neerslagintensiteit.

4.5.1 Bergingscapaciteit maaiveld

In paragraaf 3.4.1 is de methode van hoogtemeting beschreven. Het verkregen puntenbestand van ieder perceel is met ARCGIS geïnterpoleerd tot een gridkaart met een resolutie van 0,5 m (figuur 13).

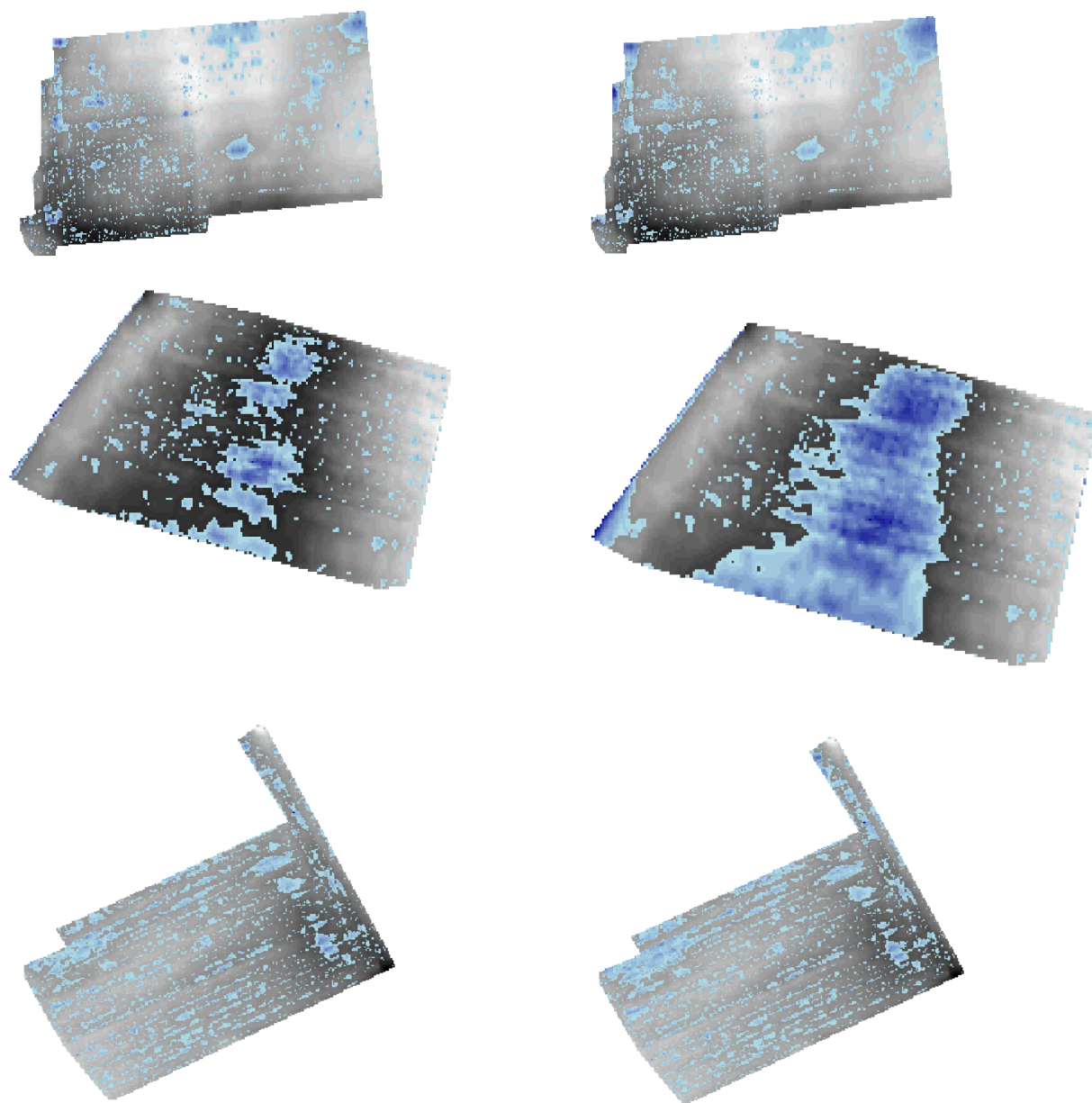


Figuur 13

Digitaal hoogtemodel op basis van een meetsysteem dat gebruik maakt van GLONASS-satellieten van de percelen Asdonk (linksboven), Ulen (rechtsboven) en Mestrom (linksonder).

Deze kaarten zijn vervolgens gebruikt om de patronen van afstroming in beeld te brengen. Met een model is verkend hoeveel water op het maaiveld van de percelen geborgen kan worden en hoe het maaiveld wordt opgevuld wanneer er water op het land blijft staan (figuur 14). Deze hoeveelheid gedeeld door het oppervlak van het perceel wordt de 'Depression Storage Capacity' (DSC) genoemd en is een proxy voor afstromingsgedrag. Voor de hoogtemodellen die hierboven zijn afgebeeld zijn de DSC-waarden: Asdonk 2.2 cm, Ulen 11.9 cm en Mestrom 2.16 cm. De waarde voor Ulen is erg hoog en dit kan verklaard worden door het feit dat het perceel een soort van kom is, met een opstaande rand aan de slootkant.

Het herverdelingsmodel zoekt in een digitaal hoogtemodel de laagste punten op waar vandaan water niet weg kan stromen. Het definieert vervolgens hoe groot en diep de plassen zijn die afwateren naar deze stagnatiepunten. Wanneer een neerslag event wordt gesimuleerd over het hoogtemodel, vullen de plassen zich langzaam op, waarbij kleine plassen kunnen samensmelten tot grotere plassen en water via achtereenvolgende plassen in de sloot kan stromen. Uiteindelijk wordt een stationaire situatie bereikt, waarin alle plassen maximaal gevuld zijn en alle neerslag via verschillende stroomroutes naar de sloot wordt afgevoerd.



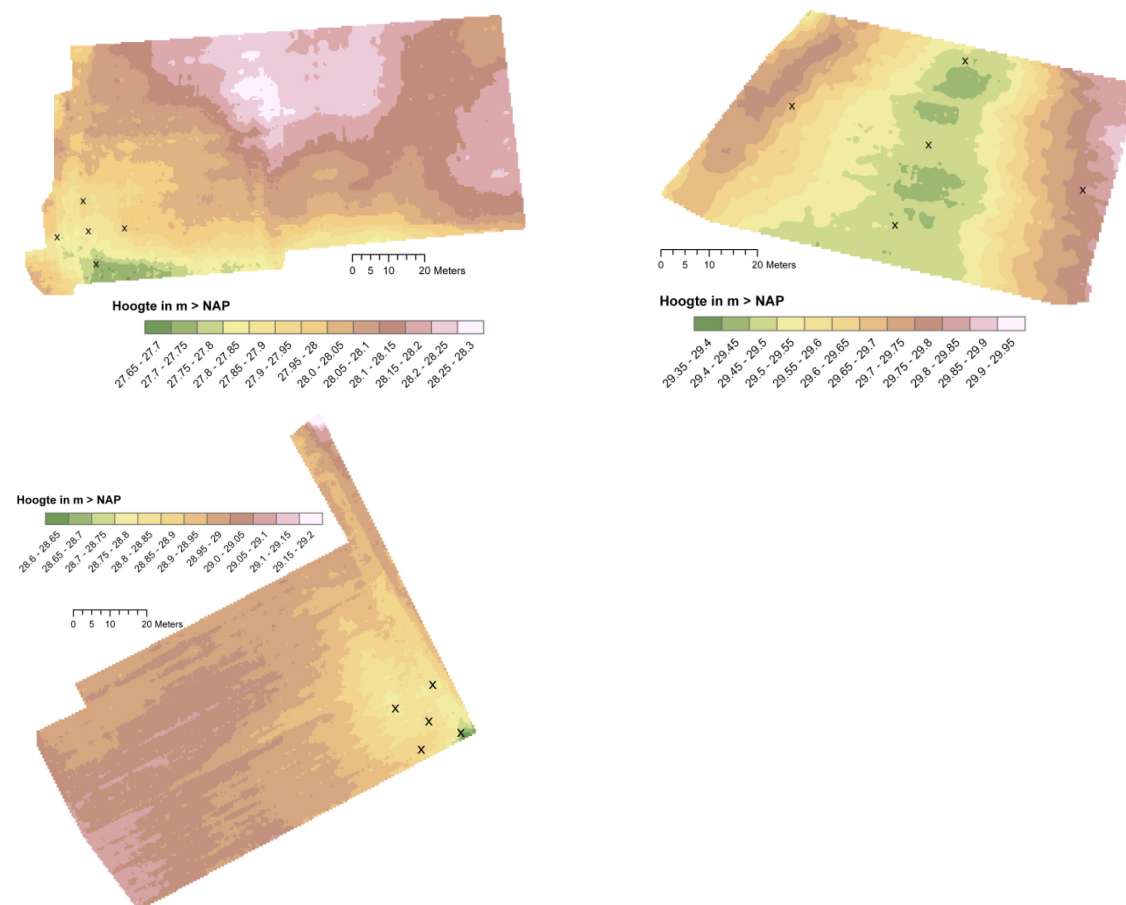
Figuur 14

Locatie en diepte van plassen na 2.5 mm neerslag (links) en 10 mm neerslag of meer (rechts) op basis van figuur 13.

4.5.2 Infiltratiesnelheid

Om een indruk te krijgen van de infiltratiesnelheid van de geselecteerde proeflocaties zijn op vijf plekken per perceel metingen verricht (figuur 15). Omdat het maar om een klein aantal meetplekken gaat is niet geloot, maar zijn twee raaien in kruisvorm uitgezet. De meetpunten bij Asdonk en Mestrom liggen ongeveer 10 m uit

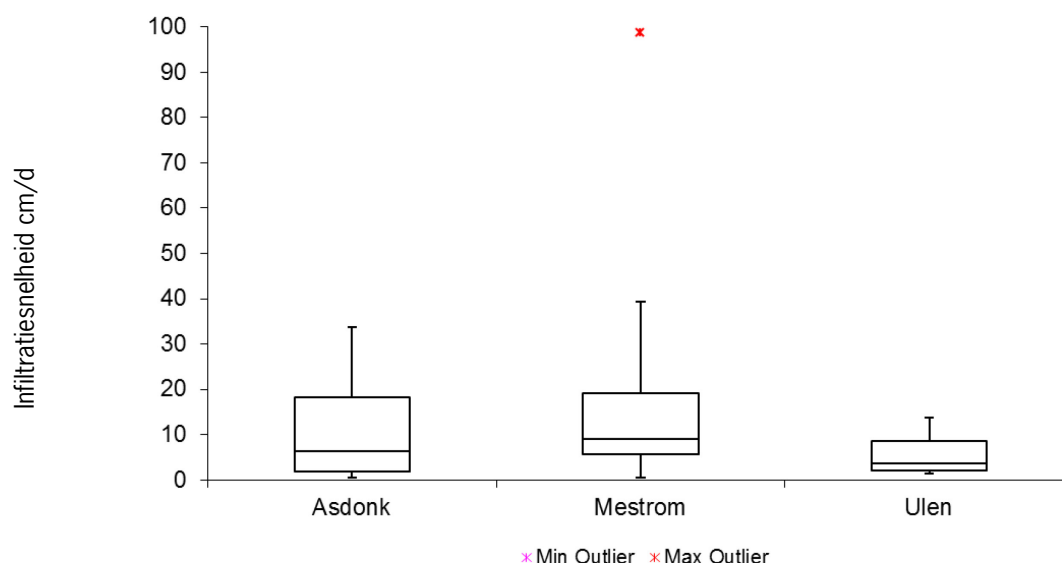
elkaar op de laagste delen waar de oppervlakkige afvoer is gemeten. Bij Ulen zijn twee punten wat verder richting de hoge randen gelegd om te onderzoeken of er een verschil in infiltratiesnelheid is tussen de hoge en lage delen.



Figuur 15

Geselecteerde meetlocaties (x) voor infiltratiemetingen Asdonk (linksboven), Ulen (rechtsboven) en Mestrom (linksonder), zie ook bijlage 5.

Een uitgebreide beschrijving van de resultaten van de infiltratiemetingen is weergegeven in bijlage 6. De afgeleide k-waarden zijn weergegeven als boxplots in figuur 16 en tabel 9.



Figuur 16

Boxplots van gemeten infiltratiesnelheden op drie locaties in Noord-Limburg.

Tabel 9

Statistische gegevens van de metingen van de infiltratiesnelheden in cm/d op drie locaties in Noord-Limburg.

Labels	Asdonk	Mestrom	Ulen
Counts	10	10	8
Min	0.60	0.46	1.34
Q ₁	1.89	5.57	2.03
Median	6.3	9.09	3.6
Q ₃	18.33	19.08	8.63
Max	33.8	98.7	13.8
IKA (Q ₃ -Q ₁)	16.43	13.50	6.60
Gemiddeld	11.0	19.7	5.9
Upper Outliers	0	1	0

Uit de metingen blijkt dat de mediaan van de infiltratiesnelheid ligt tussen de 3,6-9 cm/d (tabel 9), dit is 1,5-3.75 mm/uur. Verder zien we dat de waarden variëren in grootte van 0,46 - 98,7 cm/d.

Wierda (1990) merkt op dat het meten van het infiltratiegedrag van bodems met de ringinfiltrometer veel moeilijkheden oplevert bij de interpretatie van de resultaten. De infiltratiecapaciteit van landbouwpercelen is zeer variabel en hangt voornamelijk af van de groundbewerking en veel minder van bodemfactoren (Wierda, 1990). Door Wierda (1990) zijn metingen gedaan met een regensimulator in het gebied Drentse Aa. Hij heeft 127 metingen gedaan in de zomer van 1989. Het zwaartepunt van alle meetdata geeft een k_{sat} van 60 cm/d. Tussen beide onderzoeken zijn er verschillen qua methode (ringinfiltrometer versus regensimulator), gebied (Noord-Limburg en Drentse Aa) en periode (voorjaar en zomer). Daarnaast zijn de metingen in Limburg gedaan binnen de plekken waar de plassen worden gevormd. Bovendien zijn er ook nog verschillen in 1) tijd tussen de laatste bodembewerking en de infiltratiemetingen en 2) de hoogte van de grondwaterspiegel bij de metingen.

De metingen van Wierda zijn gedaan tussen april en oktober, maximaal drie maanden na bewerking, de metingen in Limburg zijn aan het eind van de winter (maart 2010) vlak voor de voorjaarsbewerking gedaan, minimaal vier maanden na de oogst en na een periode met afspoeling van water over het maaiveld die op alle percelen verplaatsing en herverdeling van sediment heeft veroorzaakt. Ook kan niet op alle meetpunten worden voldaan aan de veronderstelling dat het grondwater diep zit, zodat het infiltratiefront vrij, dus alleen onder invloed van de zwaartekracht, kan zakken. Vooral op het perceel van Mestrom leidt dit tot duidelijke verschillen in de uiteindelijke infiltratiesnelheid. Als we ondanks deze verschillen de gevonden waarden in Limburg vergelijken met de bevindingen van Wierda, dan zijn de metingen in Limburg een factor 6-16 lager dan de berekende k_{sat} waarden voor Drentse Aa. De lagere waarden in Limburg kunnen als volgt worden verklaard:

- Diepte grondwaterstand, door de ondiepe grondwaterstand is er geen sprake van vrije infiltratie.
- Grondbewerking op de percelen van Ulen en Mestrom, deze heeft bijna een jaar geleden plaats gevonden, sindsdien is het maaiveld nagezakt en verslemt.
- Verdichting zode en betreding, perceel Asdonk is een beweide perceel.

In tabel 10 staan enkele waarden voor de k_{sat} ontleend aan de Staringreeks (Wösten et al., 2001). De k_{sat} waarden uit de Staringreeks zijn duidelijk hoger dan de gemeten infiltratiesnelheden. Metingen aan dekzandmonsters geven waarden in de orde van 50-150 cm/d (persoonlijke mededeling Massop). Bij Asdonk is de bouwsteen van de eerste bodemlaag onder maaiveld een B2, bij Ulen en Mestrom is het een B3.

Tabel 10

Enkele gegevens over bovengronden volgens Wösten et al. (2001).

Bovengrond-code	Omschrijving	k_{sat} cm/d	Poriëngehalte (θ_s) -
B1	leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand	23,41	0,43
B2	zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	12,52	0,42
B3	sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	15,42	0,46
B4	Zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	29,22	0,46
B5	grof zand	52,91	0,36
B6	keileen	100,69	0,38

De gedane metingen aan de infiltratiesnelheid kunnen als indicatief worden beschouwd. Ze zijn lager dan de verwachte k_{sat} . Er zijn geen duidelijke aanwijzingen gevonden in verschil in infiltratiesnelheid tussen de hoge en lage delen bij Ulen.



Figuur 17

Detailschets van de meetlocaties (zie figuren 14 en 15) Mestrom (links), Asdonk (midden) en Ulen (rechts).

Bij de metingen is de grondwaterstand op de vijf meetpunten op het perceel van Mestrom opgenomen (figuur 17 en tabel 11). Duidelijk is dat de grondwaterstand opbult vanaf de beide sloten, waardoor MS1 de hoogste grondwaterstand heeft. Op meetpunt MS5 ligt het maaiveld wat lager dan op de punten MS2 en MS4 en is de afstand van grondwaterspiegel tot maaiveld ook wat kleiner. De infiltratiesnelheden nemen toe van MS1 via MS3 naar MS2, MS4 en MS5. In bijlage 6 is ook te zien dat alleen de metingen van de laatste drie punten de vorm van functie 3 volgen. Op meetpunt MS3 werd de infiltratie ook nog gehinderd door de aanwezigheid van een heel dun laagje fijn afgezet materiaal op de bodem (zie figuur 18). We kunnen echter de effecten van nabije grondwaterspiegel en sedimentlaagje niet uit elkaar halen.

Tabel 11

Diepte grondwaterstand tijdens infiltratiemetingen en afstand meetlocaties tot dichtstbijzijnde waterloop.

Meetlocatie	Grondwaterstand in cm -mv			Afstand tot de sloot in m		
	Asdonk	Mestrom	Ulen	Asdonk	Mestrom	Ulen
1	(30 cm op 1 locatie)	14	93	21	28	10
2		50	25	4	3	30
3		27	17	19	18	19
4		50	27	34	32	9
5		42	59	18	5	17



Figuur 18

Sliblaag nabij meetpunt MS3.

Op het perceel van Asdonk is het grondwater maar op één punt gemeten, die stand was 30 cm -mv. Wanneer we de meetpunten hier sorteren op volgorde van aflopende infiltratiesnelheid wordt het rijtje (figuur 17):

AS5 → AS4 → AS3 → AS1 → AS2.

Op dit perceel is de infiltratiesnelheid dus hoger naarmate het punt zich op een grotere afstand van de sloot bevindt. Dit kan een gevolg zijn van het feit dat het maaiveld op dit perceel opbult vanaf de sloot. Daardoor ligt de grondwaterspiegel hier waarschijnlijk dieper dan in de buurt van de sloot.

Op het perceel van Ulen zijn eveneens de grondwaterstanden ten tijde van de metingen opgenomen (figuur 17 en tabel 11). Ten opzichte van maaiveld zijn er hier behoorlijke verschillen qua diepte van de grondwaterspiegel, zelfs als we corrigeren voor de hoogte van het maaiveld zit het grondwater bij meetpunt UL1 beduidend dieper dan bij de andere meetpunten, maar is er verder geen sprake van een opbolling volgens

het boekje zoals op het perceel van Mestrom. Een mogelijke verklaring voor dit patroon is dat op de laagste plek van het perceel (UL3) regenwater infiltreert dat in eerste instantie is afgespoeld van iets hogere plekken, waardoor deze plek langer natter blijft en de grondwaterspiegel er hoger en dichter bij het maaiveld ligt dan op bijv. UL2. De infiltratiesnelheden volgen niet duidelijk het verloop van de grondwaterspiegel. Punt UL2, UL3, UL4 hebben zoals te verwachten is op basis van de grondwaterstand lage infiltratiesnelheden, maar punt UL1 ook, terwijl daar het grondwater het diepst zit. Een mogelijke verklaring is de aanwezigheid van storende lagen, deze worden in de ondergrond bij UL1 aangetroffen (bijlage 7).

Uit de beschrijving van de metingen volgt dat voor een groot deel van de metingen de infiltratiesnelheid niet gelijk aan K_s mag worden gesteld, omdat er geen sprake was van vrije infiltratie bij verzadiging. In het groeiseizoen komen diepere grondwaterstanden voor en is er meestal sprake van vrije infiltratie bij verzadiging waardoor meer water kan infiltreren dan tijdens de infiltratiemetingen is gemeten. Hierdoor neemt de kans op oppervlakkige afspoelingsevents in de zomer af.

4.5.3 Bodemprofiel

De beschrijving van de bodemopbouw is weergegeven in bijlage 7. Uit de booromschrijvingen blijkt dat er ook stagnerende lagen in de ondergrond (> 30 cm - mv.) worden aangetroffen. Zoals broekveen bij Asdonk, bij Ulen worden in de booromschrijving termen gebruikt als stug, compact, storend, gelaagd en ploegzool en bij Mestrom worden termen gebruikt als storende laag, ploegzool, heterogeen, leemlaagje, gelaagd, compact, 'venbodem?'. Deze omschrijvingen duiden erop dat ook dieper in het profiel storende lagen aanwezig kunnen zijn die de verticale waterstroming belemmeren.

4.5.4 Bodemchemie

In tabel 12 zijn de resultaten van de bemonstering van de twee bouwlandpercelen weergegeven. Ook is het Pw getal gegeven (mg P_2O_5 per liter grond) en de omrekening naar de fosfaatverzadigingsgraad (FVG), engelse term PSI (Phosphorus Saturation Index).

$$PSI = \frac{P_{ox}}{0.5(Fe_{ox} + Al_{ox})} \quad (5)$$

P_{ox} , Fe_{ox} en Al_{ox} is het gehalte aan P, Fe en Al in een oxalaat-extract (mmol/kg).

Tabel 12

Resultaten bemonstering bouwvoor (0-30 cm diepte) van de bouwlandpercelen.

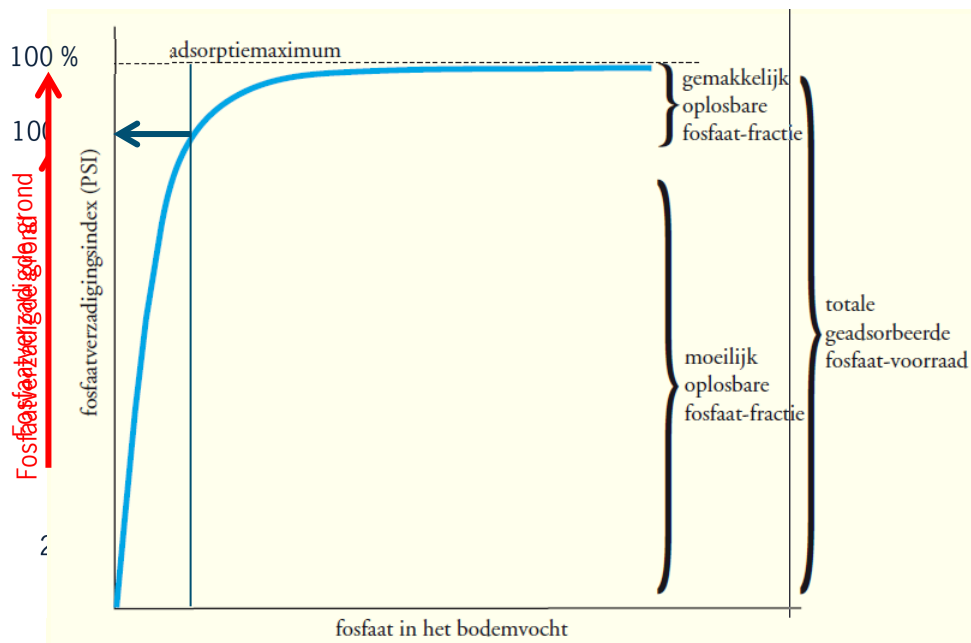
Locatie M=Mestrom U=Ulen	N _{tot}	P _{tot}	N- NH4	N- (NO3+ NO2)	Al ¹⁾	Fe ¹⁾	P ¹⁾	PSI	Pw getal	Vocht gehalte
	[g/kg]	[mg/kg]						-	[mg P ₂ O ₅ /L grond]	[% stoof- droog]
M buiten.1 ²	0.91	569	0.5	0.72	831	314	504	0.89	92	21.6
M buiten.2	0.80	548	0.2	0.81	849	302	508	0.89	83	21.9
M buiten.3	0.82	575	0.3	0.56	856	306	516	0.90	82	21.5
M binnen.1 ²	0.81	571	0.2	0.61	1047	334	624	0.90	105	20.7
M binnen.2	0.95	679	0.2	0.63	1147	348	678	0.90	102	20.6
M binnen.3	0.74	590	0.2	0.74	1123	344	632	0.85	95	20.5
U buiten.1	1.84	845	0.4	2.04	2276	530	827	0.57	63	30.2
U buiten.2	1.81	803	0.4	1.72	2239	532	801	0.56	65	29.0
U buiten.3	2.20	814	0.7	1.91	2243	534	825	0.57	63	31.1
U binnen.1	1.86	826	1.6	1.36	2358	568	892	0.59	72	34.4
U binnen.2	1.84	824	1.4	2.12	2434	598	900	0.58	67	34.1
U binnen.3	2.05	930	1.8	1.02	2340	560	829	0.55	58	33.4

1) Gemeten in ammoniumoxalaat oxaalzuur extract, is omgerekend naar mmol/kg voor de berekening van PSI.

2) Per locatie zijn twee strata onderscheiden, nl. gebied dat relatief snel volloopt en oppervlakkig afstroomt (binnen) en een gebied er omheen dat minder snel tot afstroming komt (buiten).

Pw-waarden groter dan 60 worden bij waardering van de fosfaattoestand van de bouwvoor als hoog beschouwd (www.bemestingsadvies.nl). De Pw-getallen binnen de natte plek zijn voor Mestrom (M) hoger dan daarbuiten, voor Ulen (U) is dit in mindere mate het geval (tabel 12). In natte plekken is de aanvoer van zuurstof beperkt, waardoor de redoxpotentiaal zal gaan dalen. Hierbij wordt Fe(III) gereduceerd tot Fe(II). Fosfaat wordt hierdoor minder sterk gebonden en zal zich gaan herverdelen in de bodem. Bij de meting kan dit tot uiting komen in een hoger Pw-getal.

De fosfaatverzadigingsindex is een goede maat om gronden op te sporen met een te hoge fosfaatverzadiging, waar het risico bestaat dat teveel fosfaat uitspoelt. Het verband tussen de PSI en het fosfaat in het bodemvocht is in hoge mate niet lineair (figuur 19). Het verticale deel van de grafiek geeft een toestand weer waarbij fosfaat nog relatief sterk gebonden wordt en de concentraties relatief laag zijn ten opzichte van de geadsorbeerde hoeveelheid. In het horizontale deel wordt de maximale PSI bereikt en neemt het fosfaatgehalte in het bodemvocht en plassen aan maaiveld sterk toe, met andere woorden de bodem is fosfaatverzadigd.



Figuur 19

Het verband tussen fosfaat in het bodemvocht en de fosfaatverzadigingsindex (PSI) naar Giesen en Geurts (2007).

Volgens de definitie heeft een fosfaatverzadigde kalkarme zandgrond een $PSI > 25\%$ (Zee et al., 1990). De grond is dus nog niet volledig met fosfaat verzadigd zoals de naam 'fosfaatverzadigde grond' suggereert, maar de concentraties in het uitspoelende water zullen een kritische waarde ($0,10 \text{ mgL}^{-1}$) overschrijden. Bij een fosfaatverzadigingsgraad van meer dan 25% is er dus een verhoogd risico op het overschrijden van de grenswaarde. Ook voor andere gronden is op vergelijkbare manier nagegaan wat de maximale fosfaatverzadigingsgraad mag zijn. In kalkrijke gronden en veengronden ligt dit percentage lager (Schoumans et al., 2008). Uitgaande van het criterium van 25% betekent dat op de bemonsterde locaties de bouwvoor fosfaatverzadigd was, hierbij was de fosfaatverzadiging bij Mestrom groter dan bij Ulen, resp. 90 en 57% (tabel 12). De hogere Pw-getallen bij Mestrom zijn hiermee in overeenstemming. We zien geen duidelijke verschillen in fosfaatverzadiging binnen de natte plek en daarbuiten. Resultante van de fosfaatverzadiging is een hoge fosfaatconcentratie in het bodemvocht en in de plassen.

Voor de beoordeling van grasland wordt het PAL-getal gehanteerd ($\text{mg P}_2\text{O}_5$ per 100 gram grond). Het PAL-getal is een maat voor het beschikbaar deel van het bodemfosfaat in grasland. Een PAL-getal voor zandgronden van 21-26 wordt als vrij laag en een getal tussen de 27-35 als voldoende beoordeeld (Schoumans et al., 2008). Uit de resultaten voor de monsterplekken (tabel 13) blijkt dat binnen de natte plek het PAL-getal als voldoende wordt beoordeeld en buiten de natte plek als vrij laag.

Tabel 13

Resultaten bemonstering bouwvoor (0-10 cm diepte) op graslandperceel.

Locatie A = Asdonk	N _{tot}	P _{tot}	N- NH ₄	N- (NO ₃ +NO ₂)	Al	Fe	P	PAL getal	vocht	PSI
nr.	[g/kg]	[mg/kg]						mg P ₂ O ₅ per 100 gram grond	[% stoof- droog]	
A binnen ¹	1.9	540	1.0	2.9	855	446	477	35.2	27.0	0.78
A binnen	2.4	595	1.5	4.2	891	483	469	29.8	27.2	0.73
A binnen	2.0	519	0.8	3.4	869	439	469	31.7	25.9	0.76
A buiten ¹	2.0	419	1.3	4.6	987	547	402	21.5	23.8	0.56
A buiten	2.4	541	1.2	4.7	789	383	345	25.2	23.1	0.62
A buiten	2.1	486	1.5	4.2	972	515	431	22.6	23.9	0.62

¹⁾ Per locatie zijn twee strata onderscheiden, nl. een gebied dat relatief snel volloopt en oppervlakkig afstroomt (binnen) en een gebied er omheen dat minder snel tot afstroming komt (buiten).

Ook de meetlocatie bij Asdonk (tabel 13) is volgens de definitie fosfaatverzaagd, waarbij er een duidelijk onderscheid is tussen de natte plek en de plekken daarbuiten. De natte plek is gesitueerd bij de ingang van het perceel, op deze plek zal in verhouding met de rest van het perceel vaker vee aanwezig zijn, dit leidt tot meer vertrapping, meer mest en een lagere grasopbrengst. In vergelijking met de rest van het perceel is op deze plek een groter P-overschot en daarmee een hoge P-toestand. Daarnaast kan een lage redoxpotential mede een belangrijke reden zijn voor de hogere P_w en PAL cijfers. Het ijzergehalte is op de drie locaties vrij laag (tabel 12 en tabel 13), waardoor mogelijk de redoxpotential minder sterk daalt en daardoor mogelijk een minder dominante factor is.

4.6 Neerslaggegevens

4.6.1 Dagneerslag KNMI-station Heibloem

Deze zijn voor de jaren 2007 t/m medio november 2011 bewerkt, grotendeels overeenkomend met de periode van onderzoek. Als eerste stap zijn voor de data dat oppervlakkige afspoeling is vastgesteld tijdens de wekelijkse bezoeken, de volgende gegevens verzameld:

- de maximale dagneerslag van de voorgaande zeven dagen,
- de som van neerslagoverschot (N-Er) over de voorgaande zeven dagen.

Deze gegevens zijn geclassificeerd naar het aantal locaties waar gedurende de beschouwde periode runoff optrad (tabel 14).

Tabel 14

Maximale dagneerslag en weeksom neerslagoverschot voorafgaand aan een afspoelingsgebeurtenis. Neerslag Heibloem en verdamping Eindhoven.

Aantal locaties	Oppervlakkige afspoeling	Maximale dagneerslag in voorgaande zeven dagen			Som van het neerslagoverschot over zeven dagen(N-Er)		
		Mean	Median	STDEV	Mean	Median	STDEV
		mm	mm	mm	mm	mm	mm
3	18	13,0	8,6	13,8	18,2	15,8	21,4
2	8	5,5	6,4	3,1	11,1	11,1	6,0
1	10	9,8	3,3	12,3	17,7	7,1	23,9
Gecorrigeerd voor vorstperiode							
3	14	13,8	8,6	15,6	20,0	20,6	23,6
2	8	5,5	6,4	3,1	11,1	11,1	6,0
1	9	10,7	3,5	12,7	18,8	7,0	25,0

Omdat voorafgaande aan enkele afspoelingsevents vorst is voorgekomen zijn berekeningen uitgevoerd voor alle meetdata en voor een subset van de meetdata waarbij de meetdata met vorst in de voorgaande periode zijn verwijderd (bijlage 12). Uit de mediane waarden in tabel 14 blijkt zoals ook verwacht mag worden dat naarmate de maximale dagneerslagen of neerslagoverschotten groter zijn er op meer locaties tegelijk runoff optreedt.

Om inzicht te krijgen in het voorkomen van hoge dagneerslagen is het aantal dagen weergegeven waarin de neerslag groter is dan resp. 5, 8 en 10 mm/d in de tabellen 1 t/m 3 in bijlage 8. De gegevens voor het voorjaar, de periode met de grootste kans op oppervlakkige afspoeling, zijn samengevat in tabel 15.

Tabel 15

Aantal dagen per maand met grote neerslaghoeveelheden in de periode 2007-2011 voor station Heibloem.

Maand	Aantal dagen met neerslag		
	➤ 5 mm	➤ 8 mm	➤ 10 mm
Januari	3.3	1.5	0.5
Februari	3.5	2.0	1.5
Maart	4.8	1.8	0.8
Totaal	11.6	5.3	2.8

Uit tabel 3 is afgeleid dat gemiddeld 5-9 runoff events per jaar plaatsvinden, voornamelijk in de periode januari tot en met maart. Een dagneerslag van ≤ 8 mm komt ongeveer even vaak voor ($\geq 5,3$ dagen in dezelfde periode) en is mogelijk een indicator voor het optreden van oppervlakkige afspoeling.

4.6.2 Uurneerslag KNMI-station Eil

De cijfers over de periode 1-1-2007 t/m 16-11-2011 zijn nader geanalyseerd. De reeksen van het neerslagstation vertonen enkele korte hiaten. Overschrijding van de infiltratiecapaciteit kan optreden als de

neerslagintensiteit groter is dan de infiltratiesnelheid. Grote buien in korte tijd kunnen aanleiding geven tot overschrijding van de infiltratiecapaciteit. Per dag is het uur met de maximale neerslag bepaald. Vervolgens zijn deze maximale uurneerslagen per jaar gesorteerd, en geassocieerd naar intensiteit en naar periode winter (dagnr. 1 t/m 90), groeiseizoen (dagnr. 91 t/m 273) en najaar (dagnr. 274 t/m 365). De resultaten zijn weergegeven in tabel 16.

Tabel 16

Aantal dagen met een bepaalde uurneerslag, gebaseerd op de maximale uurneerslag, in mm/h voor de periode 2007-2011.

Uurneerslag	Aantal	Totaal		
		Winter	Groeiseizoen	Najaar
mm/uur				
> 10	12 ¹	0	11	1
7,5-10	8	2	6	0
5-7,5	34	3	30	1
3-5	86	12	62	13
2-3	97	36	46	15

¹ 12 betekent dat in de periode 2007-2011 twaalf dagen voorkomen met daarin een uur met een neerslag > 10 mm/uur.

Uit tabel 16 blijkt dat de grootste neerslagintensiteiten in het groeiseizoen voorkomen, verder is er weinig verschil tussen winter en najaar. Buien in de categorie 2-3 mm/h komen opvallend veel voor in de winter.

Op dezelfde manier als voor tabel 16 zijn in tabel 17 de dagneerslagen bewerkt.

Tabel 17

Aantal dagen met een bepaalde dagneerslag voor de periode 2007-2011.

Dagneerslag	Aantal	Totaal		
		Winter	Groeiseizoen	Najaar
mm/d				
> 20	15 ¹	1	11	3
15-20	16	3	11	2
10-15	54	14	30	10
7,5-10	39	12	18	9
5-7,5	84	25	42	17

¹ 15 betekent dat in de periode 2007-2011 vijftien dagen voorkomen met een dagneerslag > 20 mm

Ook als we de dagneerslagen beschouwen blijkt dat de grootste dagsommen (> 15 mm/d) in het groeiseizoen voorkomen. Buien in de categorie 5 t/m 10 mm/d komen opvallend veel voor in de winter.

Omdat metingen wekelijks zijn uitgevoerd zijn de voortschrijdende zevendaagse neerslagsommen bepaald, uit deze reeks is per week het maximum van de voortschrijdende zevendaagse neerslagsommen bepaald en op overeenkomstige manier bewerkt als voor tabel 16 en 17.

Tabel 18

Aantal zevendaagse perioden met een bepaalde neerslagintensiteit voor de periode 2007-2011.

Voortschrijdende zevendaagse neerslagsom	Aantal	Totaal		
		Winter	Groeiseizoen	Najaar
mm/7 dagen				
> 40	31 ¹	2	20	9
30-40	33	11	15	7
20-30	53	17	27	8
15-20	30	7	15	8
10-15	35	8	15	12

¹ 31 betekent dat in de periode 2007-2011 31 weken voorkomen met daarbinnen een voortschrijdende zevendaagse neerslagsom > 40 mm, elke week telt maximaal eenmaal mee.

Uit tabel 18 blijkt dat hoge zevendaagse neerslagen (> 40 mm) vooral in het groeiseizoen en het najaar voorkomen, terwijl zevendaagse neerslagen in de categorie 20-30 vaker voorkomen in het winter. Zevendaagse neerslagen kleiner dan 20 mm lijken niet opvallend vaak in een bepaald seizoen op te treden.

Naast de hoeveelheid kan ook gekeken worden naar de neerslagduur (tabel 19).

Tabel 19

Uren neerslag per week voor de periode 2007-2011.

Voortschrijdende zevendaagse neerslagduur	Aantal	Totaal		
		Winter	Groeiseizoen	Najaar
uren/7 dagen				
> 40	14 ¹	5	0	8
30-40	37	16	10	11
20-30	50	18	17	15
15-20	40	8	25	7
10-15	45	5	33	7

¹ 14 betekent dat in de periode 2007-2011 veertien weken voorkomen met daarbinnen een voortschrijdende zevendaagse neerslagduur > 40 uur, elke week telt maximaal eenmaal mee.

Uit tabel 19 blijkt dat langdurige regenperioden binnen een zevendaagse periode (> 20 uur) vooral voorkomen in de winter en het najaar, het groeiseizoen scoort duidelijk lager.

In bijlage 9 zijn enkele meteogegevens gecombineerd met afspoelingsgebeurtenissen. Oppervlakkige afspoeling vond niet altijd gelijktijdig op alle drie locaties plaats, soms was dit één soms twee en soms op alle drie locaties (paragraaf 4.1). In tabel 20 zijn deze gegevens gegroepeerd naar het aantal locaties waar gelijktijdig oppervlakkige afspoeling plaatsvond en vervolgens zijn deze gegevens gemiddeld.

Tabel 20

Meteogegevens gegroepeerd naar aantal afspoelingsgebeurtenissen.

Aantal locaties met runoff	Totale neerslagduur in voorgaande zeven dagen	Totale neerslagsom in de voorgaande zeven dagen	Maximale urneerslag in de voorgaande zeven dagen	Maximale 7-daagse voortschrijdende neerslagsom over de afgelopen zeven dagen
	uren	mm	mm	mm
1	14.9	12.1	2.7	27.4
2	17.9	13.6	2.5	23.0
3	23.0	18.9	3.2	25.7

Uit tabel 20 blijkt een positieve correlatie tussen enerzijds het aantal locaties met oppervlakkige afspoeling en anderzijds de neerslagduur en ook de gesommeerde zevendaagse neerslag. Voor de maximale urneerslag lijkt de correlatie minder sterk.

In bijlage 10 zijn frequentietabellen gegeven van overschrijding van de urneerslagen van 2,0; 2,5; 3,0 en 3,5 mm/uur voor de periode 2007-2011. Deze gegevens zijn vervolgens geclassificeerd naar voorjaar, zomer en najaar (tabel 21).

Tabel 21

Gemiddelde overschrijdingsduur van urneerslagen in de periode 2007-2011 voor station Ell per seizoen.

Periode	Overschrijdingsduur in uren van neerslag van			
	2,0 mm/uur	2,5 mm/uur	3,0 mm/uur	3,5 mm/uur
Winter	13,2	7,4	3,4	2,0
Groeiseizoen	45,7	36,5	28,3	22,1
Najaar	15,5	10,3	7,1	5,1
Jaar	74,4	54,2	38,8	29,2

De mediane waarde van de gemeten infiltratiesnelheid op de drie locaties bedraagt respectievelijk 2,6; 3,8 en 1,5 mm/uur. Het aantal malen dat runoff is geconstateerd bedraagt resp. 8,8; 7,5 en 4,8. Deze waarden voor Asdonk en Mestrom komen goed overeen met de frequentie van urneerslagen groter of gelijk aan 2,5 mm/uur met een overschrijdingsfrequentie in de winter van 7,4 uren. Voor Ulen zouden op basis van de gemeten infiltratiesnelheid en in vergelijking met de andere locaties meer afspoelings-events worden verwacht.

In het groeiseizoen komen vaker hoger neerslagintensiteiten voor dan in de winterperiode, dat er in de zomerperiode geen afstromingevents zijn gemeten wordt veroorzaakt door de grotere infiltratiecapaciteit. Als gevolg van diepere grondwaterstanden is er sprake van vrije infiltratie waardoor meer water kan infiltreren dan tijdens de infiltratiemetingen is gemeten.

4.6.3 Neerslagmetingen bij Asdonk

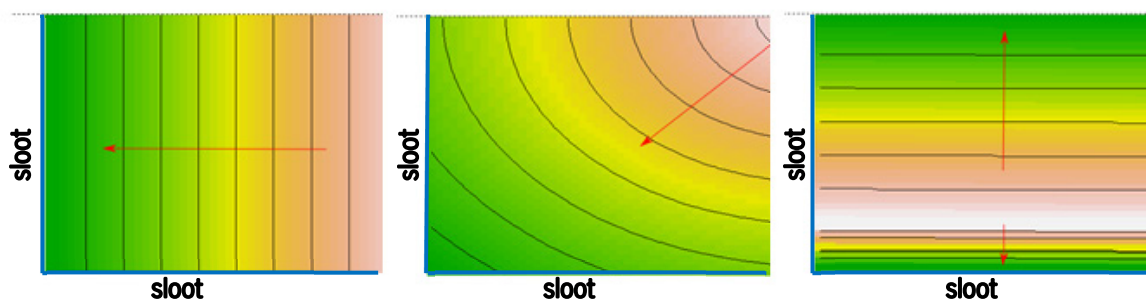
De gemeten neerslag bij Asdonk is omgezet in dagneerslagen en de maximale uurneerslag is ook bepaald. In bijlage B11.1 zijn de afgeleide maandneerslagen voor Asdonk vergeleken met Ell. De maandhoeveelheden vertonen soms behoorlijke verschillen. In bijlage 11 tabel B11.1 is de neerslagsom en de maximale uurneerslag in de week voorafgaande aan een oppervlakkige afstromingsgebeurtenis weergegeven. Opvallend is dat er een aantal data voorkomen waarop geen neerslag is gemeten, terwijl toch oppervlakkige afstroming is gemeten, op deze data is wel neerslag gemeten te Ell, bijlage 10 tabel B10.6. Door deze opvallende verschillen tussen Asdonk en Ell worden geen verdere conclusies getrokken uit de neerslagwaarnemingen bij Asdonk. In tabel B11.2 zijn nog wel de gemiddelde waarden voor de neerslagsom en maximale uurneerslag in de voorgaande week, bij respectievelijk één, twee en drie gelijktijdig optredende oppervlakkige afspoelingsgebeurtenissen, weergegeven.

5 Discussie

5.1 Extrapolatie van plot naar veld

De resultaten van de infiltratiemetingen en de momenten van optreden van oppervlakkige afstroming in het jaar geven aan dat verzadiging van een perceel of delen ervan de belangrijkste voorwaarden zijn voor het ontstaan van oppervlakkige afstroming op deze percelen. Om in te kunnen schatten hoe dat gebeurt is inzicht nodig in de interacties tussen grondwaterbeweging en de vorming van plassen in het meso- (1-10 m) en microreliëf (< 1 m) van het maaiveld.

Op basis van percelen kunnen we een aantal archetypes maaiveld (figuur 20) maken en daarmee gaan rekenen.



Figuur 20

Conceptuele weergave van drie verschillende typen mesoreliëf met symmetrieassen (gestippeld) en globale afstroomrichting (rode pijlen). Van links naar rechts: perceel met rechte helling, bol perceel, hol perceel. Er ligt een sloot aan de linker- en onderkant van ieder perceel.

Op deze typen mesoreliëf kunnen verschillende typen microreliëf worden gesuperponeerd, variërend van ruimtelijk gestructureerd (zoals de gewasrijen /ploegrichting op het perceel van Mestrom en Ulen) tot random (zoals graspollen bij Asdonk). Wanneer we uitgaan van een bodem die overal even goed infiltreert zonder storende lagen zal plasvorming optreden op de plekken waar maaiveld en grondwater het dichtst bij elkaar in de buurt komen. Op percelen waar het mesoreliëf een flinke helling heeft, zal dat in eerste instantie in de buurt van de sloten zijn. Op holle percelen of percelen waar de helling bescheiden of verwaarloosbaar is, zal dat juist verder van de sloten af zijn.

Vervolgens kan het microreliëf werken als een barrière of juist als geleider voor de omzetting van plassen naar een afstromingsroute. Of dat een brede route is of juist een heel smal geultje hangt ook af van de structuur van het meso- en microreliëf. Zo was de stroming op het vlakke perceel van Mestrom zeer geconcentreerd, terwijl het water bij Ulen (mesoreliëf in komvorm) over een bredere rand de sloot inging. Naast het meso- en microreliëf zijn er natuurlijk nog meer toevallige kenmerken aanwezig in een perceel die effect hebben op de uiteindelijke afstroming, zoals rijsporen. Vooral opstaande perceelsranden en eventuele gaten hierin (bioporiën door macrofauna) bepalen of extra ophoping van water optreedt of overtollig water juist snel wordt afgevoerd. De verschillende combinaties van maaiveldstype, microreliëf, bodemsoort kunnen goed gecombineerd worden om het effect van zekere neerslagcondities op plasvorming en afstroming te onderzoeken. Willekeurige

verschijnselen als bioporiën of gegraven geultjes zijn lastiger in deterministische modellen te vangen, maar kunnen eventueel via statistische analyses worden gesimuleerd.

Om de resulterende fluxen oppervlakkige afstroming te berekenen die in deze gevallen optreden is een model ontwikkeld waarin de stroming over een heterogeen maaiveld gesimuleerd kan worden, gekoppeld aan een 2D grondwatermodel. Momenteel worden verdere berekeningen met dit model uitgevoerd in het kader van een promotieonderzoek.

5.2 Effect klimaatverandering op oppervlakkige afspoeling

Optreden van oppervlakkige afvoerevents is afhankelijk van neerslagintensiteit en duur. Er zijn sterke aanwijzingen dat het klimaat verandert. Deze veranderingen kunnen effect hebben op de frequentie van het optreden van oppervlakkige afstromingsevents en daarmee de kwaliteit van het oppervlaktewater.

Het KNMI voorspelt voor Nederland voor het jaar 2050, de volgende veranderingen in het klimaat (<http://www.knmi.nl/klimaatscenario's/knmi06/samenvatting/index.html>):

- de opwarming zet door, hierdoor komen zachte winters en warme zomers vaker voor;
- de winters worden gemiddeld natter en ook de extreme neerslaghoeveelheden nemen toe;
- de hevigheid van extreme regenbuien in de zomer neemt toe, maar het aantal zomerse regendagen wordt juist minder;
- de berekende veranderingen in het windklimaat zijn klein ten opzichte van de natuurlijke grilligheid;
- de zeespiegel blijft stijgen.

Dat winters natter worden en dat ook extreme neerslaghoeveelheden toenemen betekent dat in de toekomst het aantal afspoelingsevents zal toenemen.

In een KNMI-publicatie (www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/neerslagfrequentie_092007.pdf) zijn voor diverse neerslagduren de herhalingsstijd gegeven, deze zijn afgeleid op basis van de gegevens van het station De Bilt (tabel 22 en 23).

Tabel 22

Herhalingsstijd voor verschillende neerslagduren per jaar, op basis van neerslagstation De Bilt voor de actuele situatie.

Actueel ¹	Minuten				Uren						Etmalen			
	5	15	30	60	2	4	6	8	12	24	2	4	7	10
10 x per jaar	-	3	4	5	7	9	11	12	13	15	19	-	-	-
5 x per jaar	-	4	6	7	10	12	14	15	17	21	26	-	-	-
2 x per jaar	4	7	8	10	13	16	19	20	23	28	35	45	58	68
1 x per jaar	5	9	11	14	17	21	23	24	27	33	41	52	66	80
1 x per 2 jaar	7	11	14	18	21	25	27	29	32	39	48	60	76	91
1 x per 5 jaar	9	15	19	23	26	31	34	36	40	47	58	71	88	105
1 x per 10 jaar	11	18	23	27	31	36	39	41	46	54	65	80	98	114
1 x per 20 jaar	12	21	27	32	36	41	45	47	52	61	73	89	107	124
1 x per 50 jaar	15	26	32	38	42	49	53	56	61	71	84	100	119	135
1 x per 100 jaar	17	29	37	43	48	55	59	62	68	79	92	109	127	143

Hoeveelheid neerslag (in mm) gedurende een gegeven aantal minuten (resp. uren of dagen) met frequentie van overschrijding. Voorbeeld: in een tijdsduur van 24 uur is gemiddeld eens in de twee jaar een neerslaghoeveelheid van minstens 39 mm te verwachten.

In dezelfde publicatie worden ook intervallen voor neerslaghoeveelheden gegeven voor het jaar 2050.

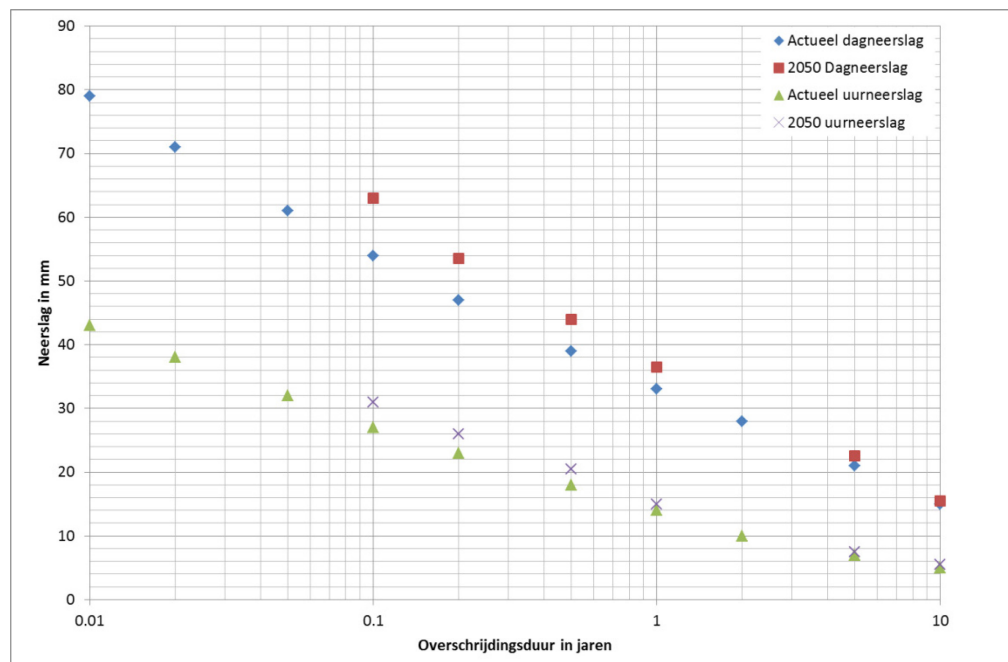
Tabel 23

Herhalingstijd voor verschillende neerslagduren per jaar, op basis van neerslagstation De Bilt voor 2050.

Rond 2050 ²	60 min	120 min	4 uur	8 uur	12 uur	24 uur
10 x per jaar	5-6	7-8	9-10	12-13	13-14	15-16
5 x per jaar	7-8	10-11	12-14	15-17	17-19	21-24
1 x per jaar	14-17	18-20	22-25	25-28	28-32	34-39
1 x 2 per jaar	19-22	22-25	26-30	30-35	33-39	41-47
1 x 5 per jaar	24-28	27-32	32-38	38-44	42-49	49-58
1 x 10 per jaar	28-34	33-39	38-46	43-52	49-59	57-69

² Neerslaghoeveelheden (in mm) voor verschillende frequenties en duren, geldend voor de jaren rond 2050, met het interval tussen de hoogste en laagste hoeveelheid volgens vier KNMI'06 klimaatscenario's.

Uit tabel 22 en 23 kunnen we afleiden dat in de huidige situatie één keer per jaar een dagneerslag van 33 mm wordt overschreden en dat in 2050 één keer per jaar een dagneerslag van 34-39 mm wordt overschreden afhankelijk van het gehanteerde scenario. De maximale urneerslag die eenmaal per jaar in de actuele situatie wordt overschreden bedraagt 14 mm, in 2050 is de maximale urneerslag die eenmaal per jaar wordt overschreden toegenomen naar 14-17 mm afhankelijk van het gehanteerde scenario. In figuur 21 is de overschrijdingsduur voor verschillende dag- en urneerslagintensiteiten weergegeven. 0.01 betekent dat eenmaal per 100 jaar de bijbehorende neerslaghoeveelheid wordt overschreden.



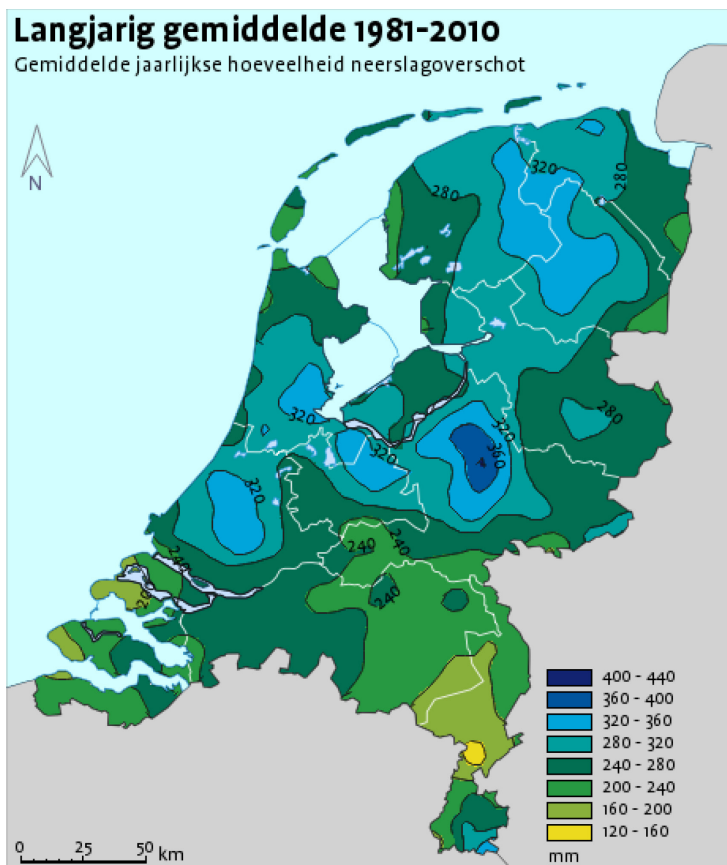
Figuur 21

Overschrijdingsduur in jaren voor dag- en urneerslagen in de actuele situatie en in 2050.

Uit figuur 21 blijkt dat buien boven een bepaalde drempelwaarde vaker zullen voorkomen en ook dat de intensiteit van de buien zal toenemen, dit betekent voor het oppervlaktewater dat het vaker wordt belast met oppervlakkige afspoeling en dat ook de hoeveelheden afspoelingswater gaan toenemen.

5.3 Representativiteit

Uit de klimaatatlas (KNMI, 2011; figuur 22) blijkt dat de meetlocaties in Limburg in een relatief droog deel van Nederland zijn gesitueerd met een jaarlijks neerslagoverschot van 160-200 mm, terwijl het landelijk gemiddelde ca. 300 mm bedraagt.

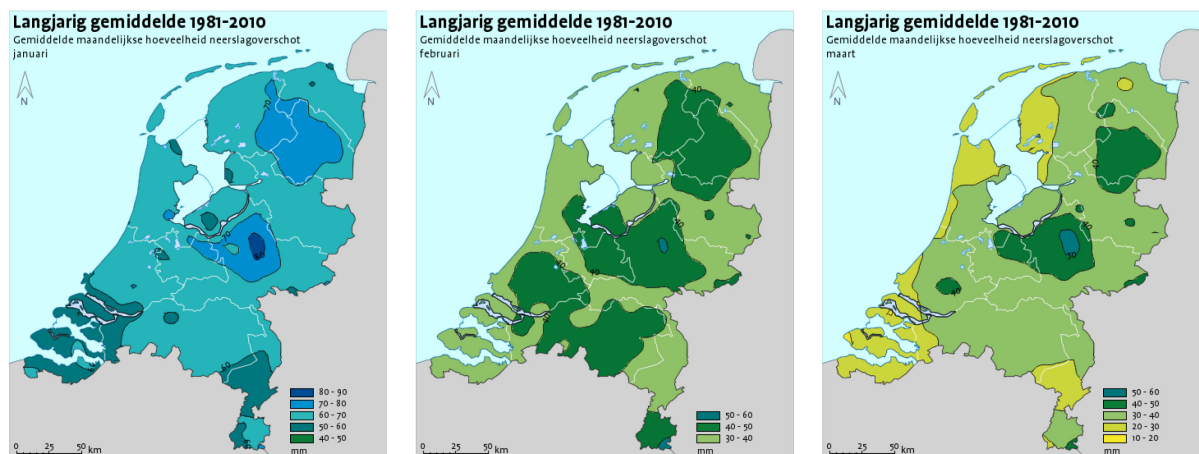


Figuur 22

Gemiddeld jaarlijksneerslagoverschot over de periode 1981-2010 (<http://www.klimaatatlas.nl/>).

De locatie is hiermee niet representatief voor het zandgebied van Nederland. In andere delen van Nederland zullen, als de overige omstandigheden identiek zijn, vaker oppervlakkige afstromingsevents optreden.

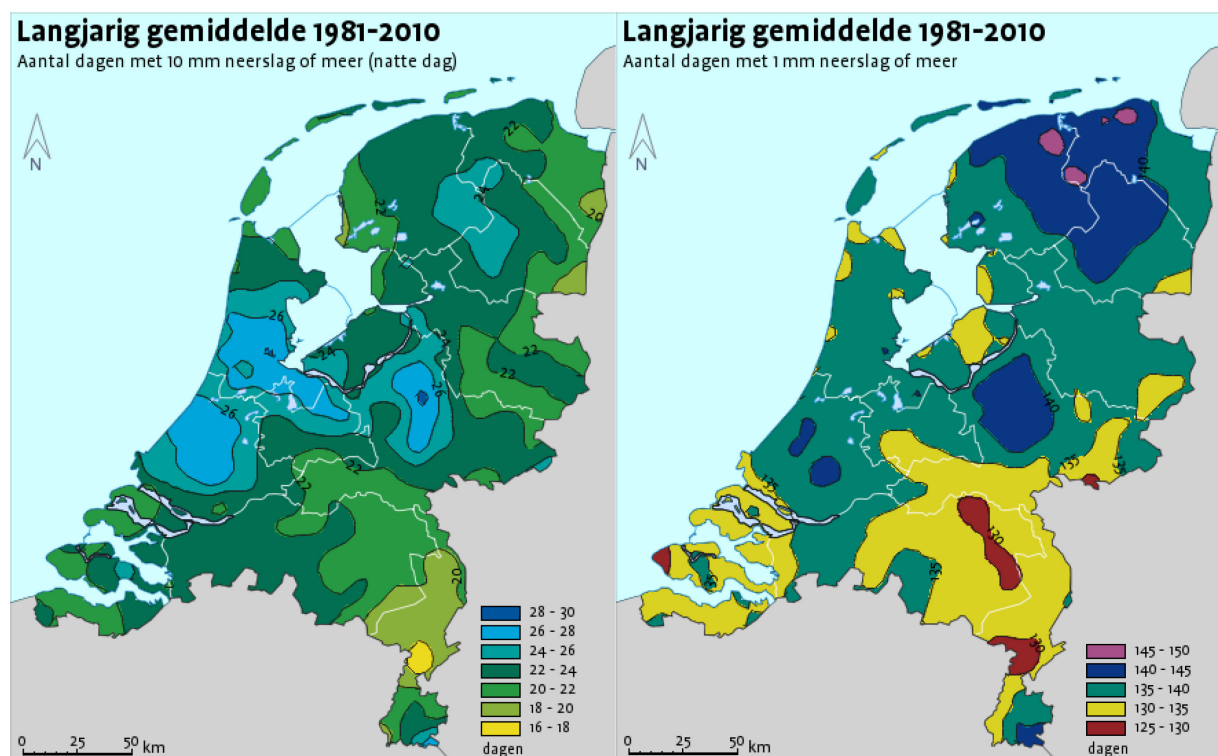
Omdat de meeste oppervlakkige afspoelingsevents in het voorjaar plaatsvinden zijn in figuur 23 de langjarige maandelijkse neerslaggemiddelden voor de eerste drie maanden van het jaar weergegeven.



Figuur 23

Langjarig maandelijks neerslaggemiddelde 1981-2010 voor de maanden januari (links), februari (midden) en maart (rechts) (<http://www.klimaatatlas.nl/>).

Uit figuur 23 blijkt in vergelijking met de rest van Nederland, dat in Noord-Limburg vooral maart droger is, januari is enigszins aan de natte kant en februari is gemiddeld. In figuur 24 zijn het langjarig gemiddelde aantal dagen met meer dan 10 en meer dan één mm neerslag weergegeven.



Figuur 24

Langjarig gemiddeld aantal dagen met meer dan 10 mm (links) en meer dan één mm (rechts) neerslag (<http://www.klimaatatlas.nl/>).

Uit figuur 24 blijkt dat in Noord-Limburg relatief minder dagen met meer dan 10 resp. één mm neerslag per dag voorkomen dan in de rest van Nederland. Dit zijn ook duidelijke aanwijzingen dat de metingen in Limburg niet als representatief kunnen worden beschouwd voor het Nederlands zandgebied.

Concluderend kunnen we stellen dat de metingen naar oppervlakkige afstroming voor een zandlocatie zijn uitgevoerd in een relatief droog deel van Nederland. Als de overige omstandigheden identiek zijn met de situatie in Noord Limburg kan dit betekenen dat voor andere zandgebieden van Nederland de frequentie van oppervlakkige afstroming hoger is dan in Limburg.

5.4 Wind

In deze studie is aandacht besteed aan oppervlakkige afspoeling als bron van nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Oppervlakkige afspoeling is een bovengrondse transportroute van water. Er is nog een bovengrondse transportroute als bron van nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater te onderscheiden, nl. materiaaltransport via winderosie. Dit is een lastige bron om te meten. Tijdens dit onderzoek heeft zich eenmalig een situatie voorgedaan waarbij het mogelijk was materiaal te verzamelen en te analyseren dat via winderosie was getransporteerd. Over deze transportroute als bron van nutriëntenbelasting is relatief weinig bekend. Daarom is besloten het verzamelde materiaal in dit rapport te publiceren.

Rond de jaarwisseling van 2010-2011 deed zich een vorstperiode voor, waarin ook enige sneeuw is gevallen. Aan het eind van deze vorstperiode was er een periode met oostenwind, door de wind verstoof de sneeuw, waardoor het onderliggende maaiveld bloot kwam te liggen. Door de vorst was de toplaag van de bodem uitgedroogd en door de oostenwind verstoof bodemmateriaal dat door de sloot werd ingevangen. Dit fenomeen was duidelijk te zien aan de sneeuw op het talud van de noordwaarts georiënteerde sloot gelegen ten noorden van Alterra (Droevendaalsesteeg 1-3, Wageningen). De sneeuw was op een bepaald moment zwart gekleurd van de ingevangen gronddeeltjes. Op de foto, figuur 25 genomen op 19-1-2011, is nog te zien dat er na het afsmelten van de sneeuw bodemmateriaal is blijven liggen, helaas is er geen foto met sneeuw beschikbaar.



Figuur 25

Verstoven bodemmateriaal dat na afsmelten van de sneeuw op 19-1-2011 resteert op het talud van de sloot ten noorden van Alterra te Wageningen (foto H.Th.L. Massop).

Het neergeslagen bodemmateriaal in het talud is bemonsterd, er zijn vier monsterflesjes gevuld en geanalyseerd. In tabel 24 zijn de resultaten weergegeven.

Gehalten voor N_{tot} en P_{tot} in tabel 24 zijn laag in vergelijking met de tabellen 11 en 12. Het organisch stofgehalte van het naastliggende perceel bedraagt 5,5%. Het organisch stof gehalte in het monster is bijna tweemaal zo hoog, in fijn verstoven materiaal zal organische stof ook hoger zijn omdat dit gemakkelijk verstuift. Dit materiaal zorgt dus voor een extra afspoeling en verrijking van de slootbodem. Nitraat zal naar de waterfase gaan en P zal via nalevering beschikbaar komen.

Tabel 24

Analyseresultaten van verstoven en neergeslagen bodemmateriaal in het talud van een sloot in Wageningen.

Lab	Monster	P	N-NH4	N- (NO3+NO2)	Nts	P-P04	Organische stof (105- 550°C)
code	nr.	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[%]
1	1	3.0	4.6	15.3	33	2.1	10.8
2	2	3.0	10.0	4.1	24	1.9	8.4
3	3	2.9	2.8	13.3	25	2.0	9.3
4	4	3.1	2.9	18.1	30	2.0	9.2

Uit de analyse van de monsters blijkt dat winderosie kan bijdragen aan de belasting van het oppervlaktewater, hoewel de gemeten nutriëntengehalten laag zijn .

5.5 Oppervlakkige afspoeling in de zomer

Gedurende het onderzoek zijn op de drie meetlocaties geen oppervlakkige afspoelingsgebeurtenissen waargenomen gedurende de zomer. Door de diepere grondwaterstanden zal de infiltratiesnelheid en capaciteit in de zomer groter zijn en mogelijk meer overeenkomen met de waarden die Wierda heeft gevonden in Drenthe.

Door Kroonen-Backbier (2011) is in het gebied Hoge Raam (Oost-Brabant) in 2009 en 2010 in de zomerperiode gemeten aan oppervlakkige afstroming. Dit betrof een maispilot. In 2009 is op één locatie op 24 augustus oppervlakkige afstroming geconstateerd op een maisperceel. In 2010 is op 10 juli, 12 juli, 16 augustus en 10 september op meerdere maispercelen oppervlakkige afstroming vastgesteld. Hoeveelheden zijn niet gemeten, wel dat het optrad. Deze metingen geven aan dat ook in de zomerperiode kans op oppervlakkige afspoeling bestaat. Hierbij is oppervlakkige afspoeling gekoppeld aan grote neerslagintensiteiten en niet aan hoge grondwaterstanden. Hoge neerslagintensiteiten kunnen zeer lokaal optreden. Er bestaat een voorkeur voor hoge neerslagsommen in de zomer (Buishand en Velds, 1980).

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Op basis van dit onderzoek zijn een aantal conclusies te trekken over:

Frequentie runoff

Afstromingsevents treden vooral op in de maanden januari t/m maart, in het najaar zijn slechts een beperkt aantal afstromingsevents waargenomen. Aan het einde van het groeiseizoen, als de neerslag de verdamping overtreft, bevindt de grondwaterstand zich op relatief grote diepte en is de beschikbare berging in de bodem groot. Het duurt enige tijd voordat de grondwaterstand voldoende is gestegen en de beschikbare berging voor een groot deel is opgevuld en oppervlakkige afspoeling begint op te treden. Het aantal malen dat oppervlakkige afspoeling is geconstateerd bedraagt gemiddeld 5 - 9 keer per jaar.

Hoewel in dit onderzoek geen oppervlakkige afspoeling is gemeten in de zomerperiode, is dit in 2010 wel gemeten op maispercelen in het gebied van de Hoge Raam. Oppervlakkige afspoeling in de zomerperiode treedt vooral op bij hoge neerslagintensiteiten waarbij de infiltratiecapaciteit wordt overschreden, terwijl in de winterperiode vooral hoge grondwaterstanden leiden tot plasvorming en oppervlakkige afspoeling.

Belasting oppervlaktewater

De gemiddelde hoeveelheid afstromend water varieert van 1,2-4,6 m³ voor de drie meetlocaties en de gemiddelde concentratie varieert van 5-10 mg/l N en van 0,9 - 5,1 mg/l P. Dit resulteert in een gemiddelde vracht voor de drie locaties van 77,0 g P en 183,0 g N per uitspoelseizoen.

Fosfaatverzadiging

De bodems binnen de natte plekken zijn fosfaatverzadigd.

Infiltratiesnelheid

Uit de metingen van de infiltratiesnelheid met de dubbele infiltrometer blijkt dat de mediane waarde voor de drie locaties respectievelijk 2,6; 3,8 en 1,5 mm/uur bedraagt, dit is lager dan de verwachte k_{sat} waarde op basis van bodembeschrijving en eerder onderzoek in Drenthe gedurende het groeiseizoen. Uit de beschrijving van de metingen volgt dat voor een deel van de metingen de infiltratiesnelheid niet gelijk aan K_s mag worden gesteld omdat er geen sprake was van vrije infiltratie.

Frequentie neerslag

Het optreden van oppervlakkige afspoeling wordt mede bepaald door de neerslaghoeveelheid en/of intensiteit. Het gemiddeld aantal malen dat oppervlakkige afspoeling is vastgesteld voor de drie locaties in de winterperiode bedraagt resp. 8,8; 7,5 en 4,8. Deze events voor Asdonk en Mestrom komen goed overeen met het voorkomen van uurneerslagen groter of gelijk aan 2,5 mm/uur, deze bedraagt in de winter 7,4. Voor Ulen zouden op basis van de gemeten infiltratiesnelheid en in vergelijking met de andere locaties meer oppervlakkige afspoeling-events worden verwacht. Hoewel in het groeiseizoen vaker hogere neerslagintensiteiten voorkomen dan in de winterperiode, zijn er in de zomerperiode geen afstromingsevents gemeten door de grotere infiltratiecapaciteit. Als gevolg van diepere grondwaterstanden is er sprake van vrije infiltratie waardoor meer water kan infiltreren dan tijdens de infiltratiemetingen is gemeten. Verder blijkt een positieve correlatie tussen enerzijds het aantal locaties waar tegelijkertijd oppervlakkige afspoeling optreedt en anderzijds de neerslagduur en ook de gesommeerde zevendaagse neerslag.

Overige bovengrondse transportroutes

Naast oppervlakkige afstroming kan ook winderosie bijdragen aan de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten hoewel de gemeten nutriëntengehalten laag zijn.

De gemeten oppervlakkige afvoer met de meetgoot is in enkele gevallen een onderschatting van de werkelijke hoeveelheid die oppervlakkig afstroomt door de strook van 10 m, in extreme situaties raakt de meetinrichting onder- of overspoeld. Binnen een perceel kunnen meerdere plekken voorkomen waar runoff plaatsvindt.

Bioporiën kunnen kortsluitstromen veroorzaken waardoor oppervlakkig geborgen water afstroomt naar het oppervlaktewater. Tijdens en na dit onderzoek zijn geen kortsluitstromen als gevolg van muizen- en mollengangen geconstateerd.

Opschaling en representativiteit meetlocatie

De meetlocaties in Noord-Limburg liggen in een relatief droog deel van het Nederlands zandgebied, deze conclusie is gebaseerd op een relatief laag langjarig neerslagoverschot en een lage frequentie van buien van meer dan 10 en één mm in vergelijking met de andere zandgebieden. Dit betekent dat bij gelijke omstandigheden in overige delen van het zandgebied in Nederland vaker oppervlakkige afstroming zal plaatsvinden dan in Noord-Limburg.

De metingen hebben betrekking op een klein deel van een perceel. Om uitspraken te kunnen doen over afspoeling op het niveau van een perceel of stroomgebied, moet de meetplek opgeschaald worden, allereerst naar perceel, en vervolgens dienen de percelen opgeschaald te worden naar een stroomgebied. Naar deze opschaling moet nog nader onderzoek plaatsvinden.

Klimaatverandering

Als gevolg van klimaatverandering neemt het aantal buien met grote intensiteiten toe, dit betekent voor het oppervlaktewater dat het vaker wordt belast door oppervlakkige afspoelingsevents en dat ook de hoeveelheden afspoelingswater gaan toenemen.

6.2 Aanbevelingen

De metingen in deze studie waren beperkt tot de plekken waar oppervlakkige afspoeling optreedt. Voor de extrapolatie van plek naar perceel en vervolgens van perceel naar stroomgebied is het belangrijk om naast gegevens van de plek ook gegevens op stroom-/peilgebiedniveau te verzamelen. Deze gegevens betreffen afvoer en de kwaliteit van het water bij de uitstroompunten van het stroom-/peilgebied. Afvoermetingen zijn eenvoudiger uit te voeren, kwaliteitsmetingen zijn momentopnamen. Het nemen van een representatief monster is daardoor minder eenvoudig.

Voor beleidsdoeleinden is het belangrijk om het aandeel oppervlakkige afspoeling te kennen als deel van de totale belasting. Daarvoor volstaan pleksgewijze metingen, zoals hier en eerder uitgevoerd, niet. Aanbevolen wordt om de afspoeling op perceelsniveau te schatten door een model te ijken op de meetgegevens en vervolgens toe te passen op het gehele perceel. De hier gemeten vrachten zijn bovengrenzen, omdat de gekozen plekken relatief veel afspoeling vertonen ten opzichte van de rest van het perceel.

Het doen van infiltratiemetingen bij diepere grondwaterstanden is om inzicht te krijgen in de werkelijke waarde van K_s , omdat bij metingen geen sprake was van vrije infiltratie.

De huidige meetperiode had slechts betrekking op een beperkt aantal jaren. Het verdient aanbeveling om over langere perioden te meten, omdat het weer zeer grillig is van jaar tot jaar. Daarnaast verdient het aanbevelingen om ook gegevens over grondwaterstanden, oppervlaktewaterstanden en

oppervlaktewaterkwaliteit te verzamelen. Dit geeft een beter beeld over de relatie met de ondergrond en het effect van afspoeling op de oppervlaktewaterkwaliteit.

Door de grote variatie in klimatologische omstandigheden binnen Nederland verdient het aanbeveling deze proeven ook op andere plekken in Nederland uit te voeren.

Literatuur

Algoazany, A.S., P.K. Kalita, G.F. Czapar en J.K. Mitchell, 2007. Phosphorus transport through subsurfac drainage and surface runoff from a flat watershed in east central Illinois, USA. J. Environ. Qual. 36:681-693.

Buishand, T.A. en C.A. Velds, 1980. Neerslag en verdamping. Klimaat in Nederland 1. KNMI, De Bilt.

Chardon, W.J. and O.F. Schoumans, 2007. Soil texture effects on the transport of phosphorus from agricultural land in river deltas of Northern Belgium, The Netherlands and North-West Germany. Soil Use and Management 23:16-24.

Giesen en Geurts, 2007. De fosfaattoestand van de bodem in de Breedbroeken. Inrichtingsmogelijkheden voor het natuurontwikkelingsgebied de Breedbroeken op basis van de fosfaatverzadiging. Giesen & Geurts, Uft/DLG, Tilburg.

Koopmans, G.F., W.J. Chardon, I.M. Lubbers, J. Oenema, A. van den Toorn en C. van der, Salm, 2009. Diffuse belasting van het oppervlaktewater met nutriënten vanuit grasland op een zware kleigrond : monitoring van nutriëntenemissies en -verschijningsvormen op een melkveehouderij bij Waardenburg. Wageningen, Alterra-rapport 1738.

Koopmans, G.F., A. van den Toorn, I. C. Regelink en C. van der Salm, 2012. Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden. Incidentele nutriëntenverliezen en speciatie van fosfaat op zware kleigrond. Alterra-rapport 2269, Wageningen.

Kroonen-Backbier, B., 2011. Werken aan schonere oppervlaktewater in intensieve maasteelt gebieden. Pilotstudie Maiscasus in de Hoge en Lage Raam in 2008, 2009 en 2010. Vredepeel, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving-WUR, PPO nr. 3250105310 en 3250127510

LNV-loket: Protocol voor de bepaling van het PAL-getal en het Pw-getal voor de toepassing van reparatiebemesting op fosfaatarme en fosfaatfixerende gronden 2010 - 2013.

Massop, H.Th.L. en I.G.A.M. Noij, 2012. Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden. Maatregelen op bedrijfsniveau. Wageningen, Alterra-rapport 2272.

Noij, I.G.A.M. en A. van den Toorn, 2009. Fosfaatpilot Limburg: meten van de afspoeling van landbouwgrond 2007-2009, Alterra, Wageningen.

Noij, I.G.A.M., P.J.T. van Bakel, R.A. Smidt, H.Th.L. Massop en W.J. Chardon, 2007. Fosfaatpilot Noord- en Midden-Limburg. Plan van Aanpak en Monitoring. Alterra-rapport 1255, Wageningen.

Noij, I.G.A.M., W. Corré, E. van Boekel, H. Oosterom, J. van Middelkoop, W. van Dijk, O. Clevering, L. Renaud en J. van Bakel, 2008. Kosteneffectiviteit van alternatieve maatregelen voor bufferstroken in Nederland. Wageningen, Alterra-rapport 1618.

Oosterom, H.P. en J.H.A.M. Steenvoorden, 1980. Chemische samenstelling van oppervlakkig afstromend water (Proefveldonderzoek te Achterveld ICW-nota 1237, Wageningen.

Philip, J.R., 1957. The theory of infiltration: Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Science*, 84, 257-264.

Noij, I.G.A.M., C. van der Salm (red.), H.Th.L. Massop, E.M.P.M van Boekel, C. Schuiling, M. Pleijter, O. Cleverig, P.J.T. van Bakel, W.J. Chardon en D.J.J. Walvoort, 2009. Beleidskader fosfaat voor Noord- en Midden-Limburg. Wetenschappelijke onderbouwing. Alterra-rapport 1894, Wageningen

Schoumans, O.F., J. Willems en G. van Duinhoven, 2008. 30 vragen en antwoorden over fosfaat in relatie tot landbouw en milieu. Alterra, Wageningen.

Rozemeijer, J.C., 2010. Dynamics in groundwater and surface water quality. From field-scale processes to catchment-scale monitoring. Proefschrift, Enschede.

Torenbeek, R., 2003. Diffuse belasting van oppervlaktewater met nutriënten uit de veehouderij (DOVE). Grasland op zand. STOWA Rapport 2003-16, Utrecht.

Van Beek, C.L., G.A.P.H. Van den Eertwegh, F.H. Van Schaik en A. Van den Toorn, 2003. Surface runoff from intensively managed grassland on peat soils; a diffuse source of nitrogen and phosphorus in surface waters. Proceedings of Conference on diffuse input of chemicals into soil and groundwater, 26-28 Februari, Dresden:9-17.

Van Beek, C.L., C. van der Salm, A.C.C. Plette en H. van de Weerd, 2009. Nutrient loss pathways from grazed grasslands and the effects of decreasing inputs: Experimental results for three soil types. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 83:99-110.

Van der Salm, C., J. Dolfing, J.W. van Groenigen, M. Heinen, G. Koopmans, J. Oenema, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2006. Diffuse loading of surface water with nutrients from grassland on a heavy clay soil. Monitoring of nutrient emission on a dairy farm in Waardenburg. (In Dutch.) Rep. no. 1266, Alterra, Wageningen, The Netherlands.

Van der Weerd, H. en R. Torenbeek, 2007. Uitspoeling van meststoffen uit grasland. STOWA Rapport 2007-14, Utrecht.

Wierda A., 1990. Meting en modellering van de infiltratiekarakteristieken van landbouwgronden in het stroomgebied van de Drentsche Aa. Rapport 30. RUG.

Wosten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte, 2001. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001, Alterra-rapport 153, Wageningen.

Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan, 1990. Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel I: Toelichting. Vakgroep Bodemkunde en Plantvoeding. Landbouwuniversiteit Wageningen.

www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/neerslagfrequentie_092007.pdf

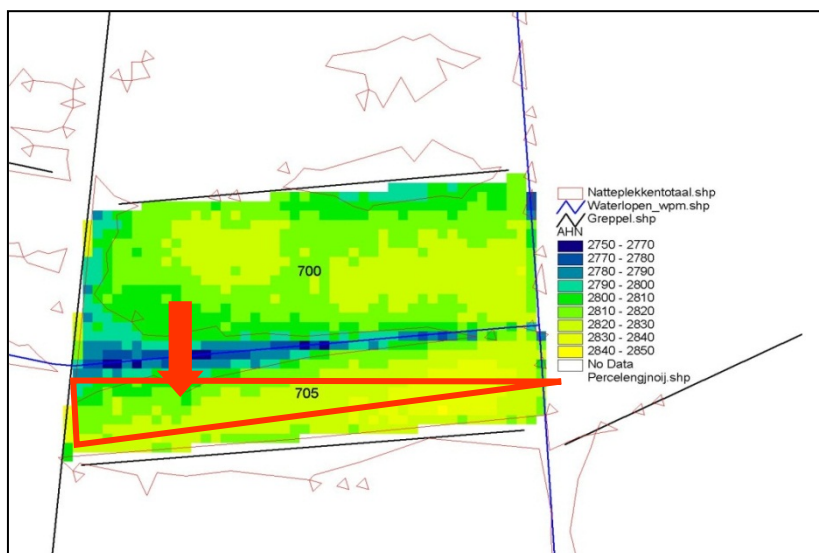
Bemestingsadvies, 2011.

<http://www.bemestingsadvies.nl/bemestingsadvies/Adviesbasis%20november%202011.pdf>

<http://www.klimaatatlas.nl/>

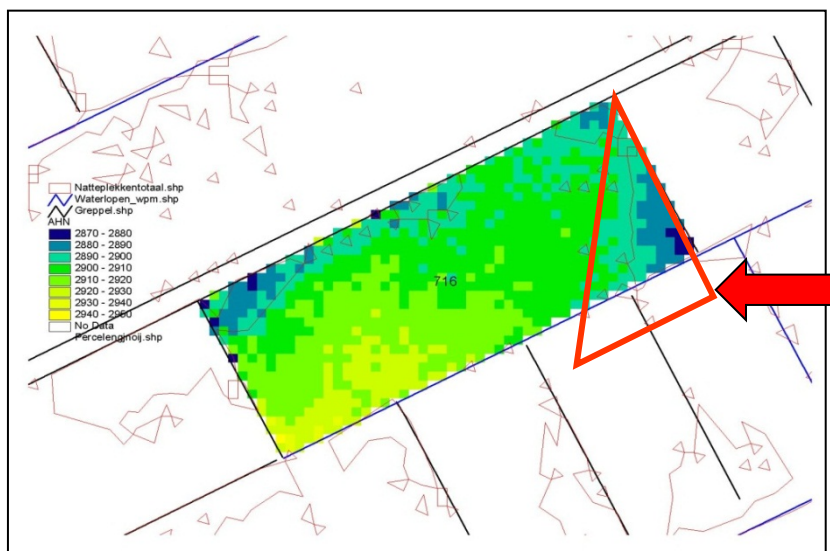
<https://www.hetInVloket.nl/>

Bijlage 1 Geselecteerde percelen met hoogteverdeling



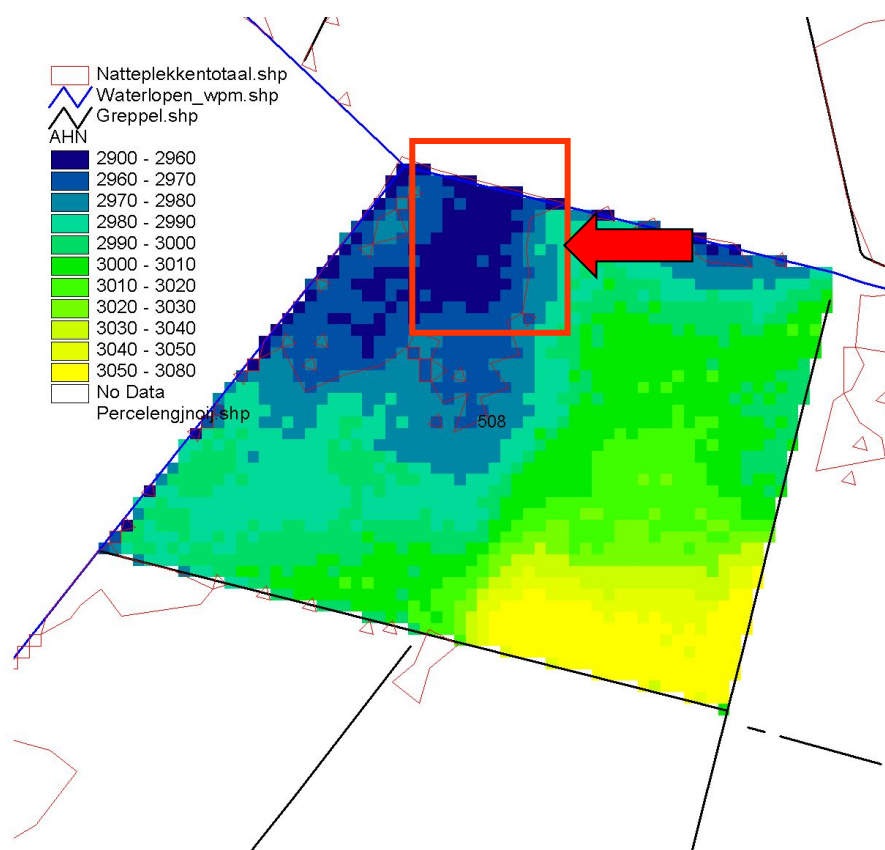
Figuur B1.1

Hoogtekaart (AHN, 5 x 5 m²) van het graslandperceel van Van der Asdonk (700) en het perceel aan de overkant van de Middenpeellossing (705). De rode pijl geeft de plek aan met het hoogste risico van oppervlakkige afspoeling, waar de meetgoot is geplaatst.



Figuur B1.2

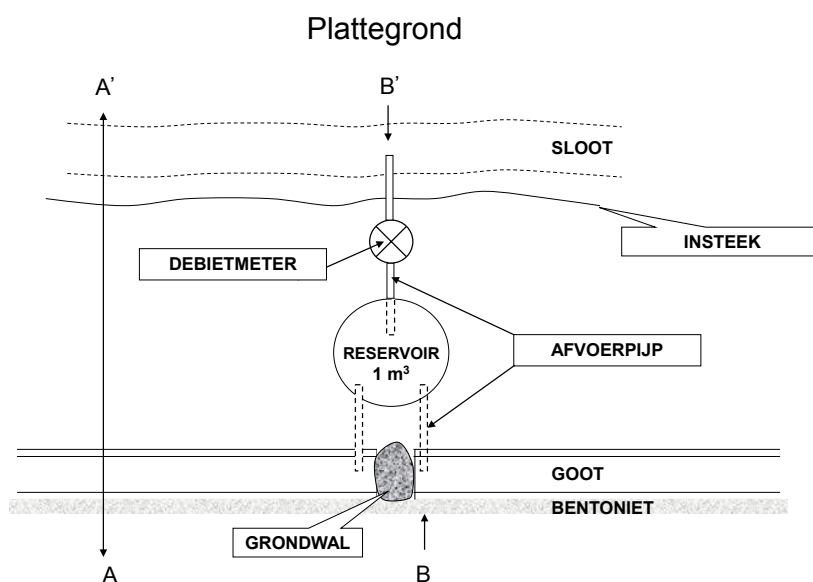
Hoogtekaart (AHN, 5 x 5 m²) van het bouwlandperceel van Mestrom. De rode pijl geeft de plek aan met het hoogste risico van oppervlakkige afspoeling, waar de meetgoot is geplaatst.



Figuur B1.3

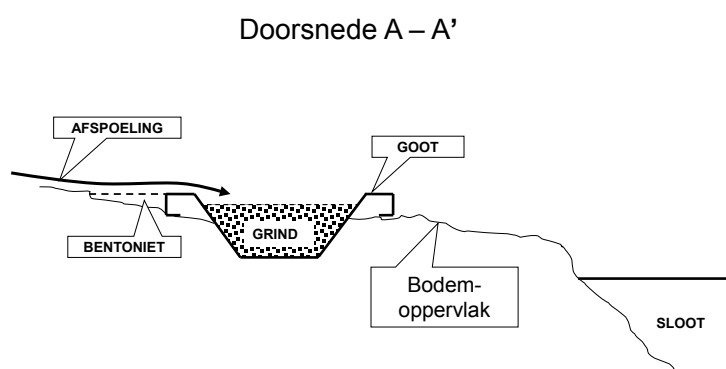
Hoogtekaart (AHN, 5 x 5 m²) van het bouwlandperceel van Ulen. De rode pijl geeft de plek aan met het hoogste risico van oppervlakkige afspoeling, waar de meetgoot is geplaatst.

Bijlage 2 Schematische weergave meetinrichting in Limburg



Figuur B2.1

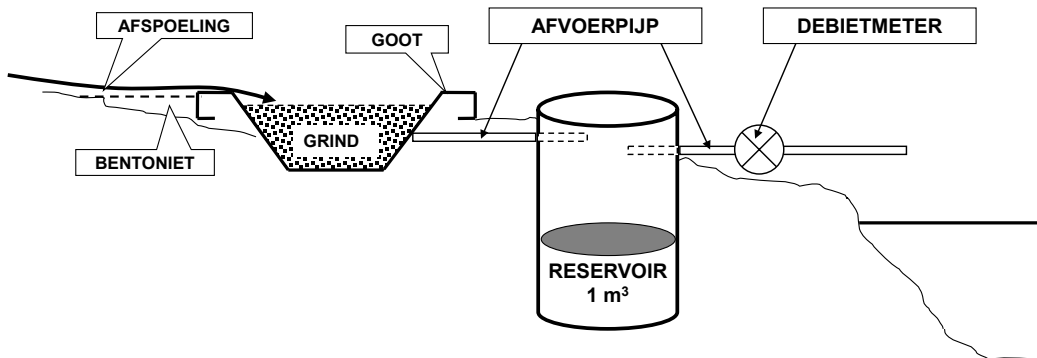
Latt egrond van de meetopstelling voor oppervlakkige afspoeling.



Figuur B2.2

Doorsnede A - A' van de meetopstelling voor oppervlakkige afspoeling.

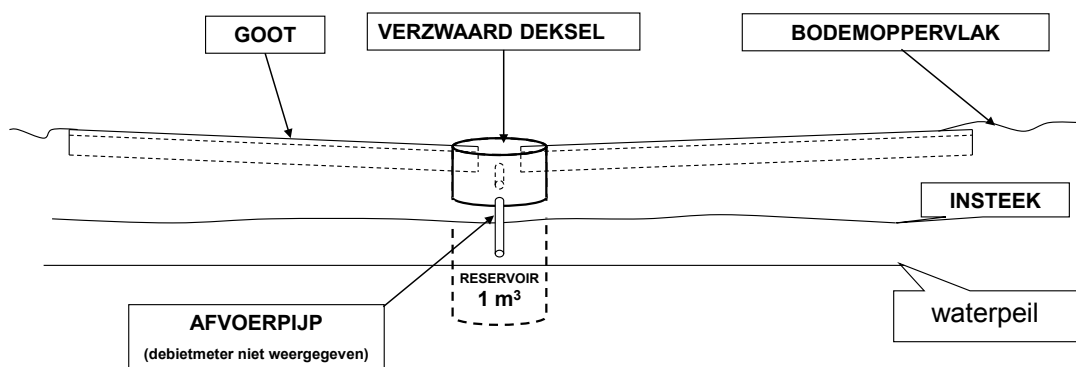
Doorsnede B – B'



Figuur B2.3

Doorsnede B - B' van de meetopstelling voor oppervlakkige afspoeling.

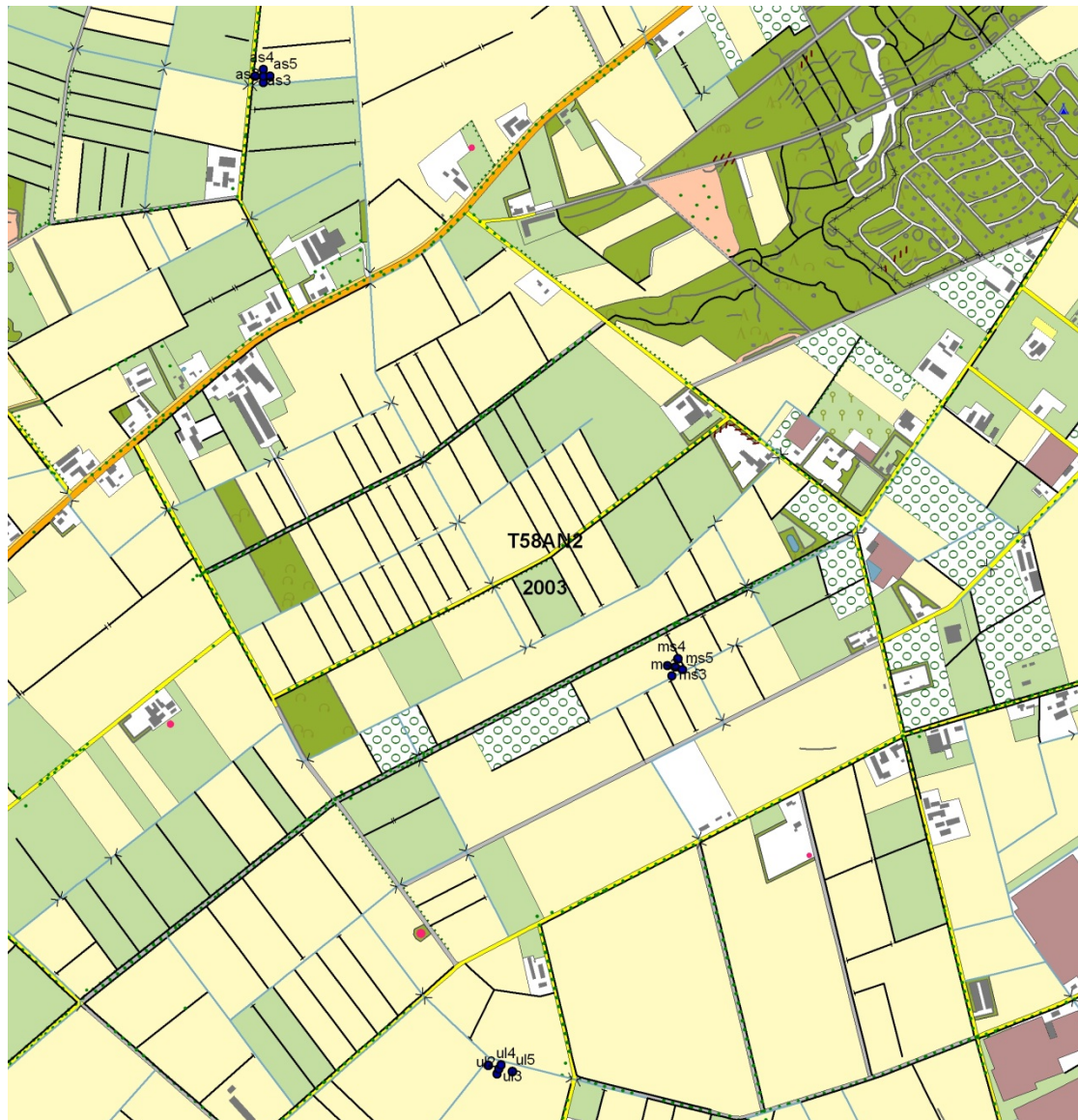
Aanzicht



Figuur B2.4

Aanzicht vanaf overkant sloot..

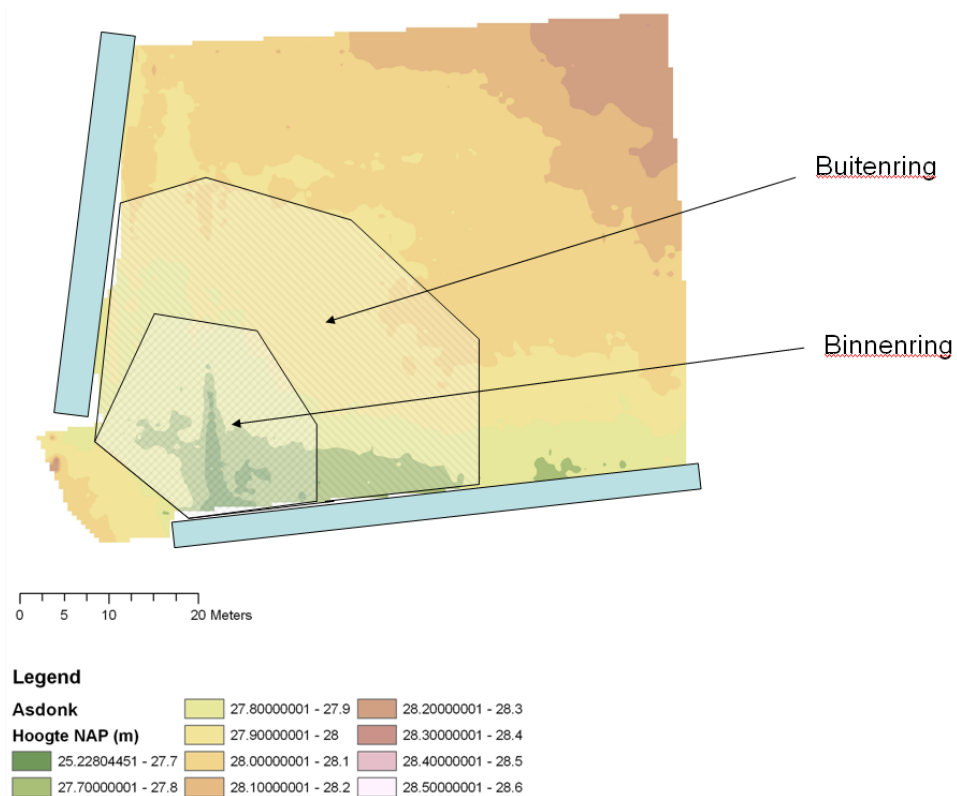
Bijlage 3 Locaties waar bodemmonsters zijn verzameld en infiltratiemetingen zijn uitgevoerd



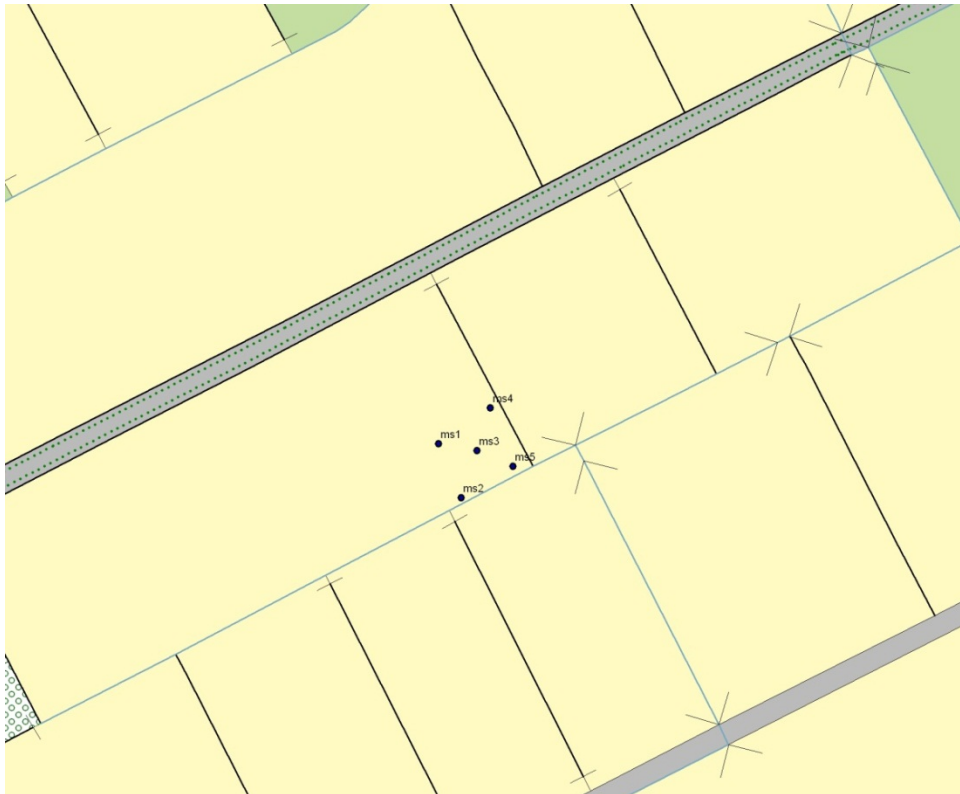
Figuur B3.1
Overzichtskaart..



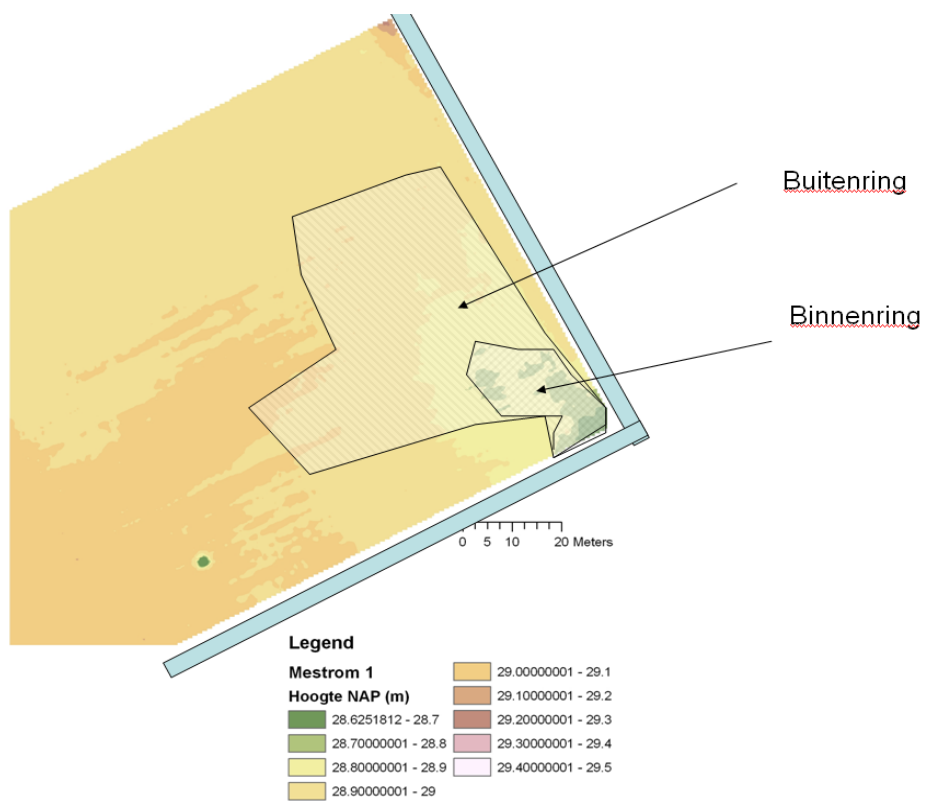
Figuur B3.2
Monsternamelocaties A.



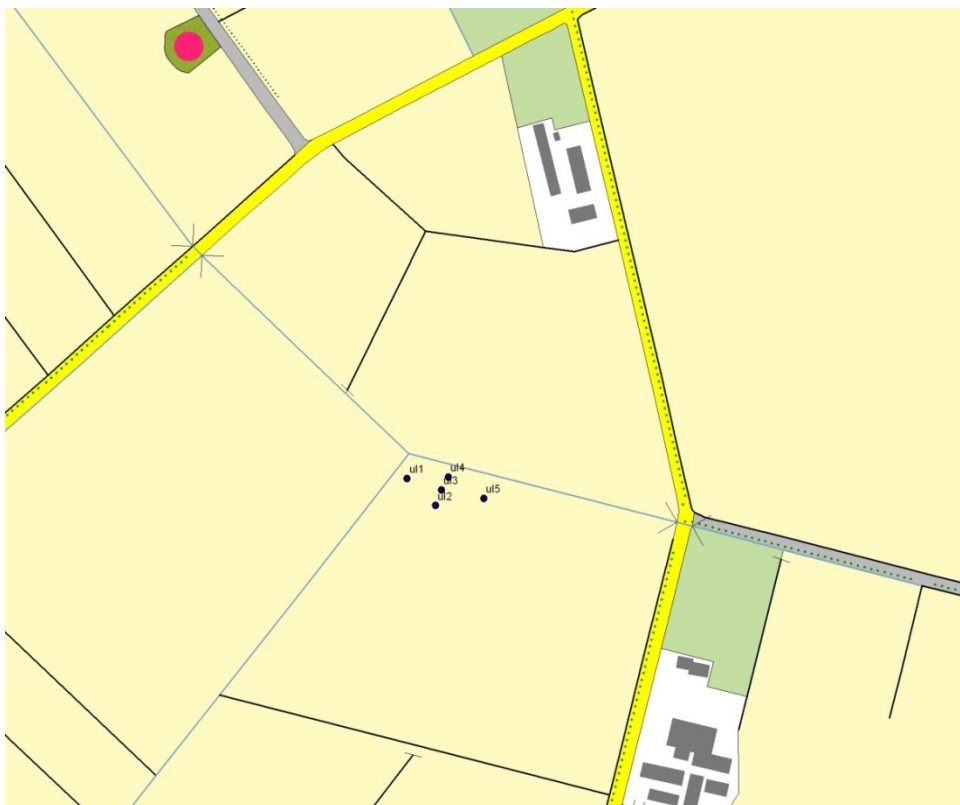
Figuur B3.3
Hoogteverdeling locatie A.



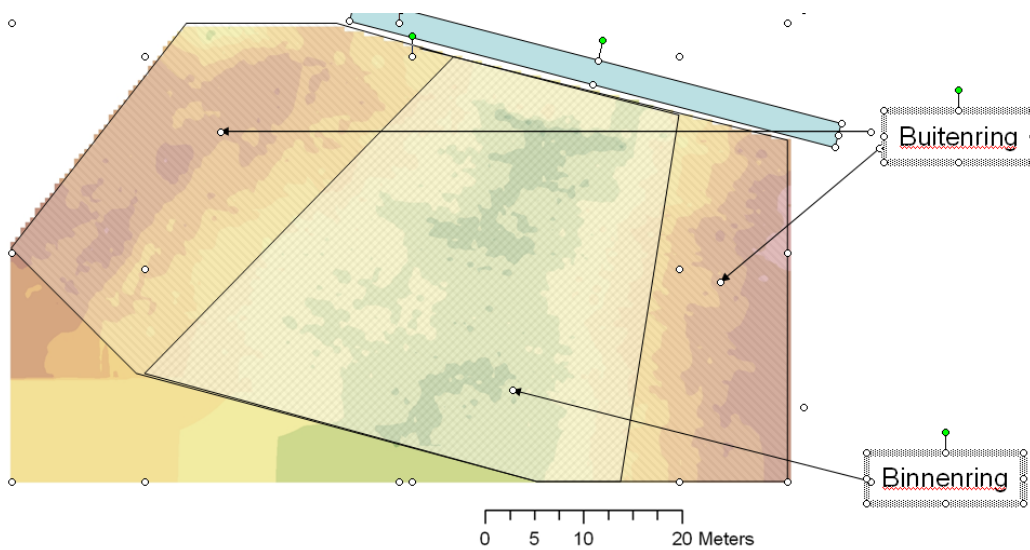
Figuur B3.4
Monsternamelocaties M.



Figuur B3.5
Hoogteverdeling locatie M.



Figuur B3.6
Monsternamelocaties U.



Legend

Ulen2009

Hoogte NAP (m)

29.33780861 - 29.4	29.50000001 - 29.55	29.75000001 - 29.8
29.40000001 - 29.45	29.55000001 - 29.6	29.80000001 - 29.85
29.45000001 - 29.5	29.60000001 - 29.65	29.85000001 - 29.9
	29.65000001 - 29.7	29.90000001 - 29.95
	29.70000001 - 29.75	

Figuur B3.7
Hoogteverdeling locatie U.

Bijlage 4 Analysegegevens van opgevangen water tijdens runoffmomenten

Monsternummer	Ontvangstdatum	Lab	Monster-	N-NH4	N-(NO3+NO2)	P-PO4	N-NH4	Ntot	Ptot	Cl	C
							[mg/l destruaat]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
M07-643	12-12-2007	1	A 50	0.94	0.13	8.27				43.0	46.9
		2	M 50	13.1	0.20	2.02				19.2	33.9
		3	U 50	1.41	1.37	0.245				7.4	14.2
M08-012	09-01-2008	1	A0208	4.80	0.04	5.01				76.2	86.5
		2	U0208	9.28	7.62	0.923				15.8	29.9
M08-029	17-01-2008	1	A50308	3.81	0.21	7.36				81.0	78.0
M08-043	22-01-2008	1	Asd 0408	1.24	0.78	5.18				43.5	53.4
		2	Mes 0408	0.28	0.12	1.04				8.5	30.6
M08-061	30-01-2008	1	Asd 0508	1.26	0.35	7.00				78.2	58.6
		2	Mst 0508	0.16	0.22	1.24				10.5	34.0
M08-167	04-03-2008	1	Asd 1008	0.95	1.03	4.77					
M08-220	26-03-2008	1	Uln 1308				0.00	2.20	0.22		
		2	Mst 1308				0.00	2.37	0.88		
		3	Asd 1308				0.00	6.65	9.95		
		4	Uln 1308 T				0.00	2.09	0.26		
		5	Mst 1308 T				0.00	2.36	1.16		
		6	Asd 1308 T				0.00	9.30	10.5		
M08-228	01-04-2008	1	Mst 1408				0.06	2.04	0.73		
		2	Asd 1408				0.03	5.68	8.72		
		3	Mst 1408 T				0.05	2.07	0.92		
		4	Asd 1408 T				0.03	9.15	9.86		

M09-066	10-02-2009	1	1	0.42	6.00	4.16					
M09-067	10-02-2009	1	1 -T over 0.45 µm filter				0.01	6.52	4.79		
		2	1 T				0.01	7.23	4.91		
M09-113	25-02-2009	1	1M	0.32	4.85	0.891					
M09-114	25-02-2009	1	1M				0.01	6.21	1.03		
		2	1M - T				0.01	7.04	1.46		
M09-275	22-04-2009	1	ASD	8.84	10.2	3.33					
		2	ULN	0.38	0.25	0.861					
M09-276	22-04-2009	1	ASD				0.00	24.3	3.52		
		2	ULN				0.00	3.73	1.11		
		3	ASD -T				0.01	25.8	4.22		
		4	ULN -T				0.01	3.56	1.86		
M09-665	20-10-2009	1	Asd	0.53	3.33	2.13					
M09-670	20-10-2009	1	Asd gefiltreerd				0.01	5.12	2.32		
		2	Asd-T ongefiltreerd				0.01	5.65	2.58		
M10-003	04-01-2010	1	Uln	0.24	4.18	1.84					
		2	Mst	0.65	73.9	0.489					
		3	Asd 1	4.72	2.57	5.68					
		4	Asd 2	5.20	2.60	6.10					
M10-004	04-01-2010	1	Uln -T over 0.45 µm filter				0.01	4.56	2.06		
		2	Mst				0.02	73.4	0.76		
		3	Asd 1				0.18	12.9	6.37		
		4	Asd 2				0.03	13.4	6.79		
		5	Uln -T				0.01	5.29	2.27		
		6	Mst -T				0.04	79.5	0.76		
		7	Asd 1 -T				0.00	13.1	6.62		
		8	Asd 2 -T				0.02	13.2	6.64		
M10-032	20-01-2010	1	Asd	4.42	1.65	8.45					
M10-033	20-01-2010	1	Asd				0.01	10.8	9.23		
		2	Asd -T				0.01	11.5	9.41		
M10-064	03-02-2010	1	Asd	4.12	1.98	7.89					
		2	Mst	0.49	3.04	1.40					

		3	Uln	0.21	7.28	0.910					
M10-065	03-02-2010	1	Asd				0.03	10.1	8.69		
		2	Mst				0.00	4.12	1.45		
		3	Uln				0.00	9.69	1.00		
		4	Asd -T				0.02	10.6	9.10		
		5	Mst -T				0.01	4.20	1.38		
		6	Uln -T				0.00	9.75	1.16		
M10-093	17-02-2010	1	Asd	1.07	2.21	5.94					
		2	Uln	0.74	3.91	0.593					
M10-094	17-02-2010	1	Asd				0.02	6.44	6.45		
		2	Uln				0.01	6.32	0.71		
		3	Asd -T				0.01	6.12	6.35		
		4	Uln -T				0.01	9.24	2.49		
M10-103	24-02-2010	1	Asd	1.32	2.39	6.33					
		2	Mst	0.54	1.64	0.410					
		3	Uln	0.66	1.35	0.439					
M10-104	24-02-2010	1	Asd				0.01	12.6	0.05		
		2	Mst				0.01	12.8	0.01		
		3	Uln				0.00	13.3	0.01		
		4	Asd -T				0.01	12.6	0.18		
		5	Mst -T				0.01	13.1	0.03		
		6	Uln -T				0.01	14.1	0.03		
M10-142	3-3-2010	1	Asd	0.26	1.17	6.26					
		2	Mst	0.20	0.90	1.37					
		3	Uln	0.39	0.36	0.261					
M10-143	3-3-2010	1	Asd				0.02	4.94	6.54		
		2	Mst				0.04	1.89	1.47		
		3	Uln				0.02	2.48	0.36		
		4	Asd -T				0.05	5.01	6.79		
		5	Mst -T				0.04	1.93	1.72		
		6	Uln -T				0.02	4.01	1.29		
M10-165	10-03-2010	1	Asd	0.08	1.96	6.00					

		2	Mst	0.40	1.23	1.12					
		3	Uln	0.32	0.32	0.238					
M10-166	10-03-2010	1	Asd				0.02	18.4	0.12		
		2	Mst				0.01	6.50	0.29		
		3	Uln				0.01	8.13	0.17		
		4	Asd -T				0.02	18.1	0.19		
		5	Mst -T				0.01	6.57	0.30		
		6	Uln -T				0.08	8.70	0.24		
M10-190	16-03-2010	1	Uln	0.13	0.14	0.197					
M10-191	16-03-2010	1	Uln				0.01	1.84	0.29		
		2	Uln -T				0.02	1.78	0.41		
M10-214	23-03-2010	1	Asd	9.51	19.8	4.53					
		2	Mst	0.22	0.93	0.958					
		3	Uln	0.20	2.02	0.408					
M10-215	23-03-2010	1	Asd				0.02	34.7	5.07		
		2	Mst				0.02	2.35	1.08		
		3	Uln				0.02	3.77	0.55		
		4	Asd -T				0.02	37.0	5.68		
		5	Mst -T				0.01	2.57	1.41		
		6	Uln -T				0.03	4.51	0.80		
M10-267	06-04-2010	1	Asd	0.39	3.11	3.12					
		2	Mst	0.10	0.79	0.568					
M10-268	06-04-2010	1	Asd				-0.01	8.66	3.47		
		2	Mst				0.01	1.73	0.64		
		3	Asd -T				0.00	9.8	4.42		
		4	Mst -T				0.01	1.70	0.88		
M10-812	24-11-2010	1	Asd	0.14	1.37	2.89					
		2	Mst	0.04	0.34	1.69					
		3	Uln	11.5	4.18	0.530					
M11-016	12-01-2011	1	Asd	0.18	1.66	2.43				7.8	
		2	Mst	0.15	0.27	1.16				3.8	
		3	Uln	0.14	0.23	0.257				14.8	

M11-017	12-01-2011	1	Asd -T over 0.45 µm filter				0.01	3.80	2.78		
		2	Mst				0.01	1.64	1.29		
		3	Uln				0.01	2.64	0.42		
		4	Asd -T				0.00	3.27	2.80		
		5	Mst -T				0.12	1.77	1.33		
		6	Uln -T				0.00	3.27	0.58		
M11-034	19-01-2011	1	Asd	0.11	0.99	2.55				6.5	
		2	Mst	0.20	0.33	2.03				3.8	
		3	Uln	0.17	0.03	0.326				12.6	
M11-035	19-01-2011	1	Asd				0.02	2.99	2.59		
		2	Mst				0.00	1.99	2.12		
		3	Uln				0.01	2.35	0.46		
		4	Asd - T				0.05	2.76	2.88		
		5	Mst - T				0.00	2.12	2.16		
		6	Uln - T				0.01	2.45	0.47		
M11-044	26-01-2011	1	Asd	0.06	0.49	2.58				6.0	
		2	Mst	0.08	0.14	1.84				4.4	
		3	Uln	0.19	0.39	0.220				11.7	
M11-045	26-01-2011	1	Asd				0.02	2.40	2.68		
		2	Mst				0.01	1.55	1.97		
		3	Uln				-0.01	2.48	0.33		
		4	Asd - T				0.00	2.54	2.77		
		5	Mst - T				0.03	1.66	2.09		
		6	Uln - T				-0.01	2.51	0.45		
M11-074	10-02-2011	1	asd	0.08	1.11	2.57					
M11-075	10-02-2011	1	asd -T over 0.45 µm filter				0.00	2.32	2.72		
		2	asd-T				0.01	2.45	2.76		
M11-084	15-02-2011	1	Asd	4.97	0.93	2.85				53.5	
		2	Mst	0.04	0.48	1.33				3.8	
		3	Uln	0.07	0.09	0.282				8.3	
M11-085	15-02-2011	1	Asd				0.00	11.3	3.23		
		2	Mst				0.01	1.90	1.40		
		3	Uln				-0.01	2.31	0.43		

		4	Asd - T				-0.01	13.4	3.83		
		5	Mst - T				-0.01	1.56	1.55		
		6	Uln - T				0.00	2.44	0.42		
M11-111	01-03-2011	1	Asd	2.53	2.09	3.45				49.4	
		2	Mst	0.07	0.55	1.03				2.9	
		3	Uln	0.21	0.21	0.272				9.7	
M11-112	01-03-2011	1	Asd				0.03	9.18	3.66		
		2	Mst				0.00	1.70	1.10		
		3	Uln				0.00	2.46	0.42		
		4	Asd -T				0.05	9.9	4.01		
		5	Mst -T				0.01	1.55	1.30		
		6	Uln -T				0.00	2.66	0.45		

Voor 2 data 24-2-2010 en 10-3-2010 zijn de geanalyseerde waarden voor P_{tot} zeer gering terwijl voor $P\text{-}PO_4$ wel hoge waarden zijn gemeten, de waarden voor P_{tot} voor beide data zijn vervolgens niet gebruikt in tabel 5 en figuur 12, omdat dit duidt op meetfouten

Bijlage 5 Coördinaten meetlocaties infiltratiemetingen

Locatie	Meting	X-coördinaat (m)	Y-coördinaat (m)
Asdonk	as1	186785	372535
Asdonk	as2	186805	372520
Asdonk	as3	186805	372535
Asdonk	as4	186805	372550
Asdonk	as5	186820	372535
Mestrom	ms1	187725	371187
Mestrom	ms2	187735	371163
Mestrom	ms3	187742	371184
Mestrom	ms4	187748	371203
Mestrom	ms5	187758	371177
Ulen	ul1	187317	370273
Ulen	ul2	187337	370254
Ulen	ul3	187341	370265
Ulen	ul4	187346	370274
Ulen	ul5	187371	370259

Bijlage 6 Infiltratiemetingen

De infiltratiesnelheid van water in de onverzadigde zone kan met Darcy worden beschreven als

$$v = K_s \left(1 + \frac{s + h}{z} \right) \quad (1)$$

waarbij:

v	=	infiltratiesnelheid [cm/min]
K_s	=	verticale verzadigde doorlatendheid van de transmissiezone [cm/min]
s	=	zuigspanning aan de onderkant van de transmissiezone [cm]
z	=	dikte van de transmissiezone [cm]
h	=	hoogte van de waterlaag in de infiltrometer [cm]

De dikte van de transmissiezone wordt groter naarmate meer water infiltreert en kan geschat worden door de cumulatieve infiltratie (gemeten in de infiltrometer) te delen door het verschil tussen verzadigd vochtgehalte en vochtgehalte van de bodem aan het begin van het experiment.

Tijdens het experiment wordt de invloed van s en h steeds kleiner ten opzichte van z , zodat de aan het eind van het experiment geldt:

$$v \approx K_s \quad (2)$$

Wanneer de bodem aan het begin van een experiment al vrijwel verzadigd is (zoals het geval was bij veel van de meetpunten), is de transmissiezone vanaf het begin van het experiment al zo groot dat vergelijking 2 opgaat.

Om het verloop van de infiltratie in de tijd te beschrijven kun je ook gebruik maken van de methode van Philip. Philip's vergelijking voor cumulatieve infiltratie en de vergelijking voor infiltratiesnelheid die er uit afgeleid wordt, zijn:

$$I(t) = S\sqrt{t} + K_s t \quad (3)$$

$$i(t) = \frac{S}{2\sqrt{t}} + K_s \quad (4)$$

waarbij:

I	=	cumulatieve infiltratie [cm]
i	=	infiltratiesnelheid [cm/min]
t	=	tijd [min]
K_s	=	verticale verzadigde doorlatendheid aan het oppervlak [cm/min]
S	=	sorptivity van de ondergrond [cm/min ^{1/2}].

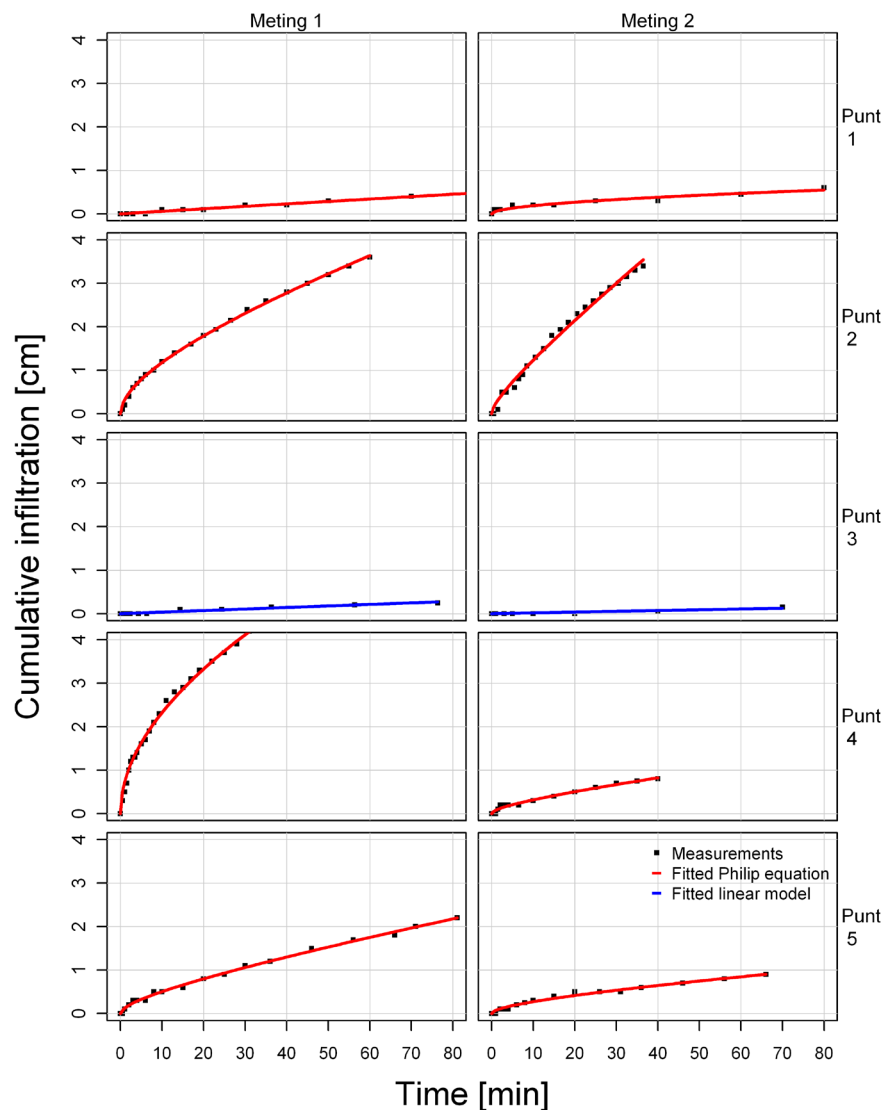
Sorptivity S is een maat voor de absorptiecapaciteit van de bodem. Deze parameter hangt af van het type bodem (zand, klei, etc.) en het initiële vochtgehalte van de bodem. Hoe droger de bodem aan het begin van de infiltratie is, des te hoger de sorptivity. Aangezien we geen metingen hebben gedaan aan de zuigspanning

onder de metingen en het vochtgehalte van de bodems aan het begin van het experiment, kunnen we daar niets sluitends over zeggen, maar door de sorptivity te schatten uit de data, kunnen we bij het modelleren meer rekening houden met de ontwikkeling van infiltratiesnelheid als gevolg van de toestand van de ondergrond.

Naarmate er meer water is geïnfiltreerd wordt het effect van de sorptivity steeds kleiner en wordt de infiltratiesnelheid i gelijk aan de verticale verzadigde doorlatendheid K_s . Als de bodem al verzadigd is voordat de infiltratie begint, zit je al meteen in het steady state bereik van de infiltratiecurve ($S=0$).

Ik heb vergelijking 3 gefit op de meetdata van Ulen, Asdonk, en Mestrom. Daaruit een schatting gemaakt voor K_s en S . Op een aantal locaties heb ik aangenomen dat $S=0$, daar is dus een lineair model doorheen gefit. In de figuren heb ik de fit van het model van Philip aangegeven met een rode lijn en die van het lineaire model met een blauwe lijn.

Infiltratiemeting bij Mestrom



De gefitte sorptivity en verticale verzadigde doorlatendheid van alle metingen.

Punt	Meting	GW [cm -mv]	S [cm hr ^{-1/2}]	Ks [cm hr ⁻¹]	Ks [cm d ⁻¹]
1	1	14	0.013	0.328	7.87
	2		0.451	0.019	0.456
2	1	50	2.367	1.27	30.5
	2		1.338	4.113	98.7
3	1	27	-	0.213	5.11
	2		-	0.107	2.57
4	1	50	5.515	0.429	10.30
	2		0.545	0.567	13.6
5	1	42	0.882	0.87	20.9
	2		0.548	0.29	6.96
Average			1.46	0.821	19.7
Standard deviation			1.79	1.22	29.2

Gezien de hoogte van de grondwaterspiegel op punt 1 is het misschien netter om ook daar een lineair model te fitten op de data, de K_s wordt dan 8.16 cm d⁻¹ voor meting 1 en 11.5 cm d⁻¹ voor meting 2. Het is duidelijk dat de doorlatendheid op de plekken met bezonken slib (punt 3) veel lager is dan in de rest van het veld.



Grondwaterspiegel in boorgat bij meetpunt 1 (Mestrom).



Erosiegeul in de buurt van goot en meetpunt 5 (Mestrom).

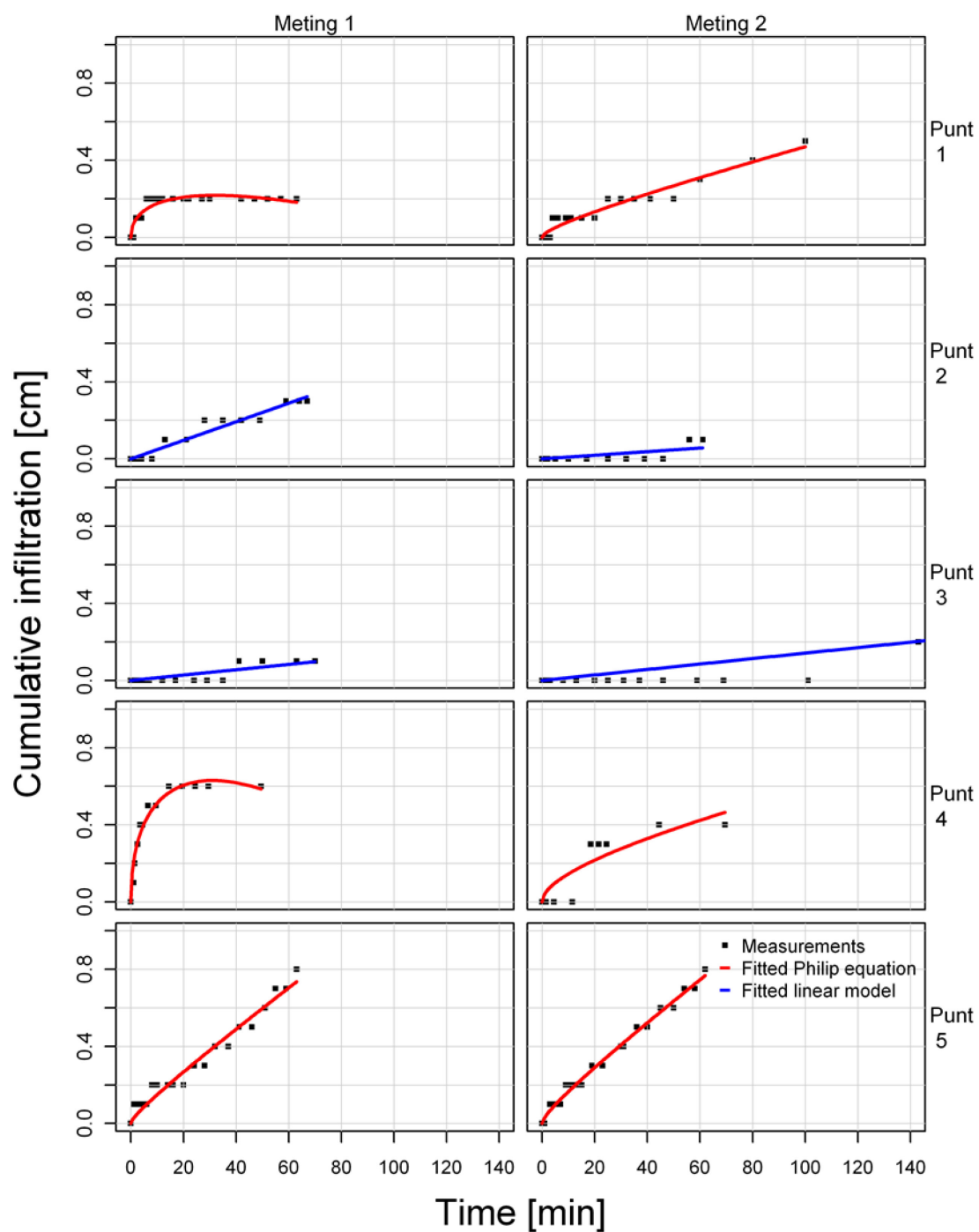


Opstelling van infiltratieringen bij meetpunt 2 bij Mestrom.



Sliblaagje (zwart, 1 tot 2 mm dik) bij meetpunt 3 (Mestrom).

Infiltratiemeting bij Ulen

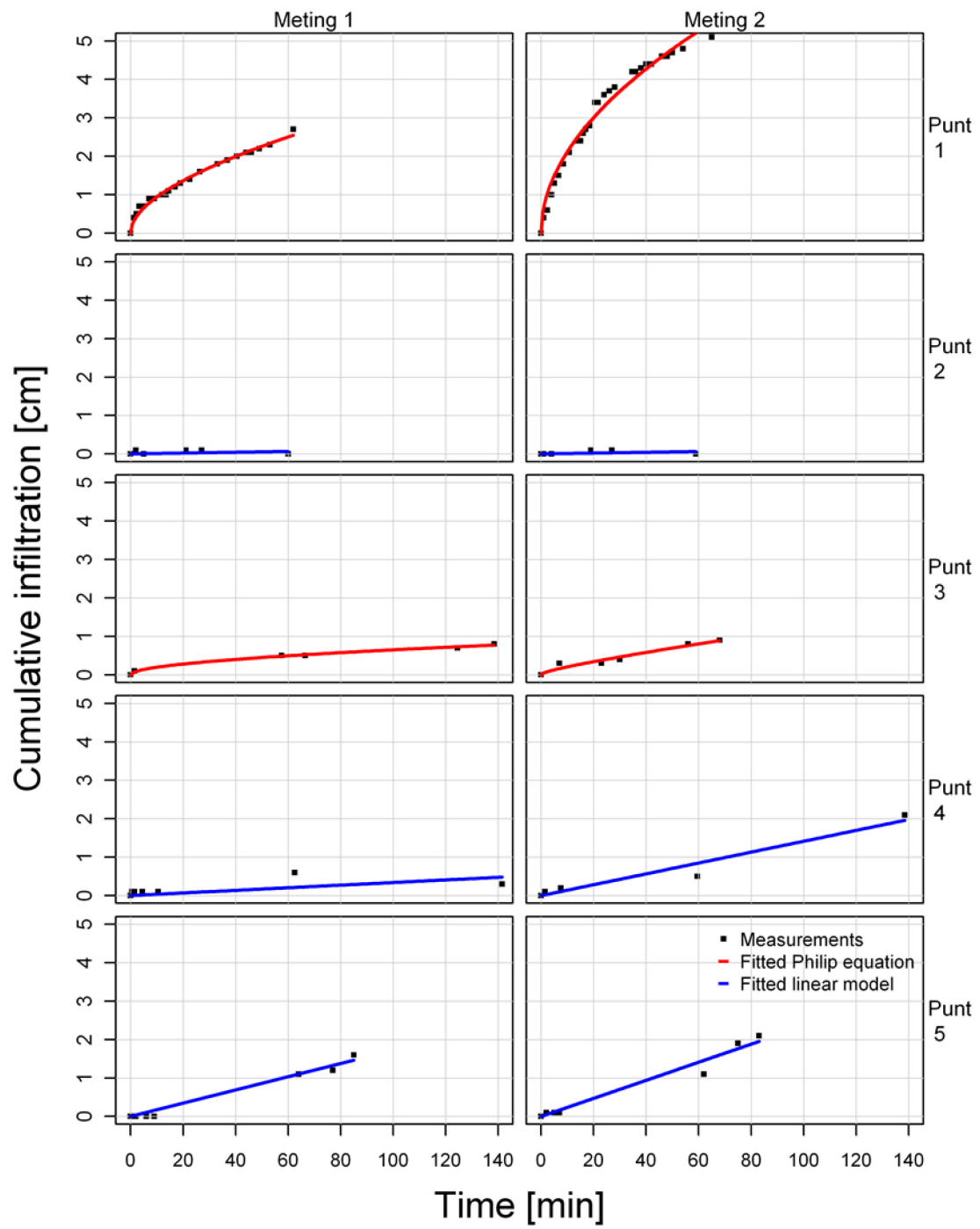


De gefitte sorptivity en verticale verzadigde doorlatendheid van alle metingen.

Punt	Me-ting	GW [cm -mv]	S [cm hr ^{-1/2}]	Ks [cm hr ⁻¹]	Ks [cm d ⁻¹]
1	1	93	-	-	-
	2		0.121	0.188	4.51
2	1	25	-	0.289	6.94
	2		-	0.0559	1.34
3	1	17	-	0.0829	1.99
	2		-	0.0851	2.04
4	1	27	-	-	-
	2		0.312	0.112	2.69
5	1	59	0.132	0.572	13.7
	2		0.170	0.576	13.8
Average			0.205	0.288	6.90
Standard deviation			0.0949	0.212	5.28

De metingen van punt 1-1 en 4-1 kunnen niet gefit worden met de vergelijking van Philip of een lineair verband.

Infiltratiemeting bij Asdonk



De gefitte sorptivity en verticale verzadigde doorlatendheid van alle metingen.

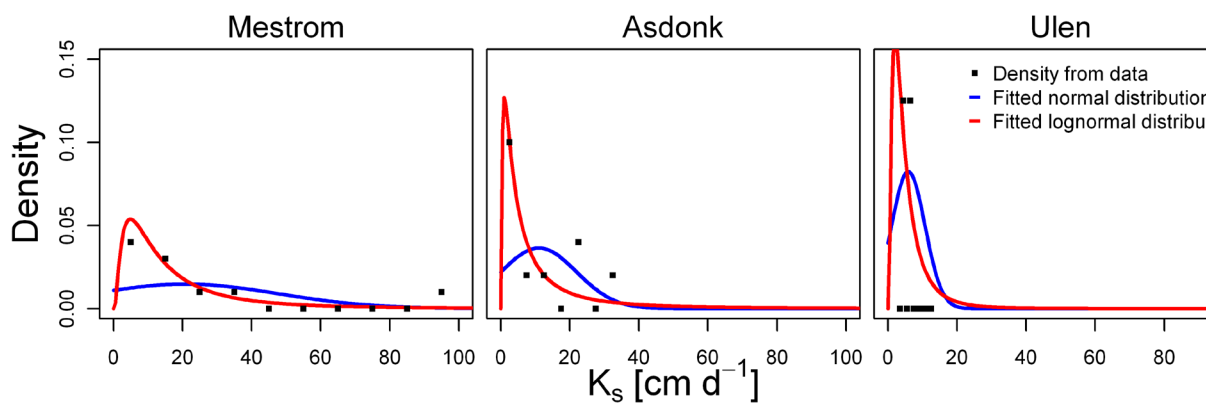
Punt	Me-ting	GW [cm -mv]	S [cm hr ^{-1/2}]	Ks [cm hr ⁻¹]	Ks [cm d ⁻¹]
1	1	30*	2.18	0.321	7.70
	2		5.13	0.128	3.07
2	1	30*	-	0.0625	1.50
	2		-	0.0602	1.44
3	1	30*	0.470	0.0249	0.598
	2		0.299	0.506	12.1
4	1	30*	-	0.204	4.90
	2		-	0.849	20.4
5	1	30*	-	1.03	24.7
	2		-	1.41	33.8
Average			2.02	0.460	11.0
Standard deviation			2.24	0.481	11.5

*op 25 maart op 1 punt grondwaterstand gemeten, infiltratiemetingen gedaan op 31 maart.

Ruimtelijke verdeling



Ligging van de meetpunten in de percelen. Van links naar rechts: Mestrom, Asdonk, Ulen.



Volgens de literatuur is de verzadigde doorlatendheid lognormaal verdeeld in de ruimte. Ondanks het geringe aantal metingen is een schatting gemaakt van de verdeling. In de bovenstaande figuren is de dichtheid in tien klassen van de geschatte doorlatendheden vergeleken met een normale en lognormale verdeling op basis van het gemiddelde en de standaarddeviatie van de data.

Voor Mestrom lijkt de spreiding redelijk in de buurt te liggen van de lognormale verdeling. De datapunten van Asdonk zijn te grillig om er een uitspraak over te doen. Bij Ulen is het aantal geschikte waarnemingen slechts acht in plaats van tien.

Bijlage 7 Profielbeschrijvingen

Perc. nr	Boring nr	Laag nr	Van cm	Tot cm	Mengverhouding	Horizont-code	Org. stof	Veen-soort	Lutum (%)	Leem (%)	Mediaan (mu)	Kalk-klasse	Rijping	Geo.info.	Opmerking
Asdonk	1	1	0	30		1Aap	6			16	145			692	opgehoogd met zand
Asdonk	1	2	30	35	1	1Aap	4			16	145			692	opgehoogd
Asdonk	1	3	30	35	1	1Cg1	0.1			20	140			411	opgehoogd
Asdonk	1	4	35	100		2Cw	65	cb						110	broekveen
Asdonk	1	5	100	120		2Cr	65	cb						110	broekveen
Ulen	1	1	0	30		1Aap	8			20	140			692	
Ulen	1	2	30	45		1Bhe	2			20	140			411	koffiebruin
Ulen	1	3	45	60		1BCg	0.1			20	140			411	stug, compact, storend
Ulen	1	4	60	100		1Cg1	0.1			16	155			411	stug, compact, storend
Ulen	1	5	100	120		2CG	0.1			55	110			412	gelaagd, grijs
Ulen	2	1	0	35		1Aap1	6			23	140			692	onderaan ploegzool, storend
Ulen	2	3	35	50		1BCg	1			35	130			412	bruin, gevlekt, storend
Ulen	2	3	50	80		1Cg1	0.1			10	160			412	geel, onderaan bruin
Ulen	2	4	80	120		1CG	0.1			40	120			412	grijs, gelaagd, storend
Ulen	3	1	0	20		1Aap1	6			23	140			692	beworteld
Ulen	3	2	20	40		1Aap2	6			23	140			692	stug, ploegzool, geen wortels
Ulen	3	3	40	55		1Bhe	0.1			33	130			411	
Ulen	3	3	55	80		1BCg	0.1			12	160			411	grindjes
Ulen	3	5	80	120		2CG	0.1			60	110			412	grijs, wat fossiele roest
Ulen	4	1	0	35		1Aap	6			23	140			692	
Ulen	4	2	35	45		1Bhe	1			16	155			411	stug, compact, storend
Ulen	4	3	45	75		1BCg	0.1			12	155			411	
Ulen	4	5	75	120		2CG	0.1			55	110			412	gelaagd, grijs
Ulen	5	1	0	35		1Aap1	6			18	150			692	

Ulen	5	3	35	55	1	1BCg	0.5			18	145			411	
Ulen	5	3	55	55	1	2Cg1	0.1			35	130			412	storend
Ulen	5	4	65	65		2Cg2	0.1			16	160			412	
Ulen	5	5	100	120		2CG	0.1			40	130			412	grijs, gelaagd, storend
Mestrom	1	1	0	25		1Aap	3.5			14	145			692	
Mestrom	1	2	25	75		1Cg1	0.1			10	155			411	bovenin heterogeen materiaal
Mestrom	1	3	75	95		1Cg2	0.1			30	145			411	compact, dicht, grijs, storende laag
Mestrom	1	4	95	120		1Cg3	0.1			16	150			411	gelaagd, bruingeel/grijs
Mestrom	2	1	0	35		1Aap	0.1	3.5		16	145			692	
Mestrom	2	2	35	48	1	1Aa	3			12	145			692	heterogene laag, venbodem?
Mestrom	2	3	35	48	1	1Bhe	1			12	145			411	
Mestrom	2	4	35	48	1	1Eu	0.1			12	145			411	
Mestrom	2	5	48	60		1Cg1	0.1			35	130			412	
Mestrom	2	6	60	100		1Cg2	0.1			14	145			412	gelaagd
Mestrom	2	7	100	120		1CG	0.1			18	145			412	grijs
Mestrom	3	1	0	35		1Aap	3			16	145			692	
Mestrom	3	2	35	45	1	1Bhe	10			16	145			411	heterogene laag, venbodem?
Mestrom	3	3	35	45	1	1BCg	1			16	145			411	koffiebruin
Mestrom	3	4	45	70		1BCg	0.1			12	145			411	soms grindjes
Mestrom	3	5	70	70		1Cg1	0.1			10	160			412	gelaagd, bruingeel/grijs
Mestrom	3	6	95	95		1Cg2	0.1			16	160			412	
Mestrom	3	7	100	120		1CG	0.1			25	140			412	grijs/gelaagd
Mestrom	4	1	0	30		1Aap	3			10	145			692	bevat storende laag (ploegzool)
Mestrom	4	2	30	35		1Aa	3			15	145			692	heterogeen
Mestrom	4	3	35	40		1Ab	20	DZ						110	
Mestrom	4	4	40	45	1	1A	8			15	140			692	rest A, B en leemlaagje 2cm
Mestrom	4	5	0	45	1	1Bw	1			15	145			411	
Mestrom	4	6	40	45	1	1Cg1				30	145			411	leemlaagje
Mestrom	4	7	45	60		1Cg2				10	145			411	
Mestrom	4	8	60	65		1Cg3				35	130			412	grijs/lemig
Mestrom	4	9	65	110		1Cg4				16	145			412	gelaagd
Mestrom	4	10	110	120		1Cg5				16	145			412	humeuze bandjes
Mestrom	5	1	0	30		1Aap	3.5			16	155			692	

Mestrom	5	2	30	45	1	1Aa	20	DZ						110	toplaag verzadigd, op 20-25 cm een ploegzool
Mestrom	5	3	30	45	1	1Bhe	5			30	140			411	heterogene laag, venbodem?
Mestrom	5	4	45	65		1BCg				12	140			411	
Mestrom	5	5	65	100		1Cg2				25	140			412	koffiebruin
Mestrom	5	6	100	110		1CG				35	130			412	gelaagd, lichtbruin, humeuze banden
Mestrom	5	7	110	120		1Cr				5	180			412	humeuze banden, storend

Perceelnummer	Boringnummer	Karteerder	Datum	x	y	Bodemgebruik	Subgroep	Cijferdeel	Kalk	Toevoeging achter	Vergraving	GHG icm	GLG in cm	Gt	Gwst in cm	Bewortelbare diepte	opmerking
Asdonk	1	GRT	25-3-2010	186786	372519	GR	1t	cb			H	10	100	IIIa	28	30	hoek perceel
Ulen	1	GRT	25-3-2010	187318	370272	AM	2r	423		t10		30	160	Vb	93	30	
Ulen	2	GRT	25-3-2010	187338	370252	AM	2r	423				0	100	IIIa	25	30	
Ulen	3	GRT	25-3-2010	187318	370272	AM	2d	423		t8		0	100	IIIa	17	25	
Ulen	4	GRT	25-3-2010	187347	370273	AM	2r	423		t8		0	100	IIIa	27	35	
Ulen	5	GRT	25-3-2010	187372	370257	AM	2r	423				20	140	Vao	59	30	
Mestrom	1	GRT	24-3-2010	187726	371186	AG	4i	422				15	140	Vao		25	
Mestrom	2	GRT	24-3-2010	187736	371162	AG	2r	422			F	25	140	Vb		25	
Mestrom	3	GRT	24-3-2010	187743	371183	AG	2r	422				10	140	Vao		25	
Mestrom	4	GRT	24-3-2010	187749	371202	AG	4i	422				20	160	Vao		35	
Mestrom	5	GRT	24-3-2010	187759	371176	AG	2r	422			F	10	110	IIIa		30	

Bijlage 8 Frequentie dagneerslagen te Heibloem periode 2007 t/m 2011

Tabel B8.1

Aantal dagen per maand waarin de neerslag > 5 mm/d voor neerslagstation Heibloem.

N >5 mm/d	Jaar					
maand	2007	2008	2009	2010	2011	Gemiddeld
1		3	3	3	4	3.3
2		3	3	3	5	3.5
3		7	6	5	1	4.8
4		4	2	1	0	1.8
5		2	1	4	0	1.8
6		4	3	0	7	3.5
7		7	8	5	6	6.5
8		4	2	10	6	5.5
9		1	2	6	2	2.8
10		5	5	3	4	4.3
11		3	5	5		4.3
12	5	2	8	3		4.5
Totaal	5	45	48	48	35	44

Tabel B8.2

Aantal dagen per maand waarin de neerslag > 8 mm/d voor neerslagstation Heibloem.

N >8 mm/d	Jaar					
maand	2007	2008	2009	2010	2011	Gemiddeld
1		1	1	2	2	1.5
2		1	3	2	2	2.0
3		4	1	1	1	1.8
4		1	1	0	0	0.5
5		2	0	2	0	1.0
6		3	3	0	3	2.3
7		2	5	3	3	3.3
8		4	1	8	4	4.3
9		1	1	4	2	2.0
10		3	3	1	2	2.3
11		1	4	4		3.0
12	5	0	5	2		3.0
Totaal	5	23	28	29	19	24.8

Tabel B8.3

Aantal dagen per maand waarin de neerslag > 10 mm/d voor neerslagstation Heibloem.

N >10 mm/d	Jaar					
	2007	2008	2009	2010	2011	
maand						Gemiddeld
1		0	1	0	1	0.5
2		1	2	1	2	1.5
3		2	0	0	1	0.8
4		1	1	0	0	0.5
5		2	0	2	0	1.0
6		2	3	0	3	2.0
7		2	4	3	3	3.0
8		3	1	6	4	3.5
9		1	1	2	1	1.3
10		3	2	1	2	2.0
11		1	3	3		2.3
12	5	0	0	1		1.5
Totaal	5	18	18	19	17	18

Bijlage 9 Meteogegevens op runoff-momenten

Datum	Aantal locaties met runoff	Totale neerslagduur afgelopen zeven dagen	Totale neerslag over afgelopen zeven dagen	Maximale uurneerslag afgelopen zeven dagen	Maximale voortschrijdende zevendaagse neerslag in afgelopen zeven dagen
	-	* 0,1 uur	* 0,1 mm	* 0,1 mm	*0,1 mm
17 januari 2008	1	87	53	23	133
4 maart 2008	1	171	211	72	230
10 februari 2009	1	248	194	37	318
25 februari 2009	1	116	3	4	92
20 oktober 2009	1	27	15	10	21
20 januari 2010	1	84	84	30	86
16 maart 2010	1	81	34	10	181
10 februari 2011	1	0	-5	0	213
9 januari 2008	2	217	180	23	182
22 januari 2008	2	318	205	29	206
30 januari 2008	2	74	57	12	231
1 april 2008	2	286	203	28	327
22 april 2009	2	110	51	11	55
17 februari 2010	2	336	32	5	48
6 april 2010	2	120	96	26	178
12 december 2007	3	374	332	43	393
26 maart 2008	3	330	299	33	300
4 januari 2010	3	292	182	25	191
3 februari 2010	3	428	307	36	310
24 februari 2010	3	214	123	26	369
3 maart 2010	3	321	236	21	371
10 maart 2010	3	86	75	18	76
23 maart 2010	3	134	135	83	212
24 november 2010	3	12	-15	1	-1
14 december 2010	3	101	37	20	134
12 januari 2011	3	334	253	24	369
19 januari 2011	3	150	119	38	263
26 januari 2011	3	150	79	15	102
15 februari 2011	3	360	272	22	275
1 maart 2011	3	390	258	18	259

Bijlage 10 Frequentie uurneerslagen te Ell periode 2007 t/m 2011

Tabel B10.1

Aantal uren met neerslag groter of gelijk aan 2,0 mm/uur.

Maand	2007	2008	2009	2010	2011	Gemiddeld
1	11	3	4	2	3	4.6
2	7	5	5	4	2	4.6
3	5	9	3	2	1	4
4	0	8	1	1	1	2.2
5	9	7	2	9	1	5.6
6	14	6	11	1	10	8.4
7	16	9	16	6	15	12.4
8	14	8	1	20	15	11.6
9	7	6	3	9	5	6
10	8	5	18	5	4	8
11	3	1	12	10	0	5.2
12	5	0	4	0		2.3
Totaal	99	67	80	69	57	74.4

Tabel B10.2

Aantal uren met neerslag groter of gelijk aan 2,5 mm/uur.

Maand	2007	2008	2009	2010	2011	Gemiddeld
1	8	1	3	2	1	3
2	4	1	4	2	0	2.2
3	2	5	3	1	0	2.2
4	0	5	0	1	1	1.4
5	8	5	1	7	1	4.4
6	12	4	9	1	10	7.2
7	11	6	13	5	11	9.2
8	11	6	1	18	13	9.8
9	4	6	3	7	4	4.8
10	4	4	13	2	3	5.2
11	3	0	9	7	0	3.8
12	3	0	2	0		1.3
Totaal	70	43	61	53	44	54.2

Tabel B10.3*Aantal uren met neerslag groter of gelijk aan 3,0 mm/uur.*

Maand	2007	2008	2009	2010	2011	Gemiddeld
1	4	0	1	0	1	1.2
2	3	0	2	1	0	1.2
3	0	3	1	1	0	1
4	0	5	0	0	0	1
5	6	5	1	6	0	3.6
6	8	3	6	1	6	4.8
7	10	6	9	5	6	7.2
8	8	6	1	14	12	8.2
9	3	4	2	7	2	3.6
10	2	3	12	0	1	3.6
11	2	0	8	5	0	3
12	1	0	1	0		0.5
Totaal	47	35	44	40	28	38.8

Tabel B10.4*Aantal uren met neerslag groter of gelijk aan 3,5 mm/uur.*

Maand	2007	2008	2009	2010	2011	Gemiddeld
1	3	0	0	0	1	0.8
2	0	0	1	1	0	0.4
3	0	2	1	1	0	0.8
4	0	4	0	0	0	0.8
5	5	1	1	3	0	2
6	6	3	6	1	5	4.2
7	8	5	6	5	5	5.8
8	5	5	1	13	9	6.6
9	3	2	2	5	2	2.8
10	2	2	11	0	1	3.2
11	2	0	3	2	0	1.4
12	1	0	1	0		0.5
Totaal	35	24	33	31	23	29.2

Tabel B10.5

Overschrijdingsduur voor verschillende uurneerslagen voor de periode januari 2007 t/m november 2011.

Periode	2,0 mm/uur	2,5 mm/uur	3,0 mm/uur	3,5 mm/uur
Winter	13,2	7,4	3,4	2,0
Groeiseizoen	45,7	36,5	28,3	22,1
Najaar	15,5	10,3	7,1	5,1
Jaar	74,4	54,2	38,8	29,2

Tabel B10.6

Neerslaggegevens gemeten te Ell op moment dat oppervlakkige afspoeling is gemeten.

Datum	Aantal locaties met oppervlakkige afspoeling	Totale neerslagduur afgelopen zeven dagen	Totale neerslag over afgelopen zeven dagen	Maximale uurneerslag afgelopen zeven dagen	Maximale voortschrijdende zeven-daagse neerslag in afgelopen zeven dagen
		* 0,1 uur	* 0,1 mm	* 0,1 mm	*0,1 mm
16-1-2008	1	93	60	23	182
4-03-08	1	171	211	72	233
9-02-09	1	129	10	9	13
17-02-09	1	352	261	28	323
15-10-09	1	94	291	57	1165
29-12-09	1	173	116	26	232
4-01-10	1	292	182	25	289
19-01-10	1	84	83	30	83
26-01-10	1	57	0	3	86
11-01-11	1	303	243	24	246
9-01-08	2	217	180	23	180
22-01-08	2	318	205	29	206
29-01-08	2	44	23	9	206
12-02-08	2	47	48	24	319
18-03-08	2	273	159	21	249
1-04-08	2	286	203	28	300
8-04-08	2	137	220	53	327
22-04-09	2	110	51	11	51
12-12-07	3	374	332	43	497
6-02-08	3	241	323	26	319
25-03-08	3	237	237	33	295
2-02-10	3	330	223	20	223
19-02-10	3	350	40	5	44
23-02-10	3	190	122	26	123
3-03-10	3	321	236	21	371
10-03-10	3	86	75	18	237
17-03-10	3	81	34	10	75
23-03-10	3	134	135	83	181

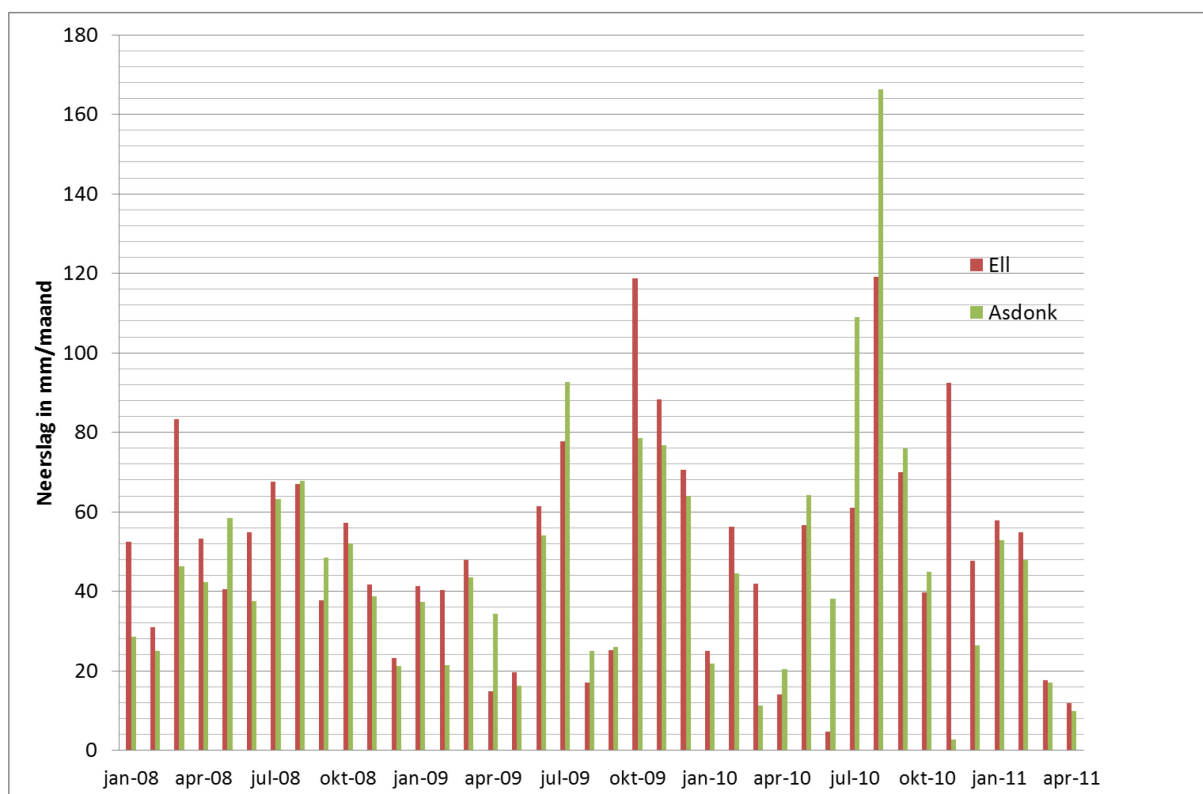
17-11-10	3	472	741	149	825
14-12-10	3	101	37	20	161
4-01-11	3	40	-1	1	138
18-01-11	3	350	222	20	369
25-01-11	3	159	106	38	263
1-02-11	3	10	11	6	102
8-02-11	3	42	18	8	23
15-02-11	3	360	272	22	272

Tabel B10.7

Gemiddelde weekneerslag, uurneerslag en neerslagduur gegroepeerd naar het aantal afspoelingsevents dat gelijktijdig optrad.

Aantal oppervlakkige afspoelingsevents	Neerslagduur in uren in de voorgaande zeven dagen	Neerslagsom in de voorgaande zeven dagen	Maximale uurneerslag in de voorgaande zeven dagen	Maximale voortschrijdende zevendaagse neerslagsom in de voorgaande zeven dagen
3	21.5	17.6	3.1	25.1
2	18.9	14.8	2.7	25.5
1	17.5	14.6	3.0	28.5
3	21.7	18.5	3.2	26.7
2	17.9	13.6	2.5	23.0
1	17.0	14.1	3.0	31.5

Bijlage 11 Neerslagmetingen bij Asdonk periode 18 januari 2008 t/m 21 april 2011



Figuur B11.1

Maandelijkse neerslag te Ell en Asdonk.

Tabel B11.1

Neerslaggegevens gemeten bij Asdonk op moment dat oppervlakkige afspoeling is gemeten.

Datum	Aantal afspoelings-gebeurtenissen	Neerslagsom voorgaande zeven dagen in mm	Maximale urneerslag in voorgaande zeven dagen in mm
12-dec-07	3	-	-
9-jan-08	2	-	-
16-jan-08	1	-	-
22-jan-08	2	19.8	3.6
29-jan-08	2	3	1.6
6-feb-08	3	23.8	3
12-feb-08	2	39.8	2.4
4-mrt-08	1	0.4	0.2
18-mrt-08	2	0	0
25-mrt-08	3	29.8	4.8
1-apr-08	2	15.8	1.8
8-apr-08	2	9	2
9-feb-09	1	4.8	1.2
17-feb-09	1	0	0
22-apr-09	2	20.2	5.2
15-okt-09	1	20.2	4.4
29-dec-09	1	8.8	1.2
4-jan-10	1	17.8	1.6
19-jan-10	1	7.2	1.4
26-jan-10	1	0	0
2-feb-10	3	17.2	2.6
19-feb-10	3	2.6	0.4
23-feb-10	3	10.6	2
3-mrt-10	3	18	3
10-mrt-10	3	17.8	1.4
17-mrt-10	3	5.6	1
23-mrt-10	3	0	0
17-nov-10	3	0	0
14-dec-10	3	3.4	0.8
4-jan-11	1	0.8	0.2
11-jan-11	3	16.6	2
18-jan-11	3	26.8	3.6
25-jan-11	3	8.8	1.8
1-feb-11	3	0	0
8-feb-11	3	1.8	0.8
15-feb-11	3	27.8	3.8

Tabel B11.2

Gemiddelde weekneerslag en uurneerslag gegroepeerd naar het aantal afspoelingsevents dat gelijktijdig optrad.

Aantal oppervlakkige afspoelingsevents	Alle waarnemingen van Asdonk			
	Neerslag in voorgaande week in mm	Standaard deviatie neerslag in voorgaande week in mm	Gemiddelde van de maximale uurneerslag	Neerslag in voorgaande week in mm
3	12.4	10.6	1.8	1.5
2	15.4	13.4	2.4	1.6
1	6.7	7.7	1.1	1.4
Alle waarnemingen excl. data met dooi (zie tabel B12.2)				
	Neerslag in voorgaande week in mm	Standaard deviatie neerslag in voorgaande week in mm	Gemiddelde van de maximale uurneerslag in mm	Standaard deviatie van de maximale uurneerslag in mm
3	12.4	12.0	1.8	1.6
2	15.4	13.4	2.4	1.6
1	6.6	8.3	1.1	1.5

Bijlage 12 Temperatuurmetingen te Ell en waarnemingen van dooi

Tabel B12.1

Temperatuurgegevens in de week voorafgaande aan afspoelingevent en op dag bezoek van de meetlocatie.

Datum	Aantal locaties	Gemiddelde temperatuur voorgaande zeven dagen	Gemiddelde dagtemperatuur temp	Gemiddelde minimum temperatuur voorgaande zeven dagen	Gemiddelde minimum temperatuur	Gemiddelde minimum temperatuur voorgaande zeven dagen op 10 cm hoogte	Gemiddelde minimum temperatuur op 10 cm hoogte
12-dec-07	3	7.0	2.8	4.5	-0.3	3.6	-1.8
9-jan-08	2	5.0	6.1	3.0	4.9	2.2	4.1
16-jan-08	1	7.5	7.4	4.5	5.7	3.7	4.8
22-jan-08	2	8.9	4.6	6.4	-0.1	5.7	-1.4
29-jan-08	2	6.6	5.1	3.8	4.1	3.1	4
6-feb-08	3	5.1	7.4	1.9	2.5	1.1	1.4
12-feb-08	2	5.1	4.5	-0.2	-1.8	-2.4	-4.2
4-mrt-08	1	7.1	3.2	3.0	0.1	1.8	-0.7
18-mrt-08	2	7.2	3.3	2.9	-1	1.8	-1.8
25-mrt-08	3	2.8	1.3	-0.1	-0.8	-0.7	-1.2
1-apr-08	2	7.6	8.4	4.0	2.2	2.8	-0.5
8-apr-08	2	6.2	4.8	1.4	-1	0.0	-3.2
9-feb-09	1	2.3	3	-0.2	1.2	-1.3	0.6
17-feb-09	1	2.1	4.4	-1.0	-0.5	-2.1	-1.3
22-apr-09	2	12.0	9.8	6.0	3.1	4.0	0.2
15-okt-09	1	9.4	4.7	5.0	-1.6	3.4	-3.9
29-dec-09	1	1.8	1.8	-1.5	0.3	-2.6	-0.6
4-jan-10	1	-1.0	-4.9	-4.0	-10.7	-4.9	-12
19-1-10	1	1.8	4.2	-0.7	2.9	-1.6	2.6
26-jan-10	1	0.7	-5.3	-1.1	-8	-1.7	-9.2
2-feb-10	3	0.3	1.6	-3.0	-2	-4.2	-3.4
19-feb-10	3	-0.7	3.7	-4.0	1.1	-5.5	0.2
23-feb-10	3	3.0	3.4	-0.4	2.4	-1.7	2.5
3-mrt-10	3	5.5	1.7	2.0	-3.3	0.7	-6.3
10-mrt-10	3	0.4	1.2	-3.2	-2.4	-4.7	-3.5
17-mrt-10	3	4.8	7.5	1.9	0.8	1.0	-1.1
23-mrt-10	3	10.8	10.1	6.5	4.9	5.0	3.7
17-nov-10	3	7.8	4.4	4.8	2.8	4.2	3.2
14-dec-10	3	1.3	-2.1	-1.7	-5.2	-2.3	-5.6

4-jan-11	1	-0.2	-1.2	-3.9	-4.7	-4.3	-6.7
11-jan-11	3	4.2	3.3	0.5	-1.6	-0.5	-3
18-jan-11	3	8.7	6.5	6.1	4.3	5.3	4.2
25-jan-11	3	2.9	3.2	0.1	-1.3	-0.6	-2.5
1-feb-11	3	-1.5	-2.3	-3.8	-4.7	-4.3	-4.3
8-feb-11	3	7.1	4.9	4.3	-1.8	3.5	-4.5
15-feb-11	3	6.7	5.3	2.6	1.6	1.5	0.3

Tabel B12.2

Aanwijzingen voor dooi/vorst tijdens bezoek meetlocatie.

Datum	Asdonk	Mestrom	Ulen
19-1-2010	dooi, zeer nat		
2-2-2010			na de dooi
23-2-2010	dooi ,zeer nat	dooi ,erg nat erosiegeulen	dooi erg nat ganzen op het land
14-12-2010	vorst		
11-1-2011		bevroren goten, overstroomd	



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.alterra.wur.nl