ALTERRA
WAGENINGEN UR



Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden

Bemestingstool: een instrument ter voorkoming van incidentele nutriëntenverliezen door oppervlakkige afvoer

Alterra-rapport 2271
ISSN 1566-7197

F.B.T. Assinck en C. van der Salm

Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden

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

Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden

Bemestingstool: een instrument ter voorkoming van incidentele nutriëntenverliezen door oppervlakkige afvoer

F.B.T. Assinck en C. van der Salm

Alterra-rapport 2271

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen, 2012

Referaat

Assinck, F.B.T. en C van der Salm, 2011. *Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden; Bemestingstool: een instrument ter voorkoming van incidentele nutriëntenverliezen door oppervlakkige afvoer.* Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2271. 44 blz.; 12 fig.; 7 tab.; 22 ref.

Oppervlakkige afvoer kan een belangrijke route zijn waarlangs 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. Het is verstandig om een bemesting uit te stellen op momenten dat de risico's op oppervlakkige afvoer groot zijn. De risico's kunnen worden ingeschat aan de hand van de meerdaagse weersverwachting en de heersende hydrologische condities. In dit rapport wordt een instrument beschreven waarmee op basis van gemeten weer- en neerslagverwachtingen adviezen gegeven worden voorten aanzien van het wel of niet uitvoeren van een bemesting. Deze bemestingstool is vervolgens getest op een zware komklei-locatie.

Trefwoorden: afvoermetingen, computerprogramma, oppervlakkige afvoer, neerslag, nutriëntenverliezen, simulaties, weersverwachtingen.

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 2271
Wageningen, maart 2012

Inhoud

Voorwoord 7

Samenvatting 9

1 Inleiding 11

2 Bemestingstool 13
- 2.1 Eisen aan de bemestingstool 13
- 2.2 Theoretische achtergronden 14
- 2.3 Werking van de bemestingstool 17
- 2.4 Invoer 18
- 2.5 Uitvoer 21

3 Beschikbare gegevens 23
- 3.1 Bodem 23
- 3.2 Management 23
- 3.3 Waterafvoer 24
- 3.4 Nitraat en fosfaatafvoer 25
- 3.5 Historische weersgegevens 25
- 3.6 Weersverwachtingen 26
- 3.7 Grenswaarden 28

4 Resultaten 29
- 4.1 Berekening op basis van historische dataset 29
  - 4.1.1 Berekening voor periode 2002-2008 29
  - 4.1.2 Berekening per seizoen 30
- 4.2 Voorbeeld praktijktest: februari 2005 32
- 4.3 Praktijktest op basis van verwacht weer 35
  - 4.3.1 Verwachte neerslag alle seizoenen 35
  - 4.3.2 Verwachte afvoer alle seizoenen 36
  - 4.3.3 Adviezen 38

5 Conclusies en aanbevelingen 41
- 5.1 Conclusies 41
- 5.2 Aanbevelingen 41

Referenties 43

Voorwoord

Dit onderzoek is mogelijk gemaakt door financiering van Agentschap NL, als onderdeel van het Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water.

Wij zijn dank verschuldigd aan de heer C. van Wijk voor de toegezegde hulp en de jarenlange gastvrijheid op zijn bedrijf. De heer F. Lantsheer van het KNMI heeft ons voorzien van historische ensembleverwachtingen. Zonder deze gegevens zouden de testmogelijkheden van deze bemestingstool aanzienlijk beperkt worden. Frank, bedankt voor het aanleveren van deze gegevens en je toelichting. H. Massop en G.J. Noij (Alterra) worden bedankt voor hun adviezen ter verbetering van dit rapport.

Samenvatting

Oppervlakkige afvoer kan een belangrijke route zijn waarlangs 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. Zo is het verstandig om een bemesting te beperken of uit te stellen op momenten dat de risico's op oppervlakkige afvoer groot zijn. Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een instrument (bemestingstool), 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. De bemestingstool is getest op een zware komklei-locatie.

De bemestingstool maakt gebruik van een waterbalansmodel volgens het 'tipping bucket'-principe (vergelijkbaar met 'bakjesmodel'). Dit is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Het voordeel hiervan is dat de bemestingstool relatief simpel en robuust is en een beperkte hoeveelheid invoergegevens nodig heeft. Met de bemestingstool wordt eerst de huidige hydrologische toestand berekend op basis van werkelijk gemeten (historisch) weer. Daarna wordt de toekomstige hydrologische toestand berekend op basis van de verwachte neerslag. De berekende verwachte greppelafvoer (som over zeven dagen) wordt vergeleken met een aantal grenswaarden en is bepalend voor het advies dat de bemestingstool geeft.

De bemestingstool is in staat om voor een vrij complexe veldsituatie (zware klei te Waardenburg) de gemeten totale afvoer, de greppel- en de drainafvoer goed te simuleren bij gebruik van de werkelijk gemeten neerslag en verdamping (jaren 2002 - 2009), maar de hoogste totale en greppel-afvoeren worden door de bemestingstool iets onderschat.

De ensembleverwachtingen (die gelden voor heel Nederland) onderschatten de werkelijk gemeten (regionale) neerslag tijdens 'events' met hoge neerslag (in het voorjaar van de periode 2002-2009).

De 'voorspelkracht' van de tool is vervolgens getoetst in de praktijk voor dezelfde, al genoemde veldsituatie. Hieruit blijkt dat de greppelafvoer in sommige gevallen ruim van te voren verwacht wordt, maar in sommige gevallen ook niet. Dit laatste komt onder andere voor tijdens de perioden met hoge neerslag waarin de onderschatting van de voorspelde neerslag onderschatting van de greppelafvoer veroorzaakt.

Om de berekende afvoer te vertalen naar een advies voor het al dan niet bemesten van het perceel is gebruik gemaakt van de concentraties van stikstof en fosfaat die zijn waargenomen in de afvoer direct na bemesting. Het risico op afspoeling is als laag gedefinieerd als waterafvoer na bemesting leidt tot minder dan 2% van de jaarlijkse verliezen. Het risico is als hoog gedefinieerd als meer dan 10% van het jaarlijkse verlies zou optreden als er wordt bemest. Voor de hier bestudeerde locatie is het risico op verliezen laag bij een afvoer van minder dan 1.2 mm en hoog bij een afvoer van meer dan 6.8 mm.

De adviezen van de bemestingstool bij gebruik van de neerslagverwachtingen zijn vergeleken met de afvoer op basis van gemeten neerslag (391 gevallen) en met de gemeten afvoer (42 gevallen). In 71% en 59% van de gevallen komt het advies overeen met respectievelijk de berekende afvoer en de gemeten afvoer. In ongeveer 6% van de gevallen is het advies fout.

De bemestingstool kan een bijdrage leveren aan het voorkomen van incidentele nutriëntenverliezen door oppervlakkige afvoer, maar de resultaten zijn mede afhankelijk van de juistheid van de verwachte neerslag. Verbetering van deze verwachting zal leiden tot betere adviezen.

1 Inleiding

Het milieubeleid van Nederland en Europa is er onder andere op gericht om de belasting van het grond- en oppervlaktewater met nutriënten vanuit de landbouw te voorkomen dan wel te verminderen. In het recente verleden heeft het onderzoek vooral aandacht besteed aan de gevolgen van het intensieve nutriëntengebruik in de landbouw op de kwaliteit van het grond- en drinkwater, voortkomend uit de verplichtingen rondom de nitraatrichtlijn. Nutriëntenverliezen vanuit de landbouw hebben echter ook een nadelige invloed op de kwaliteit van het oppervlaktewater doordat nutriënten aangevoerd worden via het ondiepe grondwater, via drains en via oppervlakkige afvoer. Voor de Kader Richtlijn Water is het noodzakelijk dat de waterkwaliteit verbetert en eventuele verliezen van nutriënten naar het oppervlaktewater verminderen.

Recent zijn in Nederland aanwijzingen beschikbaar gekomen (Noij et al., 2006; Van der Salm et al., 2006; Van Bakel et al., 2008; Massop et al., 2012), dat oppervlakkige afspoeling, ook in vlakke gebieden een belangrijke route kan zijn, waarlangs nutriënten het oppervlaktewater bereiken. Omdat het water dat via deze route afstroomt in contact staat met de nutriëntenrijke bovengrond en/of met mest, is het relatieve aandeel van deze route bij de nutriëntenvrachten groter dan bij de afvoer van het neerslagoverschot. Daarom bestaat het vermoeden dat het voorkómen of blokkeren van oppervlakkige afvoer een efficiënte manier is om de nutriëntenvracht te reduceren (zware metalen en eventuele bestrijdingsmiddelen lopen mee).

Onderscheid tussen oppervlakte afvoer (= stroming van water en stof over het maaiveld) en oppervlakkige afvoer (= ondiepe horizontale stroming van water en stof naar ontwateringsmiddelen) is in de praktijk moeilijk te maken. De beide transportroutes worden hier dan ook gebundeld in de term 'oppervlakkige afvoer' of 'afspoeling'. Oppervlakkige afvoer treedt op wanneer (1) het waterbergend vermogen van de bodem (tijdelijk) tekort schiet en/of (2) de neerslagintensiteit groter is dan de infiltratiecapaciteit van de bodem. In de winter en het vroege voorjaar is bij een hoge grondwaterstand en veel neerslag een beperkte waterberging in de bodem aanwezig. Bij veel regen kunnen hierdoor aan het maaiveld plassen ontstaan, die bij onvoldoende bergend vermogen aan het maaiveld afvoeren naar de sloot. In de zomer treedt bij een diepe grondwaterstand alleen maaiveldberging en oppervlakkige afvoer op als de neerslagintensiteit groter is dan de infiltratiecapaciteit van de bodem, dus over het algemeen tijdens hevige (onweers)buien. Het optreden van oppervlakkige afvoer varieert sterk in de tijd en per plek.

Wanneer oppervlakkig afgevoerd water in contact is geweest met nutriënten in en op de bodem, kan er ook een substantiële hoeveelheid nutriënten naar het oppervlaktewater afgevoerd worden. Onderzoek (Noij et al., 2006; Van der Salm et al., 2006) heeft aangetoond dat ook in vlakke gebieden zoals Nederland oppervlakkige afvoer een belangrijke route kan zijn, waarlangs nutriënten in het oppervlaktewater terecht komen. Van der Salm et al. (2006) heeft bijvoorbeeld laten zien dat op een zware kleigrond van de totale hoeveelheid stikstof en fosfaat, die in 2004 werd afgevoerd via greppels (oppervlakkig), respectievelijk 65% en 85% afkomstig was uit de (natte) week na één drijfmestgift en één fosfaat-kunstmestgift.

Het voorkomen van incidentele nutriëntenverliezen via oppervlakkige afvoer na een bemesting kan dus een belangrijke bijdrage leveren aan de verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater op afspoelingsgevoelige gronden. Het is mogelijk om door ingrepen op het perceel oppervlakkige afvoer te voorkomen dan wel te blokkeren (zie Noij et al., 2006). Daarnaast is het mogelijk om met 'slim management' de gevolgen van oppervlakkige afvoer op de kwaliteit van het oppervlaktewater in de hand te houden. Wij denken hierbij aan het beperken of uitstellen van de bemesting op momenten dat de risico's op oppervlakkige afvoer groot zijn. Naast kennis over de hydrologische situatie is hiervoor ook informatie nodig over de te

verwachten neerslag op de korte termijn. Wanneer er door meteorologen veel neerslag verwacht wordt en/of de situatie in het veld heel nat is, is het verstandig om niet te bemesten om zodoende oppervlakkige afvoer en verlies van nutriënten te voorkomen. Bemesting kan dan beter op een ander moment (later) plaatsvinden.

Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een instrument, waarmee op basis van neerslagverwachtingen adviezen gegeven worden voor het wel of niet uitvoeren van een bemesting (bemestingstool). De bemestingsadviezen zijn alleen gericht op het voorkomen van incidentele nutriëntenverliezen via oppervlakkige afvoer. De bemestingstool is vervolgens getest en toegepast op een zware komklei-locatie aan de hand van een historische dataset ('proof of principle').

Hoofdstuk 2 gaat in op de theoretische achtergrond en de werking van de bemestingstool en laat ook zien welke invoergegevens nodig zijn en welke uitvoerresultaten geproduceerd worden. De beschikbare gegevens voor de 'proof of principle' worden beschreven in hoofdstuk 3. De resultaten van de test en toepassing van de bemestingstool staan in hoofdstuk 4. De conclusies en aanbevelingen van dit onderzoek zijn te lezen in hoofdstuk 5.

2 Bemestingstool

2.1 Eisen aan de bemestingstool

De bemestingstool moet op basis van neerslagverwachtingen een advies geven voor het wel of niet uitvoeren van een bemesting. De tool is zo ontworpen dat hij kan voldoen aan de onderstaande lijst van wensen:

1. De tool genereert op basis van een inschatting van het risico op mogelijke oppervlakkige afvoer een advies over het al dan niet bemesten van een perceel.
2. Het gebruikt historische weersgegevens en (vrij beschikbare) neerslagverwachtingen.
3. Het geeft een inschatting van de huidige en toekomstige hydrologische toestand op de gewenste locatie.
4. De tool moet in ieder geval rekening houden dan wel om kunnen gaan met oppervlakkige afvoer.
5. De tool moet niet locatie-specifiek zijn. Hij moet (relatief makkelijk) inzetbaar zijn voor andere locaties.
6. Er wordt gerekend op dagbasis, aangezien er alleen in zeer uitzonderlijke gevallen historische neerslaggegevens beschikbaar zijn op uur- of minutenbasis. Bovendien zijn de huidige neerslagverwachtingen alleen beschikbaar op dagbasis.
7. De tool is toepasbaar op perceelniveau aangezien de (hydrologische) toestand tussen percelen flink kan verschillen door verschillen in perceelbeheer.
8. Een zo simpel mogelijke tool verdient de voorkeur. De complexiteit van de tool moet in verhouding staan tot de beschikbaarheid, de gedetailleerdheid en de nauwkeurigheid van de invoergegevens: bodemgegevens, historisch weer en weersverwachtingen.
9. Een deterministisch model, die gebaseerd is op een beschrijving van de relevante processen, is wenselijk.
10. De tool moet robuust zijn en geen speciale hard- of software nodig hebben.
11. De bemestingsadviezen zijn alleen gericht op het voorkomen van incidentele (nutriënten)verliezen via oppervlakkige afvoer. Er wordt bij deze bemestingsadviezen geen rekening gehouden met wat wenselijk is vanuit bedrijfseconomisch of landbouwkundig oogpunt.
12. De eventuele (in)directe gevolgen van het gebruik van de tool, bijvoorbeeld opbrengstderving of de noodzaak tot een grotere opslagcapaciteit van mest, staan buiten beschouwing.
13. De tool hoeft in dit stadium niet 'foolproof' te zijn.
14. De tool beperkt zich tot het berekenen van de huidige en toekomstige hydrologische situatie. Transport en omzettingen van stoffen worden niet meegenomen, omdat de complexiteit van de tool en de benodigde hoeveelheid invoer onevenredig toenemen. Er wordt uitgegaan van het feit dat er geen oppervlakkige afvoer van stof plaats zal vinden als er geen oppervlakkige afvoer van water plaatsvindt.
15. Er is verondersteld dat er geen aanvoer van water via oppervlakkige afvoer van andere percelen plaats vindt.
16. Met plasvorming en 'routing van stroombanen van oppervlakkige afvoer wordt geen rekening gehouden.

Regressie en andere statische modellen zijn niet gekozen als mogelijke oplossing voor de bemestingstool, 'vooral vanwege de punten 3, 5, 8 en 9. Om goede relaties voor een statistisch model af te leiden zijn veel meetgegevens van een groot aantal verschillende locaties nodig. Bovendien is een statistisch model alleen toepasbaar in situaties die vergelijkbaar zijn met de oorspronkelijke meetgegevens. Het model kan niet zonder meer ingezet worden in andere situaties.

Een aantal bestaande hydrologische en nutriëntentransportmodellen, zoals SWAP (Kroes et al., 2008), ANIMO (Groenendijk et al., 2005) of FUSSIM2 (Heinen en Willigen, 2001) zijn niet gekozen omdat de complexiteit en

benodigde invoer van deze modellen niet in verhouding staat tot de gedetailleerdheid en nauwkeurigheid van de beschikbare gegevens, vooral voor minder intensief bemeten locaties.

Als basisprincipe voor de bemestingstool is dan ook een waterbalansmodel gebruikt. Hiermee is een indruk te krijgen van de huidige en toekomstige hydrologische toestand op basis van historische en verwachte weersgegevens. Naast weersgegevens zijn relatief weinig invoergegevens nodig en toch is zo'n model wel gebaseerd op (vereenvoudigde) proceskennis.

2.2 Theoretische achtergronden

Het gebruikte waterbalansmodel simuleert 1-dimensionaal verticaal watertransport in de bodem en is afgeleid van het 'tipping bucket'-model DRSAHE (Van Kraalingen, 1996). In een dergelijk model wordt de bodemkolom beschouwd als een serie gestapelde bakjes. Water stroomt naar een onderliggend bakje zodra het watergehalte boven een bepaalde waarde (meestal veldcapaciteit) komt.

DRSAHE is gebaseerd op het model SAHEL (Soils in semi-Arid Habitats that Easily Leach), dat is ontwikkeld door Van Keulen (1975), Stroosnijder (1982), Penning de Vries et al. (1989) en Van Laar et al. (1997). DRSAHE was ontwikkeld voor vrij-drainerende gronden met diepe grondwaterstanden. Heinen (2005) heeft aanpassingen doorgevoerd in DRSAHE, waardoor het nu ook geschikt is voor situaties met hoge grondwaterstanden. De bemestingstool heeft deze versie van DRSAHE gebruikt als basis. In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan de hydrologische processen, die beschouwd worden in de bemestingstool. Voor meer informatie zie Van Kraalingen (1996).

Bodemfysische eigenschappen

De fysische eigenschappen van de verschillende bodemlagen zijn op verschillende manieren in te voeren in DRSAHE. Er kan onder andere gebruik gemaakt worden van de methode van Driessen (1986), de methode van Van Genuchten (1980) en van een eigen waterretentiecurve. Op basis van de gekozen methode en bijbehorende parameterwaarden worden de volgende volumetrische watergehalten vastgesteld:

- veldcapaciteit *(WCFC)*
- verwelkingspunt *(WCWP)*
- luchtdroog *(WCAD)*
-

Deze watergehalten kunnen per laag verschillen en worden gebruikt bij de berekening van de hydrologische toestand in de bodem.

De berekening van het volumetrische watergehalte bij veldcapaciteit is gewijzigd ten opzichte van DRSAHE. In de bemestingstool wordt aangenomen dat de drukhoogte, horende bij veldcapaciteit, in (hydrostatisch) evenwicht is met de grondwaterstand (en dus niet meer gelijk is aan -100 cm).

Initiële toestand en grondwaterstand

Voor de initiële vochttoestand van het beschouwde profiel kan gebruik gemaakt worden van waargenomen vochtgehalten. Daarnaast is het mogelijk om uit te gaan van een vochttoestand die hoort bij het verwelkingspunt. Ook is het mogelijk om uit te gaan van een vochttoestand die in (hydrostatisch) evenwicht is met de grondwaterstand.

In het laatste geval wordt de grondwaterstand door de gebruiker opgegeven en wordt deze constant verondersteld. De grondwaterstand moet lager (of gelijk) zijn dan de onderkant van het beschouwde profiel. Informatie over de diepte van de grondwaterstand kan dus gebruikt worden voor het bepalen van het initiële vochtprofiel.

Transpiratie

Via de invoer wordt de potentiële transpiratievraag doorgegeven aan de bemestingstool. Het watergehalte van een laag kan alleen maar aangepast worden door transpiratie als in de laag wortels aanwezig zijn en het watergehalte van de laag hoger is dan het watergehalte bij het verwelkingspunt (WCWP).

Als in een laag voldoende water aanwezig is om aan de potentiële transpiratievraag te voldoen zonder dat het actuele watergehalte lager wordt dan WCWP, is de actuele transpiratie gelijk aan de potentiele transpiratie.

Wanneer het watergehalte in een laag onvoldoende is om aan de potentiële transpiratievraag te voldoen, daalt actuele watergehalte tot aan WCWP. Het restant van de potentiele transpiratie wordt doorgespeeld naar de onderliggende bodemlaag, mits daarin wortels aanwezig zijn. Er vindt daadwerkelijk pas reductie van de transpiratie plaats als in de gehele wortelzone onvoldoende water aanwezig is. De hierboven beschreven compensatiemethode is een uitbreiding van het originele DRSAHE-model voor de bemestingstool.

Het oude watergehalte per laag verminderd met de hoeveelheid transpiratie per laag levert het nieuwe watergehalte per laag op. De actuele transpiratie is gelijk aan de som van de transpiraties uit de verschillende lagen van de wortelzone en kan dus gereduceerd zijn ten opzichte van de potentiële transpiratievraag.

Bodemverdamping

Bodemverdamping wordt belangrijker naarmate de bedekking van de bodem door een gewas kleiner is. In dit onderzoek (op permanent grasland) is de ingevoerde potentiële bodemverdamping (E_{pot}) echter gelijk gesteld aan 10% van de referentieverdamping volgens Makkink. De actuele bodemverdamping (E_{act}) is onder andere afhankelijk van de actuele watergehalten in de lagen van het bodemprofiel. De actuele bodemverdamping wordt kleiner naarmate de watergehalten in de lagen afnemen en stopt zodra het watergehalte in alle lagen 'luchtdroog' (WCAD) is.

Bij de berekening van (de reductie van) de actuele bodemverdamping wordt in DRSAHE onderscheid gemaakt tussen dagen met en zonder neerslag (Stroosnijder, 1982). Op dagen met neerslag is de actuele bodemverdamping gelijk aan de opgelegde potentiële bodemverdamping. Als beperking geldt wel dat er niet meer kan verdwijnen via bodemverdamping dan aanwezig is in de bovenste bodemlaag. De in de bovenste bodemlaag aanwezige hoeveelheid water wordt gelijkgesteld aan het verschil tussen actuele watergehalte en WCAD.

De reductie van de bodemverdamping op dagen zonder (of met te weinig) neerslag is afhankelijk van het aantal achtereenvolgende dagen zonder (of met te weinig) neerslag (dslr). Volgens Stroosnijder (1982) is de bodemverdamping bij benadering evenredig met de wortel van de tijd (zie vergelijking 1). De bodemverdamping wordt dus steeds verder gereduceerd totdat er neerslag valt, die meer dan 0.5 mm/d is. Op dat moment wordt de teller van het aantal dagen zonder (of met te weinig) neerslag teruggezet op de originele waarde.

$$E_{act} = 0.6 * E_{pot} * \left(\sqrt{(dslr + 1)} - \sqrt{(dslr)}\right) \qquad (1)$$

In werkelijkheid vindt bodemverdamping plaats vanuit de bovenste laag van het bodemprofiel. Door potentiaalgradiënten wordt het verdampte water uit de bovenste laag vervangen door water uit dieper liggende lagen. Opwaartse stroming van water wordt in DRSAHE echter niet beschouwd. Om toch rekening te houden met deze opwaartse stroming als gevolg van bodemverdamping wordt in overeenstemming met Van Keulen (1975) de actuele bodemverdamping over alle bodemlagen (*nl* lagen) verdeeld volgens de volgende set vergelijkingen:

$$E_{rb}(i) = d(i) * 1000 * \left(WCL(i) - WCAD(i)\right) * e^{\left(-20*\left(z(i)-0.5*d(i)\right)\right)} \qquad (2)$$

$$Sumx = \sum_{i=1}^{nl} E_{rb}(i)$$

$$E(i) = E_{act} * \frac{E_{rb}(i)}{Sumx}$$

waarin *E* de actuele bodemverdamping is uit laag *i* (mm/d), *d* is de dikte van laag *i* (m), *z* is de diepte van laag *i* (m) en *WCL* is het actuele watergehalte in laag *i* (-). *Sumx* en E_{rb} zijn hulpvariabelen.

Het oude watergehalte per laag verminderd met de hoeveelheid bodemverdamping per laag levert het nieuwe watergehalte per laag op.

Neerslag, interceptie en irrigatie

DRSAHE gaat er van uit dat de opgegeven neerslag al gecorrigeerd is voor de interceptie door het gewas (i.c. interceptie = 0). Eventuele beregeningsgiften verrekenen wij met de (netto) neerslag.

Infiltratiecapaciteit

De gebruiker kan een maximale infiltratiecapaciteit opgeven. Wanneer de hoeveelheid (netto) neerslag groter is dan deze maximale infiltratiecapaciteit, vindt er runoff plaats. De runoff is gelijk aan het verschil tussen de neerslag en de infiltratiecapaciteit. De infiltratie is in dit geval gelijk aan de maximale infiltratiecapaciteit. Met plasvorming wordt in deze tool geen rekening gehouden. Oftewel: runoff verdwijnt en is niet meer beschikbaar voor infiltratie op een later tijdstip.

Actuele vochttoestand

De actuele vochttoestand van de verschillende bodemlagen is al aangepast als gevolg van de 'verliesposten' transpiratie en bodemverdamping. Vervolgens wordt de actuele vochttoestand aangepast naar aanleiding van het 'aanvoerpost' infiltratie (oftewel indirect de neerslag).

Allereerst wordt hiervoor berekend hoeveel water in de verschillende bodemlagen geborgen kan worden tot aan het watergehalte bij veldcapaciteit *(WCFC).* De hoeveelheid infiltratie wordt verdeeld over de verschillende bodemlagen volgens het 'tipping bucket'-principe. Hierbij worden de bodemlagen van boven af aangevuld tot aan *WCFC*. Het infiltratiewater, dat niet geborgen kan worden in een laag, wordt doorgesluisd naar de onderliggende volgende bodemlaag. Het bodemprofiel wordt als gevolg van infiltratie dus van boven af opgevuld.

De hoeveelheid infiltratie die groter is dan de totale hoeveelheid water, die op dat moment geborgen kan worden, wordt verdeeld over de processen oppervlakkige afspoeling (runoff) en drainage naar het dieper gelegen grondwater. De verdelingsfractie runoff en drainage wordt door de gebruiker opgegeven. Zonder deze verdelingsfractie zal de niet te bergen hoeveelheid water toegekend worden aan drainage. Met andere woorden: in de originele DRSAHE bestond het proces runoff niet en konden drainage en runoff niet tegelijkertijd plaatsvinden. Het is voor dit instrument niet van belang of de drainage naar het dieper gelegen

grondwater uiteindelijk via drains in het oppervlaktewater terecht komt of daadwerkelijk wegzijgt naar het diepere grondwater. Van belang is dat dit water via de onderrand afgevoerd wordt vanuit het beschouwde profiel.

Instantaan
Alle in dit waterbalansmodel beschouwde processen worden instantaan verrekend met de vochttoestand in de verschillende bodemlagen. Impliciet betekent dit dat water snel verticaal getransporteerd kan worden. De som van alle invoer minus de som van alle uitvoer is gelijk aan de totale bergingsverandering (wet van behoud van massa). Met de wet van Darcy (de volumetrische waterfluxdichtheid is proportioneel aan de gradiënt in de waterpotentiaal) en met het verloop van de waterdoorlatendheidscurve en de gevolgen hiervan op de doorstroming in het profiel wordt geen rekening gehouden. Er vindt dan ook geen vorm van iteratie plaats gedurende de tijdstap (i.c. dag).

Door geen rekening te houden met de wet van Darcy en de waterdoorlatendheidscurve wordt de werkelijkheid versimpeld weergegeven. Dit heeft enige gevolgen voor de modelresultaten, maar zorgt er wel voor dat het model en de benodigde invoer relatief eenvoudig (kunnen) blijven.

2.3 Werking van de bemestingstool

De bemestingstool maakt gebruik van het waterbalansmodel, beschreven in paragraaf 2.2. Bij de werking van de bemestingstool zijn een aantal stappen te onderscheiden. In de initialisatiestap wordt de invoer ingelezen. Dit is algemene informatie (o.a. de door te rekenen periode), de bodemfysische eigenschappen, de initiële toestand, het historische weer en de neerslagverwachtingen.

Vervolgens wordt met de invoergegevens en het waterbalansmodel de 'actuele' hydrologische toestand berekend. Deze toestand wordt berekend voor de laatste dag, waarvoor historische neerslag- en verdampingsgegevens beschikbaar zijn. In het ideale geval zijn deze gegevens beschikbaar tot en met de dag van gisteren. Voor 35 KNMI-weerstations, verdeeld over Nederland, zijn deze gegevens daadwerkelijk tot en met gisteren beschikbaar (zie http://www.knmi.nl/).

Met de neerslagverwachtingen en een aanname over de verwachte referentiegewasverdamping wordt vervolgens de (verwachte) hydrologische toestand berekend. Op dit moment kijken neerslagverwachtingen van het KNMI tien dagen vooruit. Dit betekent dat de bemestingstool ook maximaal tien dagen vooruit rekent. Hierbij geldt dat de dag van vandaag telt als dag één (van de tien). Wij rekenen in dit onderzoek echter zeven dagen vooruit omdat de resultaten van de bemestingstool dan eenvoudig te vergelijken zijn met de wekelijkse veldmetingen.

Vervolgens beoordeelt de bemestingstool aan de hand van de verwachte hoeveelheid oppervlakkige afvoer in de komende zeven dagen welk advies het moet geven voor bemesten ter voorkoming van incidentele nutriëntenverliezen. De bemestingstool vergelijkt hiervoor de verwachte hoeveelheid oppervlakkige afvoer met een door de gebruiker opgegeven onder- en bovengrens. Verwachte oppervlakkige afvoer, die lager is dan de ondergrens, leidt tot een advies 'Groen licht'. Het ligt dan niet in de verwachting dat er op basis van de huidige weersverwachtingen na een eventuele bemesting nutriëntenverliezen optreden als gevolg van oppervlakkige afvoer. Een verwachte oppervlakkige afvoer, die hoger is dan de bovengrens, leidt tot een advies 'Rood licht. Op basis van de huidige weerverwachtingen is er dan een groot risico op oppervlakkige afvoer. Het is zeer raadzaam om een eventueel geplande bemesting (voorlopig) uit te stellen ter voorkoming van nutriëntenverliezen. Verwachte oppervlakkige afvoer, die ligt tussen de onder- en bovengrens, leidt tot een advies 'Oranje licht'. Bemest liever niet als het niet strikt nodig is.

2.4 Invoer

De bemestingstool maakt gebruik van vier invoerbestanden, te weten:

- Control.dat (zie tabel 2.1)
- Soil.dat (zie tabel 2.2)
- HistWeather.dat (zie tabel 2.3)
- ForecastWeather.dat (zie tabel 2.4)

In tabel 2.1 tot en met 2.4 worden voorbeelden gegeven van de inhoud van de verschillende bestanden. Hierbij wordt ook toelichting gegeven op de invoerparameters. Commentaarregels zijn aan het begin van de regel voorzien van een ! of *. Alleen de relevante invoerparameters en opties zijn weergegeven.

Tabel 2.1

Inhoud en toelichting van het invoerbestand Control.dat.

```
! Start dagnummer van het jaar en startjaar (=START); Een dag met een vochttoestand in de
bodem, die bij benadering in evenwicht is met de grondwaterstand heeft de voorkeur.
StartDOY = 305.0
StartYear = 2002

! “Gisteren” oftewel de laatste dag waarvoor historische weersgegevens beschikbaar zijn
(=FINISH).
FinishDOY = 121.0
FinishYear = 2008

! Het aantal dagen vooruit, waarvoor weersverwachtingen beschikbaar zijn (Maximum = 10.0).
NumDayForecast = 7.0

! Op dit moment is alleen een tijdstap mogelijk van 1 dag.
Delt = 1.0

! Onder- en bovengrenswaarden voor verwachte hoeveelheid oppervlakkige afvoer RUNOFFSUM
(som over 7 dagen in mm).
!      Runoffsum < Th_Low                    = Groen / Veilig / Geen risico
!      Th_Low < Runoffsum < Th_High          = Oranje / Pas op / Mogelijk risico
!      Runoffsum > Th_High                   = Rood / Niet veilig / Groot risico
Th_Low  = 1.4
Th_High = 6.8
```

Concreet komt het er in het bovenstaande voorbeeld op neer dat de bemestingstool van 1 november 2002 tot en met 30 april 2008 de hydrologische toestand doorrekent op basis van historisch weer. Van 1 mei 2008 tot en met 7 mei 2008 wordt de hydrologische toestand doorgerekend met verwacht weer.

Tabel 2.2

Inhoud en toelichting met betrekking tot het invoerbestand Soil.dat.

```
* ================================
* SWIT9 = 1 ! Waterretentiecurve wordt gedefinieerd door de gebruiker.
* SWIT8 = 1 ! Waterretentiecurve volgens de methode van Driessen (1986)
*       = 2 ! Waterretentiecurve volgens de methode van Van Genuchten (1980)
*       = 4 ! Gebruik een eigen gedefinieerde waterretentiecurve
* Mogelijk combinaties van SWIT9 en SWIT8
* ======================================
* SWIT9 | SWIT8 | Opmerking:
*   1   |   1   | vereist WCST and MSWCA voor elke laag
*   1   |   2   | vereist WCST, VGA, VGR en VGN voor elke laag
*   1   |   4   | vereist WCST, WCFC, WCWP en WCAD voor elke laag
SWIT9 = 1
SWIT8 = 2

* Het aantal bodemlagen
NL = 8

* Dikte van de verschillende bodemlagen (m)
TKL = 8*0.1

* Bodemfysische eigenschappen
WCST = 4*0.54  , 4*0.57      ! Theta-saturated
VGR  = 4*0.01  , 4*0.01      ! Theta-residual
VGA  = 4*0.0239, 4*0.0194    ! alpha
VGN  = 4*1.094 , 4*1.089     ! n

* SWIT6 = 1 ! Initiële vochttoestand is in evenwicht met de grondwaterstand.
*       = 2 ! Initiële vochttoestand wordt gedefinieerd door waargenomen watergehalten.
*             Vereist het initiële watergehalte WCLQTI voor elke laag.
*       = 3 ! Initiële vochttoestand komt overeen met de watergehalten bij verwelking.
SWIT6 = 1

* Initiële grondwaterstand (cm-mv). Moet gelijk of lager zijn dan de onderkant van het
beschouwde bodemprofiel. Wordt constant verondersteld in de tijd.
IniGWST = 80.0

* Bodemverdamping extinctiecoefficient (m-1)
EES = 20.

* Maximale worteldiepte (m)
ZRTMS = 0.4

* Parameters gerelateerd aan oppervlakkige afvoer (runoff)
InfCap_Thrh =  17.5    ! Maximale Infiltratiecapaciteit (mm)
RnOff_frac  =   0.65   ! Runoff-fractie (-)
```

Bij gebruik van SWIT8 = 1 moet naast het watergehalte bij verzadiging (WCST) per laag ook de textuur-specifieke constante MSWCA (Driessen, 1986) opgegeven worden.

Bij gebruik van SWIT8 = 4 moet naast het watergehalte bij verzadiging per laag ook de volumetrische watergehalten bij veldcapaciteit *(WCFC),* verwelkingspunt *(WCWP)* en luchtdroog *(WCAD)* opgegeven worden.

Enkele opties, die wel mogelijk zijn in het waterbalansmodel DRSAHE, zijn bij de bemestingstool niet beschikbaar of niet relevant en zijn dus ook niet behandeld.

Tabel 2.3

Inhoud en toelichting met betrekking tot het invoerbestand HistWeather.dat.

```
*   iHWYear  = Jaar
*   iHWDoY   = Dagnummer van het jaar
*   HWRain   = Netto neerslag inclusief irrigatie (mm/d), gecorrigeerd voor interceptie.
*   HWTp     = Potentiele transpiratie / gewasverdamping (mm/d)
*   HWEp     = Potentiele evaporatie / bodemverdamping (mm/d)

*   UseMak     = Gebruik Makkink referentiegewasverdamping (1) of Potentiele transpiratie
en evaporatie (0). Op dit moment is alleen optie 0 mogelijk. Verdeel de Makkink
referentiegewasverdamping zelf over Tp en Ep.
UseMak = 0

! Aangenomen: Makkink-referentieverdamping = 90% gewasverdamping + 10% bodemverdamping
iHWYear   iHWDoY     HWRain     HWTp      HWEp
2002      1          0.70       0.09      0.01
2002      2          0.10       0.18      0.02
2002      3          0.00       0.54      0.06
2002      4          9.00       0.36      0.04
2002      5          0.00       0.27      0.03
....      .          ....       ....      ....
```

De weersgegevens in HistWeather.dat moeten de te simuleren historische periode START (i.c. 1 november 2002) tot en met FINISH (i.c. 30 april 2008) in zijn geheel omvatten. Met andere woorden: voor elke dag moeten weersgegevens beschikbaar zijn.

Tabel 2.4

Inhoud en toelichting voor het invoerbestand ForecastWeather.dat.

```
*   iFWYear  = Jaar
*   iFWDoY   = Dagnummer van het jaar
*   FWR      = Netto neerslag inclusief irrigatie (mm/d), gecorrigeerd voor interceptie.
*   FWM      = Makkink referentiegewasverdamping (mm/d)
*   ...0       = Verwacht voor dag FWDoY
*   ...1       = Verwacht voor dag FWDoY+1
*   ...2       = Verwacht voor dag FWDoY+2
    enzovoort

*   EpFrac   = Fractie van de Makkink referentiegewasverdamping, die toegekend wordt aan
potentiele bodemverdamping. Het restant wordt toegekend aan potentiele transpiratie.
EpFrac = 0.1

!            <-------------------- NEERSLAG |  MAKKINK -------------------->
iFWYear iFWDoY FWR0 FWR1 FWR2 FWR3 ... FWR9     FWM0 FWM1 FWM2 FWM3 ... FWM9
2002    311    1.3  11.1 1.8  4.7  ... 0.1      0.5  0.3  0.6  0.3  ... 0.2
2002    312    20.5 0.2  4.4  1.2  ... 19.9     0.3  0.6  0.3  0.7  ... 0.6
2002    313    1.0  10.8 0.8  9.2  ... 0.2      0.6  0.3  0.7  0.4  ... 0.2
....    ...    ...  .... ...  ...  ... ...      ...  ...  ...  ...  ... ...
```

Om technische redenen zijn in ForecastWeather.dat minimaal twee regels met gegevens vereist.
Voor de dag FINISH+1 (i.c. 1 mei 2008) moet in ForecastWeather.dat één regel met verwachte neerslag- en referentieverdampingswaarden beschikbaar zijn. De bemestingstool leest standaard per regel tien neerslag- en tien referentieverdampingswaarden in. In dit geval is NumDayForecast gelijk aan 7. De eerste 7 (i.c. FWR0 tot en met FWR6) neerslag- en de eerste 7 (i.c. FWM0 tot en met FWM6) referentieverdampingswaarden moeten dus relevante informatie bevatten. In dit geval mogen de kolommen FW..7, FW..8 en FW..9 dummy-waarden bevatten.

2.5 Uitvoer

De bemestingstool produceert twee verschillende uitvoerbestanden:

- Advies.out (zie tabel 2.5)
- Res.dat (zie tabel 2.6)

In Advies.out wordt de totale verwachte hoeveelheid oppervlakkige afspoeling voor de komende zeven dagen gepresenteerd. Deze hoeveelheid wordt door de bemestingstool vergeleken met een door de gebruiker op te geven onder- en bovengrens. Afhankelijk van hoe de verwachte hoeveelheid afspoeling zich verhoudt ten opzichte van deze onder- en bovengrens wordt in Advies.out een advies gegeven in de vorm van 'Groen', 'Oranje' of 'Rood licht'. In tabel 2.5 zijn voorbeelden van deze adviezen opgenomen.

Tabel 2.5

Drie voorbeelden van de inhoud van Advies.out, respectievelijk 'Groen'licht, 'Oranje'licht en 'Rood licht'.

Groen licht
Het advies van 19-02-2008 De verwachte hoeveelheid afspoeling (0.41 mm) is laag. Oftewel GROEN LICHT voor het uitvoeren van de geplande acties.
Oranje licht
Het advies van 20-02-2008 De verwachte hoeveelheid afspoeling (6.65 mm) is groter dan de veilige grenswaarde (van 1.40 mm)!! Oftewel PAS OP met het uitvoeren van de geplande acties. Voer de acties niet uit als het niet strikt nodig is.
Rood licht
Het advies van 21-02-2008 De verwachte hoeveelheid afspoeling (8.74 mm) is TE HOOG!! Oftewel ROOD LICHT voor het uitvoeren van de geplande acties.

In het bestand Res.dat worden tijdens de simulatie allerlei relevante hydrologische toestanden en processen weggeschreven. In tabel 2.6 is een beschrijving gegeven van de belangrijkste uitvoer van Res.dat.

Tabel 2.6

Beschrijving van de belangrijkste uitvoerparameters uit het bestand Res.dat.

Time	Tijd (dagen)
Wcum	Cumulatieve hoeveelheid water in het beschouwde bodemprofiel (mm)
Raincu	Cumulatieve (netto) neerslag, gecorrigeerd voor interceptie (mm)
Rnofcu	Cumulatieve oppervlakkige afspoeling (mm)
Inflcu	Cumulatieve infiltratie (mm)
Evsccu-Pot	Cumulatieve potentiële bodemverdamping (mm)
Evswcu-Act	Cumulatieve actuele bodemverdamping (mm)
Trwcu-Pot	Cumulatieve potentiële transpiratie (mm)
Trwcu-Act	Cumulatieve actuele transpiratie (mm)
Draicu	Cumulatieve drainage (mm)
Flxcu (1..NL+1)	Cumulatieve flux voor elk grensvlak (mm); Flxcu(1) is de flux over de bovenrand van laag 1; Flxcu(2) is de flux over de onderrand van laag 1 richting laag 2; Flxcu(NL+1) is de flux over de onderrand van laag NL
Wclqt (1..NL)	Volumetrische watergehalten voor laag 1 tot en met laag NL (-)
Rain	(Netto) neerslag, gecorrigeerd voor interceptie (mm/d)
Rnoff	Oppervlakkige afspoeling oftewel runoff (mm/d)
Infl	Infiltratie (mm/d)
Evsc-Pot	Potentiële bodemverdampingssnelheid (mm/d)
Evsw-Act	Actuele bodemverdampingssnelheid (mm/d)
Trw-Pot	Potentiële transpiratiesnelheid (mm/d)
Trw-Act	Actuele transpiratiesnelheid (mm/d)
Draiqt	Drainage (mm/d)
Rosum7d	Verwachte hoeveelheid oppervlakkige afspoeling, gesommeerd voor zeven dagen (mm); is gelijk aan Runoffsum uit tabel 2.1
Drsum7d	Verwachte hoeveelheid drainage, gesommeerd voor zeven dagen (mm)

Tijdens de simulatie met de bemestingstool kunnen waarschuwingsboodschappen weggeschreven worden naar het beeldscherm. Deze waarschuwingen hebben betrekking op een bijzondere toestand of gebeurtenis, die optreedt tijdens het simuleren. Deze boodschappen wijzen zichzelf en hebben geen invloed op het verloop van de simulatie. Een voorbeeld is de boodschap `'No transpiration possible in layer .. '`, dit betekent dat er in de betreffende laag geen water beschikbaar is voor transpiratie.

Tijdens de simulatie met de bemestingstool kunnen ook foutmeldingen weggeschreven worden naar het beeldscherm. Deze foutmeldingen hebben betrekking op invoer of een situatie, die nooit voor mag komen. Deze meldingen wijzen zichzelf en stoppen de simulatie onmiddellijk. Een voorbeeld van een foutmelding is `'Nett rain should be positive'`, dit betekent dat in de invoer een negatieve netto neerslag is opgegeven.

Omdat de waarschuwingsboodschappen en foutmeldingen zelf al een indicatie geven van wat er aan de hand is, worden ze hier niet behandeld.

3 Beschikbare gegevens

De bemestingstool is getest en toegepast voor grasland op een kleigrond te Waardenburg. Een uitgebreide beschrijving van de locatie en de meetresultaten is te vinden in Van der Salm et al. (2006), Koopmans et al. (2009) en Van der Salm et al. (2012).

3.1 Bodem

De graslandpercelen op de meetlocatie lopen bol, of anders gezegd midden tussen de greppels is het maaiveld hoger dan vlak naast de greppels. Bovendien liggen tussen twee greppels meerdere drains op een diepte van 80 cm ten opzichte van het maaiveld midden tussen de greppels. Bij de simulaties gaan we uit van de situatie midden tussen de greppels. Hier is volgens Van der Salm et al. (2006) de bovengrond (30 tot) 40 cm dik.

Bij de simulaties nemen we aan dat onder de bovenlaag een homogene ondergrond ligt. Zowel de bovengrond als ondergrond zijn in de simulaties onderverdeeld in lagen van 10 cm dikte. We nemen aan dat de hele bovengrond is beworteld.

Op basis van het gemeten lutumgehalte (Van der Salm et al., 2006) bestaan de boven- en ondergrond van de locatie uit zeer zware kleigrond. De bijbehorende bouwstenen volgens de Staringreeks zijn een B12 voor de bovengrond en een O13 voor de ondergrond (zie Wösten et al., 2001). Vooral tijdens droge zomers kunnen er op de meetlocatie (flinke) krimpscheuren ontstaan. Met het krimp- en zwelproces van deze krimpscheuren en de daarbij behorende effecten op de bodemfysische eigenschappen kan de bemestingstool geen rekening houden. Aangezien de gefitte maximale infiltratiecapaciteit (zie hoofdstuk 4) hoger is dan de gemeten verzadigde doorlatendheid wordt er impliciet wel enigszins rekening gehouden met de aanwezigheid van krimpscheuren.

Bij onze simulaties met de bemestingstool gaan we uit van een waterretentiecurve, die gekarakteriseerd is volgens de methode van Van Genuchten (1980). De bijbehorende Van Genuchten-parameters voor de B12 boven- en O13 ondergrond zijn afkomstig uit Wösten et al. (2001). Gemeten Van Genuchten-parameters resulteerden niet in betere of slechtere resultaten. Bovendien zouden voor onbekende situaties ook parameters uit Wösten et al. (2001) gekozen worden. In tabel 2.2 zijn de gebruikte waarden voor de volumetrische watergehalten bij verzadiging en luchtdroog, en de vormparameters *alpha* en *n* weergegeven.

Door de simulatieresultaten te vergelijken met de meetresultaten van de seizoenen zijn de locatie-specifieke maximale infiltratiecapaciteit en de runoff-fractie iteratief vastgesteld. In hoofdstuk 4 komen we hier op terug.

3.2 Management

In het kader van het project Koeien & Kansen (Oenema et al., 2002, 2007, 2009) is informatie verzameld over het management op de onderzochte percelen. Het gaat om informatie over bemestingen, beweidingen en maaien. Waar nodig maken wij gebruik van deze informatie en wordt deze informatie gepresenteerd.

3.3 Waterafvoer

Van der Salm et al. (2006) en Koopmans et al. (2009) hebben in het kader van hun onderzoek onder andere metingen verricht aan:

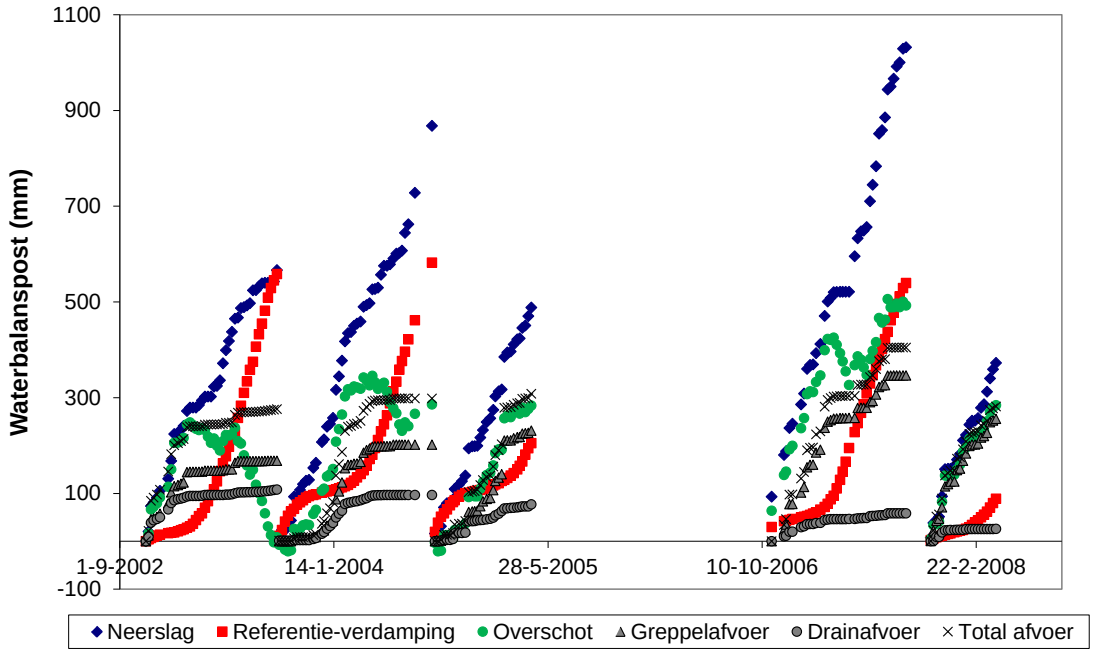
- de hoeveelheid slootafvoer
- de hoeveelheid afvoer via greppels
- de hoeveelheid afvoer via drains

Op basis van deze en andere metingen zijn waterbalansen opgesteld voor de verschillende meetseizoenen.

In navolging van Van der Salm et al. (2006) en Koopmans et al. (2009) onderscheiden wij de volgende meetseizoenen:

- seizoen 1: 1 oktober 2002 - 3 september 2003
- seizoen 2: 3 september 2003 - 30 augustus 2004
- seizoen 3: 30 augustus 2004 - 19 april 2005
- seizoen 4: 1 november 2006 - 11 september 2007
- seizoen 5: 1 november 2007 - 8 april 2008

In figuur 3.1 zijn de verschillende waterbalansposten cumulatief weergegeven als functie van de tijd. Onderscheid is hierbij gemaakt tussen de verschillende meetseizoenen. Figuur 3.1 wordt gebruikt bij het beoordelen van de simulatieresultaten. In Van der Salm et al. (2006) en Koopmans et al. (2009) zijn de meetgegevens, die ten grondslag liggen aan figuur 3.1, uitgebreid besproken.



Figuur 3.1

Cumulatieve neerslag, referentiegewasverdamping, neerslagoverschot, gemiddelde greppelafvoer, gemiddelde drainafvoer en totale afvoer in de tijd. Onderscheid is gemaakt tussen de verschillende meetseizoenen.

Uit figuur 3.1 blijkt dat op deze locatie de waterafvoer via de greppels een groter aandeel heeft in de totale waterafvoer (greppel + drains) dan de waterafvoer via drains. In het eerste seizoen verdwijnt van de totale waterafvoer 61% via greppels. In het laatste seizoen is dit 91%. Bovendien blijkt uit figuur 3.1 dat het neerslagoverschot niet gelijk is aan de greppelafvoer noch aan de totale afvoer.

3.4 Nitraat en fosfaatafvoer

Van der Salm et al. (2006) en Koopmans et al. (2009) hebben in de sloot-, greppel- en drainafvoer ook de concentraties stikstof en fosfaat gemeten. Onderscheid is hierbij gemaakt tussen de verschillende verschijningsvormen. Deze concentraties zijn daarna gebruikt om de totale afgevoerde vracht aan nutriënten en de nutriëntenbalansen voor de verschillende meetseizoenen vast te stellen. Waar nodig maken wij gebruik van deze informatie en wordt deze informatie gepresenteerd.

3.5 Historische weersgegevens

De gebruikte gemeten neerslag- en verdampingsgegevens zijn verkregen via de website van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI): http://www.knmi.nl/

Op de website van het KNMI zijn diverse soorten neerslaggegevens beschikbaar. Wij gebruiken de neerslag van de KNMI-neerslagstations Herwijnen (stationnummer 830) en Geldermalsen (stationnummer 584). Deze gegevens zijn beschikbaar op dagbasis en worden (handmatig) gemeten van 8.00 - 8.00 uur UTC. De neerslaggegevens van neerslagstation Herwijnen zijn niet gelijk aan de neerslaggegevens van het KNMI weerstation Herwijnen (stationnummer 356). Laatstgenoemde neerslaggegevens worden automatisch gemeten en zijn beschikbaar op uurbasis en dagbasis (0.00 - 0.00 uur).

Voor de verdamping gebruiken wij de referentiegewasverdamping (volgens Makkink) van KNMI weerstation Herwijnen (stationnummer 356). De verdampingsgegevens zijn beschikbaar op dagbasis (0.00 - 0.00 uur).

In tabel 3.1 zijn de neerslagsommen van de KNMI-neerslagstations Geldermalsen en Herwijnen, de referentiegewasverdampingsom voor KNMI-weerstation Herwijnen en het gemiddelde neerslagoverschot per jaar weergegeven. Het gemiddelde neerslagoverschot is gebaseerd op de gemiddelde neerslagsom van de KNMI-neerslagstations Herwijnen en Geldermalsen en de referentiegewasverdampingsom. Over deze jaren is de gemiddelde neerslag 826 mm en de gemiddelde referentiegewasverdamping 596 mm. Het neerslagoverschot varieert tussen -30 mm en 436 mm en is gemiddeld 230 mm.

Tabel 3.1

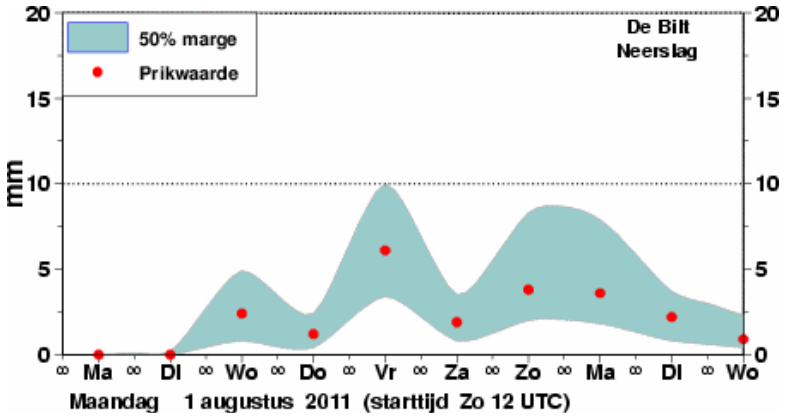
Neerslagsommen van KNMI-neerslagstations Geldermalsen en Herwijnen, de referentiegewasverdampingsom van KNMI weerstation Herwijnen en het gemiddelde neerslagoverschot per jaar.

Jaar	Neerslagsom Geldermalsen (mm)	Neerslagsom Herwijnen (mm)	Verdampingsom (mm)	Gemiddeld neerslagoverschot (mm)
2002	808	874	577	264
2003	588	642	645	-30
2004	882	856	587	282
2005	845	838	611	231
2006	821	761	592	199
2007	1011	996	568	436
2008	818	820	593	226

3.6 Weersverwachtingen

Op internet zijn diverse bedrijven actief, die zich bezig houden met weersverwachtingen voor Nederland (o.a. KNMI, Meteo Consult, Weeronline). In dit onderzoek zijn we echter alleen uitgegaan van de weersverwachtingen van het KNMI (zie http://www.knmi.nl/). Het KNMI geeft weersverwachtingen voor diverse termijnen, namelijk voor vandaag en morgen, voor de komende vijf dagen en voor de komende tien dagen. Vooral de 10-daagse verwachtingen (ook wel ensembleverwachtingen genoemd) zijn interessant voor het voorkomen van afspoeling van nutriënten.

De ensembleverwachtingen geven verwachtingen plus een onzekerheidsband voor minimum en maximum temperatuur, windsnelheid en neerslaghoeveelheid. De verwachtingen zijn gebaseerd op een modelberekening (met een hoge resolutie) door het European Centre for Medium-Range Weather Forecasts te Reading (Engeland). Deze zogenaamde operationele run staat aan de basis van de prikwaarden (zie figuur 3.2). De onzekerheidsband is gebaseerd op 50 modelberekeningen met een model met een lagere resolutie. Bij elk van deze modelberekeningen wordt de begintoestand een beetje verstoord t.o.v. de operationele run. De uitkomsten van de helft van deze verstoorde modelberekeningen vallen binnen de onderzekerheidsband. Voor meer informatie zie http://www.knmi.nl/waarschuwingen_en_verwachtingen/ensemble.html



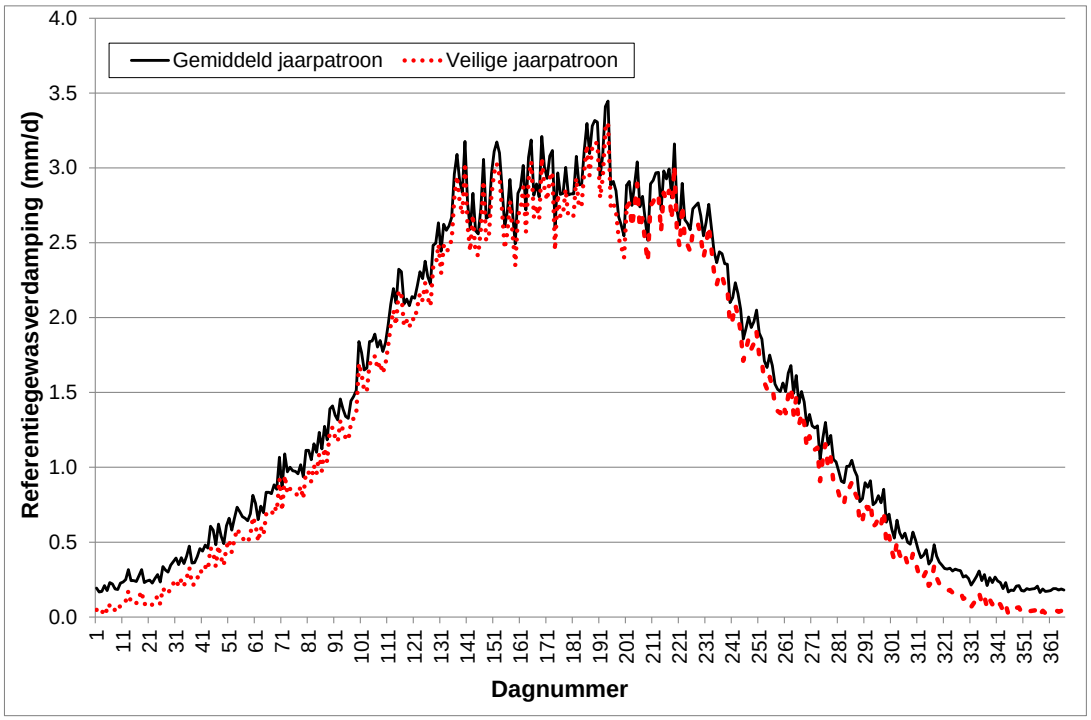
Figuur 3.2

Prikwaarden en de onzekerheidsband voor de verwachte hoeveelheid neerslag.

Met dank aan de heer F. Lantsheer (KNMI) hebben wij de beschikking gekregen over ensembleverwachtingen uit het verleden. Voor de periode november 2002 tot en met april 2008 was het grootste deel van de historische ensembleverwachtingen beschikbaar.

Verwachtingen voor de referentiegewasverdamping worden niet gegeven op internet, maar zijn wel nodig om met de tool uitspraken te doen voor de toekomst. Op basis van de normaalperiode 1971-2000 (Heijboer en Nellestijn, 2002) is voor elke dag van het jaar de gemiddelde referentiegewasverdamping volgens Makkink berekend. Gesommeerd voor een jaar levert dit jaarpatroon een referentiegewasverdamping op van 543 mm. De laagst gemeten jaarsom voor referentiegewasverdamping (locatie: De Bilt) is ongeveer 490 mm. Deze laagste jaarsom is als uitgangspunt genomen voor de schatting van de referentiegewasverdamping op een bepaalde dag omdat het model vooral een goede uitspraak moet doen over regenperioden. De keuze voor de laagste jaarsom is gebaseerd op de veronderstelling dat bij regen de gewasverdamping lager is dan gemiddeld.

Voor dit onderzoek is een jaarpatroon voor referentiegewasverdamping geconstrueerd, die een jaarsom van 490 mm oplevert maar wel rekening houdt met de gemiddelde dynamiek binnen een jaar. Dit 'veilige' jaarpatroon zal voor de langere termijn de werkelijke referentiegewasverdamping in ieder geval niet overschatten. Bij berekeningen met de tool voor toekomstige dagen worden referentiegewasverdampingswaarden gekozen uit het veilige jaarpatroon, die corresponderen met de betreffende dagen van het jaar. In figuur 3.3 is het gemiddelde en het veilige jaarpatroon weergegeven.



Figuur 3.3

Het gemiddelde en veilige jaarpatroon voor de referentiegewasverdamping.

3.7 Grenswaarden

Ondanks het feit dat de verwachte greppelafvoer waarschijnlijk niet altijd volledig correct is, kan het zo zijn dat de voorspelling goed genoeg is voor een advies ter voorkoming van oppervlakkige afspoeling. Het gaat immers vooral om de orde van grootte van de verwachte afvoer. Voor de adviezen is daarom gebruik gemaakt van drie klassen: een laag, een matig en een hoog risico op nutriëntenverliezen. De klassengrenzen kunnen ingesteld worden door de keuze van de onder- (`Th_Low`) en bovengrens (`Th_High`) voor de oppervlakkige afvoersom (i.c. som over zeven dagen). Deze onder- en bovengrens zijn door de gebruiker vrij te kiezen.

Om de klasse-indeling te maken is gekeken naar het percentage van het jaarlijkse nutriëntenverlies dat op zou treden als bemest wordt in de betreffende periode. Het risico op afspoeling is als laag gedefinieerd als waterafvoer na bemesting leidt tot minder dan 2% van de jaarlijkse verliezen. Het risico is als hoog gedefinieerd als meer dan 10% van het jaarlijkse verlies zou optreden als bemest wordt.

Aangezien voor de locatie te Waardenburg veel meetgegevens beschikbaar zijn, hebben wij bij de keuze van de onder- en bovengrens gebruik gemaakt van meetgegevens om deze klassegrenzen te kiezen. Uit Van der Salm et al. (2006) en Koopmans et al. (2009) blijkt dat (vlak) na een bemesting de concentraties N en P in de greppelafvoer hoog kunnen zijn. In 95% van de gevallen waren de gemeten N-concentraties in de greppelafvoer lager of gelijk aan 17.5 mg/l. De gemiddelde jaarlijkse N-afvoer is 12 kg/ha/j, dit komt overeen met 68 mm greppelafvoer met een concentratie van 17.5 mg N/l. Aangenomen is dat als de verwachte greppelafvoersom over zeven dagen lager (of gelijk) is dan 2% van de jaarvracht, er weinig risico is op oppervlakkige afspoeling van nutriënten. Deze waarde is als ondergrens (`Th_Low`) gehanteerd en bedraagt 1.4 mm (2% van 68 mm). We nemen aan dat als de verwachte greppelafvoersom over zeven dagen hoger (of gelijk) is dan 10% het risico op oppervlakkige afspoeling van nutriënten te hoog is. Deze bovengrens (`Th_High`) is dus 6.8 mm.

Voor deze locatie zijn op dezelfde manier de onder- en bovengrenswaarden voor de oppervlakkige afvoersom vastgesteld met gemeten P-concentraties. Deze grenswaarden liggen 19% hoger dan degenen, die vastgesteld zijn met gemeten N-concentraties. Met andere woorden: voor N is (op deze locatie) het risico op oppervlakkige afspoeling eerder aanwezig. De grenswaarden voor de oppervlakkige afvoersom, vastgesteld met gemeten N-concentraties, zijn dan ook voor deze locatie gebruikt in dit onderzoek.

4 Resultaten

4.1 Berekening op basis van historische dataset

4.1.1 Berekening voor periode 2002-2008

Op basis van de historische weersgegevens is met de bemestingstool één doorlopende berekening uitgevoerd voor de periode 1 november 2002 tot en met 30 april 2008, dus voor alle meetseizoenen achter elkaar. De bijbehorende invoergegevens zijn als voorbeeld gepresenteerd in tabel 2.1 tot en met 2.3.

Tijdens het onderzoek zijn twee 'calibratieronden' uitgevoerd. Tijdens de eerste calibratieronde is vooral aandacht besteed aan het goed berekenen van de totale afvoer (greppel + drain). Een bodemprofiel van 40 cm bovengrond en een grondwaterstand van 40 cm-mv resulteert in een te lage bergingscapaciteit in het profiel. Hierdoor is de gesimuleerde totale afvoer (in het bijzonder de drainafvoer) veel hoger dan de gemeten afvoer. Door onder de bovengrond ook nog 40 cm ondergrond te beschouwen en de grondwaterstand te verlagen tot 80 cm-mv, is er wel voldoende bergingscapaciteit in het profiel aanwezig en komt de gesimuleerde totale afvoer beter overeen met de gemeten totale afvoer. Omdat het watergehalte in de onderste lagen van het 80 cm diepe profiel tijdens de simulaties niet verandert en het waterbalansmodel instantaan reageert (en dus instantaan water 'doorgeeft'), weten we dat er nu wel voldoende bergingscapaciteit in het beschouwde profiel is meegenomen. De opgegeven grondwaterstand in het waterbalansmodel is vooral van belang voor het berekenen van het watergehalte bij 'veldcapaciteit' en indirect dus de bergingscapaciteit.

Tijdens de tweede calibratieronde is aandacht besteed aan de onderlinge verdeling van de greppel- en drainafvoer. Hiervoor zijn de invoerparameters 'maximale infiltratiecapaciteit' en vooral de 'Runoff-fractiegeoptimaliseerd. De optimale waarden staan in het voorbeeld in tabel 2.2. Het resultaat van de twee calibratieronden is gepresenteerd in figuur 4.1.

Uit figuur 4.1 blijkt dat over het algemeen de totale afvoer van de verschillende seizoenen goed gemodelleerd wordt. Uitzondering vormt het 4de seizoen. Hier is de gesimuleerde totale afvoer veel hoger dan de gemeten afvoer. Op 1 november heeft volgens de metingen nog geen afvoer plaatsgevonden, terwijl de simulatie dan al 24 mm heeft afgevoerd. Op 30 november is de gemeten afvoer 34 mm en de gesimuleerde afvoer al 98 mm. Het verschil in afvoer is mogelijk deels te verklaren uit het verschil in bergingscapaciteit tussen de meetsituatie en de gesimuleerde situatie aan het begin van het seizoen. Als gevolg van het type simulatiemodel en de gekozen invoer wordt de grondwaterstand in de simulatie nooit lager dan 80 cm beneden maaiveld. In werkelijkheid kan de grondwaterstand wel dieper uitzakken na een lange droge periode. Hierdoor ontstaat meer bergingscapaciteit en komt de afvoer later op gang dan in de gesimuleerde situatie.

Begin juli 2007 stijgt de gesimuleerde totale afvoer in één week tijd met 55 mm, terwijl de gemeten afvoer in diezelfde periode toeneemt met slechts 16 mm. De hoge gesimuleerde afvoer is (deels) te verklaren door de grote neerslag, die in de betreffende periode is gevallen (gemiddeld 64 mm, waarvan 59 mm in twee dagen). Hoewel alle KNMI-neerslagstations rond de meetlocatie in die twee dagen veel neerslag ontvangen hebben, is het wel degelijk mogelijk dat de meetlocatie veel minder neerslag ontvangen heeft. Buien in de zomer kunnen lokaal grote verschillen opleveren. Wanneer de buien van de twee dagen niet meegenomen worden in de modelberekeningen zakt de gesimuleerde afvoer tot onder de gemeten afvoer. Hieruit kan mogelijk

geconcludeerd worden dat op de meetlocatie in die periode wel neerslag is gevallen, maar minder dan op de KNMI-neerslagstations.

Figuur 4.1 Gemeten (symbolen) en gesimuleerde (lijnen) greppel-, drain- en totale afvoer als functie van de tijd. De totale afvoer is de som van greppel- en drainafvoer

De modelberekening is uitgevoerd met één vaste waarde voor Runoff-fractie (zijnde 0.65). Hiermee wordt met name in de eerste drie seizoenen al een redelijk goede verdeling tussen de gesimuleerde greppel- en drainafvoer gerealiseerd. Bij de andere seizoenen wijkt de gesimuleerde verdeling greppel- en drainafvoer meer af van de metingen. Uit de metingen op Waardenburg blijkt dat de verdeling over greppels en drains sterk afhankelijk is van de lengte van de droge periode in de voorafgaande zomer (Van der Salm et al., 2012). In de meetjaren varieerde de bijdrage van de greppels van 62% tot 98%.

In plaats van gebruik te maken van een bodemmodel is het ook denkbaar om de totale afvoer te simuleren met het (gecumuleerde) neerslagoverschot. Het blijkt echter dat het bodemmodel beter in staat is om de totale afvoer te simuleren dan een 'neerslagoverschotmodel. Met name het feit dat het bodemmodel wel rekening houdt met het natter en droger worden van het bodemprofiel is van toegevoegde waarde bij de simulatie van de (totale) afvoer.

4.1.2 Berekening per seizoen

Om 'vooral de gesimuleerde verdeling greppel- en drainafvoer beter overeen te laten komen met de gemeten verdeling, zijn alle meetseizoenen los van elkaar doorgerekend met de bemestingstool. Hierbij is de waarde voor de Runoff-fractie geoptimaliseerd voor elk seizoen. Bovendien is in seizoen 4 de simulatie later gestart. Hierdoor begint de simulatie op vrijwel hetzelfde moment afvoer te genereren als in werkelijkheid is gemeten. We voorkomen hiermee een systematische verschuiving.

Na de optimalisatie zijn alleen de Runoff-fracties van seizoen 1, 4 en 5 aangepast. De waarden voor deze seizoenen zijn nu respectievelijk 0.6, 0.75 en 0.9. Figuur 4.2 presenteert vergelijkbare resultaten als figuur 4.1, alleen dan na een optimalisatie voor elk seizoen.

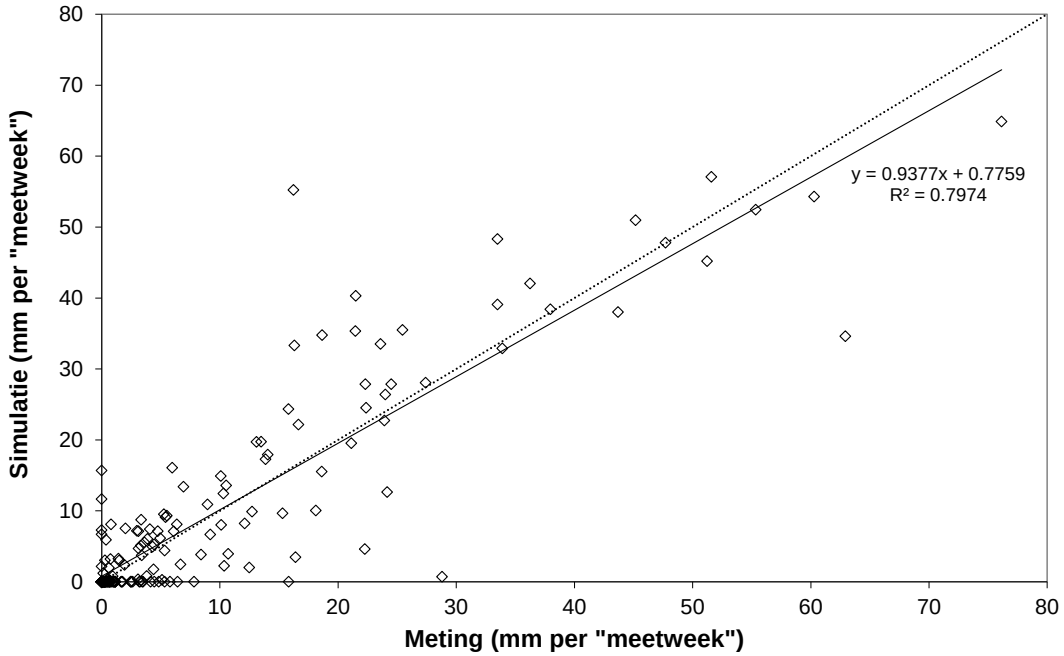
Figuur 4.2 Gemeten (symbolen) en gesimuleerde (lijnen) greppel-, drain- en totale afvoer als functie van de tijd. De totale afvoer is de som van greppel- en drainafvoer. Voor elk seizoen is de Runoff-fractie geoptimaliseerd

Uit figuur 4.2 blijkt dat optimalisatie van de Runoff-fractie resulteert in een verbetering van de onderlinge verdeling van greppel- en drainafvoer.

De plotselinge toename in gemeten greppelafvoer halverwege seizoen 3 wordt niet in die mate waargenomen bij de simulatie. De plotselinge toename treedt in ieder geval gelijktijdig op als het uitblijven van een toename in de gemeten drainafvoer, terwijl die toename bij de simulatie wel verwacht wordt. Een verklaring hebben vooralsnog niet kunnen vinden.

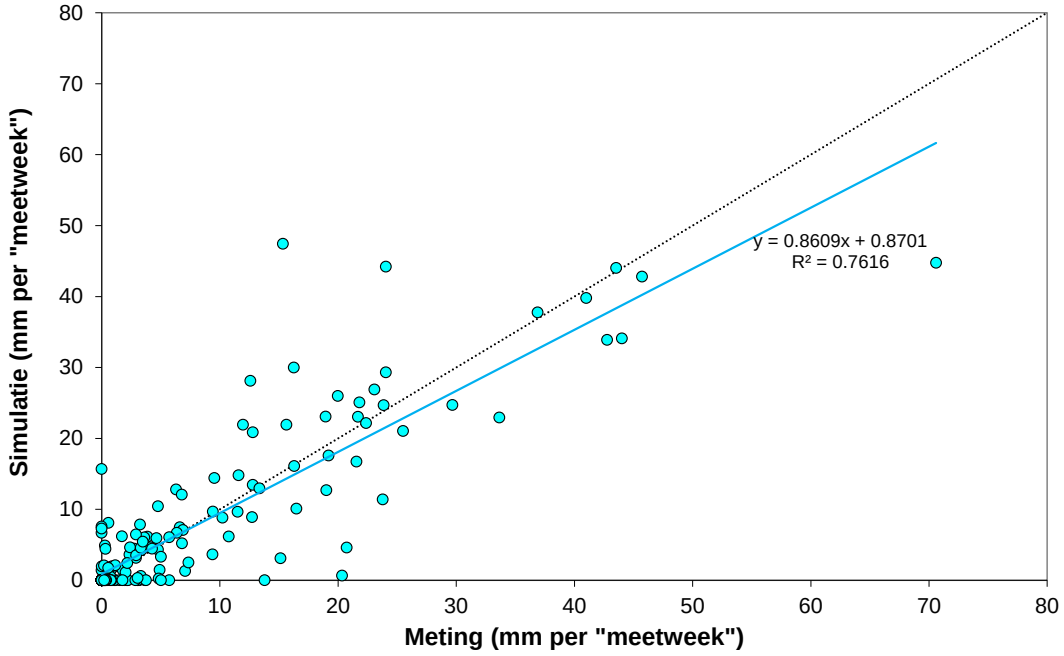
Later starten van de simulatie in seizoen 4 heeft geresulteerd in een betere simulatie van de totale afvoer. Desondanks ontstaan er halverwege het seizoen wel verschillen tussen gemeten en gesimuleerde totale afvoer door de bui in juli van dit seizoen. Het verschil tussen gemeten en gesimuleerde totale afvoer komt voor het grootste deel voor rekening van (het verschil tussen gemeten en gesimuleerde) drainafvoer.

In figuur 4.3, 4.4 en 4.5 zijn de gemeten afvoeren per meetweek weergegeven ten opzichte van de gesimuleerde afvoeren per meetweek voor respectievelijk de totale afvoer, de greppelafvoer en de drainafvoer. In elke figuur staan de resultaten van alle seizoenen en is de bijbehorende trendlijn weergegeven.



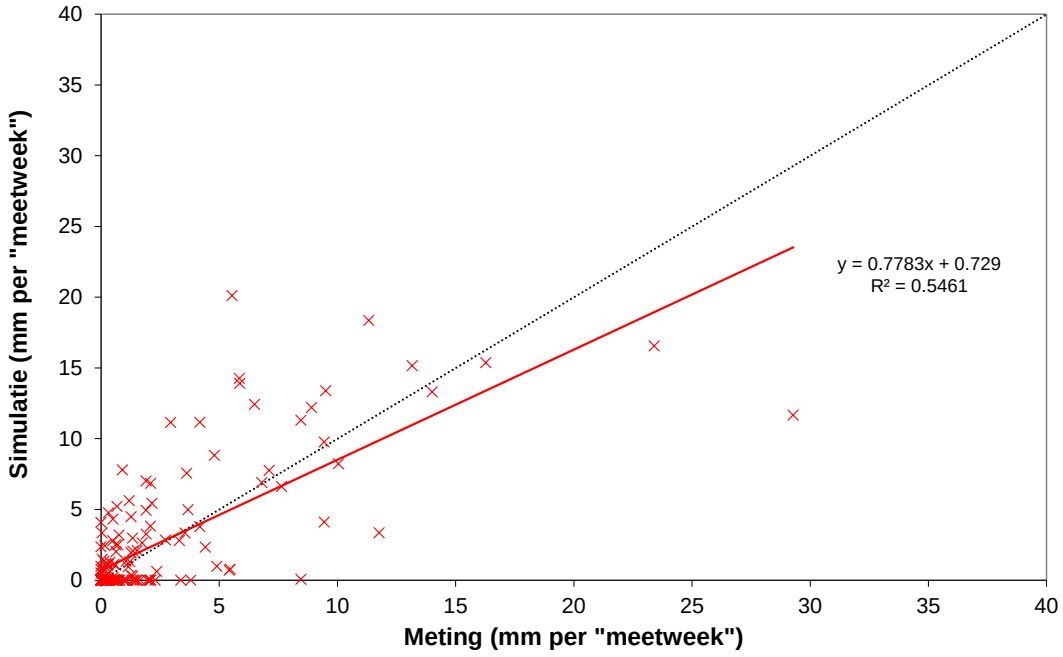
Figuur 4.3

Gemeten totale afvoer per meetweek ten opzichte van de gesimuleerde totale afvoer per meetweek.



Figuur 4.4

Gemeten greppelafvoer per meetweek ten opzichte van de gesimuleerde greppelafvoer per meetweek.



Figuur 4.5

Gemeten drainafvoer per meetweek ten opzichte van de gesimuleerde drainafvoer per meetweek.

Uit figuur 4.3 blijkt dat de totale afvoer goed gesimuleerd wordt met de bemestingstool. De trendlijn geeft aan dat bij hoge afvoeren de simulatie de werkelijke totale afvoer iets onderschat.

De gesimuleerde greppelafvoer en gemeten greppelafvoer zijn ook goed gecorreleerd aan elkaar (zie figuur 4.4), maar wel iets minder dan bij de totale afvoer. Ook hier hebben de simulaties de neiging om hele hoge gemeten greppelafvoeren iets te onderschatten.

De correlatie tussen gesimuleerde en gemeten drainafvoer (figuur 4.5) is duidelijk de minste van de drie. Hoge gemeten drainafvoeren worden in de simulatie onderschat. Lage gemeten drainafvoeren worden in de simulatie iets overschat.

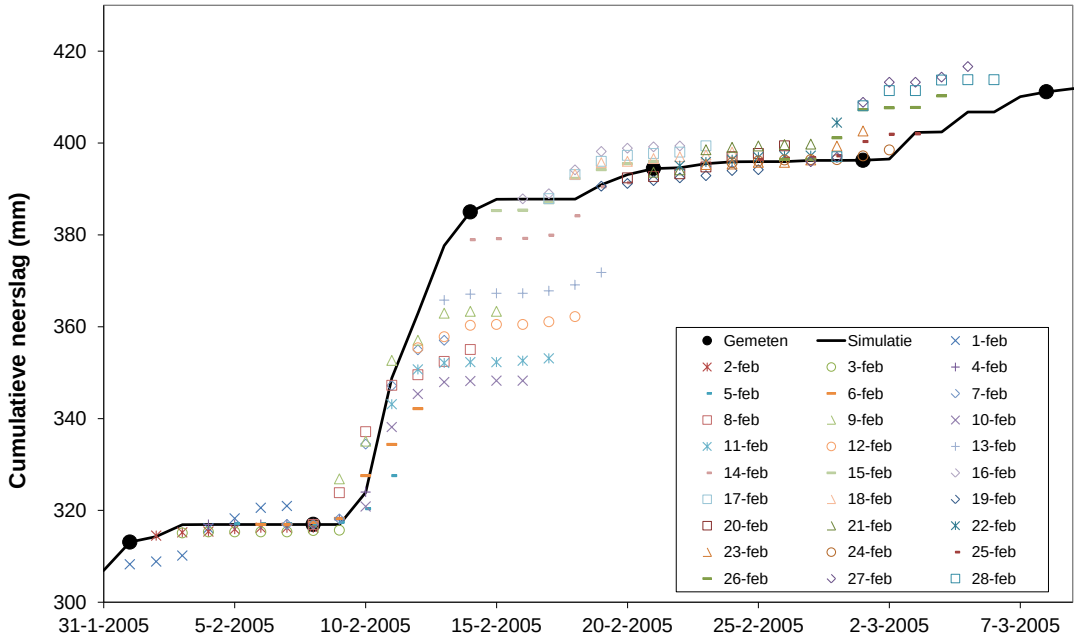
Voor een relatief simpel waterbalansmodel en een toch vrij complexe veldsituatie (bollend perceel met krimpende en zwellende kleigrond) zijn dit goede resultaten, vooral de totale afvoer en vervolgens de greppelafvoer. Het is vooral de greppelafvoer, die we relateren aan de oppervlakkige afvoer of afspoeling, die we willen voorkomen met deze bemestingstool.

4.2 Voorbeeld praktijktest: februari 2005

Bij de praktijktest beoordelen we niet alleen het functioneren van de bemestingstool, maar eigenlijk vooral 'Hoe goed zijn de neerslagverwachtingen?' die in het verleden zijn afgegeven. Als voorbeeld presenteren we hier de neerslag voor februari 2005 (figuur 4.6). Onderscheid is gemaakt tussen:

- de werkelijk **gemeten** cumulatieve neerslag (zwarte stippen en zwarte lijn),
- de **verwachte** cumulatieve neerslag (gekleurde symbolen).

De verwachte cumulatieve neerslag is elke dag gepresenteerd omdat elke dag nieuwe neerslagverwachtingen beschikbaar zijn bij het KNMI.



Figuur 4.6

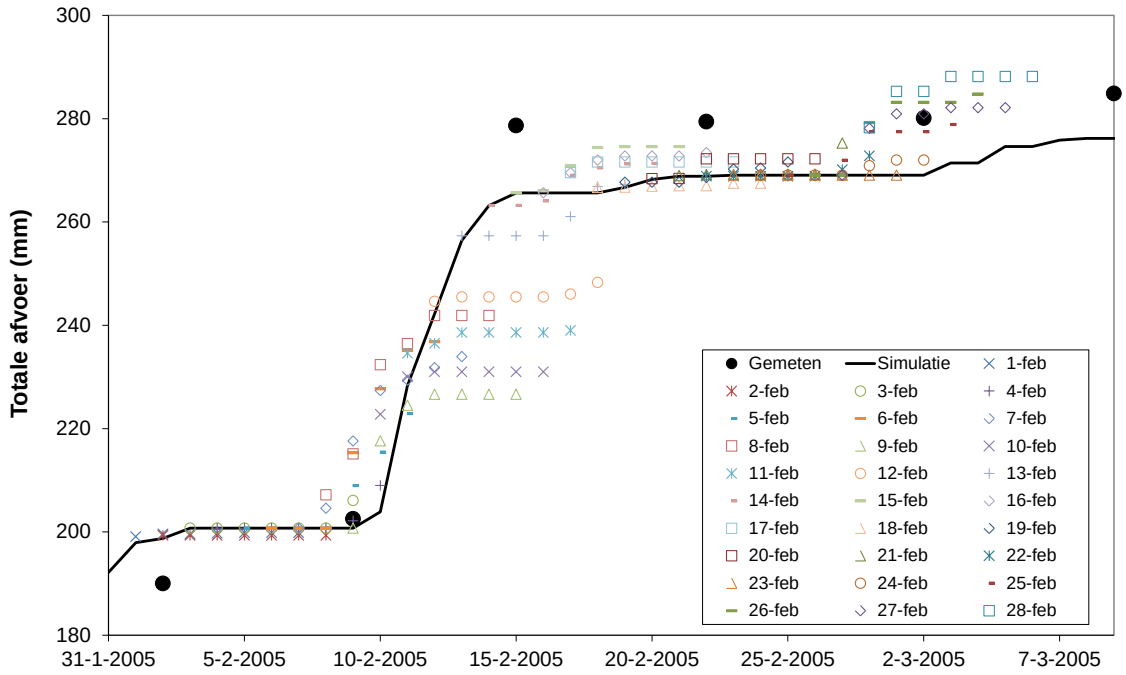
Cumulatieve neerslag als functie van de tijd. Onderscheiden zijn de werkelijk gemeten neerslag, de gesimuleerde neerslag en voor elke dag de verwachte neerslag.

In figuur 4.7 is de totale afvoer gepresenteerd als functie van de tijd. Onderscheid is gemaakt tussen:

- de werkelijk **gemeten** totale afvoer (zwarte stippen),
- de **berekende of gesimuleerde** totale afvoer (zwarte lijn), op basis van de berekening die ten grondslag ligt aan figuur 4.2,
- de **verwachte** totale afvoer (gekleurde symbolen), berekend op basis van zeven dagen verwachte neerslag.

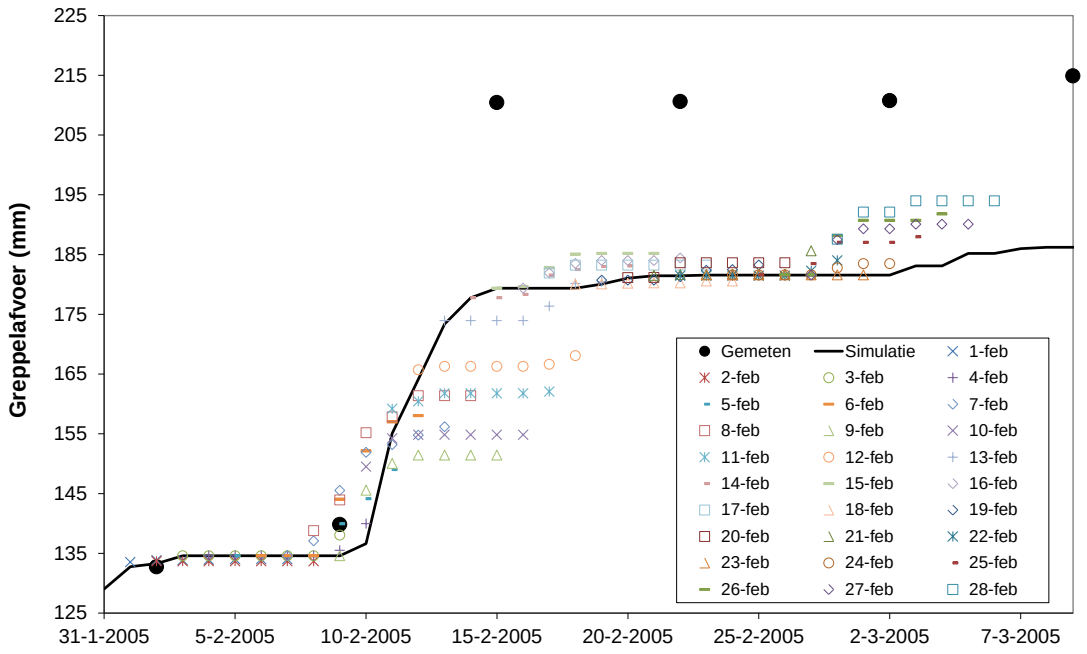
De verwachte totale afvoer resultaten, berekend op basis van zeven dagen verwachte neerslag, zijn elke dag uitgevoerd omdat elke dag nieuwe neerslagverwachtingen beschikbaar zijn bij het KNMI.

Figuur 4.8 geeft dezelfde situatie weer, maar dan voor de greppelafvoer in plaats van de totale afvoer.



Figuur 4.7

Totale afvoer als functie van de tijd. Onderscheiden zijn de werkelijk gemeten totale afvoer, de gesimuleerde totale afvoer en voor elke dag de verwachte totale afvoer.



Figuur 4.8

Greppelafvoer als functie van de tijd. Onderscheiden zijn de werkelijk gemeten greppelafvoer, de gesimuleerde greppelafvoer en voor elke dag de verwachte greppelafvoer.

Uit figuur 4.6 tot en met 4.8 blijkt dat de voorspelling op basis van de verwachte neerslag soms goed overeen komt met de simulatieresultaten op basis van gemeten neerslag. In sommige perioden worden echter duidelijke afwijkingen gevonden. De neerslagverwachtingen van 8 februari resulteren in een flinke toename van de verwachte cumulatieve neerslag en de verwachte greppel- en verwachte totale afvoer. Vanaf 10 februari nemen de werkelijk gemeten en gesimuleerde cumulatieve neerslag, greppel- en totale afvoer ook daadwerkelijk toe. Met andere woorden: de neerslagverwachtingen 'zagen de bui al hangen'. De weersverwachtingen van 12 februari gingen uit van heel weinig neerslag en dus ook geen verdere toename van de afvoer. De werkelijke gemeten en gesimuleerde cumulatieve neerslag, greppel- en totale afvoer namen echter nog wel een paar dagen toe. Vervolgens is er een periode waarin de verwachte neerslag en afvoer redelijk goed overeen komen met de werkelijk gemeten neerslag en afvoer. Een duidelijk voorbeeld, waarbij op basis van het verwachte weer ten onrechte een toename in de neerslag en afvoer verwacht wordt, is 28 februari.

4.3 Praktijktest op basis van verwacht weer

Een echte praktijktest was helaas niet mogelijk omdat het voorjaar van 2011 zeer droog was en er geen afspoelevents op de locatie gemeten zijn. De bemestingstool heeft deze events dan ook niet kunnen 'voorspellen'. Op basis van het historische weer en de historische verwachtingen is echter wel een 'Proof of principle'-test uit te voeren.

Bij deze 'Proof of principle'-test beoordelen we de adviezen en de verwachte greppelafvoer, die de bemestingstool genereert op basis van weersverwachtingen. Let op: dit zijn de weersverwachtingen zoals het KNMI die in het verleden heeft afgegeven. De verwachte greppelafvoer worden vergeleken met de gemeten afvoer en de berekende greppelafvoer op basis van de gemeten neerslag en verdamping. We kunnen dus zowel beoordelen of met de tool een juiste inschatting van de risico's kan worden gegeven als we zeker zijn van de weersomstandigheden als voor de situatie dat we gebruik moeten maken van onzekere weersvoorspellingen.

4.3.1 Verwachte neerslag alle seizoenen

Het geven van neerslagverwachtingen is een lastige zaak, zeker als het gaat om het 'voorspellen' van de hoeveelheid neerslag op een bepaalde plek in Nederland. Dit blijkt (indirect) al uit de definities, die het KNMI hanteert voor neerslagkans en verwachte neerslaghoeveelheid (zie http://www.knmi.nl/).

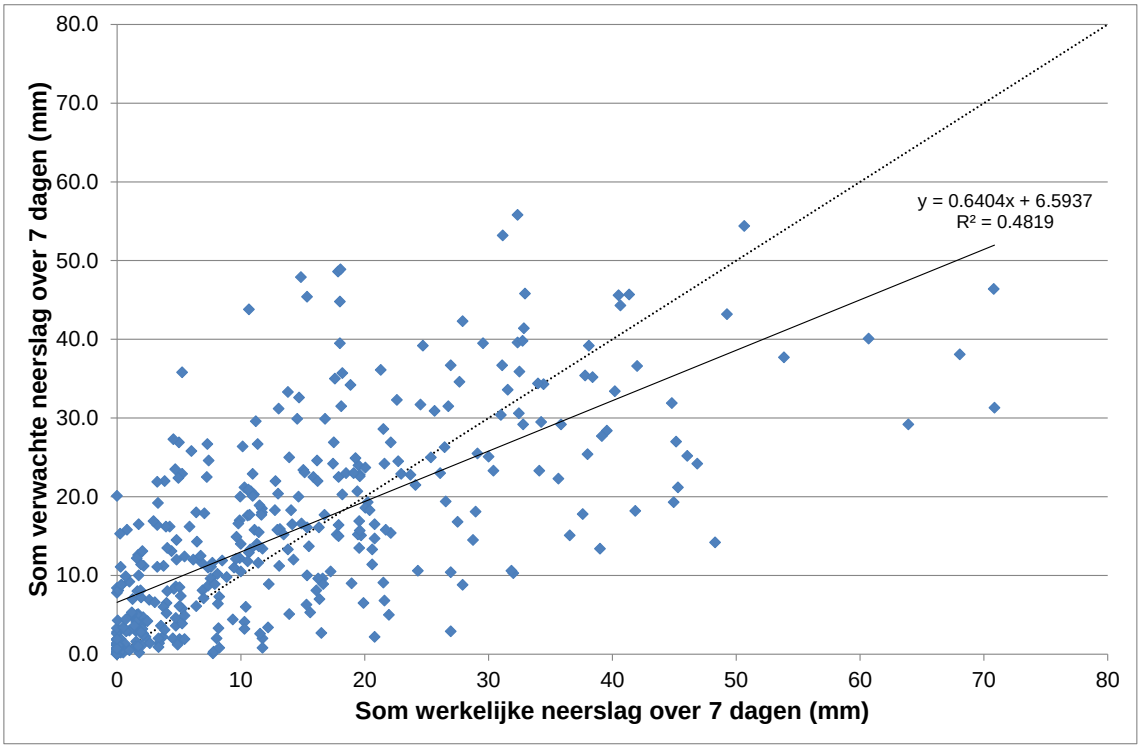
'Neerslagkans: dit getal geeft de kans als percentage (%) aan dat iemand die zich op een willekeurige vaste plek in Nederland bevindt, op een dag (00-24 uur) neerslag krijgt.'

'Neerslaghoeveelheid: dit getal geeft aan hoeveel neerslag er naar verwachting op een dag (00-24 uur) gemiddeld in Nederland zal vallen.'

Dagelijks geeft het KNMI ensembleverwachtingen, onder andere voor de neerslaghoeveelheid. Deze verwachte neerslaghoeveelheden zijn vergeleken met de werkelijke hoeveelheid neerslag (gemiddelde van Geldermalsen en Herwijnen). De werkelijke neerslaghoeveelheden worden soms goed, maar ook soms slecht 'voorspeld' (zie figuur 4.6 en paragraaf 4.2 voor enkele voorbeelden).

In figuur 4.9 is de som van de verwachte neerslag over een periode van zeven dagen weergegeven ten opzichte van de som van de werkelijke neerslag over dezelfde periode van zeven dagen. Uit de figuur blijkt dat met name extreem hoge neerslag niet verwacht wordt, anders gezegd onderschat wordt in de neerslag-

verwachtingen. Dit is logisch omdat de door het KNMI verwachte neerslag een gemiddelde voor Nederland is. Lokale extreme waarden komen in dit gemiddelde zeer beperkt tot uitdrukking. Figuur 4.9 is samengesteld op basis van 385 datapunten uit de maanden februari tot en met april van alle meetseizoenen.



Figuur 4.9

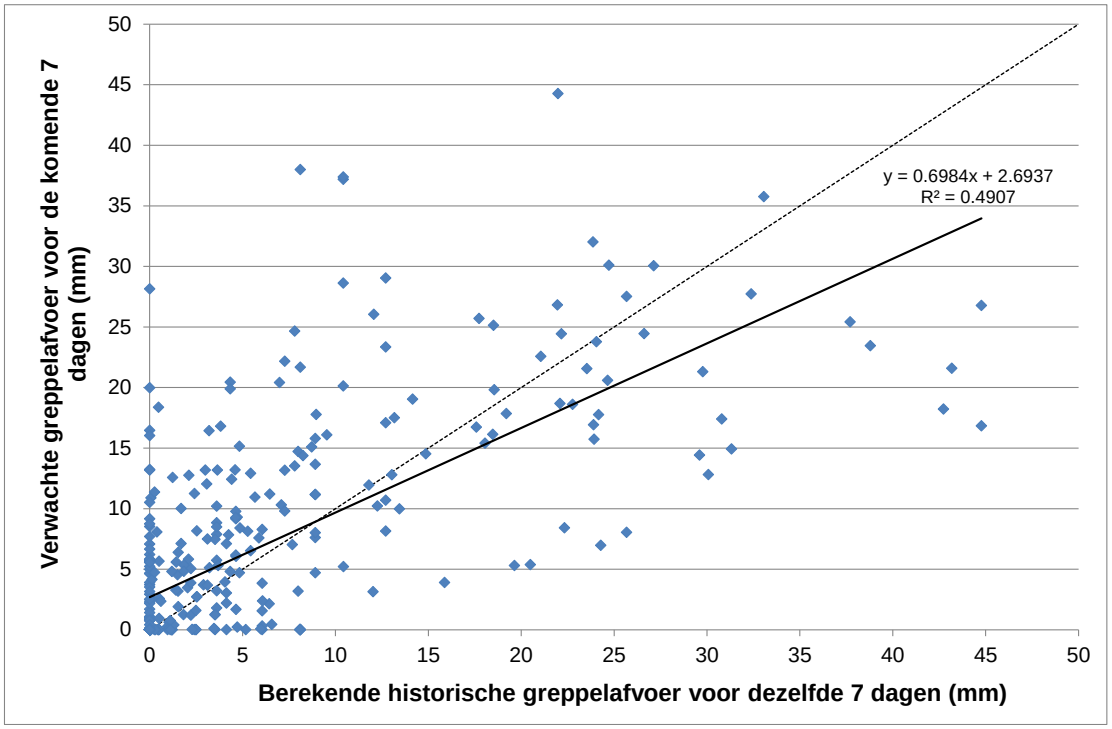
Som van de verwachte neerslag over een periode van zeven dagen ten opzichte van de som van de werkelijke neerslag over dezelfde periode van zeven dagen. Gepresenteerd zijn de maanden februari tot en met april van alle meetseizoenen.

4.3.2 Verwachte afvoer alle seizoenen

Dagelijks kan op basis van de weersverwachtingen door de bemestingstool berekend worden hoeveel water er in de komende zeven dagen naar verwachting via de greppels wordtn afgevoerd. Voor alle beschikbare meetjaren hebben we deze verwachte hoeveelheid vergeleken met de gesimuleerde greppelafvoer voor diezelfde periode, berekend op basis van werkelijk gemeten weer (figuur 4.10). In de figuur zijn alleen de resultaten gepresenteerd uit de maanden februari tot en met april van alle meetseizoenen, omdat in deze maanden de kans op oppervlakkige afspoeling na een bemesting het grootst is.

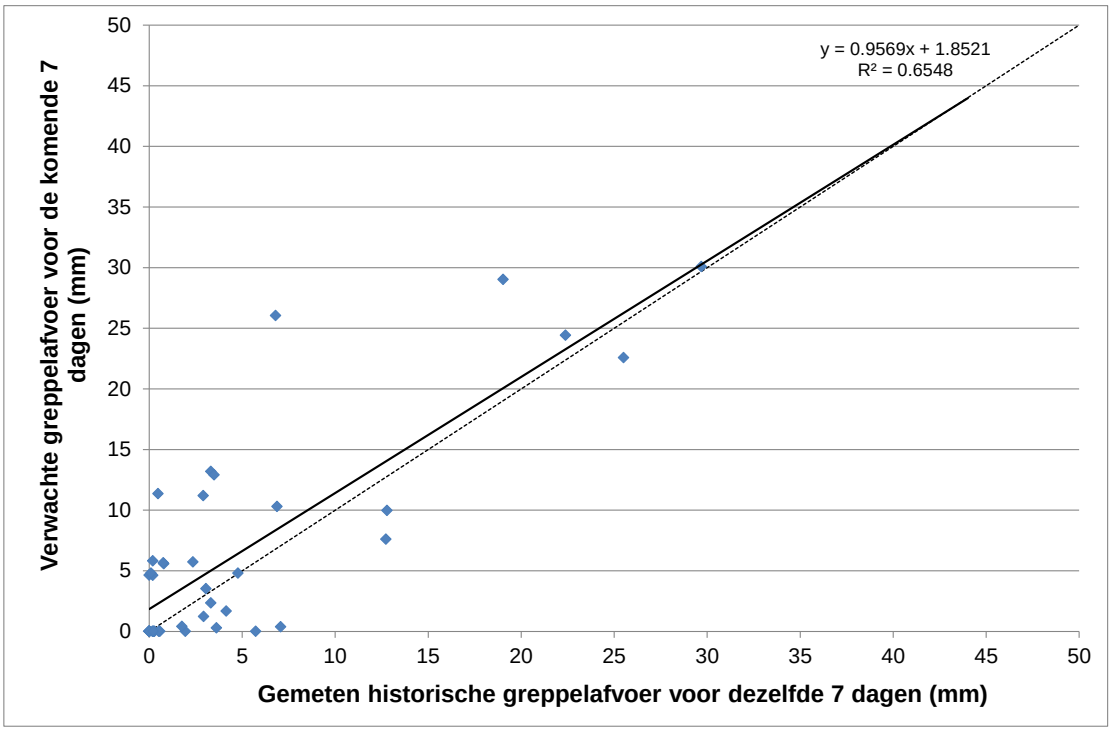
In feite laat figuur 4.10 (indirect) zien hoe goed de weersverwachtingen in staat zijn om de neerslag te voorspellen. Verschillen tussen de verwachte en berekende greppelafvoer worden namelijk alleen veroorzaakt door verschillen in verwachte en werkelijke neerslag. De manier, waarop de bemestingstool rekent, is voor beide gelijk. Hoge greppelafvoeren, berekend op basis van werkelijke neerslag, worden globaal genomen onderschat door de verwachtingen. Lage greppelafvoeren, berekend op basis van werkelijke neerslag, worden globaal genomen enigszins overschat door de verwachtingen. Met andere woorden: de weersverwachtingen onderschatten hoe nat heel natte en hoe droog hele droge perioden in werkelijkheid zijn.

In de maanden februari tot en met april van alle meetseizoenen komt het 42 keer voor dat de 'meetweek' daadwerkelijk zeven dagen is. In alle andere gevallen (17) is de meetweek langer of korter dan zeven dagen. De gemeten greppelafvoersommen van de meetweken, bestaande uit zeven dagen, zijn vergeleken met de berekende verwachte greppelafvoersommen. Voor deze 42 situaties is de correlatie tussen de gemeten en verwachte greppelafvoersom redelijk goed (zie figuur 4.11).



Figuur 4.10

Verwachte greppelafvoer (som voor komende zeven dagen) op basis van weersverwachtingen ten opzichte van de berekende greppelafvoer op basis van werkelijke neerslag (som over diezelfde zeven dagen). Gepresenteerd zijn de maanden februari tot en met april van alle meetseizoenen.



Figuur 4.11

Verwachte greppelafvoer (som voor komende zeven dagen) op basis van weersverwachtingen ten opzichte van de gemeten greppelafvoer (som over diezelfde zeven dagen). Gepresenteerd zijn de maanden februari tot en met april van alle meetseizoenen.

4.3.3 Adviezen

Verwachte of berekende oppervlakkige afvoer, die lager is dan de ondergrens, leidt tot een advieswaarde 'Groen licht. Oppervlakkige afvoer, die hoger is dan de bovengrens, leidt tot een advieswaarde "'Rood licht'. Oppervlakkige afvoer, die ligt tussen de onder- en bovengrens, leidt tot een advieswaarde 'Oranje licht'. De verwachte advieswaarden van de bemestingstool op basis van weersverwachtingen kunnen vergeleken worden met de berekende advieswaarden van de bemestingstool op basis van de werkelijke neerslaggegevens. Deze test beoordeelt vooral de kwaliteit van de neerslagverwachtingen.

In tabel 4.1 zijn de verwachte en de berekende advieswaarden van alle meetseizoenen (maanden februari tot en met april) met elkaar vergeleken. In 166 van de 391 dagen werd op basis van de weersverwachtingen de advieswaarde 'Groen licht' gegeven en was de berekende advieswaarde op basis van de werkelijke neerslag ook 'Groen licht'. Voor 78 dagen waren zowel de verwachte als berekende advieswaarden 'Rood licht'. Op zeventien dagen werd een te hoge greppelafvoersom verwacht (rood), maar bleek op basis van de werkelijke neerslag de berekende greppelafvoersom onder de ondergrenswaarde te liggen (groen).

Tabel 4.1 Berekende advieswaarden, berekend op basis van werkelijke neerslag (kolommen) ten opzichte van de verwachte advieswaarden, berekend op basis van de verwachte neerslag (rijen). Per combinatie is het aantal dagen gegeven. Gepresenteerd zijn de maanden februari tot en met april van alle meetseizoenen

		Berekend			
	Aantal	Groen	Oranje	Rood	
Verwacht	Groen	166	17	7	
	Oranje	30	35	7	
	Rood	17	34	78	
					391

In 71% van de gevallen is het verwachte advies dus gelijk aan het berekende advies (Groen-Groen, Oranje-Oranje of Rood-Rood). In 6% van de gevallen is het verwachte advies volstrekt fout (een combinatie van Groen en Rood). In 23% van de gevallen is de situatie lastiger te beoordelen: één van de adviezen (verwacht of berekend) heeft als waarde 'Oranje' en het andere advies heeft als waarde 'Groen' of 'Rood'. Vaak zijn dit situaties, waarbij één van de greppelafvoersommen (verwachte of berekend) in de buurt ligt van de onder- of bovengrenswaarde.

De adviezen op basis van de gemeten greppelafvoersommen van de '42 meetweken', bestaande uit zeven dagen, zijn vergeleken met de adviezen op basis van de verwachte greppelafvoersommen. In 59% van dit beperkte aantal gevallen is het verwachte advies gelijk aan het gemeten advies. In 5% van de gevallen is het verwachte advies volstrekt fout.

Naast de hierboven beschreven methode bestaat er ook een zeer simpele maar grove methode om de te verwachten greppelafvoer in te schatten. De te verwachten greppelafvoer voor een bepaalde periode is bij deze methode gelijk aan de som van de positieve neerslagoverschotten voor die periode. Vergelijking van de gemeten greppelafvoersommen van de '42 meetweken' (bestaande uit zeven dagen) met de berekende greppelafvoersommen op basis van deze methode laat zien dat in 55% van de gevallen deze berekende adviezen gelijk zijn aan de gemeten adviezen. In 10% van de gevallen zijn deze berekende adviezen volstrekt fout. Berekende greppelafvoeren op basis van werkelijke gemeten positieve neerslagoverschotten leiden dus tot een slechter advies dan verwachte greppelafvoeren op basis van verwachte neerslag en verdamping in combinatie met het waterbalansmodel. Dit was ook te verwachten aangezien het neerslagoverschot niet gelijk is aan de totale afvoer noch aan de greppelafvoer (figuur 3.1). Rekening houden met de hydrologische toestand in de bodem met een waterbalansmodel levert dus een meerwaarde op die de gemeten afvoer beter simuleert.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

De bemestingstool is in staat gebleken om voor een vrij complexe veldsituatie (bollend graslandperceel met een krimpende en zwellende zware kleigrond) de gemeten totale afvoer (greppel + drainafvoer) goed te simuleren op basis van de werkelijk gemeten neerslag en verdamping. Ook de overeenkomst tussen werkelijk gemeten en gesimuleerde greppelafvoer is goed. De trendlijnen geven aan dat zowel bij de totale afvoer als bij de greppelafvoer hele hoge gemeten afvoeren door de bemestingstool iets worden onderschat. Het gebruikte bodemmodel in de bemestingstool levert een duidelijke toegevoegde waarde op bij het simuleren van de afvoer. Alleen gebruik maken van het neerslag(overschot) is onvoldoende om de gemeten afvoer goed te simuleren.

Uit een vergelijking van de verwachte neerslag (som over zeven dagen) en de werkelijk gemeten neerslag (som over zeven dagen) blijkt dat extreem hoge neerslag niet wordt verwacht door de ensemble-verwachtingen. Dit is ook logisch omdat de door het KNMI verwachte neerslag een gemiddelde voor Nederland betreft. Lokale extreme waarden komen in dit gemiddelde zeer beperkt tot uitdrukking.

De uitgevoerde 'Proof of principle'-test van de bemestingstool op basis van verwacht weer test niet alleen het functioneren van de bemestingstool, maar vooral ook de juistheid van de neerslagverwachtingen, die in het verleden zijn afgegeven. Het blijkt dat de greppelafvoer (en dus de buien) in sommige gevallen ruim van te voren verwacht worden, maar in sommige gevallen ook duidelijk niet. Over het algemeen wordt als gevolg van de weersverwachtingen de berekende en gemeten greppelafvoer onderschat voor perioden met hele hoge greppelafvoer en enigszins overschat voor perioden met een hele lage greppelafvoer.

De adviezen van de bemestingstool (voor de maanden februari tot en met april van alle meetseizoenen) zijn ook vergeleken met de berekende afvoer op basis van gemeten weer (391 gevallen) en met de waargenomen afvoer (42 gevallen). In 71% en 59% van de gevallen komt de klasse van het advies overeen met de klasse waarin de afvoer zou vallen op basis van respectievelijk het berekende en de gemeten afvoer. In respectievelijk 6% en 5% van de gevallen is het verwachte advies compleet fout.

Uit dit onderzoek blijkt dat de bemestingstool een bijdrage kan leveren aan het voorkomen van incidentele nutriëntenverliezen door oppervlakkige afvoer, maar dat de resultaten voor een belangrijk deel bepaald worden door de juistheid van de verwachte neerslag.

5.2 Aanbevelingen

De resultaten van de bemestingstool kunnen mogelijk verder verbeterd worden door de gemodelleerde processen te verbeteren, zonder dat daarbij de complexiteit en de benodigde invoer te veel toeneemt.

Bij de huidige manier van omgaan met verwachte referentiegewasverdamping is het mogelijk dat de verwachte referentiegewasverdamping totaal niet overeen komt met de werkelijk te verwachten referentiegewasverdamping. De verwachte referentiegewasverdamping is nu namelijk alleen afhankelijk van de dag in het jaar en totaal niet van het verwachte weer. Wel rekening houden met het verwachte weer kan de verwachte referentiegewasverdamping en daarmee het te verwerken neerslagoverschot verbeteren.

De verwachtingen van het KNMI, die geleverd worden via http://www.knmi.nl/ gelden voor heel Nederland. Het is aan te bevelen om regionale neerslagverwachtingen te maken omdat onder andere hiermee de toepasbaarheid van de bemestingstool verbetert.

De bemestingstool is nu getest op één (vrij complexe) veldsituatie. We bevelen aan om de bemestingstool ook te testen op andere afspoelingsgevoelige locaties. In eerste instantie bij voorkeur op locaties waarvoor diverse meet- en toetsgegevens beschikbaar zijn.

Referenties

Driessen, P.M., 1986. The water balance of the soil. In H. van Keulen & J. Wolf (eds.), Modelling of agricultural production: weather, soils and crops. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen, pp. 76-116.

Groenendijk, P., L.V. Renaud en J. Roelsma, 2005. Prediction of Nitrogen and Phosphorus leaching to groundwater and surface waters. Process descriptions of the Animo 4.0 model. Alterra-rapport 983, Alterra, Wageningen.

Heijboer, D. en J. Nellestijn, 2002. Klimaatatlas van Nederland. De normaalperiode 1971-2000. Elmar, Rijswijk.

Heinen, M., 2005. Beschrijving module OsmanSoil. Een eenvoudig bodemmodel voor de beschrijving van waterbeweging, convectief stikstoftransport, water- en stikstofopname, denitrificatie, nitrificatie en mineralisatie. Alterra-rapport 1261, Alterra, Wageningen.

Heinen, M. en P. de Willigen (eds.), 2001. FUSSIM2 version 5. New features and updated user's guide. Alterra-rapport 363, Alterra, Wageningen.

Koopmans, G.F., W.J. Chardon, I. 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 melkveehouderijbedrijf bij Waardenburg. Alterra-rapport 1738, Alterra, Wageningen.

Kroes, J.G., J.C. van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks en C.M.J. Jacobs, 2008. SWAP version 3.2. Theory description and user manual. Alterra-rapport 1649, Alterra, Wageningen.

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. Alterra-rapport 2270, Alterra, Wageningen.

Noij, I.G.A.M., P.J.T. van Bakel, R.A. Smidt, H.T.L. Massop en W.J. Chardon, 2006. Fosfaatpilot Noord- en Midden-Limburg. Plan van Aanpak en Monitoring. Alterra-rapport 1255, Alterra, Wageningen.

Oenema, J., F.B.T. Assinck, J. Verloop, G.L. Velthof en H.F.M. Aarts, 2007. Gebruiksnormen van meststoffen in de praktijk, getoetst in 2004 en 2005. Koeien & Kansen-rapport 38, Animal Science Group, Lelystad (ook bekend als 'Rapport Plant Reserach International 134').

Oenema, J., F.B.T. Assinck en J. Verloop, 2009. Stikstofgebruiksnormen van meststoffen in de praktijk, getoetst in 2004-2007. Koeien & Kansen-rapport 55, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad (ook bekend als 'Rapport Plant Research International nr. 277').

Oenema, J., H.F.M. ten Berge, C.J. de Jong en B. Fraters, 2002. Stikstofoverschotten in 'Koeien & Kansen' en de relatie met nitraatconcentratie in grond- en oppervlaktewater. Analyse stikstofoverschotten in 1997-2000 en nitraatconcentraties 1999-2001 Rapport nr. 49, Plant Research International, Wageningen (ook bekend als 'Koeien & Kansen rapport 11').

Penning de Vries, F.W.T., D.M. Jansen, H.F.M. ten Berge en A. Bakema, 1989. Simulation of ecophysiological processes of growth of several annual crops. Pudoc, Wageningen, 271 p.

Stroosnijder, L., 1982. Simulation of soil water balance. In: F.W.T. Penning de Vries & H.H. van Laar (eds.), Simulation of plant growth and crop production. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen, pp. 175-193.

Van Bakel, P.J.T., E.M.P.M. van Boekel en I.G.A.M. Noij, 2008. Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde, peilgestuurde drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting. Alterra-rapport 1647, Alterra, Wageningen.

Van der Salm, C., J. Dolfing, J.W. van Groenigen, M. Heinen, G.F. Koopmans, J. Oenema, M. Pleijter en A. van den Toorn, 2006. Diffuse belasting van het oppervlaktewater met nutriënten vanuit grasland op een zware kleigrond. Monitoring van nutriëntenemissies op een melkveehouderijbedrijf in Waardenburg. Alterra-rapport 1266, Alterra, Wageningen.

Van der Salm, C., A. van den Toorn, W.J. Chardon and G.F. Koopmans, 2012. Water and Nutrient Transport on a Heavy Clay Soil in a Fluvial Plain in The Netherlands. In press: J. Env. Qual.

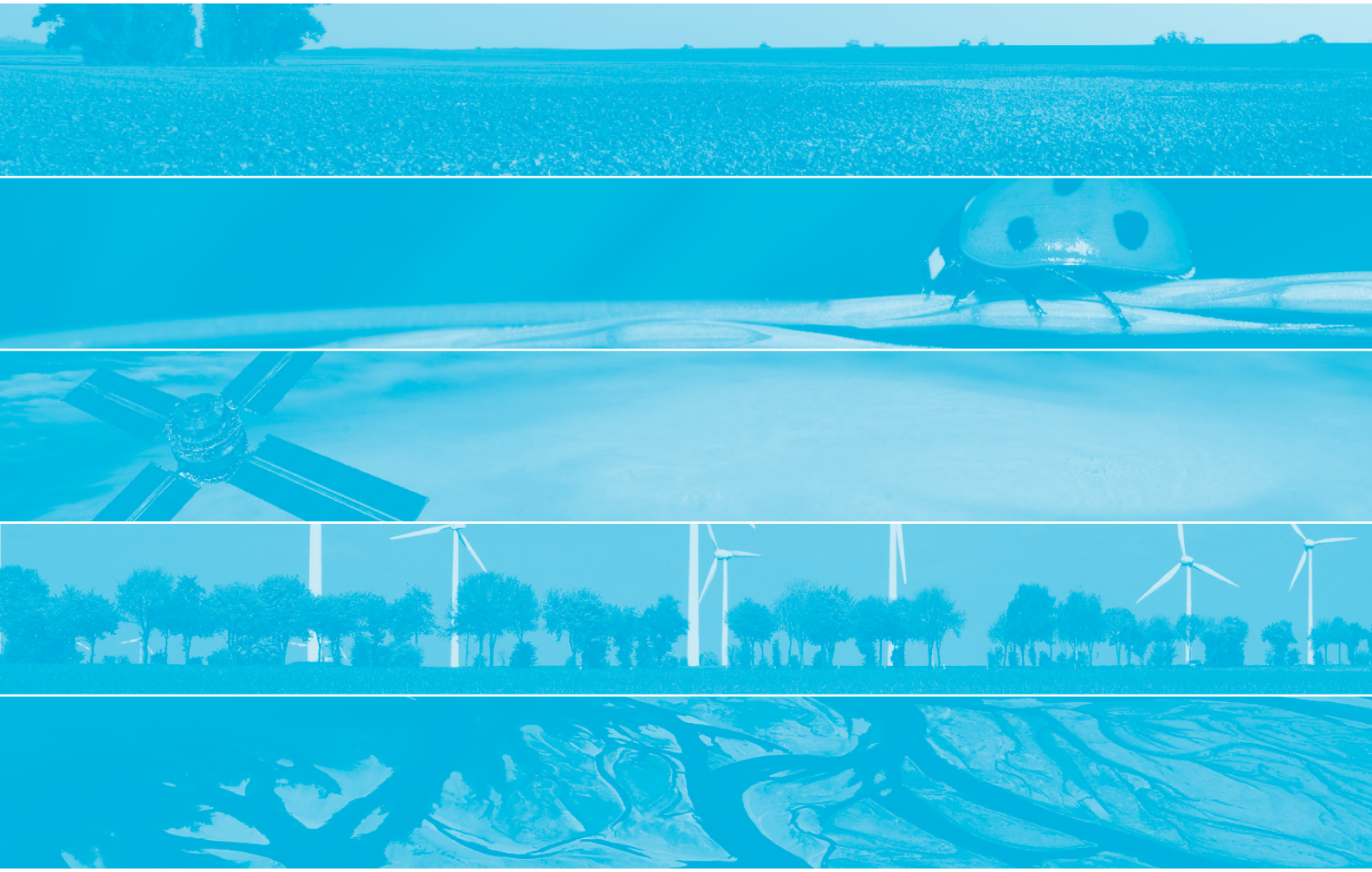
Van Genuchten, M.Th., 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of American Journal 44:892-898.

Van Keulen, H., 1975. Simulation of water use and herbage growth in arid regions. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen, 176 p.

Van Kraalingen, D.W.G., 1996. User guide of the soil water balance SAHEL. Internal note AB Simulation Library, AB-DLO, Wageningen.

Van Laar, H.H., J. Goudriaan en H. van Keulen, 1997. SUCROS97: Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations (as applied to spring wheat). Quantitative Approaches in Systems Analysis 14, AB-DLO, Wageningen, 52 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. Alterra-rapport 153, Alterra, Wageningen.



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 hèt 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