

Oppervlakkige afspoeling van model tot praktijk

Welke maatregelen hebben impact?

A. Evenhuis, R. Kruijne, J. Deneer & H.T.A.M. Schepers

© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, AGV

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Het onderzoek is gefinancierd door het Ministerie van Economische zaken, Landbouw & Innovatie
project Oppervlakkige afspoeling vanaf vlakke percelen (BO-code 12.03-019-014)

Projectnummer: 3250198912

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR Business Unit AGV

Address : Postbus 16, 6700 AA Wageningen
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Tel. : +31 320 291 355
Fax : +31 317 41 80 94
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	4
1 OPPERVLAKKIGE AFSPOELING.....	6
2 EFFECT VAN VERMINDERDE INFILTRATIECAPACITEIT EN BERGING OP OPPERVLAKKIGE AFSPOELING. 7	
2.1 Plasvorming en oppervlakkige afspoeling.....	7
2.2 Infiltratiecapaciteit en actueel waterbergend vermogen.....	10
2.3 Factoren die waterbergend vermogen beïnvloeden	11
2.3.1 No tillage	12
2.3.2 Bodemverdichting	12
2.3.3 Waterafstoting en bodemverdichting	14
2.3.4 Storende lagen	15
2.4 Conclusies	16
3 MODELBEREKENINGEN.....	17
3.1 Selectie stoffen en locaties.....	17
3.1.1 Stoffen.....	17
3.1.2 Locaties.....	21
3.2 Opzet berekeningen	22
3.3 Resultaten	23
3.4 Discussie	25
3.5 Conclusies en aanbevelingen	26
4 MAATREGELEN EN HANDELINGSPERSPECTIEF TELERS	28
4.1 Maatregelen	28
4.1.1 Bufferstroken	29
4.1.2 Draslanden (wetlands)	29
4.1.3 Grondbedekking	29
4.1.4 Grondbewerking	29
4.1.5 Sputpaden.....	30
4.1.6 Formulering van gewasbeschermingsmiddel	30
4.1.7 Drainage	30
4.2 Diagnose instrument TOPPS - Prowadis	30
4.3 Bemestingstool	31
4.4 Beregeningsplanner	31
4.5 Conclusies	31
5 LITERATUUR.....	32
BIJLAGE 1 MODELBEREKENINGEN.....	34

Samenvatting

Er wordt aangenomen dat normoverschrijdingen in het oppervlaktewater kunnen ontstaan door oppervlakkige afspoeling van gewasbeschermingsmiddelen. In een studie naar emissie van gewasbeschermingsmiddelen in het gebied van de Lage en Hoge Raam werden overschrijdingen van de MTR waargenomen van een aantal herbiciden in het oppervlakte water. Uit bestudering van het verloop van de overschrijdingen in de tijd, in relatie tot het tijdstip van toediening en het neerslagverloop kwam oppervlakkige afspoeling naar voren als een mogelijke oorzaak van de overschrijdingen. In plassen op het land werden concentraties herbiciden aangetoond die bij afspoeling tot normoverschrijding zouden leiden (Kroonen-Backbier & Van der Hulst, 2009).

Om meer inzicht te verkrijgen in de bijdrage van oppervlakkige afspoeling in de emissie naar oppervlaktewater, zijn in deze studie een aantal factoren bestudeerd:

- Een literatuuronderzoek naar de kwantitatieve gegevens van het effect van verdichting op waterbergend vermogen en infiltratiecapaciteit.
- Op basis van de modellen GeoPEARL en FOCUS PEARL is voor een aantal combinaties van stoffen en locaties een eenvoudige indicator voor de afspoelingsgevoeligheid berekend.
- Inventarisatie van praktische maatregelen om afspoeling te verminderen.

Effect van verminderde infiltratiecapaciteit en berging op oppervlakkige afspoeling

Plasvorming is een voorwaarde om tot oppervlakkige afspoeling te komen. Oppervlakkige afspoeling kan in bepaalde gevallen leiden tot emissie van gewasbeschermingsmiddelen. In grote lijnen kan plasvorming op 2 manieren ontstaan. Ten eerste doordat de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit overstijgt, waardoor het water niet snel genoeg opgenomen kan worden. Ten tweede doordat de bodem verzadigd is waardoor de neerslag niet meer opgenomen kan worden. Percelen zijn van zichzelf niet homogeen, waardoor op de ene plek wateroverlast kan ontstaan en op de andere plek in hetzelfde perceel het water opgenomen kan worden door de bodem. Bij een droge grond met een grove structuur kan de infiltratiecapaciteit zo laag zijn dat er risico op plasvorming ontstaat en daarmee op oppervlakkige afspoeling. In deze situatie is er nog wel sprake van waterbergingscapaciteit in de bodem, maar kan die niet benut worden. Verslemping van de bovenlaag zal eveneens leiden tot een grotere kans op plasvorming. In een situatie waarbij de grond verzadigd is zal tijdens neerslag plasvorming optreden, omdat het water bergend vermogen van de bodem te laag is. Verdichting of inklinken van de grond leidt tot een lager porievolume, waardoor het water bergend vermogen lager is. Uit studie blijkt dat de bergingscapaciteit met 10 tot 40% kan afnemen. Tijdens een regenbui zal dan eerder water verzadiging optreden en plasvorming ontstaan. Storende lagen in de grond verminderen percolatie van water naar de ondergrond. Onderzoek geeft aan dat 10-35% minder water wegsijpelt naar de ondergrond. Feitelijk neemt de bergingscapaciteit dus af. In perioden met overmatige neerslag zal op dergelijke percelen eerder water blijven staan. Of plasvorming inderdaad leidt tot oppervlakkige afspoeling hangt van velerlei factoren af, waarvan de infiltratiecapaciteit en perceelberging de belangrijkste zijn.

Modelberekeningen

De uitkomsten van de indicator voor de afspoelingsgevoeligheid van een actieve stof komen overeen met een eerste inschatting op basis van de stofeigenschappen mobiliteit en persistentie. De uitkomsten komen ook overeen met de verwachtingen op basis van de waterverzadigde doorlatendheid van de bodem. Er wordt voorzichtig geconcludeerd dat de uitkomsten van de indicator voor de afspoelingsgevoeligheid van stoffen plausibel zijn en dat deze geschikt lijken voor het sorteren van stoffen op afspoelingsgevoeligheid. In de uitkomst van deze indicator is de invloed van stofeigenschappen, neerslagintensiteit, gewasgroei en bodem op de kans op afspoeling verdisconteerd. De invloed van de grondsoort (locatie) op de uitkomsten van deze indicator is nog onvoldoende duidelijk. De resultaten zijn gebaseerd op een beperkt aantal combinaties van gewasbeschermingsmiddelen en grondsoort. Het verdient aanbeveling om deze uit te breiden met andere stoffen en locaties. Op basis van de behaalde resultaten is het niet mogelijk om absolute uitspraken te doen over de verhouding tussen de emissie via afspoeling enerzijds en drainage

en/of drift anderzijds. Aan de huidige indicatoren die beschikbaar zijn voor emissie via drift en drainage liggen uitgebreide wetenschappelijke kennis en instrumenten ten grondslag. Ten aanzien van het onderwerp afspoeling ontbreekt het nog aan een dergelijke grondslag om een indicator met een vergelijkbare robuustheid te kunnen ontwikkelen.

Maatregelen om oppervlakkige afspoeling te voorkomen

Oppervlakkige afspoeling lijkt voornamelijk incidenteel op te treden vanaf bepaalde percelen. Er zijn vele maatregelen die de kans op oppervlakkige afspoeling kunnen verminderen. De maatregelen zijn gericht op het vergroten van de bergingscapaciteit van de bodem, het vergroten van de infiltratiecapaciteit en het vasthouden van het water op het maaiveld. De maatregelen kunnen betrekking hebben op grondbewerking, teeltmaatregelen, akkerranden, barrières, aangepast gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en een geoptimaliseerde irrigatie. De risicosituatie moet per perceel bekeken worden en een maatadvies worden opgesteld met praktische en uitvoerbare maatregelen. De TOPPS-Prowadis aanpak, die in een aantal Europese landen is ontwikkeld, zou hierbij een eerste aanzet kunnen geven.

Aanbevelingen voor vervolgstappen:

- Inzet op voorlichtingsspoor naar ondernemers
- Inzet op maatwerk en stimuleren maatregelen via Deltaplan Agrarisch Waterbeheer (DAW)
- Zoeken naar borgingsinstrument om maatregelen te verankeren
- Metingen in praktijksituaties in verschillende gebieden ten behoeve van:
 - Voorlichting met gebiedseigen informatie
 - Meenemen afspoeling in oorzakenanalyses
- De deelnemers aan de workshop van 19 juni 2013 hebben geen concrete toezeggingen gedaan om de vervolgstappen te organiseren / coördineren.

1 Oppervlakkige afspoeling

Van oppervlakkige afspoeling wordt op basis van monitoringsresultaten, praktijkkennis en een literatuurscan (Deneer en Beltman, 2009) aangenomen, dat er normoverschrijdingen door kunnen ontstaan. In een studie naar emissie van gewasbeschermingsmiddelen in het gebied van de Lage en Hoge Raam werden overschrijdingen van de MTR waargenomen van een aantal herbiciden in het oppervlakte water (Kroonen-Backbier & Van der Hulst, 2009). Uit bestudering van het verloop van de overschrijdingen in de tijd in relatie tot het tijdstip van toediening en het neerslagverloop kwam oppervlakkige afspoeling naar voren als een mogelijke oorzaak van de overschrijdingen. In plassen op het land werden concentraties herbiciden aangetoond die bij afspoeling tot normoverschrijding zouden leiden (Kroonen-Backbier & Van der Hulst, 2009).

In de internationale literatuur wordt afspoeling van pesticiden naar oppervlaktewater beschreven, ook bij gewassen geteeld op percelen zonder helling (Evenhuis et al., 2012). Volgens internationale literatuur varieert het percentage verlies door emissie via oppervlakkige afspoeling van 0-4,4%, afhankelijk van middel en factoren die afspoeling mogelijk maken. Op EU niveau wordt oppervlakkige afspoeling (in hellende gebieden) meegenomen in de risicobeoordeling voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen. De kennisbehoefte rond afspoeling blijkt onder meer uit het feit dat binnen Telen met toekomst, Landbouwcentraal en een samenwerkingsproject ter verbetering van de waterkwaliteit in de Drentse Aa aandacht besteed wordt aan het beter in beeld krijgen van het belang van deze emissieroute. Ruimte voor een degelijke analyse van de rol van deze emissieroute bieden deze projecten echter niet of nauwelijks.

In Nederland zijn verschillende meetstudies, maar er is weinig systematisch onderzoek gedaan naar de mechanismes die het ontstaan van oppervlakkige afvoer sturen en de relaties tussen deze mechanismes (Appels, 2013). In literatuuronderzoek (Evenhuis, et al, 2012) kwam naar voren dat met de bestaande modellen plasvorming in redelijke mate te voorspellen is. Echter de modellen gaan uit van een homogene situatie in een perceel. In de praktijk is de situatie verre van homogeen. Herbst et al (2006) berekenden dat de horizontale verdeling van hydrologische eigenschappen van de grond effect had op de mate van oppervlakkige afspoeling in het Berrensief "catchment".

Deze natuurlijke variatie in hoogte van de grond komt ook binnen percelen voor. Micro- en meso topografie van een perceel zijn mede bepalend voor plasvorming en de kans op oppervlakkige afspoeling (Appels, 2013). Daarnaast spelen andere factoren een rol. Door het berijden en gebruik van de percelen ontstaat verdichting van de bouwvoor. Door compactie vermindert het waterbergend vermogen van de betreffende grond. Mogelijk heeft deze compactie ook gevolg voor de infiltratiecapaciteit. Beide aspecten hebben gevolgen voor de kans op plasvorming en als een uitvloeisel daarvan de kans op oppervlakkige afspoeling. Naast verdichting van de bouwvoor in z'n algemeenheid kan ook verdichting van de bovengrond door verslemping optreden, inclusief verdichte sporen bij werk onder natte omstandigheden. De vorming van een ploegzool onder de bouwvoor kan ook beschouwd worden als verdichting. Beide situaties hebben effect op plasvorming, zij het dat het mechanisme daarachter verschillend is.

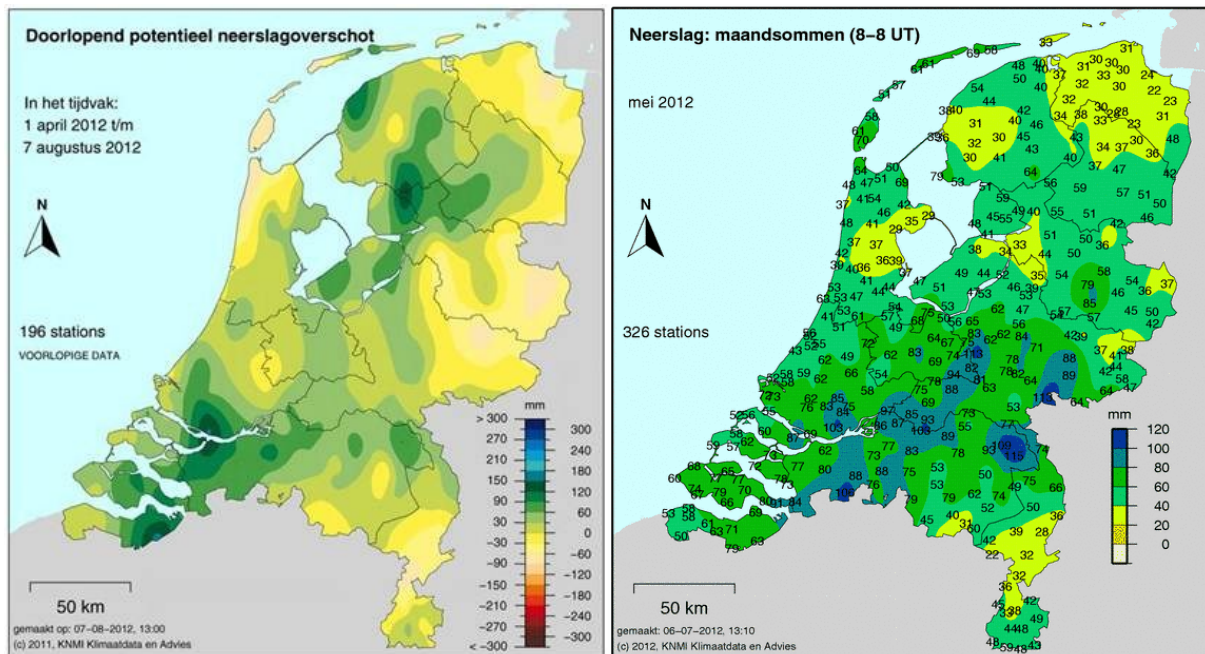
In hoofdstuk 2 is inzichtelijk gemaakt wat het effect is van verminderde infiltratiecapaciteit en berging op oppervlakkige afspoeling. In hoofdstuk 3 is inzichtelijk gemaakt in hoeverre de afspoelingsgevoeligheid voor verschillende combinaties van stoffen en grondsoorten in relatieve zin vergeleken kan worden met GeoPEARL en FOCUS PEARL. In hoofdstuk 4 is inzichtelijk gemaakt welke praktische maatregelen er genomen kunnen worden om wateroverlast op percelen te voorkomen en wat als een potentieel handelingsperspectief voor de ondernemer wordt gezien om oppervlakkige afspoeling van gewasbeschermingsmiddelen tegen te gaan.

2 Effect van verminderde infiltratiecapaciteit en berging op oppervlakkige afspoeling.

2.1 Plasvorming en oppervlakkige afspoeling

Plasvorming is een voorwaarde voor oppervlakkige afspoeling. Plasvorming kan in grote lijnen op twee manier ontstaan. Indien de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit overstijgt dan kan het water niet snel genoeg door de bodem worden opgenomen en ontstaan er plassen. De andere situatie treedt op in geval de bodem al verzadigd is met water. In dat geval kan extra neerslag niet opgenomen worden door de bodem en ontstaan eveneens plassen.

In Nederland was er in 2012 in de periode april - begin augustus sprake van een potentieel neerslag overschot (Figuur 1) en daarmee kans op plasvorming. Regionaal waren er grote verschillen in de hoeveelheid neerslag.



Figuur 1. Doorlopend potentieel neerslagoverschot in de periode april – begin augustus 2012 en de hoeveelheid neerslag in de maand mei 2012 (bron KNMI).

In hoeverre plasvorming uiteindelijk leidt tot oppervlakkige afspoeling hangt er mee samen of er een connectie is tussen de plas en het oppervlaktewater, bijvoorbeeld een sloot.

Begin mei 2012 was er een periode met vrij veel neerslag (Figuur 1). Figuur 2 laat zien dat er water tussen de aardappelruggen stond na fikse regenbuien in de dagen er voor. Zolang dit water niet in contact staat met een sloot zal er geen sprake zijn van oppervlakkige afspoeling.



Figuur 2. Wateroverlast als gevolg van overmatige regenval waargenomen op 11 mei 2012.

Ook op een naburig perceel zijn plassen gevormd, deze staan niet in verbinding met de sloot, en vormen daarmee in deze situatie geen risico op oppervlakkige afspoeling (Figuur 3). Echter dit perceel is, net als de meeste percelen, niet homogeen. In een hoek van het perceel ligt het land duidelijk lager dan de rest van het perceel. In dit geval zelfs lager dan de waterstand in de sloot, met als gevolg directe connectie tussen de plassen op het land en het oppervlakte water (Figuur 4).

Voor ieder perceel kan een perceelsberging (Wierda, 1991) of “depression storage capacity” (DSC) berekend worden, dit is een waarde die op basis van hoogte verschillen binnen een perceel “meet” hoeveel water opgeslagen kan worden op het oppervlak van het perceel voordat het kan afspoelen (naar Massop et al, 2012). Een perceel met een holle ligging zal een hogere DSC kennen dan een perceel met een bolle ligging. Massop et al (2012) hebben voor 3 percelen in Noord Limburg een DSC bepaald. Voor 2 percelen lag de DSC in de buurt van 2 cm, wat een vrij gebruikelijke drempelwaarde is als afspoeling via modellen wordt berekend. Voor een ander perceel lag de DSC op 12 cm, dit werd veroorzaakt door hoge slootkanten.

Aan de hand van modellen kan berekend worden met welke snelheid de DSC wordt gevuld bij een bepaalde neerslag hoeveelheid en intensiteit en wanneer risico op afspoeling ontstaat.

Appels (2013) heeft een model gemaakt om plasvorming te beschrijven. Ze spreekt van twee drempelwaarden die bepalen of plasvorming optreedt. De eerste drempel is het opvullen van de beschikbare water bergend vermogen in de grond. De tweede stap is het opvullen van het waterbergend vermogen van het perceelsoppervlak (DSC).



Figuur 3. Wateroverlast als gevolg van overmatige regenval waargenomen op 11 mei 2012. De plassen hebben geen directe verbinding met het oppervlakte water



Figuur 4. Wateroverlast als gevolg van overmatige regenval waargenomen op 11 mei 2012, de hoek in het perceel staat in directe verbinding met de sloot.

In een studie van Massop et al, (2012) is gekeken naar oppervlakkige afspoeling van landbouwpercelen in noord Limburg in de periode 2007 - 2011. De afspoeling trad vooral op in de periode januari t/m maart met een gemiddelde frequentie van 5 tot 9 keer per jaar. Dit verschilde van jaar tot jaar. De gemiddelde afspoeling gemeten op drie locaties varieerde van 740-1100 L water per week, voor de weken waarin afspoeling is gemeten. In deze studie werd emissie van N en P gevonden. Emissie van gewasbeschermingsmiddelen was geen onderdeel van het onderzoek.

Werd gekeken naar de periode in het jaar dat oppervlakkige afspoeling op trad dan werd het eerste afspoelingsgebeurtenis gevonden op 15 oktober en de laatste op 22 april. Tijdens het groeiseizoen is op de drie meetplekken geen oppervlakkige afspoeling geconstateerd (Massop et al., 2012). Uit literatuur blijkt dat dat emissie van gewasbeschermingsmiddelen via oppervlakkige afspoeling nauw gecorreleerd is met het toepassingstijdstip (Evenhuis, et al., 2012). Dit in ogenschouw nemende suggereert dat emissie van gewasbeschermingsmiddelen in de situatie in noord Limburg zoals beschreven door Massop et al. (2012) waarschijnlijk geen rol heeft gespeeld.

Wierda (1991) concludeert echter uit onderzoek in het stroomgebied van de Drentsche AA dat oppervlakkige afspoeling vooral, maar incidenteel, voorkomt in het voorjaar en in de zomermaanden. Dit wordt veroorzaakt door regenbuien met hoge neerslagintensiteit.

Appels (2013) concludeert in haar proefschrift dat oppervlakkige afspoeling tamelijk zeldzaam fenomeen is in vlakke landbouwgebieden in gematigde klimaatzones. In haar onderzoek beschrijft ze 7 afspoel events gedurende anderhalf jaar tijd.

2.2 Infiltratiecapaciteit en actueel waterbergend vermogen

Het al of niet ontstaan van plassen op het land bepaald of er een mogelijk risico is op oppervlakkige afspoeling. Oppervlakkige afspoeling kan ontstaan zodra het water niet voldoende infiltreert, enerzijds doordat de neerslag intensiteit de maximale infiltratiecapaciteit overschrijdt, anderzijds doordat de bergingscapaciteit (nog) onvoldoende is om het water op te nemen (van der Ploeg et al., 2011).

Een lage infiltratiecapaciteit of een gering waterbergend vermogen vergroten de kans op plasvorming. Zowel de infiltratiecapaciteit als het waterbergend vermogen wordt bepaald door de bodemstructuur.

- Infiltratiecapaciteit is de hoeveelheid water (l) die per tijdseenheid (uur) opgenomen kan worden door de bodem.
- Waterbergendvermogen is de hoeveelheid water die een bodem, bijvoorbeeld in de bouwvoor kan bevatten.
- V-max is de maximale hoeveelheid water die de bodem kan bevatten.
- V-actueel is de hoeveelheid water die op een gegeven moment in de bodem aanwezig is.
- De hoeveelheid water die nog opgenomen kan worden is het verschil tussen V-max en V-actueel; vanaf hier aangeduid met actueel waterbergend vermogen van de grond.

De infiltratiecapaciteit wordt beïnvloed door de vochtigheid van de grond. De infiltratiecapaciteit neemt toe naarmate de grond natter wordt. De infiltratiecapaciteit is ook afhankelijk van de grondslag (Tabel 1). Bij volledige verzadiging varieert de infiltratiecapaciteit van 0.7 tot 100.7 cm / dag (Wösten et al., 2001).

De door Wösten et al (2001) gegeven waarden voor infiltratie zijn gemiddelden voor de gegeven bodemtypen. Lokaal kunnen de bodemtypen sterk afwijken van het gemiddelde en daarmee een andere infiltratiecapaciteit vertonen.

Tabel 1. Infiltratiecapaciteit van de bovengrond bij verzadiging voor verschillende grondtypen (Wösten, et al., 2001).

Zand		Ks	Klei		Ks
B1	leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand	23,4	B10	Lichte klei	0,7
B2	zwak lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	12,5	B11	Matig zware klei	4,5
B3	sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	15,4	B12	Zeer zware klei	5,4
B4	zeer sterk lemig, zeer fijn tot matig fijn zand	29,2	Leem		
B5	grof zand	52,9	B13	Zandige leem	13,0
B6	Kei leem	100,7	B14	Siltige leem	0,8
Zavel			Moerig		
B7	Zeer lichte zavel	14,1	B15	Venig zand	81,3
B8	Matig lichte zavel	2,4	B16	Zandig veen en veen	6,8
B9	Zware zavel	1,5	B17	Venige klei	4,5
			B18	Kleilig veen	6,7

Naast bodemtype wordt de infiltratiecapaciteit ook bepaald door landgebruik. Wierda & Van der Veen (1992) vonden vooral oppervlakkige afspoeling in de lente en zomer bij de teelt van aardappelen en suikerbieten. Bij mais werd in beperkte mate oppervlakkige afspoeling gevonden. Bij de teelt van tarwe werd zelfs een verhoogde infiltratiecapaciteit waargenomen. Grasland bleek gevoelig voor het ontstaan van plassen door een lage infiltratiecapaciteit, echter de kans op oppervlakkige afspoeling was gering doordat de graszode relatief veel water kan vast houden.

Waterbergend wordt voornamelijk beïnvloed door de diepte van het grondwater (Van der Ploeg et al., 2012). Daarnaast neemt het waterbergend vermogen in de loop van het seizoen af door verdichting van de grond.

Het actueel water bergend vermogen verandert voortdurend, onder invloed van neerslag, verdamping en percolatie. Percolatie is het wegsijpelen van het water naar de ondergrond.

In deze definitie zal plasvorming ontstaan zodra het actueel waterbergend vermogen 0 geworden is.

Plasvorming ontstaat eveneens als de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit overstijgt. In dit geval hoeft het waterbergend vermogen geen 0 te zijn om toch plasvorming te krijgen. In een dergelijke situatie zal de plas waarschijnlijk niet lang blijven staan, nadat de regen is gestopt, omdat nog steeds waterafvoer naar de ondergrond mogelijk is.

2.3 Factoren die waterbergend vermogen beïnvloeden

Het waterbergend vermogen van de grond wordt door verschillende factoren beïnvloed. Allereerst is er de samenstelling van de bodem zelf. In deze literatuurstudie beschouwen we dit als een gegeven.

Waterretentie en doorlatendheidskarakteristieken van boven en ondergrond, de zogenoemde Staringreeks zijn beschreven door Wösten et al. 2001. Bij benadering kan daarmee voor iedere grondsoort vastgesteld worden was het waterbergend vermogen is. Bij deze benadering wordt en kan ook geen rekening gehouden worden met variaties in grondslag binnen de percelen zelf. Dit geeft beperkingen bij het berekenen van het afspoelingsrisico. In de praktijk ontstaat plasvorming juist vaak pleksgewijs en niet egaal over perceel.

De handelingen die uitgevoerd worden op een perceel hebben eveneens effect op de waterhuishouding, en daarmee op de kans op plasvorming en risico op oppervlakkige afspoeling. In de volgende paragrafen worden een aantal factoren behandeld die een effect kunnen hebben op plasvorming. Waar mogelijk wordt een indicatie gegeven van de impact die de factor kan hebben.

2.3.1 No tillage

In Queensland (Australië) is over een periode van 6 jaar onderzoek gedaan naar de effecten van no-tillage op run-off op een zware kleigrond. Hierin kwam naar voren dat de mate van run-off met 15.7% af nam bij no-tillage ten opzichte van stoppelbewerking (Li et al., 2005). Opgemerkt moet worden dat het in de experiment ging om een perceel met een hellingshoek van 6 tot 8%. In hoeverre no tillage ook een effect heeft op oppervlakkige afspoeling bij percelen met nagenoeg geen helling is niet bekend. Als no tillage er toe leidt dat de bovenlaag impermeabel wordt zou juist het omgekeerde effect kunnen optreden. In het lopende bodemprogramma van het ministerie van EZ wordt onder aansturing van PPO-AGV gekeken naar de effecten van verschillende manieren van grondbewerking op de teelt van diverse gewassen. Een onderdeel waar aandacht aan wordt besteed is naar het waterbergend vermogen van de grond en naar de infiltratiecapaciteit. Niet kerende grondbewerking leidt tot het verminderen van de grote poriën in de boven laag ten opzichte van kerende grond bewerking (p.m. Sukkel). De resultaten wat betreft infiltratiecapaciteit zijn nog niet publiek beschikbaar. De resultaten met betrekking tot infiltratie lijken niet eenduidig, echter opgemerkt moet worden dat bij dit type onderzoek meerdere jaren nodig zijn alvorens de grond een soort van steady state bereikt als gevolg van de behandelingen. Sukkel (p.m.) geeft aan dat het watervasthoudend vermogen onder niet kerende grondbewerking groter is dan bij kerende grondbewerking. Wat de effecten hiervan zijn op oppervlakkige afspoeling is niet bekend. Verwacht mag worden dat als het water vasthoudend vermogen van de grond hoger is dat de kans op oppervlakkige afspoeling toeneemt. Echter door kerende grondbewerking neemt naar verwachting de verdichting van de ondergrond toe ten opzichte van niet kerende grondbewerking. In een dergelijke situatie verwacht je juist minder oppervlakkige afspoeling bij percelen met niet kerende grondbewerking.

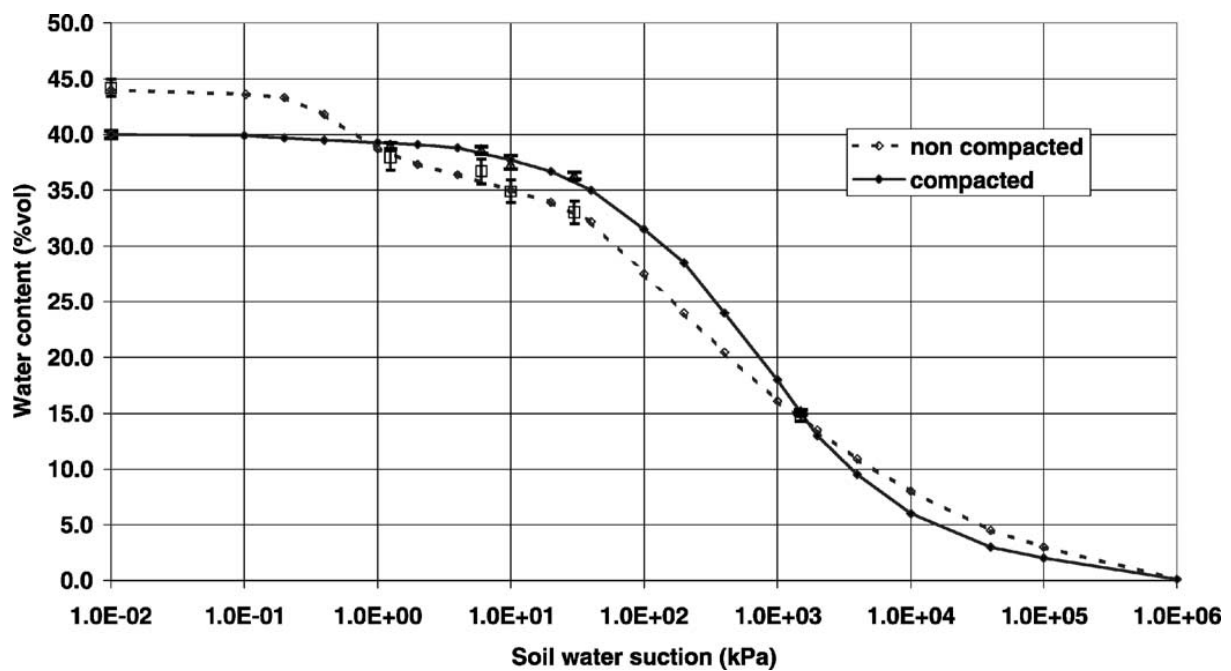
2.3.2 Bodemverdichting

Bodemverdichting verandert de structuur van de grond, verlaagt de porositeit en verhoogt de dichtheid Dit verlaagt ook de waterdoorlatendheid van de grond (Batey & McKenzie, 2006). Daarmee wordt ook de infiltratiecapaciteit van water verlaagt wat kan leiden tot verhoogde mate van afspoeling (Hamza & Anderson, 2005). Verlaging van de porositeit heeft tevens tot gevolg dat de grond minder water kan bevatten. In een situatie met overvloedige regenval zal dat eerder leiden tot plasvorming.

In Queensland (Australië) is over een periode van 6 jaar onderzoek gedaan naar de effecten van niet berijden van de grond op run-off op een zware kleigrond. Hierin kwam naar voren dat de mate van run-off met 36.3% af nam als gebruik gemaakt werd van vaste rijpaden ten opzichte van het eenmalig berijden van het gehele perceelsoppervlak met een tractor. In diezelfde plots nam de beschikbare hoeveelheid water voor het graan met 10 mm (11.5%) toe in de bovenste 50 cm (Li et al., 2007). Tevens kan hieruit geconcludeerd worden dat het water bergend vermogen van een niet bereden grond ~10% (in dit geval) groter is; i.e. dat er van een bui 5-10 mm meer opgevangen kan worden in deze grond als ze niet bereden is ten opzichte van dezelfde grond die wel bereden is. Li et al (2007) laten zien dat dit meteen effect heeft op run-off.

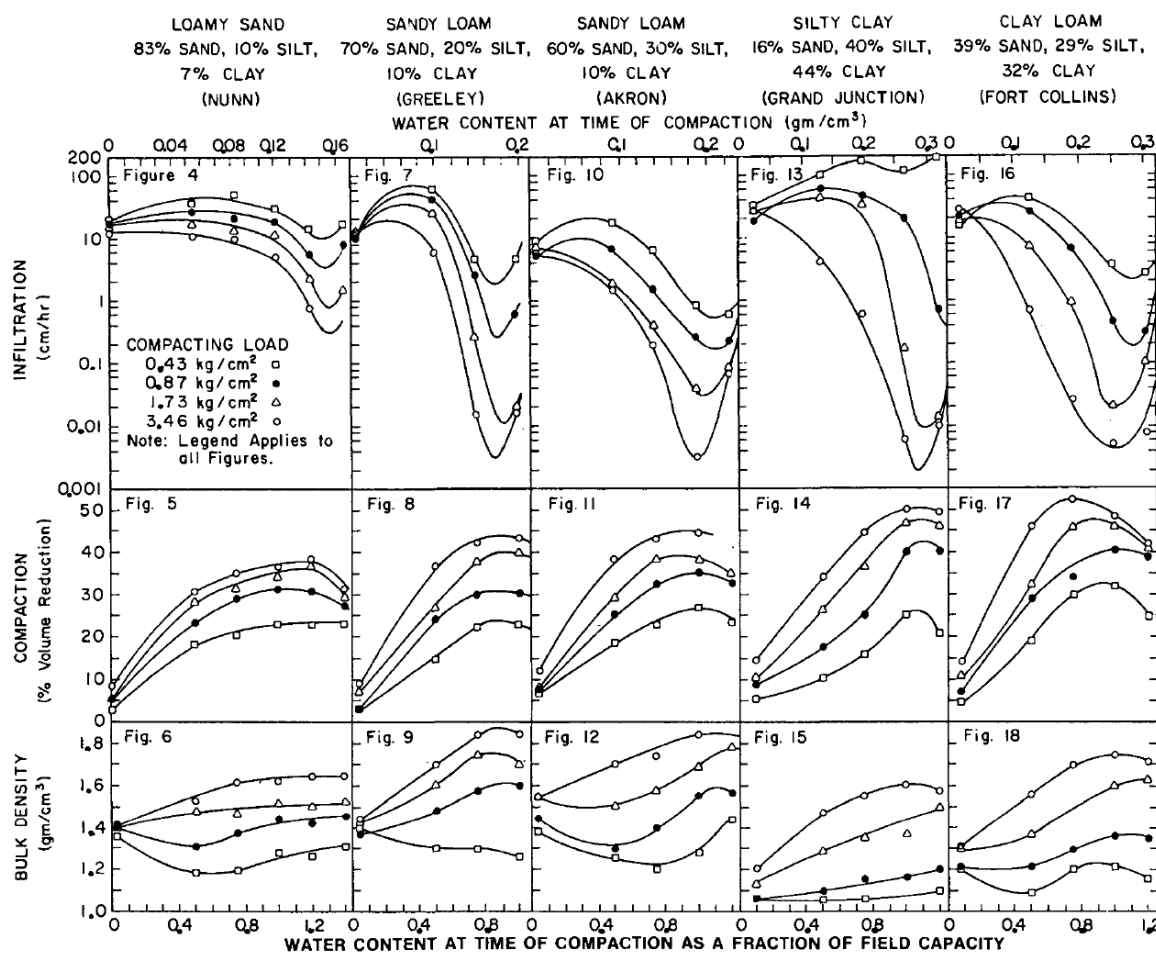
De tijd tot plasvorming in plots die eenmalig bereden werden was onder de proefomstandigheden 5 tot 7 minuten. Bij zero-tillage velden was dat 11 minuten zonder gewasresten en 28 minuten met gewasresten (Li et al., 2001). Verdichting van de grond door berijden met en druk van 0.5 MPa verlaagde de infiltratiecapaciteit in een proef van 50 cm / dag naar 0.5 cm / dag (Stenitzer & Murer, 2003). Dit geeft aan dat de infiltratiecapaciteit sterk afgenomen is door het berijden van de grond en dat daarmee bij minder neerslag of bij een lagere neerslagintensiteit al plasvorming kan optreden.

Figuur 5 laat zien dat de niet bereden grond in de laag 0-30 cm ongeveer 10% meer water kan bevatten dan de bereden grond, onder vochtige omstandigheden. Het effect van berijden werd in de studie vrij accuraat voorspeld door het model SIMWASER. Dit model voorspelt eveneens het effect op gewasgroei en opbrengst; in dit geval van mais.



Figuur 5. Vocht karakteristiek(0-30 cm) in "niet bereiden" grond (gestippelde lijn) en compacte grond (doorgetrokken lijn) uit Stenitzer & Murrer, 2003.

Een meer modelmatige benadering werd gekozen door Akram & Kemper (1979). In een test opstelling werden van verschillende grondtypes getest wat het effect was van druk op infiltratie, waterbergend vermogen en de mate van verdichting (Figuur 6). Hierbij werd de druk aangebracht bij verschillende mate van bodemvochtigheid. In deze proeven nam de infiltratiecapaciteit sterk af als ook het volume van de grond bij toename van de aangebrachte druk. Met de afname van het porievolumen neemt het water bergend vermogen van de grond eveneens af.



Figuur 6 Het effect van berijden op infiltratiecapaciteit, water bergend vermogen en dichtheid van de grond, waarbij de versichting plaats vond bij verschillende mate van bodemvochtigheid (Akram & Kemper, 1979).

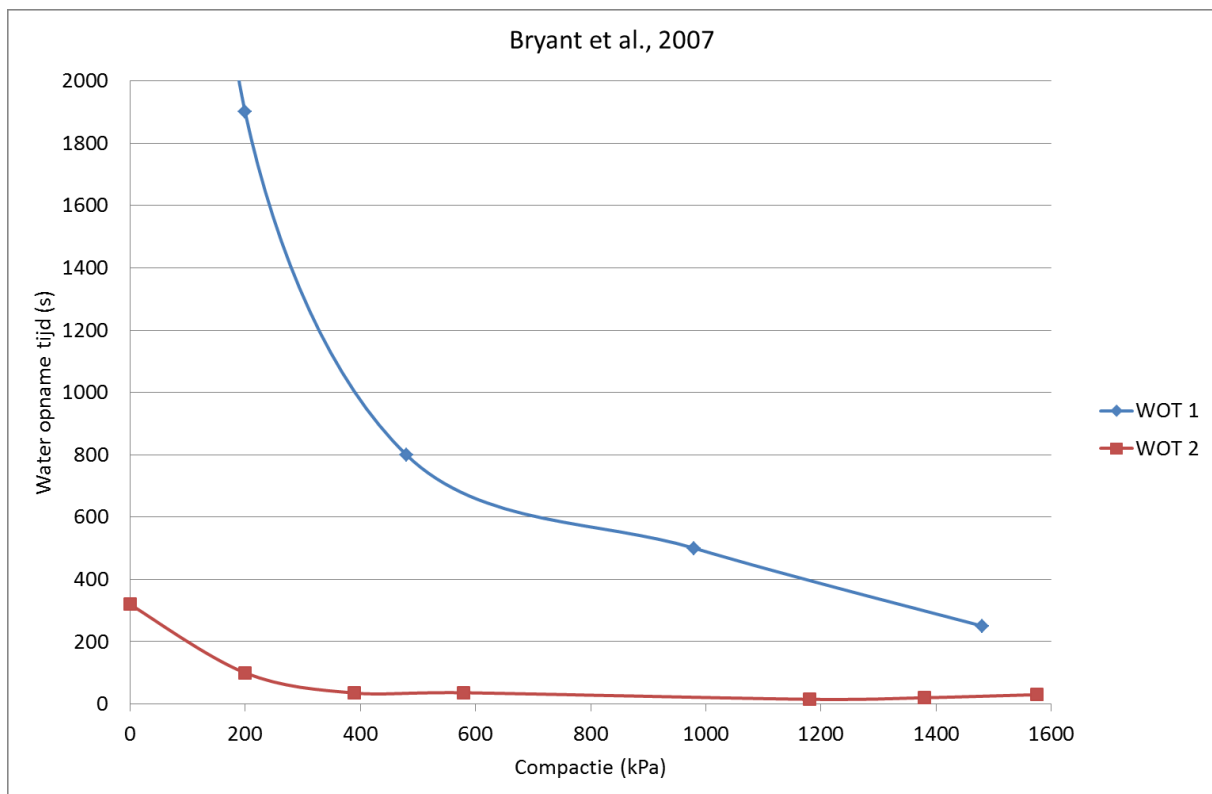
In de proeven werd de hele strook van het proefveld bereiden, wat natuurlijk in de praktijk niet het geval zal zijn. Echter ook deze proefneming laat zien dat het ineenklinken van de grond effect heeft op het waterbergend vermogen, en daarmee op de kans op plasvorming en mogelijk het risico op afspoeling.

2.3.3 Waterafstoting

In de literatuur wordt ook het fenomeen "water repellency" of water afstoting van de grond beschreven. Dit is de situatie waarbij er in de bodem nog voldoende ruimte is om het water op te nemen, maar dat gebeurt niet of in onvoldoende mate omdat de infiltratiecapaciteit van de bovenste bodemlaag te laag is (Bryant et al., 2007). Dit fenomeen treedt vooral op bij droge grond en een grondslag met een grove structuur zoals zandgronden (Robinson, 1999).

In een teelt waarbij op ruggen wordt geteeld, zoals aardappelen, werd ook waargenomen dat relatief weinig water door de rug werd opgenomen (Robinson, 1999).

De opnametijd van een waterdruppel in de grond is een maat voor de mate van waterafstotendheid van de grond. Deze kan per grondsoort sterk verschillen. Figuur 7 laat zien dat een compacte grond gemakkelijker water opneemt dan een losse grond (Bryant et al, 2007). Daarnaast zien we ook dat er ook tussen de gronden grote verschillen zijn in opname tijd, vooral als de grond droog is. Bij een sterk waterafstotende toplaag is de kans op plasvorming bij een regenbui met hoge neerslag intensiteit groot.



Figuur 7. Relatie tussen verdichting van de grond en water opneembaarheid uitgedrukt in opname tijd voor een zeer sterk waterafstotende grond (WOT1) en een sterk waterafstotende grond (WOT2) naar Bryant et al., 2007.

Bij een compacte bovenlaag van de grond wordt het water gemakkelijker opgenomen (Bryant et al., 2007). Enerzijds verminderd dat de kans op het ontstaan van plassen en verlaagt daarmee het risico op oppervlakkige afspoeling. Als de verdichting zich niet beperkt tot de bovenlaag dan heeft deze grond minder porie volume (Batey & McKenzie, 2006). Dit heeft tot gevolg dat de grond op zichzelf minder water kan bevatten, wat dan bij overmatige regenval weer eerder leidt tot plasvorming. In het geval dat van een onweersbui in de zomer, in een relatief droge periode, kan het zijn dat op een sterk afstotende grond eerder plasvorming ontstaat dan op een compacte grond. Andersom in een overwegend natte periode is de kans op plasvorming bij een compacte grond waarschijnlijk groter, simpelweg omdat deze minder water bergend vermogen heeft als een niet compacte grond. Dit geeft aan dat de fysische aard van de bodem in samenhang met de weersomstandigheden, zowel actueel als in het recente verleden, bepalend zullen zijn of plasvorming optreedt.

2.3.4 Storende lagen

Compacte of storende lagen in de ondergrond kunnen effect hebben op de water doorlatendheid. Bijvoorbeeld door ploegen kan er direct onder de bouwvoor een storende laag of ploegzool ontstaan, waardoor het wegsijpelen van water naar de ondergrond en uiteindelijk naar het grondwater wordt vertraagd. In Noordwest India werd onderzoek gedaan naar het aanbrengen van "sub soil compaction" om verlies van water en nutriënten naar de ondergrond te voorkomen. Op deze wijze kon 15-36% aan irrigatiewater bespaard worden (Agrawal, 1991). Dit geeft aan dat bij aanwezigheid van storende lagen het water minder snel wegsijpelt naar de ondergrond. Feitelijk nam het water bergend vermogen van deze grond met 15 tot 36% af. Bij excessieve regenval wordt eerder het moment van waterverzadiging van de grond bereikt met als gevolg dat er plasvorming optreedt.

Onderzoek van Alterra (Van den Akker, et al., 2009) laat zien dat storende lagen in de ondergrond kan leiden tot hogere stijghoogte en zelfs tot plasvorming, met wateroverlast tot gevolg. De onderzoekers laten tevens zien dat dit effect zeer lokaal in percelen optreedt, wat het lastig maakt om uitspraken te doen over het ontstaan van risico op afspoeling voor hele percelen, laat staan regio's.

2.4 Conclusies

- Plasvorming is een voorwaarde om tot oppervlakkige afspoeling te komen. In grote lijnen kan plasvorming op 2 manieren ontstaan. Ten eerste doordat de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit overstijgt. Ten tweede doordat de bodem verzadigd is waardoor de neerslag niet meer opgenomen kan worden.
- Percelen zijn van zichzelf niet homogeen, waardoor op de ene plek wateroverlast kan ontstaan en op de andere plek in hetzelfde perceel het water opgenomen kan worden door de bodem
- Bij een droge grond met een grove structuur kan de infiltratiecapaciteit zo laag zijn dat er risico op plasvorming ontstaat en daarmee op oppervlakkige afspoeling.
- Verslemping van de bovenlaag zal eveneens leiden tot een grotere kans op plasvorming.
- In een situatie waarbij de grond verzadigd is zal tijdens neerslag plasvorming optreden, omdat het water bergend vermogen van de bodem te laag is.
- Verdichting of inklinken van de grond leidt tot een lager porievolume, waardoor het water bergend vermogen lager is. Tijdens een regenbui zal dan eerder water verzadiging optreden en plasvorming ontstaan.
- Storende lagen in de grond verminderen percolatie van water naar de ondergrond. In perioden met overmatige neerslag zullen op dergelijke percelen eerder water blijven staan.
- Of plasvorming inderdaad leidt tot oppervlakkige afspoeling hangt van velerlei factoren af, waarvan de perceelberging 1 van de belangrijkste is.

3 Modelberekeningen

Dit hoofdstuk bevat een beschrijving van de opzet en de resultaten van het modelonderzoek naar de mate van afspoeling vanaf vlakke percelen. Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra.

Voor een aantal stoffen wordt de gevoeligheid voor afspoeling vanaf percelen beoordeeld. Voor een aantal combinaties van stoffen en locaties zijn de resultaten van modelberekeningen verwerkt tot een eenvoudige indicator voor de afspoelingsgevoeligheid. In de discussie wordt ingegaan op de mogelijkheden en de beperkingen van deze indicator. Het hoofdstuk wordt afgesloten met enkele conclusies en aanbevelingen.

3.1 Selectie stoffen en locaties

Er is onderzocht hoe de afspoeling vanaf aardappel- en maïspancelen kan worden ingeschat met behulp van berekeningen met een hiertoe geschikte versie van het procesgeoriënteerde model GeoPEARL of PEARL (Tiktak et al., 2003; Tiktak et al., 2004; Van den Berg et al., 2008). Deze modellen worden in de toelating gebruikt. De omstandigheden op de percelen zijn in deze modellen vertaald naar een aantal locaties met unieke combinaties van bodem, hydrologie en klimaat. De ruimtelijke verdeling van deze combinaties en de bijbehorende invoergegevens zijn een onderdeel van GeoPEARL.

Hoewel voor een groot aantal actieve stoffen en locaties berekeningen kunnen worden uitgevoerd, leidt de tijdrovende verwerking en interpretatie van de resultaten per stof er toe dat slechts voor een klein aantal actieve stoffen en locaties een beeld van de potentiële afspoeling kan worden geschetst. Het is daarom zaak om voordat tot berekeningen wordt overgegaan, tot een juiste keuze van actieve stoffen en locaties te komen.

Bij deze keuze werd rekening gehouden met de volgende aspecten:

- Het moeten stoffen zijn die in de aardappelteelt en/of maïsteelt worden gebruikt, waarbij de voorkeur uitgaat naar stoffen met een hoog verbruik;
- Zowel stoffen met een hoge, gemiddelde en lage gevoeligheid voor afspoeling dienen in de set aanwezig te zijn;
- Zowel locaties met een hoge als een gemiddelde kans op het optreden van oppervlakkige afstroming (run-off) dienen in de set aanwezig te zijn.

3.1.1 Stoffen

Een eerste inschatting van de gevoeligheid voor afspoeling is gemaakt op basis van de vergelijking zoals die in de HAIR indicator voor de vracht run-off (Kruijne et al., 2011) is gebruikt:

$$F = \frac{1}{1 + f_{om} K_{om}} e^{-\frac{\ln(2)}{\text{DegT50}_{soil}}(dt)} \quad \text{Vgl. 1}$$

F	fractie van de netto bodemdepositie beschikbaar voor afspoeling, dt dagen na toepassing;
dt	tijdsinterval tussen toediening en het optreden van regenval/afspoeling (d);
DegT50_{soil}	halfwaardetijd voor afbraak in bodem (d);
f_{om}	fractie organische stof in bodem (-);
K_{om}	sorptiecoëfficiënt van de stof in bodem (L kg^{-1}).

Er is een overzicht gemaakt van stoffen die in de teelt van aardappelen en maïs worden gebruikt, inclusief toepassingsperiode. Voor deze lijst van 75 stoffen is de afspoelingsgevoeligheid berekend voor 3% organische stofgehalte van de bodem ($f_{om} = 0.03$; deze keuze heeft geen invloed op de volgorde van de berekende afspoelingsgevoeligheid), een default bodemtemperatuur van 20°C en een periode van drie dagen tussen het tijdstip van toepassing en het optreden van de eerste regenbui ($dt = 3$ dagen). De 75 stoffen zijn hierna gesorteerd op afnemend risico voor afspoeling, en opgesplitst in vijf groepen van elk 15 stoffen met zeer hoge, hoge, gemiddelde, lage en zeer lage afspoelingsgevoeligheid. Uit elke groep worden in Tabel 2 de stoffen met het hoogste verbruik in aardappelen en/of maïs binnen die groep gegeven (verbruiksgegevens NMI 3, 2008).

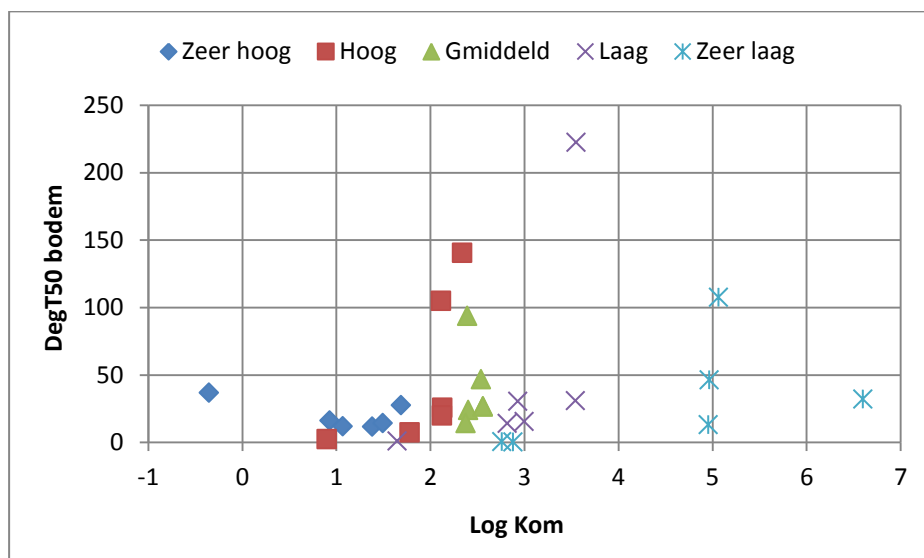
Tabel 2: Overzicht van stoffen in de 5 categorieën van afspoelingsgevoeligheid; zeer hoog ($F > 0.17$), hoog ($0.06 < F \leq 0.17$), gemiddeld ($0.02 < F \leq 0.06$), laag ($0.001 < F \leq 0.02$) en zeer laag ($F \leq 0.001$), waarbij F de voor afspoeling beschikbare fractie is, zoals berekend met Vgl. 1.

Stof	Voor afspoeling beschikbare fractie	Categorie afspoelings-risico	Verbruik in 2008 volgens NMI 3 (Categorie &)	Gewas	K_{om} (l kg ⁻¹)	DegT50 bodem (d)
Oxamyl	0,31	Zeer hoog	III	Aardappel	11,7	11,8
Metribuzin	0,22	Zeer hoog	III	Aardappel	31,1	14,1
Bentazon	0,47	Zeer hoog	III	Aardappel	0,44	36,7
Ethoprosfos	0,19	Zeer hoog	III	Aardappel	48,9	27,6
Sulcotrion	0,24	Zeer hoog	III	Maïs	24,0	11,6
Mesotrione	0,35	Zeer hoog	II	Maïs	8,5	16,1
Dimethenamide-P	0,09	Hoog	IV	Maïs	133	25,6
Metiram	0,16	Hoog	IV	Aardappel	7,9	2,2
Terbutylazin	0,10	Hoog	IV	Maïs	130	105
S-Metolachloor	0,09	Hoog	III	Maïs	133	19,9
Fluopicolide	0,07	Hoog	III	Aardappel	218	141
Glufofinaat-ammonium	0,13	Hoog	III	Aardappel	60	7,2
Propamocarb-HCl	0,04	Gemiddeld	IV	Aardappel	361	26,5
Propamocarb	0,04	Gemiddeld	IV	Aardappel	361	26,5
Linuron	0,04	Gemiddeld	III	Aardappel	346	46,8
Azoxystrobine	0,06	Gemiddeld	III	Aardappel	246	93,7
Nicosulfuron	0,05	Gemiddeld	II	Maïs	253	24
Benthiavdicarb-isopropyl	0,05	Gemiddeld	II	Aardappel	238	14,3
Prosulfocarb	0,01	Laag	IV	Aardappel	996	15,3
Fluazinam	0,004	Laag	IV	Aardappel	3481	30,9
Pencycuron	0,005	Laag	IV	Aardappel	3553	223
Cymoxanil	0,02	Laag	IV	Aardappel	45	0,81
Mandipropamid	0,02	Laag	III	Aardappel	850	30,3
Chloorthalonil	0,02	Laag	III	Aardappel	656	13,9
Mancozeb	$\leq 0,001$	Zeer laag	V	Aardappel	574	0,43
Diquat dibromide	$\leq 0,001$	Zeer laag	IV	Aardappel	3966000	32
Maneb	$\leq 0,001$	Zeer laag	III	Aardappel	760	0,12
λ -Cyhalothrin	$\leq 0,001$	Zeer laag	II	Aardappel	92544	46,3
Esfenvaleraat	$\leq 0,001$	Zeer laag	I	Aardappel	116000	108
Deltamethrin	$\leq 0,001$	Zeer laag	I	Aardappel	90184	13,1

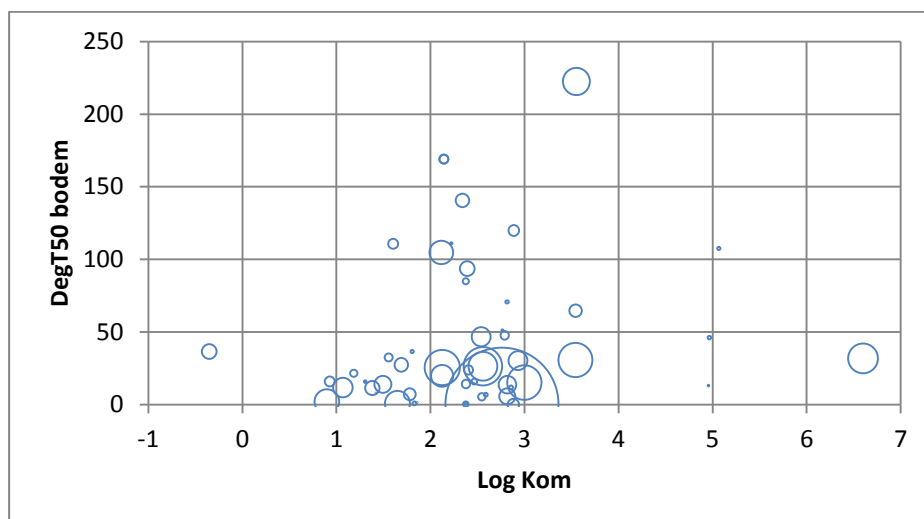
&) Verbruiskategorieën: I = < 1 ton; II = 1 – 10 ton; III = 10 – 50 ton; IV = 50 – 250 ton; V = >250 ton.

Uit Figuur 8 is duidelijk dat het in de categorie met lage tot zeer lage gevoeligheid voor afspoeling vooral immobiele stoffen met zeer hoge K_{om} betreft, waarbij de variatie in afbraaksnelheid minder van belang is. Deze stoffen binden dusdanig sterk aan bodem dat zij nauwelijks in het eventueel afspoelende water worden opgelost. Bij de stoffen met hoge en zeer hoge gevoeligheid voor afspoeling betreft het daarentegen mobiele stoffen met relatief lage K_{om} (allen hebben een $K_{om} < 250$) die zwak aan bodemdeeltjes binden en

daardoor goed tot zeer goed beschikbaar zijn voor opname in eventueel afspoelend water. Voor deze stoffen geldt dat zeer snelle afbraak zal leiden tot merkbaar minder hoge gevoeligheid voor afspoeling. Bij de resterende stoffen (beschikbare fractie tussen 0,02 en 0,06) geldt dat het samenspel van binding aan gronddeeltjes en afbraak in de grond leidt tot een gemiddelde beschikbaarheid voor afspoeling.



Figuur 8: Verdeling van K_{om} ($L \cdot kg^{-1}$) en DegT50 (d) over de verschillende categorieën afspoelingsrisico.



Figuur 9: Omvang van het verbruik van de stoffen uit Figuur 8. Een grote cirkel staat voor een hoog volume verbruik in 2008 (NMI 3).

Uit Figuur 9 wordt duidelijk dat er weinig verband is tussen de hoogte van het verbruik en de stoffeigenschappen K_{om} en DegT50 bodem; de stoffen zijn redelijk homogeen verdeeld over beide assen, ongeacht hun verbruik. Eén van de stoffen neemt qua verbruik een eenzame koppositie in, namelijk mancozeb, de enige stof met een verbruik > 250 ton (waarvan ca. 40% in aardappelen). Deze stof heeft een gemiddelde waarde voor $\log K_{om}$ (2.76) en een relatief lage halfwaardetijd in bodem (0.43 dagen),

waardoor zijn afspoelingsgevoeligheid zeer laag is.

Vanuit metingen onder praktijkomstandigheden is enige informatie beschikbaar omtrent afspoeling van fluazinam, metribuzin en bentazon vanaf zavelgrond met aardappelen (van der Pas et al., 1997) en van metolachloor, atrazin en bromoxynil vanaf zandgronden met snijmaïs (Deneer et al., 1999). Kroonen-Backbier en van der Hulst (2009) beschrijven de resultaten van metingen in oppervlaktewater in twee gebieden met maïsteelt, waarbij vooral s-metolachloor, terbutylazine, dimethenamid-P, dicamba en bentazon geregeld in het oppervlaktewater werden aangetroffen, waarbij er een correlatie was tussen het optreden van regenbuien en het aantreffen in oppervlaktewater, wat volgens deze auteurs lijkt te wijzen op afspoeling. In waterplassen op percelen in dezelfde regio werden enkele actieve stoffen in gehalten boven de 10 µg/L aangetroffen: nicosulfuron (max. 130 µg/L), dicamba (max. 19 µg/L), dimethenamide (max. 240 µg/L), s-metolachloor (max. 29 µg/L), terbutylazine (max. 220 µg/L) en mesotrione (max. 23323 µg/L, meerdere metingen boven de 1000 µg/L).

Alle genoemde stoffen zijn op dit moment (oktober 2012) nog toegelaten in een of meer middelen, behalve atrazin dat daarom buiten beschouwing wordt gelaten. Op basis van de experimentele observaties, deels in plassen, en vergelijken met de in Tabel 2 gegeven lijst van stoffen lijken vooral de volgende stoffen interessant voor de modelberekeningen (in volgorde van afnemende gevoeligheid voor afspoeling en verbruik):

- Bentazon, een herbicide dat na opkomst in mei-juni in maïs wordt gebruikt. De stof kent een zeer hoge gevoeligheid voor afspoeling en een hoog verbruik (Categorie III).
- Metribuzin, een herbicide dat in april-mei voor opkomst in aardappelen wordt gebruikt. Deze stof heeft volgens Tabel 2 een zeer hoge gevoeligheid voor afspoeling en een hoog verbruik (Categorie III).
- Mesotrione, herbicide in maïs dat wordt gebruikt na opkomst, in mei – juni. De stof kent volgens Tabel 2 een zeer hoge gevoeligheid voor uitspoeling en een laag verbruik (Categorie II).
- Dicamba, een herbicide in maïs dat na opkomst in 2-6 blad in mei-juni wordt toegepast, eventueel kan ook onder het gewas worden gespoten (8 blad). Deze stof is zeer gevoelig voor afspoeling maar kent een lager verbruik (Categorie II) dan veel andere stoffen in deze categorie van gevoeligheid.
- Dimethenamid-P, een herbicide in maïs, dat kort voor of na opkomst in mei wordt toegepast, met volgens Tabel 2 een hoge gevoeligheid voor afspoeling en een zeer hoog verbruik (Categorie IV).
- Terbutylazine, een bodemherbicide in maïs, dat kort voor of na opkomst in mei wordt toegepast. Volgens Tabel 2 een hoge gevoeligheid voor afspoeling en een zeer hoog verbruik (Categorie IV).
- S-metolachloor, een herbicide dat in april voor opkomst in maïs wordt gebruikt. Deze stof heeft volgens Tabel 2 een hoge gevoeligheid voor afspoeling en een hoog verbruik (Categorie III).
- Nicosulfuron, een herbicide in snijmaïs dat in mei – juni na opkomst (bladstadium 2 – 8) wordt gebruikt. De stof is volgens Tabel 2 gemiddeld gevoelig voor afspoeling en kent een laag verbruik (Categorie II).
- Fluazinam, een fungicide dat in mei – augustus in aardappelen wordt gebruikt. Wordt normaliter toegepast met een groot aantal herhalingen. Heeft volgens Tabel 2 een lage gevoeligheid voor afspoeling maar kent wel een zeer hoog verbruik (Categorie IV).
- Bromoxynil is een herbicide dat in mei-juni na opkomst in maïs wordt gebruikt. Het kent een lage gevoeligheid voor afspoeling en een laag verbruik (Categorie II).

Deze lijst bevat drie stoffen met zeer hoge gevoeligheid voor afspoeling; voorgesteld wordt om de twee stoffen met het hoogste verbruik hieruit te selecteren: bentazon en metribuzin. De lijst bevat verder drie stoffen met hoge gevoeligheid; ook hier ligt het voor de hand om de stof met het hoogste verbruik te kiezen: dimethenamide-P. De lijst bevat slechts één stof met een gemiddelde gevoeligheid voor uitspoeling: nicosulfuron. Eventueel kan een tweede stof met gemiddelde gevoeligheid worden toegevoegd:

azoxystrobine of propamocarb, waarvan de laatste het meest interessant is vanwege het zeer hoge verbruik. Tenslotte bevat de lijst twee stoffen met een lage gevoeligheid voor uitspoeling: bromoxynil en fluazinam, waarvan vooral fluazinam een hoog verbruik kent.

Daarnaast wordt het zinvol geacht om ter controle van de interne consistentie van de resultaten een stof met zeer lage gevoeligheid voor uitspoeling toe te voegen: lambda-cyhalothrin. Dit insecticide wordt in juni – juli in aardappelen toegepast (verbruik 1 ton). Een overzicht van de stoffen die het meest geschikt worden geacht om berekeningen van de mogelijke afspoeling uit te voeren wordt in Tabel 3 gegeven.

Tabel 3: Selectie van stoffen die worden gebruikt in aardappelen en maïs en die het meest geschikt zijn als voorbeeldstof om afspoelingsberekeningen uit te voeren.

Stof	Gewas	Gebruik (maand)	F (Vgl. 1)	Verbruik (Categorie &)
Bentazon	Maïs	5 – 6	0,47	II
Metribuzin	Aardappel	4 – 5	0,22	II
Dimethenamide-P	Maïs	5	0,09	IV
Nicosulfuron	Maïs	5 – 6	0,05	II
Propamocarb	Aardappel	6 – 7	0,04	IV
Bromoxynil	Maïs	5 – 6	0,02	II
Fluazinam	Aardappel	7	0,004	IV
λ-Cyhalothrin	Aardappel	6 - 7	< 0,001	II

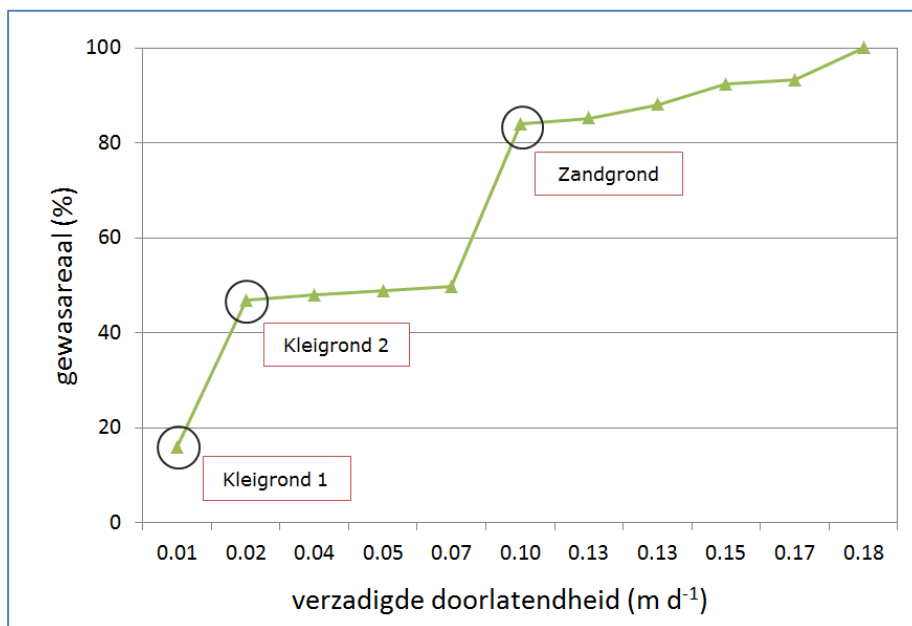
&) Verbruikscategorieën: I = < 1 ton; II = 1 – 10 ton; III = 10 – 50 ton; IV = 50 – 250 ton; V = >250 ton.

De berekeningen zijn verkennend van aard omdat de modellen nog niet eerder op deze manier zijn ingezet.

3.1.2 Locaties

Een van de doelstellingen is om in kwantitatieve zin inzicht te krijgen in de mogelijkheid van het optreden van afspoeling van stoffen die in de teelt van aardappelen en maïs worden gebruikt. Het lijkt aantrekkelijk om, als eenmaal een stof is gekozen, berekeningen uit te voeren voor het hele akkerbouw areaal in Nederland, ongeacht de gewassen die op het betreffende areaal worden verbouwd en ongeacht de vraag of de stof überhaupt in dat gewas wordt gebruikt. Op deze wijze zou een landsdekkend beeld van de gevoeligheid voor afspoeling van de betreffende stof kunnen worden gegenereerd. Voor een dergelijke opzet waren de benodigde voorzieningen op het gebied van rekencapaciteit, opslagruimte, en nabewerkingsprogramma's binnen het kader van dit onderzoek niet voorhanden.

In GeoPEARL zijn de bodemkaart en gewaskaarten van de belangrijkste open teelten aanwezig. Voor een aantal locaties (eenheden van de hydrologische schematisatie van Nederland; ook wel STONE-plots genoemd) die relevant zijn voor de aardappelteelt zijn berekeningen gedaan. Uitbreiding van de berekeningen voor maïs bleek binnen de beperkingen van het project niet haalbaar. De locaties zijn geselecteerd aan de hand van de verdeling van de waterverzadigde doorlatendheid van de bodem over het areaal aardappelen in Nederland. Figuur 10 toont de cumulatieve frequentieverdeling voor het areaal aardappelen; in de figuur zijn drie groepen locaties gemarkeerd als Kleigrond 1 (16% van het areaal aardappelen; $K_s = 0,012 \text{ m d}^{-1}$), Kleigrond 2 (31%; $K_s = 0,023 \text{ m d}^{-1}$), en Zandgrond (34 %; $K_s = 0,097 \text{ m d}^{-1}$). Samen omvatten deze drie groepen locaties 81% van het areaal aardappelen Nederland.



Figuur 10: Cumulatieve frequentieverdeling van de waterverzadigde doorlatendheid van de bodem over het areaal aardappelen in Nederland (GeoPEARL). Omcirkeld zijn groepen locaties waarvoor berekeningen zijn gedaan.

3.2 Opzet berekeningen

De hoeveelheid afspoeling vanaf een perceel is gelijk aan het product van het volume water (afstroming) en de concentratie. Het doel van de berekeningen is om voor een aantal locaties en stoffen een indicatie te geven voor de relatieve afspoelingsgevoeligheid op basis van een realistisch verloop van; 1) het afstromingsproces en 2) de concentratie opgeloste stof in het afstromende water.

De berekeningen zijn uitgevoerd met FOCUS PEARL versie 4, met de bodem- en oppervlaktewater-gegevens volgens de STONE-schematisatie. Meteorologie op uurbasis is afkomstig van het weerstation de Bilt. De lengte van de tijdreeks is 30 jaar (1981-2010). Bijlage 1 bevat enkele details over de modellering van de gewasverdamming en de bodemverdamming tijdens het groeiseizoen, de bodemverdamming in de rest van het jaar, en de verdamping van het water dat aanwezig is in plassen op het maaiveld. Deze processen beïnvloeden het verloop van de vochthuishouding in het bovenste gedeelte van de bodem en zijn daarmee bepalend voor het moment waarop het model plasmavorming en afstroming berekent.

De concentratie in plassen op het maaiveld is niet beschikbaar in de uitvoer van het model. Als benadering van de concentratie in de waterlaag op het maaiveld is gebruik gemaakt van de concentratie in het bodemvocht in de bovenste centimeter van de bodem.

De indicator voor de kans op afspoeling wordt berekend als de langjarig gemiddelde concentratie op de momenten (uren) dat er sprake is van afstroming;

$$I = \frac{\sum v_{pond,t} c_{soil,t}}{\sum v_{pond,t}} \quad \text{Vgl. 2}$$

I indicator voor de afspoelingsgevoeligheid van de stof-bodem combinatie ($\mu\text{g L}^{-1}$);
 V_{pond} diepte van plassen op het maaiveld, op tijdstip t (mm);
 C_{soil} concentratie in het bodemvocht van de bovenste centimeter van de bodem, op tijdstip t ($\mu\text{g L}^{-1}$);

De indicator geldt als een relatieve maat voor de afspoelingsgevoeligheid van de stof op een bepaalde locatie (STONE plot), bij een bodemdepositie van 1 kg ha^{-1} . De indicator is uitgedrukt in eenheden van concentratie. Er zijn berekeningen uitgevoerd voor de combinaties van drie locaties die representatief zijn voor het areaal aardappelen (Figuur 10) en vier stoffen die gebruikt worden in de aardappelteelt (Tabel 4). In het model wordt de stof eenmalig toegediend met een nominale bodemdepositie (1 kg ha^{-1}), op het tijdstip dat halverwege de toepassingsperiode ligt (Tabel 4).

Er is gekozen voor het gewas aardappel omdat er een goede beschrijving beschikbaar is van resultaten (op dagbasis) van de gewasverdamming en bodemevaporatie volgens een eerder versie van hetzelfde model (Kruijne et al., 2008; zie ook Bijlage 1).

Tabel 4: Het tijdstip van een eenmalige, jaarlijkse toepassing (1 kg ha^{-1}) en de categorie voor het afspoelingsgevoeligheid en het verbruik van de vier geselecteerde stoffen

stofnaam	toepassingstijdstip	Afspoelingsrisico (Sectie 3.2)	Volume verbruik (2008) (Sectie 3.2)
metribuzin	30 april	zeer hoog	gemiddeld
propamocarb HCl	30 juni	gemiddeld	hoog
fluazinam	15 juli	laag	hoog
lambda cyhalothrin	30 juni	zeer laag	laag

3.3 Resultaten

In Tabel 5 is de gemiddelde hoeveelheid afstroming op jaarbasis gegeven voor de drie locaties. De gemiddelde hoeveelheid afstroming is het grootst op de locaties met de laagste waarde voor de verzadigde doorlatendheid. De gemiddelde hoeveelheid afstroming is het kleinste op de locatie met de hoogste waarde voor de verzadigde doorlatendheid. Dit is tevens de locatie met het hoogste gehalte organische stof in de bovenste laag van de bodem.

Tabel 5: Selectie van drie locaties voor berekeningen; het gehalte organische stof en de verzadigde doorlatendheid van de bovengrond en de berekende, langjarig gemiddelde hoeveelheid afstroming.

	kleigrond 1	kleigrond 2	zandgrond
STONE plot	2082	4821	621
organische stof (kg kg^{-1})	0.033	0.035	0.179
verzadigde doorlatendheid K_s (m d^{-1})	0.012	0.023	0.097
afstroming (mm jr^{-1})	30	8	2

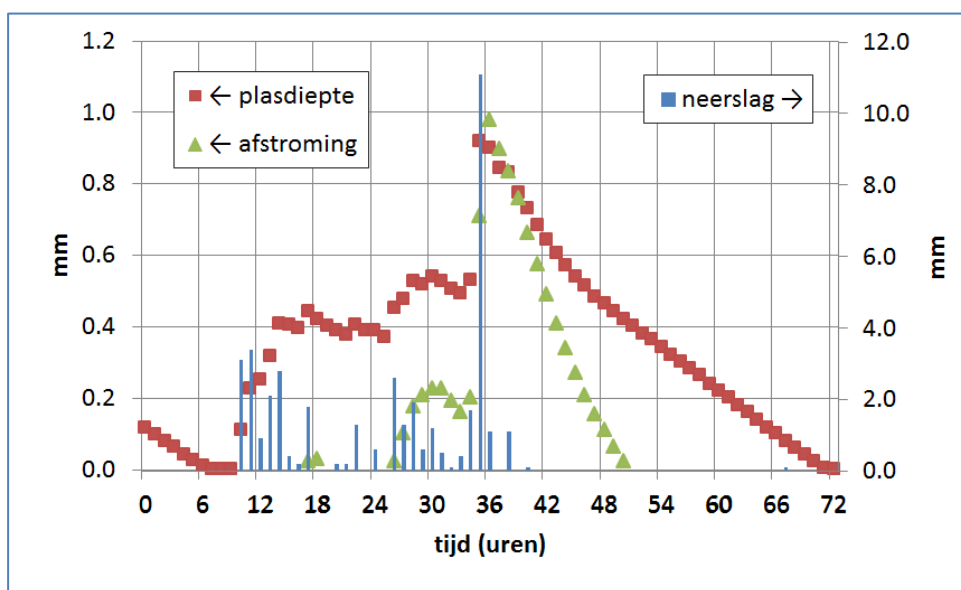
In Tabel 6 zijn de uitkomsten voor de indicator voor de afspoelingsgevoeligheid gegeven. De hoogste waarden zijn berekend voor metribuzin (zeer hoge afspoelingsgevoeligheid) en propamocarb-HCL (hoge afspoelingsgevoeligheid), gevolgd door fluazinam (gemiddelde afspoelingsgevoeligheid). Zoals verwacht zijn de laagste waarden berekend voor lambda-cyhalothrin (lage afspoelingsgevoeligheid). Voor de locatie met de laagste waarde voor de verzadigde doorlatendheid (Kleigrond 1) is de waarde van de indicator het hoogst. Voor de locatie met de hoogste waarde voor de verzadigde doorlatendheid (Zandgrond) is de waarde van de indicator het laagst.

Tabel 6: Indicator voor de potentiële afspoeling voor drie locaties en vier stoffen gebruikt in de aardappelteelt ($\mu\text{g L}^{-1}$).

stofnaam	kleigrond 1	kleigrond 2	zandgrond
metribuzin	39.3	38.9	13.3
propamocarb HCl	32.7	31.4	18.8
fluazinam	7.6	7.8	2.3
lambda cyhalothrin	0.4	0.4	0.1

Deze uitkomsten komen overeen met een eerste inschatting van de afspoelingsgevoeligheid op basis van de stofeigenschappen mobiliteit en persistentie (bij 3% organische stof; Sectie 3.1.1). De uitkomsten komen ook overeen met de verwachting op basis van de waterverzadigde doorlatendheid van de bodem.

Figuur 11 en Figuur 12 geven een illustratie van de berekeningen voor de locatie op Kleigrond 1 en een periode van 72 uur (3 dagen). Deze periode van 3 dagen is geselecteerd omdat er afstroming optreedt op een moment dat het model voor alle stoffen een concentratie in het bodemvocht > 0 berekent. In Figuur 11 zijn het verloop van de neerslag (in mm per uur), de plasdiepte (in mm) en de afstroming (in mm per uur) te zien. De totale hoeveelheid neerslag in deze periode is 40,8 mm; de maximale neerslagintensiteit bedraagt 11.1 mm per uur (op $t = 35$). Aan het einde van deze tijdstap is de plasdiepte 0,93 mm; het volgende uur treedt de piek in de afstroming op (0,98 mm per uur). Vanaf dat tijdstip neemt de plasdiepte af als gevolg van afstroming, verdamping en infiltratie.

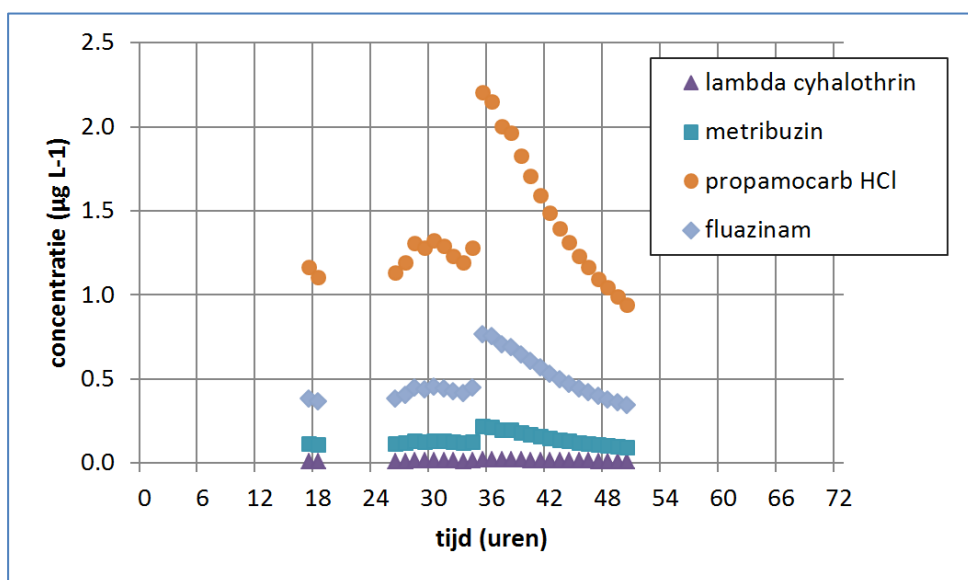


Figuur 11: Illustratie van het verloop van de neerslag (in mm per uur), de plasdiepte (in mm) en de afstroming (mm) voor een tijdsvenster van 72 uur en locatie Kleigrond 1 (STONE plot 2082).

Figuur 12 toont het verloop van de concentraties ($\mu\text{g L}^{-1}$) in het bodemvocht in de bovenste centimeter op de uren dat het model afstroming berekent. Dit zijn de concentraties die gebruikt worden om de indicator te berekenen (Vgl. 2).

Voor fluazinam is de periode tussen toediening en het begin van de periode van 3 dagen ($t = 0$) 11 dagen; voor metribuzin 87 dagen, en voor propamocarb-HCl en lambda-cyhalothrin 26 dagen. Vanwege de relatief lange periode sinds de toediening is de concentratie van metribuzin lager dan die van propamocarb-HCl en van fluazinam. Na de piek in de afstroming ($t = 36$) neemt de concentratie van de stoffen in de bovenste

centimeter van de bodem binnen 14 uur af met ongeveer 55% (variërend van 53.5% voor lambda-cyhalothrin tot 56.6% voor metribuzin). De orde van grootte van de concentratie wordt bepaald door de waarde van de sorptiecoëfficiënt. Voor lambda-cyhalothrin geldt bijvoorbeeld dat de stof zeer sterk is gebonden aan bodemdeeltjes, waardoor de concentraties in het bodemvocht relatief laag zijn. Naast afbraak en sorptie aan bodemdeeltjes is ook de mate vervluchtiging van invloed op de berekende concentraties.



Figuur 12: Illustratie van het verloop van de concentraties ($\mu\text{g L}^{-1}$) in het bodemvocht in de bovenste centimeter, op de uren dat het model afstroming berekent (Zie Figuur 11).

3.4 Discussie

De uitkomsten van de indicator (modelberekening) voor de afspoelingsgevoeligheid komen overeen met een eerste inschatting op basis van de stofeigenschappen mobiliteit en persistentie. De uitkomsten komen ook overeen met de verwachting op basis van de waterverzadigde doorlatendheid van de bodem.

Door de indicator te berekenen als een langjarig gemiddelde wordt rekening gehouden met de variatie in het neerslagpatroon in de periode na toediening. Het is mogelijk dat het vaste toepassingstijdstip in één of meer van de 30 weerjaren samenvalt met een bui. Dit zou kunnen leiden tot een onrealistisch hoge bijdrage van het betreffende jaar aan de langjarig gemiddelde waarde voor de indicator. Het is niet onderzocht of deze situatie zich daadwerkelijk voordoet op de gekozen toepassingstijdstippen. In modellen voor de toelating wordt wel gebruik gemaakt van een zogenaamde “Pesticide Application Timer”, die het toepassingstijdstip volgens een vastgestelde procedure kan aanpassen om dit soort onrealistische combinaties te voorkomen. Zo’n procedure zou ook voor dit doel geschikt zijn.

Model en praktijk

Ondanks het gebruik van de best beschikbare informatie is niet te voorkomen dat het model op een aantal punten afwijkt van de praktijk.

- Het model gaat uit van een homogeen en vlak perceel, terwijl heterogeniteit een belangrijke factor is bij het ontstaan van plassen op het maaiveld en het optreden van afstroming vanaf het perceel. Het model gaat tevens uit van optimale bodemcondities; de verzadigde doorlatendheid van de

bovengrond is in het laboratorium gemeten aan grondmonsters en kan in de praktijk lager zijn als gevolg van diverse factoren (landbouwpraktijk). Het afspoelingsrisico lijkt juist het grootst bij niet optimale bodemcondities (Hoofdstuk 2).

- De berekeningen zijn gebaseerd op de concentratie in de bovenste centimeter van de bodem. Deze concentratie wordt gemodelleerd aan de hand van sorptie- en afbraakparameters die zijn afgeleid voor de bodem en niet voor het water op het maaiveld. In plassen aanwezig op het maaiveld zijn de omstandigheden voor afbraak mogelijk anders en kunnen ook andere processen een rol spelen (zoals bijvoorbeeld afbraak onder invloed van daglicht). Dit verschilt per stof en is bovendien afhankelijk van de lokale omstandigheden (bodem, praktijk, gewasstadium).
- Preferente stroming is een proces dat van invloed kan zijn op de vorming van plassen en het optreden van afstroming en waarmee geen rekening is gehouden. Dit geldt zowel voor preferente stroming in waterafstotende zandgronden, als voor preferente stroming in scheurende kleigronden met drainbuizen.

Uit het bovenstaande wordt voorzichtig geconcludeerd dat de uitkomsten van de indicator voor de afspoelingsgevoeligheid van stoffen en locaties plausibel zijn en dat deze geschikt lijken te zijn voor het sorteren van stoffen. De invloed van de grondsoort (de locatie) op de uitkomsten is echter nog onvoldoende duidelijk. De resultaten zijn gebaseerd op een beperkt aantal combinaties en het verdient aanbeveling om deze uit te breiden met andere stoffen en/of locaties.

Er kunnen nog geen absolute uitspraken gedaan worden over de realiteitswaarde van de uitkomsten. Op basis van de behaalde resultaten is het onmogelijk om absolute uitspraken te doen over de verhouding tussen de emissie via afspoeling enerzijds en via drainage en/of drift anderzijds. Aan de huidige indicatoren voor emissie via drainage en/of drift die in de NMI 3 zijn opgenomen liggen uitgebreide wetenschappelijke kennis en instrumenten ten grondslag. Ten aanzien van het onderwerp afspoeling ontbreekt het nog aan een dergelijke basis om een indicator met vergelijkbare robuustheid te kunnen ontwikkelen.

3.5 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies:

- De uitkomsten van de indicator voor de afspoelingsgevoeligheid komen overeen met een eerste inschatting op basis van de stofeigenschappen mobiliteit en persistentie. De uitkomsten komen ook overeen met de verwachtingen op basis van de waterverzadigde doorlatendheid van de bodem.
- Er wordt voorzichtig geconcludeerd dat de uitkomsten van de indicator voor de afspoelingsgevoeligheid van stoffen en locaties plausibel zijn en dat deze geschikt lijken te zijn voor het sorteren van stoffen op volgorde van hun gevoeligheid voor afspoeling. De invloed van de grondsoort op de uitkomsten van deze indicator is nog onvoldoende duidelijk.
- Op basis van de behaalde resultaten is het niet mogelijk om absolute uitspraken te doen over de verhouding tussen de emissie via afspoeling enerzijds en drainage en/of drift anderzijds. Aan de huidige indicatoren die beschikbaar zijn voor emissie via drift en/of drainage liggen uitgebreide wetenschappelijke kennis en instrumenten ten grondslag. Ten aanzien van het onderwerp afspoeling ontbreekt het nog aan een dergelijke grondslag om een indicator met vergelijkbare robuustheid te kunnen ontwikkelen.

Aanbevelingen:

- De resultaten zijn gebaseerd op verkennende berekeningen voor een beperkt aantal combinaties. Het verdient aanbeveling om deze uit te breiden met andere stoffen en/of locaties.

4 Maatregelen en handelingsperspectief telers

Met name aardappelen zijn erg gevoelig voor water overlast. In de praktijk wordt gesteld dat als aardappelknollen 24 uur in het water liggen deze als verloren kunnen worden beschouwd voor de oogst. Telers zullen, in geval van wateroverlast, proberen het water zo snel mogelijk en zo volledig mogelijk van het perceel te laten lopen. Meestal zal dit gebeuren door het graven van een geul waardoor het water van het land naar de sloot kan spoelen. Echter niet alleen in de aardappelteelt worden geulen gegraven voor afwatering (Figuur 13). De vraag is in hoeverre deze werkwijze bijdraagt aan de emissie van gewasbeschermingsmiddelen naar het oppervlakte water.



Figuur 13. Geul voor afwatering van een laag gelegen perceel.

In de volgende paragrafen wordt een aantal maatregelen aangedragen die effect hebben op oppervlakkige afspoeling. Zo mogelijk wordt dit onderbouwt met cijfers die een indicatie geven van de schaafeffecten.

4.1 Maatregelen

Reichenberger et al. (2007) hebben 180 publicaties bestudeerd om een overzicht te verkrijgen van effectieve én praktische maatregelen die de emissie van gewasbescherming naar grond- en oppervlaktewater kunnen verminderen. In deze studie werd gekeken naar erosie, oppervlakkige afspoeling, drainage, drift en puntemissies. Oppervlakkige afspoeling kan in principe op ieder perceel optreden, zelf op vlakke percelen. De frequentie van het optreden hangt af van de weersomstandigheden en factoren zoals beschreven in hoofdstukken 2 en 3. Er worden twee typen oppervlakkige afspoeling onderscheiden: “Hortonian” afspoeling treedt op als zowel de infiltratiecapaciteit als de oppervlakkige opvangcapaciteit van

de bodem worden overschreden als er teveel neerslag valt. De infiltratiecapaciteit neemt af bij een toenemend afslibbaar percentage maar neemt toe bij een bodems met meer structuur en macro poriën aan het oppervlak. Oppervlakkige afspoeling kan ook optreden als het waterpeil stijgt tot het grondoppervlak waardoor alle regen onmiddellijk afspoelt (zie hoofdstuk 2).

4.1.1 Bufferstroken

Met gras begroeide bufferstroken die zijn gelegen aan de lage zijde van een perceel verminderen in het algemeen de oppervlakkige afspoeling van gewasbeschermingsmiddelen. De effectiviteit wisselt echter sterk en is niet altijd te verklaren door de breedte van de bufferstrook. De reductie efficiëntie was ruwweg vergelijkbaar met het Duitse model EXPOSIT 1.1 waarin 50% reductie wordt aangenomen voor een strook van 5 m breed, 90% voor een strook van 10 m breed en 97,5% voor een strook van 20 m breed. Brede stroken (38-50 m) die begroeid waren met bomen en struiken gingen de oppervlakkige afspoeling bijna volledig tegen. Dit soort brede stroken zijn echter nauwelijks aanwezig in de intensieve akkerbouwgebieden in Europa en voor het aanleggen van dergelijke stroken zou veel land uit productie moeten worden genomen. De effectiviteit van begroeide oevers/slootkanten wordt als niet-effectief beoordeeld omdat deze stroken vaak te smal zijn en niet altijd begroeid.

Rohde et al. (1980) en Asmussen et al. (1977) bestudeerden de invloed op oppervlakkige afspoeling van met gras begroeide talwegen (grassed waterways). Een talweg is de lijn die de laagste punten in de vallei van een helling met elkaar verbindt. Een talweg geeft zo ook het natuurlijke profiel weer van een waterloop. De effectiviteit was vergelijkbaar met de met gras begroeide bufferstroken. De talwegen worden echter weinig toegepast in Europa en voor hun aanleg zal land uit productie moeten worden genomen.

4.1.2 Draslanden (wetlands)

De aanleg van draslanden is zeer effectief in het verminderen van emissie van gewasbeschermingsmiddelen naar oppervlaktewater. Een nadeel is dat ze veel land in beslag nemen; Het grootste onderzochte drasland was 134 m lang en 36 m breed. Hoewel ook kleinere draslanden (50 m lang en 1.5 m breed) effectief waren in het verwijderen van gewasbeschermingsmiddelen uit het water dat de draslanden passeerde. De meeste studies betroffen stoffen met een sterke adsorptie, slechts één publicatie bestudeerde het effect op het matig adsorberende atrazin. Voor die stof zou een afstand van 100-280 m door het drasland nodig zijn om de voldoende atrazin weg te vangen. Er wordt dan ook geconcludeerd dat er meer onderzoek nodig is om de effectiviteit van draslanden te onderzoeken voor matig en zwak adsorberende stoffen.

4.1.3 Grondbedekking

Sadeghi & Isensee (2001) vonden slechts een geringe niet significante lagere oppervlakkige afspoeling bij een niet-bewerkt maisperceel waarop nog gewasresten van wikke aanwezig waren vergeleken met een perceel zonder gewasresten. Over de invloed van grondbedekking met gewassen of gewasresten zijn verder geen studies beschikbaar, hetgeen aangeeft dat meer onderzoek nodig is om de invloed op oppervlakkige afspoeling vast te stellen.

4.1.4 Grondbewerking

Sadeghi & Isensee (1993) vonden dat de oppervlakkige afspoeling bij een klei-leem perceel afhankelijk was van bodemvochtigheid. Als het bodemvochtgehalte hoog was, was er meer afspoeling van niet-bewerkte veldjes in vergelijking met conventioneel bewerkte veldjes. Het tegenovergestelde vond plaats als de afspoeling optrad op een tijdstip waar op de bodemvochtigheid lager was. Deze resultaten zijn in strijd met de intuïtieve aanname dat het niet-bewerken van de grond de oppervlakkige afspoeling meer tegengaat in vergelijking met het conventioneel bewerken van de grond. Waarschijnlijk spelen meer factoren een rol zoals de doorlaatbaarheid van de "subsoil".

Bewerkingen haaks op de sloot tot de rand van de sloot verhogen het risico op afspoeling (Massop & Noij, 2011).

4.1.5 Smitpaden

In Queensland (Australië) is over een periode van 6 jaar onderzoek gedaan naar de effecten van niet berijden van de grond op run-off op een zware kleigrond. Hierin kwam naar voren dat de mate van run-off met 36.3% af nam als gebruik gemaakt werd van rijpaden (smitbanen) ten opzichte van het eenmalig berijden van het perceel met een tractor (Li et al, 2007).

4.1.6 Formulering van gewasbeschermingsmiddel

Toepassing van middelen middels een granulaat formulering of inwerken in de grond zouden mogelijke maatregelen kunnen zijn die de oppervlakkige afspoeling verminderen. Kenimer et al. (1997) vonden minder afspoeling van alachloor dat geformuleerd was met microcapsules in vergelijking met alachloor geformuleerd als een “emulsifiable concentrate”. Bij terbufos geformuleerd als “controlled-release” formulering of granulaat werden echter geen verschillen gevonden. Ook voor deze factor is meer onderzoek nodig om te bepalen wat in de invloed van de formulering is op de oppervlakkige afspoeling.

4.1.7 Drainage

Kladivko et al. (2001) vonden in de VS en Canada in het algemeen dat de aanwezigheid van drainage leidde tot een vermindering van de oppervlakkige afspoeling doordat het afspoelingsvolume kleiner was en de concentraties in het afspoelwater lager waren doordat het afspoelen later optrad. Zij vonden ook dat de volumes bij oppervlakkige afspoeling veel geringer waren dan die bij drainage. Drainage kan dan in die situatie gezien worden als een maatregel om oppervlakkige afspoeling te verminderen. Deze bevindingen werden bevestigd door Brown et al. (1995) voor een klei-leem perceel in Engeland. Als gewasbeschermingsmiddelen in de herfst werden toegepast, vonden ze bij niet-gedraineerde percelen een 4 x hogere emissie in vergelijking met een gedraineerd perceel. Zij verklaarden dit door het feit dat de drainage de oppervlakkige afspoeling sterk reduceerde in dit slecht doorlatbare perceel dat gevoelig is voor wateroverlast. Zonder drainage zijn deze percelen meestal niet geschikt voor akkerbouw. Uiteraard dient een perceel ook niet te sterk te worden gedraineerd: er zal een evenwicht gezocht moeten worden tussen de mate van drainage van een perceel en het optreden van oppervlakkige afspoeling om te komen tot een minimale emissie.

4.2 Diagnose instrument TOPPS - Prowadis

TOPPS was een 3 jaar durend project (2005-2008) waaraan stakeholders uit 15 Europese landen hebben deelgenomen. TOPPS is een acronym voor “**T**rainig the **O**perators to prevent **P**ollution from **P**oint **S**ources”. TOPPS werd gefinancierd door de EU en door ECPA (European Crop Protection Association). Het doel van TOPPS was in eerste instantie gericht op punt emissies maar richt zich sinds 2011 op de diffuse emissie bronnen (run-off en drift). Deze nieuwe fase van het project genaamd TOPPS-Prowadis (**P**rotection **W**ater from **D**iffuse **S**ources) –gefinancierd door ECPA- richt zich op het identificeren van “Best Management Practices (BMPs)” en het communiceren ervan door advisering, training en demonstraties in Europa om zo te komen tot een geringere emissie van gewasbeschermingsmiddelen naar water (www.topps-life.org). Best Management Practices (BMPs) zijn opgesteld voor 6 belangrijke handelingen: transport, opslag, voor het spuiten, tijdens het spuiten, na het spuiten en management van spuitrestanten. Alle belangrijke processen zijn verder onderverdeeld in sub-processen. Voor oppervlakkige afspoeling heeft TOPPS een concept diagnose procedure ontwikkeld waarin 5 stappen worden onderscheiden (<http://topps-life.org/node/1073>).

1. Data verzamelen samen met de teler: landschap, bedrijf, grondsoort, geologie;
2. Identificatie van water circulatie en waterwegen;
3. Bepalen van het effect van maatregelen: grondbewerking, welke gewasbeschermingsmiddelen worden gebruikt en wanneer;
4. Risico analyse: verbindingen leggen tussen de water circulatie, de situatie in het veld en de waterwegen waar water in terechtkomt;
5. Voorstellen voor verbeteringen: bodembeheer, maatregelen tijdens de teelt, keuze van gewasbeschermingsmiddelen en timing, aanleg van bufferzones of wetlands, geoptimaliseerde irrigatie.

In deze aanpak is de ervaring opgenomen van het Franse instituut ARVALIS (www.arvalisinstitutduvegetal.fr/en/) samen met die van CORPEN en ISTEA. Voor deze aanpak is een inspectie van de veldsituatie noodzakelijk waarna met de methodologie van ARVALIS+CORPEN+ISTEA een advies kan worden opgesteld. TOPPS claimt dat dit een praktische, acceptabele en door de teler toepasbare aanpak, oplevert.

4.3 Bemestingstool

Oppervlakkige afvoer kan een belangrijke route zijn waarlangs gewasbeschermingsmiddelen, maar ook nutriënten in het oppervlaktewater terecht komen. Het voorkomen van incidentele nutriëntenverliezen via oppervlakkige afvoer na een bemesting kan een bijdrage leveren aan de verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater op afspoelingsgevoelige gronden. Assinck & Van der Salm (Alterra, 2012) hebben een instrument (bemestingstool) ontwikkeld, waarmee op basis van neerslagverwachtingen besloten kan worden om al dan niet te bemesten. De bemestingstool berekent de verwachte oppervlakkige afvoer op basis van de huidige hydrologische toestand en de neerslagverwachtingen. De bemestingsadviezen zijn alleen gericht op het voorkomen van incidentele nutriëntenverliezen via oppervlakkige afvoer. Een dergelijk instrument zou mogelijk ook een bijdrage kunnen leveren voor de beperking van incidenteel verlies van gewasbeschermingsmiddelen.

4.4 Beregeningsplanner

In Nederland geven zowel Dacom als Agrovision telers advies over beregening van percelen. Telers kunnen zich hierop abonneren. In essentie berekent een beregeningsplanner een waterbalans gebaseerd op de betreffende grondsoort en het gewas dat geteeld wordt. Naast de actuele situatie wordt ook gekeken naar de weersverwachting. Verwachte gewasverdamping en neerslaghoeveelheden voor de komende tijd zijn daarbij bepalend voor het advies om al of niet te beregenen. Hetzelfde instrumentarium kan in principe gebruikt worden om wateroverlast of de kans op wateroverlast te voorspellen.

Naast informatie over beregening wordt door deze firma's ook adviezen gegeven over kritieke perioden voor infectie door ziekteverwekker of optreden van plagen en daaraan gekoppeld wordt een spuitadvies. Koppeling van een studieadvies aan de verwachte kans op oppervlakkige afspoeling kan het advies van middelenkeuze beïnvloeden daarmee actieve stoffen met een risico voor oppervlakkig afspoeling bij voorkeur niet ingezet worden in perioden dat de kans op oppervlakkige afspoeling het grootst is.

4.5 Conclusies

- Er zijn vele maatregelen die oppervlakkige afspoeling kunnen verminderen. De maatregelen zijn gericht op het vergroten van de bergingscapaciteit van de bodem, het vergroten van de infiltratiecapaciteit en het vasthouden van het water op het maaiveld. De maatregelen kunnen betrekking hebben op grondbewerking, teeltmaatregelen, akkerranden, barrières, aangepast gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en een geoptimaliseerde irrigatie.
- De risico situatie zal per perceel bekeken moeten worden en een maatadvies opgesteld met praktische en uitvoerbare maatregelen
- De TOPPS-Prowadis aanpak zou hierbij een eerste aanzet kunnen geven.

5 Literatuur

- Agrawal, R.P. (1991). Water and nutrient management in sandy soils by compaction *Soil & Tillage Research*, 19: 121-130.
- Akram, M & W.D. Kemper (1979). Infiltration of soils as affected by the pressure and water content at the time of compaction. *Soil Sci. Soc. American Journal* 43: 1080-1086.
- Appels, W.M., P.W. Bogaart, and S.E.A.T.M. van der Zee (2011). Influence of spatial variations of microtopography and infiltration on surface runoff and field scale hydrological connectivity. *Advances in Water Resources*: 34(2). 303–313.
- Appels, W. (2013). Water redistribution at the soil surface: ponding and surface runoff in flat areas. PhD thesis, Wageningen University
- Asmussen, L.E., Jr. A.W. White, E.W. Hauser & J.M. Sheridan (1977). Reduction of 2,4-D load in surface runoff down a grassed waterway. *J. Environ. Qual.* 6: 159-162.
- Batey, T. & D.C. McKenzie (2006). Soil compaction: identification directly in the field. *Soil Use and Management*, 22, 123–131.
- Bryant, R., S.H. Doerr, G. Hunt & S. Conan (2007). Effects of compaction on soil surface water repellency. *Soil Use and Management*: 23: 238–244.
- Deneer, J.W., R.A. Smidt, R.C.M. Merkelbach, A.M.A. van der Linden (1999). Emissieroutes van gewasbeschermingsmiddelen in de teelt van snijmaïs in het zuidoosten van Noord-Brabant. Staring Centrum rapport 645, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Goh, K.S., Bret, B.L., Potter, T.L. & J. Gan (2011). Pesticide mitigation strategies for surface water quality. *ACS Symposium Series* 1075: 387 pp.
- Hamza, M.A. & W.K. Anderson (2005). Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82, 121–145.
- Kenimer, A.L., J.K. Mitchell, A.S. Felsot & M.C. Hirschi (1997). Pesticide formulation and application technique effects on surface pesticide losses. *Trans. ASAE* 40: 1617-1622.
- Kladivko, E.J., G.E. van Scoyoc, E.J. Monke, K.M. Oates & W. Pask (1991). Pesticide and nutrient movement into subsurface tile drains on a silt loam soil in Indiana. *J. Environ Qual.* 20: 264-270.
- Kroonen-Backbier, B.W., W. van der Hulst (2009). PILOT onkruidbestrijding maïs 2008 in de Hoge en Lage raam. Voorkomen overschrijdingen van normen voor oppervlaktewater door herbicides gebruikt in de maïs. Rapport Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen.
- Kruijne, R., A. Tiktak, D. van Kraalingen, J.J.T.I. Boesten, A.M.A. van der Linden (2004). Pesticide leaching to the groundwater in drinking water abstraction areas. Analysis with the GeoPEARL model. Alterra report 1041, Alterra, Wageningen.
- Kruijne, R., P.J.T. van Bakel, P.I. Adriaanse and J.J.T.I. Boesten (2008). Surface water hydrology for the Cascade model - Study area "Drentsche Veenkoloniën". Alterra-report nr. 1518, p. 96.
- Li, Y.X., J.N. Tullberg & D.M. Freebairn (2001). Traffic and residue cover effects on infiltration. *Aust. J. Soil Res.* 39: 239–247.
- Li, Y.X., J.N. Tullberg & D.M. Freebairn (2005). Wheel traffic and tillage effects on runoff and crop yield. *Soil & Tillage Research* 97: 282–292.
- Massop & Noij (2011). PowerPoint presentatie: Deskundigen dag afspoeling. Mogelijkheden m.b.t. perceel en slootkant.
- Massop, H.Th.L.; Noij, I.G.A.M.; Appels, W.M.; Toorn, A. van den (2012). Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden: metingen op zandgrond in Limburg. Alterra rapport 2270, ISSN 1566-7197: 104 blz.
- Reichenberger, S., M. Bach, A. Skitschak & H-G. Frede (2007). Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; A review. *Science of the Total Environment* 384: 1–35.
- Robinson, D. (1999). A comparison of soil-water distribution under ridge and bed cultivated potatoes. *Agricultural Water Management*, 42, 189–204.

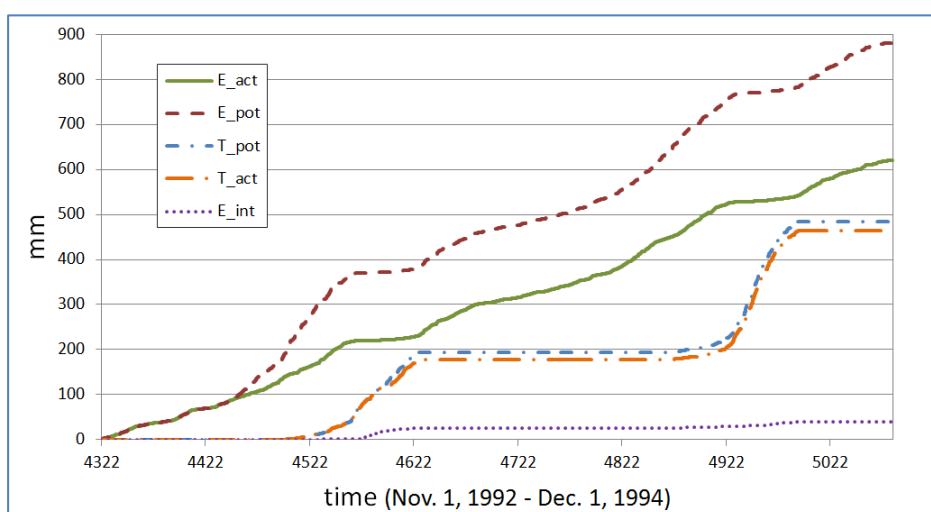
- Rohde, W.A., L.E. Asmussen, E.W. Hauser, R.D. Wauchop & H.D. Allison (1980). Trifluralin movement in runoff from a small agricultural watershed. *J. Environ. Qual.* 9: 37-42.
- Sadeghi, A.M. & A.R. Isensee (1993). Impact of tillage practice on runoff and pesticide transport. *Journal of Soil and water Conservation* 48: 523-527.
- Sadeghi, A.M. & A.R. Isensee (2001). Impact of hairy vetch cover crop on herbicide transport under field and laboratory conditions. *Chemosphere* 44: 109-118.
- Stenitzer, E. & E. Murer (2003). Impact of soil compaction upon soil water balance and maize yield estimated by the SIMWASER model. *Soil & Tillage Research* 73: 43-56.
- Tiktak, A., A.M.A. van der Linden, J.J.T.I. Boesten (2003). The GeoPEARL model. Model description, applications and manual. RIVM report 716601007/2003. RIVM, Bilthoven.
- Tiktak, A., A.M.A. van der Linden, J.J.T.I. Boesten, R. Kruijne, D. van Kraalingen (2004). The GeoPEARL model. Part II. User guide and model description. RIVM report 716601008/2004. RIVM, Bilthoven.
- Van den Akker, J.J.H., W.J.M. de Groot, H.R.J. Vroon, F.J.E. van der Bolt & A.J. van Kekem (2009). Stijghoogte verschillen en verdichting: een eerste Twentse verkenning in de praktijk. *Alterra rapport* 1735: 86 p.
- Van den Berg, F., A. Tiktak, J.G. Groenwold, D.W.G. van Kraalingen, A.M.A. van der Linden, J.J.T.I. Boesten (2008). Documentation update for GeoPEARL 3.3.3. Werkdocument 103, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, oktober 2008, Wageningen.
- Van der Pas, L.J.T., J.G. de Geus-van der Eijk, M. Leistra, M.I. Mul, J.H. Smelt, H.P. Versluis, O.H. Boersma (1997). Overwaaien, atmosferische depositie en afspoelen van bestrijdingsmiddelen in de akkerbouw en groenteteelt op kleigrond. *Staring Centrum rapport* 506, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Van der Ploeg, M.J., W.M. Appels, D.G. Cirkel, M.R. Oosterwoud, J.-P.M. Witte, and S.E.A.T.M. van der Zee. (2012). Microtopography as a driving mechanism for ecohydrological processes in shallow groundwater systems. *Vadose Zone Journal* 11(3). vzj2011.0098.
- Wierda, A. (1991). Oriënterend onderzoek naar optreden van oppervlakteafvoer en aanwezigheid van bestrijdingsmiddelen in de Drentsche Aa, Rijksuniversiteit Groningen: 52 p.
- Wierda, A. and Veen, A.W.L. (1992). A rainfall simulator study of infiltration into arable soils. *Agric. Water Manage.* 21:119-135.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman & J. Stolte (1994). Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 1994. Technisch Document 18. DLO-Staring Centrum Wageningen, 1994: 66 p.
- Wösten, 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. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 153. 86 blz.

Bijlage 1 Modelberekeningen

Het grootste deel van de parameters die de gewasverdamping en de bodemverdamping tijdens het groeiseizoen, de bodemverdamping in de rest van het jaar, en de berging van water in plassen op het maaiveld aansturen, zijn conform Appendix 3 in (Kruijne et al., 2008).

Omdat er voor berekeningen op uurbasis geen gebruik gemaakt kan worden van gewasfactoren, is de evapotranspiratie berekend volgens de methode van Penman-Monteith. Dit levert, bij een vrijwel gelijke (cumulatieve) neerslaghoeveelheid, een cumulatieve gewasverdamping die ca 20% hoger is dan o.b.v. Makkink (Kruijne et al., 2008).

Onderstaande grafiek toont het verloop van een aantal balanst termen door de simulatieperiode uit (Kruijne et al., 2008).



Figuur 1.1: Cumulatief verloop van de actuele bodemverdamping (E_{act}), potentiële bodemverdamping (E_{pot}), potentiële gewasverdamping (T_{pot}), actuele gewasverdamping (T_{act}) en de verdamping van plassen (E_{int}). Weergave simulatie op uurbasis voor aardappelen, STONE plot 621, deelperiode 01-10-1996 – 01-12-1998 (Ter vergelijking met Figuur 4.2 in Kruijne et al., 2008)

De stoffeigenschappen die gebruikt in de berekeningen met FOCUS PEARL4 (Tabel 1.1) en in Vgl. 1 zijn ontleend aan de stoffendatabase NMI 3.

Tabel 1.1: stoffeigenschappen gebruikt in berekeningen met FOCUS PEARL4 (Tabel 1.1)

Stofnaam	Dampdruk (Pa)	Molmassa (g mol^{-1})	Oplosbaarheid in water (mg L^{-1})	DegT50 in bodem (d)	Kom (L kg^{-1})	MTR (mg L^{-1})
metribuzin	1.7E-05	214	211	14.1	31.1	5.2E-05
propamocarb_HCl	8.6E-04	225	850000	26.5	361	1.9E-01
fluazinam	5.7E-04	465	0.071	30.9	3481	5.5E-04
lambda_cyhalothrin	2.0E-07	450	0.0043	46.3	92544	2.9E-07

Controle van de waterbalans van het reservoir op het maaiveld (hydrologie tijdstap 34 en 35; Figuur 11)

34	t	205.417			35	t	205.458		
	IN	(m/d)	OUT	(m/d)		IN	(m/d)	OUT	(m/d)
	pr	0.04080	evpr	0.00197		pr	0.26640	evpr	0.01286
			flab(1)	0.01220				flab(1)	0.01269
			ruoff	0.00480				ruoff	0.01700
	Total	0.04080	Total	0.01897		Total	0.26640	Total	0.04255
	t (d)	0.20833		34		t (d)	205.458		35
	IN	(mm/u)	OUT	(mm/u)		IN	(mm/u)	OUT	(mm/u)
	pr	1.700	evpr	0.082		pr	11.100	evpr	0.536
			flab(1)	0.508				flab(1)	0.529
			ruoff	0.200				ruoff	0.708
	Total	1.700	Total	0.790		Total	11.100	Total	1.773
			d_pond	0.900				d_pond	9.300
				1.690					11.073
	Err (mm/u)	0.010				Err (mm/u)	0.027		
	Err (%)	0.6				Err (%)	0.2		