



---

# Oppervlakkige afstroming en diepte van modelprofielen

Invloed op N- en P-vrachten in STONE2.3

Peter Jansen, Harry Massop, Piet Groenendijk, Leo Renaud en Rob Hendriks



ALTERRA  
WAGENINGEN UR

---



---

# Oppervlakkige afstroming en diepte van modelprofielen

Invloed op N- en P-vrachten in STONE2.3

Peter Jansen, Harry Massop, Piet Groenendijk, Leo Renaud en Rob Hendriks

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Mest, milieu en klimaat' (projectnummer BO-20-004-009)

Alterra Wageningen UR  
Wageningen, november 2013

---

Alterra-rapport 2464  
ISSN 1566-7197

---

Jansen, Peter, Harry Massop, Piet Groenendijk, Leo Renaud en Rob Hendriks, 2013. *Oppervlakkige afstroming en diepte van modelprofielen; Invloed op N- en P-vrachten in STONE2.3*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2464. 86 blz.; 20 fig.; 16 tab.; 29 ref.

STONE is een simulatiemodel dat door RIVM, RIZA en Wageningen UR is ontwikkeld. Het bestaat uit een reeks deelmodellen die gebruikt worden om de gevolgen van het mestbeleid voor de emissie van stikstof en fosfaat naar het grondwater en het oppervlaktewater te evalueren. Voor het model is Nederland opgedeeld in hydro-eenheden die uniek zijn qua bodem, landgebruik en mestregime. Parallel aan de toepassing van STONE worden onderdelen van het model getoetst op relevantie, gevoeligheid en betrouwbaarheid. In dit rapport worden aspecten nader onderzocht die betrekking hebben op oppervlakkige afstroming en op de diepte van de modelprofielen.

The simulation model STONE has been developed by RIVM, RIZA and Wageningen UR. The modelling system comprises of a series of modules and is used for the evaluation of the fertilizer policy with respect to the leaching of nitrogen and phosphorus to groundwater and surface waters. For enabling model simulation, the Netherlands has been discretised into hydro-units with unique features concerning soil, land use and fertilizer use.

Parallel to the application of the STONE model, different modules are inspected for its relevance, the sensitivity of the results and the reliability. This report describes different aspects of an investigation of transport by surface runoff and the depth of the subsoil profiles.

Trefwoorden: STONE, surface runoff, stikstof, fosfaat, nutriëntenmodel, modelprofiel

Dit rapport is gratis te downloaden van [www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra) (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](http://www.rapportbestellen.nl).

© 2013 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl), [www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra). Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- 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.

---

# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>13</b>
	1.1 STONE2.3	13
	1.2 Oppervlakkige afstroming	13
	1.3 Diepte van de modelprofielen	19
	1.4 Leeswijzer	19
<b>2</b>	<b>Waterafvoer met oppervlakkige afstroming</b>	<b>20</b>
	2.1 Neerslag op dag- en uurbasis	20
	2.2 Verzadigde doorlatendheid van de toplaag	24
	2.3 Maaiveldberging	27
	2.4 Gevoeligheid van N- en P-vrachten voor oppervlakkige afstroming	31
	2.5 Gevoeligheid van N- en P-vrachten voor runoff routes	33
	2.6 Consequenties voor STONE	35
<b>3</b>	<b>Bepaling diepte modelprofielen op basis van NHI-informatie</b>	<b>37</b>
	3.1 Achtergrond	37
	3.2 Methode	37
	3.3 Resultaat	40
	3.4 Gevoeligheid van N- en P-vrachten voor diepte van het modelprofiel	44
	3.5 Ervaringen van het project Monitoring Stroomgebieden	47
<b>4</b>	<b>Discussie en conclusies</b>	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>52</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>54</b>
	<b>Bijlage 1 Oppervlakkige afstroming en drainage van dertien STONE-plots</b>	<b>56</b>
	<b>Bijlage 2 Aanpassing Van Genuchten-parameters van de eerste bodemlaag in STONE na verkleining van <math>K_{sat}</math></b>	<b>61</b>
	<b>Bijlage 3 Gemiddelde water, N- en P-balansen van acht STONE-plots bij uur-neerslagwaarden en kleinere <math>K_{sat}</math>-waarden</b>	<b>65</b>
	<b>Bijlage 4 Gevoeligheid N- en P-transport voor LEFRSO en LEFRRV</b>	<b>73</b>
	<b>Bijlage 5 Influence of solute exchange between soil and surface ponding water on the transport by surface runoff</b>	<b>81</b>
	<b>Bijlage 6 Eenvoudig model voor oppervlakkige afstroming van water</b>	<b>85</b>

---

---

# Woord vooraf

STONE is een modelinstrument dat door RIVM, RIZA en Wageningen UR is ontwikkeld voor de inschatting van effecten van landbouw- en milieubeleid en van ontwikkelingen in de landbouwsector op de uitspoeling van stikstof en fosfaat naar het grond- en oppervlaktewater. Sinds het gereedkomen van STONE2.0 zijn diverse beleidsevaluaties ondersteund met STONE-resultaten. STONE is in de afgelopen tien jaar regelmatig aangepast om het zo goed als mogelijk af te stemmen op de aan de orde zijnde beleidsvragen en door het beschikbaar komen van nieuwe informatie en nieuwe inzichten.

In 2010 wordt STONE gereed gemaakt voor de beantwoording van vragen die aan de orde komen bij de Evaluatie van de Mest Wetgeving in 2012. De toepassing van dierlijke mest in afhankelijkheid van de bodemvruchtbaarheid (Pw/PAL) speelt daarin een duidelijke rol.

In de afgelopen jaren is er discussie geweest over de rol van oppervlakkige afstroming op de N- en P-belasting van het oppervlaktewater. Dit grillige proces is moeilijk te beschrijven in simulatiemodellen en het aantal metingen aan deze transportroute is zeer beperkt. Vanwege het belang van deze route voor effectgerichte maatregelen is verkend of verbeteringen in de berekening van deze route mogelijk zijn.

Het onderzoek dat in dit rapport is beschreven is uitgevoerd door de auteurs. Tijdens het onderzoek zijn resultaten besproken met Wageningen UR-onderzoekers Jaco van der Gaast, Ab Veldhuizen, Willemijn Appels en Frank van der Bolt. Een conceptversie van het rapport is besproken in de werkgroep die de voorbereiding van STONE op EMW2012 heeft begeleid.

Juni 2013

Piet Groenendijk  
(projectleider)





---

# Samenvatting

STONE is een simulatiemodel dat door RIVM, RIZA en Wageningen UR is ontwikkeld. Het bestaat uit een reeks deelmodellen die gebruikt worden om een beeld te krijgen van de gevolgen van het mestbeleid voor de emissie van stikstof en fosfaat naar het grondwater en het oppervlaktewater. In STONE worden 6405 ruimtelijke eenheden of plots doorgerekend. Elke plot is een unieke eenheid die volledig homogeen is wat betreft hydrologie, bodemtype en landgebruik. Zowel de modelinvoer als het model STONE zelf worden steeds aangepast aan nieuwe inzichten en ontwikkelingen.

Daar waar STONE het transport via buisdrainage en drainage naar het tertiaire systeem als belangrijkste transportroute voor oppervlaktewaterbelasting berekent, is in de rapportage van het DOVE-onderzoek (Van de Weerd en Torenbeek, 2007) geconcludeerd dat oppervlakkige, snelle routes een grote bijdrage leveren aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater, en in veel gevallen de belangrijkste transportroute is. Ook de eerste resultaten van het DynaQual-project ([www.TNO.nl](http://www.TNO.nl)) leken te wijzen op een relatief grote bijdrage van surface runoff aan de N- en P-belasting van oppervlaktewater. Deze discrepantie was een belangrijke aanleiding voor nader onderzoek naar de factoren die de berekening van oppervlakkig transport in STONE beïnvloeden. De volgende vier vragen zijn in deze studie onderzocht:

1. Hoe werken verschillen in neerslaggegevens voor stations, districtgemiddelden, op uurbasis of op dagbasis door in de berekening van oppervlakkige afstroming en het transport van N en P naar het oppervlaktewater?
2. Welke gevolgen hebben de aannames voor verzadigde doorlatendheid van de eerste 5 cm van de bodem en de maximale dikte van de waterlaag op het maaiveld voor de berekening van oppervlakkige afstroming en het transport van N en P naar het oppervlaktewater?
3. Wat is het effect van de toedeling van surface runoff aan de routes 'directe afstroming', 'afstroming over het maaiveld' en 'passage door de bovengrond' voor de afvoer van N en P naar het oppervlaktewater?
4. Hoe kan de diepte van modelprofielen genuanceerd worden voor de geohydrologische omstandigheden en welk effect zou dit hebben op waterafvoer en transport van N en P naar het oppervlaktewater?

Dit rapport behandelt een aantal vragen die inzicht geven in specifieke gevoeligheden en onzekerheden t.a.v. de berekening van oppervlakkig transport van N en P naar het oppervlaktewater. De uitkomsten zijn nog niet betrokken in de actuele STONE-evaluaties (Groenendijk *et al.*, 2012). Het rapport besluit met aanbevelingen. In een volgende onderzoeksfase kan worden beslist of en hoe er in STONE blijvend rekening mee moet worden gehouden.

## **Oppervlakkige afstroming**

Oppervlakkige afstroming kan onder bepaalde condities verantwoordelijk zijn voor een substantieel deel van de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten. De belangrijkste variabelen die bepalend zijn voor de oppervlakkige afstroming zijn:

- De neerslagintensiteit, beïnvloed door seizoen, regio en bedekkingsgraad van het gewas;
- De infiltratiecapaciteit van de bodem, beïnvloed door bodemeigenschappen, gewas; grondbewerking en recente historie van het neerslagpatroon;
- De maaiveldberging, beïnvloed door helling, micro-topografie en afmetingen van percelen;
- Grondwatertrap.

Voor de verkenning van de gevoeligheid van STONE voor deze variabelen is het onderzoek beperkt tot de deelmodellen voor de vochthuishouding (SWAP) en de nutriëntenhuishouding (ANIMO) voor een selectie van dertien STONE-plots.

---

## Neerslagintensiteit

In de berekening van de STONE-hydrologie wordt voor de neerslag gebruik gemaakt van dagwaarden van de vijftien districten die het KNMI onderscheidt. In vergelijking met de waarden van afzonderlijke neerslagstations zijn de regencijfers enigszins uitgemiddeld. Er komen minder dagen met grote hoeveelheden en meer dagen met kleine hoeveelheden neerslag voor. Van STONE-plots waar geregeld oppervlakkige afstroming optreedt, neemt de afstroming bij gebruik van neerslaggegevens van stations toe met meer dan 50% ten opzichte van districtsgegevens.

In de SWAP-berekening voor STONE wordt neerslag ingevoerd op dagbasis. Hierdoor wordt het effect van buien onderschat omdat er geen rekening wordt gehouden dat de neerslagintensiteit die gedurende een korte periode (erg) groot kan zijn. Omdat op meerdere KNMI-neerslagstations de neerslag sinds een aantal jaren ook per uur wordt waargenomen en de nieuwste SWAP-versie ook met kortere tijdstappen voor de invoer van neerslag kan rekenen, was het mogelijk het effect van het gebruik van uurwaarden in plaats van dagwaarden te onderzoeken. Het blijkt dat de oppervlakkige afstroming toeneemt met meer dan 150% ten opzichte van de waarden bij gebruik van dagwaarden voor districten. De toename van oppervlakkige afstroming gaat gepaard met een afname van de drainage.

Het verband tussen oppervlakkige afvoer en de grondwaterstand is onderzocht. Bij natte en matig natte plots waar regelmatig grondwaterstanden tot in het maaiveld voorkomen (GtII/III) treedt ongeveer de helft van de oppervlakkige afstroming op als het bodemprofiel helemaal verzadigd is en de andere helft als de grondwaterstand dieper is. Naarmate plots droger zijn treedt er minder oppervlakkige afstroming op door een verzadigd bodemprofiel.

## Gevoeligheid voor $K_{sat}$ van de toplaag

De gevoeligheid van de oppervlakkige afstroming voor de verzadigde doorlatendheid ( $K_{sat}$ ) is onderzocht door aan  $K_{sat}$  van het bovenste 5 cm een waarde toe te kennen die behoort bij een pF-waarde nul van de oorspronkelijke curve. In sommige zandgronden is de afname van de doorlatendheid minder dan 5%, maar bij zware kleigronden waarvan de doorlatendheid bij het bijna-verzadigingspunt een stijl verloop heeft, is de afname met 95% zeer groot. De gevolgen voor de oppervlakkige afvoer zijn navenant. Deze neemt met een factor 2 à 3 toe. Bij de meeste grondsoorten levert dit niet een extreme oppervlakkige afstroming op, met uitzondering van een (zware) kleigrond waar de afstroming bij dag-neerslag is toegenomen van 27 naar 129 mm en bij uur-neerslag is toegenomen van 53 naar 162 mm. Opgemerkt moet worden dat in de simulaties geen rekening is gehouden met macro-poriën in klei- en veengronden. De bodemfysische parameters hebben in principe alleen betrekking op de bodemmatrix. Bij de gevolgde methode van  $K_{sat}$  verkleinen moet ook rekening worden gehouden met macro-poriën.

## Dikte van de ponding layer

De dikte van de waterlaag op het maaiveld voordat water oppervlakkig tot afstroming komt, de zogenaamde ponding layer, bedraagt standaard in de STONE-plots 2 mm. Een dunnere of zelfs ontbrekende ponding layer leidt tot een grotere oppervlakkige afstroming. Bij een afname van de ponding layer van 2 naar 1 mm neemt bij de grondsoorten klei en laagveen de oppervlakkige afstroming toe met een factor 1,2. Bij een afname van 2 naar 0 mm neemt de oppervlakkige afstroming met een factor 1,5 toe. Beide factoren zijn globale gemiddelden. Omdat er bij de zandgronden geen of nauwelijks oppervlakkige afstroming optreedt, heeft een aanpassing van de dikte van de ponding layer ook geen wezenlijk effect. Naarmate de ponding layer dikker is neemt de geringe runoff nog verder af.

De oppervlakkige afvoer is beschreven met een machtsfunctie van de dikte van de waterlaag op het maaiveld boven een bepaalde drempelwaarde. In deze machtsfunctie is RSO de reciproke van een weerstand en is RSOexp een exponent. Een kleinere RSO (de weerstand wordt dan groter) en een kleinere RSOexp (de afvoersnelheid is dan kleiner) hebben voor de oorspronkelijke districtsneerslag weinig gevolgen. Bij uurneerslag heeft een afname van de RSO van 0,5 naar 0,1 of een toename van RSOexp van 1,0 naar 2,0 tot bijna een verdubbeling van de oppervlakkige afvoer tot gevolg.

---

## Oppervlakkige afstroming van N en P

Om de gevoeligheid van de aanpassing in parameters op de N en P uitspoeling in beeld te brengen zijn voor acht STONE plots de volgende drie situaties doorgerekend:

1. Oorspronkelijke  $K_{sat}$  en bodemfysische parameters van de toplaag en dagwaarden voor de neerslag.
2. Oorspronkelijke  $K_{sat}$  en bodemfysische parameters van de toplaag en uurwaarden voor de neerslag.
3. Kleinere  $K_{sat}$  en aangepaste bodemfysische parameters van de toplaag en uurwaarden voor de neerslag.

In alle gevallen waarin sprake is van een toename van de oppervlakkige afstroming neemt de drainage af. Meestal gaat het om een vergelijkbare hoeveelheid. Dit is te verklaren doordat aan de onderrand van het hydrologisch model een fluxrandvoorwaarde is opgelegd. Een toename van de oppervlakkige afstroming samen met een vergelijkbare afname van de drainage bij toepassing van uurneerslag of een kleinere  $K_{sat}$  van de bovengrond betekent niet automatisch dat het oppervlaktewater sterker belast wordt met N en P. Bij plots met natuur is de belasting in alle gevallen nihil. De netto belasting van het oppervlaktewater met N neemt met ongeveer een factor 1,3 toe bij grasland op klei en op laagveen. Bij grasland op zand en bij bouwland op klei neemt de belasting met N daarentegen soms aanzienlijk af.

Bij een verschuiving van drainage naar oppervlakkige afvoer neemt de netto belasting van het oppervlaktewater met P meestal fors toe (3-6,5 maal zo groot). Alleen bij grasland op zand is er geen toe- of afname.

## Gevoeligheid van N en P voor de verdeling van runoff-routes

In ANIMO wordt het transport van N en P met oppervlakkige afstroming beschreven door de waterstroom in drieën te splitsen en aan ieder deel een eigen concentratie toe te kennen:

- een deel dat afstroomt met de neerslagconcentratie
- een deel dat afstroomt met de concentratie van water in plassen op het maaiveld
- een deel dat afstroomt met de concentratie van de bovenste bodemlaag

In ANIMO wordt de oppervlakkige afvoer verdeeld in een deel (LEFFRV) dat niet in contact komt met de bodem en een deel dat wel in contact komt met de bodem. Het deel dat in contact komt met de bodem wordt verdeeld in een deel (LEFRSO) dat afstroomt met de concentratie van plassen en een deel dat met de concentratie van de eerste bodemlaag afstroomt.

Sinds 1989 zijn in het STONE-model en de voorlopers van het STONE-model de waarden voor LEFFRV en LEFRSO op 0.2 en 0.25 gesteld. Dit resulteert in een verdeling waarin aan 80% van de surface runoff de neerslagconcentratie wordt toegekend, aan 15% wordt de concentratie van het oppervlakte-reservoir toegekend en aan 5% wordt de concentratie in de bovenste bodemlaag toegekend. In dit onderzoek is gekeken naar een aantal andere verdelingen in combinatie met verschillende alternatieven voor de oppervlakkige afstroming voor de N- en P-afstroming betekenen. De verschillen zijn groot en dit wordt vooral veroorzaakt door de grootte cq. manier waarop de oppervlakkige afstroming wordt bepaald. Bij de verschillen waarvoor LEFFRV en LEFRSO verantwoordelijk zijn blijkt dat zelfs bij kleine waarden van LEFFRV (er gaat dan weinig van de afstroming via plassen en de eerste bodemlaag), LEFRSO belangrijker is voor de afstroming van N en P. Bij een grote LEFRSO (er passeert dan relatief veel via de (bemeste) bovenlaag) is de afstroming van N en P het grootst. Bij (onbemeste) natuur op zand en laagveen heeft LEFRSO bij een kleine LEFFRV weinig invloed, maar opmerkelijk is, dat dat ook bij maïs op klei het geval is. De oppervlakkige afstroming van P, die vaak een factor 10 kleiner is dan van N, laat per plot een vergelijkbare gevoeligheid voor de verdeling tussen LEFFRV en LEFRSO zien.

Een aanvullende analyse in bijlage 4 geeft aan dat LEFRSO laag is ingeschat en dat een waarde van 0.4 – 0.475 beter past bij de tijdstaplenge van tien dagen in STONE.

Dit onderzoek laat zien dat bij een extreme aanpassing van factoren die de berekening van de oppervlakkige afspoeling zouden vergroten een toename van de N-belasting van het oppervlaktewater

---

is te verwachten van enkele  $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$  en een toename van de P-belasting van enkele tienden  $\text{kg ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ . In enkele situaties liggen deze getallen hoger. Op basis van veldonderzoek in het DOVE-project is geconcludeerd dat oppervlakkige afspoeling voor vele tientallen procenten kan bijdragen in de belasting van oppervlaktewater. De resultaten van dit onderzoek bevestigen de conclusie van het DOVE-onderzoek maar in zeer beperkte mate. De resultaten van dit onderzoek laten zien dat door aanpassing van modelinvoer en parameters een hoger aandeel N- en P-transport door oppervlakkige afspoeling is te verwachten. Verwacht wordt echter niet dat dit zal leiden tot waarden die de gerapporteerde DOVE-percentages evenaren.

### **Diepte van de modelprofielen**

De bodemprofielen van de plots hebben sinds STONE2.0 allen een diepte van 13 m. Deze keuze was pragmatisch van aard en strookt voor grote delen van Nederland niet met de geohydrologische opbouw. De extra informatie die het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) over de opbouw en eigenschappen van de bodemlagen dieper dan 1,2 m biedt is gebruikt om voor elk van de hydrotypen die in Nederland voorkomen afzonderlijke profieldiepten te onderscheiden. De diepten zijn geclusterd tot vier groepen met profieldiepten van 3, 5, 13 en 20 meter.

De geselecteerde STONE-plots zijn met de nieuwe profieldieptes doorgerekend. Omdat behalve de profieldiepte dezelfde randvoorwaarden zijn opgelegd, heeft profieldiepte geen invloed op de waterbalans. Een dunner of dikker doorstroomd pakket heeft gevolgen voor de verblijftijd, en die beïnvloedt interne processen. Er is wel een duidelijk verband tussen de profieldiepte, denitrificatie en de afvoer/vracht van N en P die via drainage wordt afgevoerd. Er is een samenhang met de verblijftijd van het afgevoerde water in het grondwatersysteem die min of meer evenredig is met de dikte van het verzadigde profiel. Bij een profieldiepte die kleiner is dan de oorspronkelijke 13 m neemt de denitrificatie af (-1,5 tot -22%) en neemt de afvoer van organisch N en  $\text{NO}_3$  via de drainage bij de meeste plots toe (resp. -2 tot 80% en 29 tot 62%). Bij een grotere profieldiepte gebeurt het omgekeerde, de denitrificatie neemt toe (1,5 tot 25%) en de afvoer van organisch N en  $\text{NO}_3$  neemt af (resp. -3 tot -17% en 5 tot -24%). Bij  $\text{NH}_4$  is er geen duidelijk verband tussen toe- of afname van de afvoer en de profieldiepte. Er wordt meestal meer organisch P via drainage afgevoerd als de profieldiepte kleiner is dan de standaarddiepte van 13 m (-7 tot 71%) en minder als de profieldiepte groter is (-3 tot -50%). Bij  $\text{PO}_4$  is er geen duidelijk verband tussen en toe- of afname van de afvoer en de profieldiepte.

### **Aanbevelingen**

Het doel van dit rapport is om na te gaan met welke factoren rekening gehouden moet worden voor de berekening van oppervlakkige afstroming van STONE. De resultaten zijn besproken met een aantal deskundigen op basis waarvan aanbevelingen zijn geformuleerd:

- Een nieuwe versie met gewijzigde uitkomsten kan echter leiden tot discussies over de robuustheid van eerder gepresenteerde modeluitkomsten. Daarom is het raadzaam het model alleen aan te passen als dit te verantwoorden is en pas nadat een uitgebreide evaluatie heeft plaatsgevonden voor alle plots.
- Aanbevolen wordt om geen gebruik te maken van alternatieve gegevens voor de neerslag. STONE is een consensusmodel en het gebruik van eigen varianten voor uurneerslag past niet in deze filosofie. Aanbevolen wordt om te wachten op een algemeen geaccepteerde aanpak, te ontwikkelen en publiceren door het KNMI.
- Aanbevolen wordt om geen aanpassing te plegen in de waarden van  $K_{\text{sat}}$  voor de toplaag, omdat het een eigen bodemschematiseringsvariant naast de Staringreeks in het leven zou roepen. Voor kleigronden waar het grootste effect zou optreden geldt dat de  $K_{\text{sat}}$ waarden effectieve parameters zijn waarin het effect van macro-poriën is verdisconteerd. Een sterke aanpassing van de  $K_{\text{sat}}$ waarden zonder rekening te houden met macro-poriën is niet consistent. Daarnaast zijn de chemisch / biologische processen in het model ingeregeld aan de hand van een versie die gebruik maakt van de standaard bodemfysische schematiseringen. Uit berekeningen met STONE waarin de macro-poriën optie was ingeschakeld is geconcludeerd dat een herziening van de parametrisering van de chemisch / biologische processen nodig zou zijn bij gebruik van deze optie.
- Aanbevolen wordt om de dikte van de ponding layer en de waarden voor RSO en RSOexp niet aan te passen. Voor een dergelijke aanpassing zijn geen experimentele bewijzen voorhanden.

- 
- Aanbevolen wordt om op grond van theoretische beschouwingen een waarde 0,45 (als gemiddelde van 0,40-0,475) te gebruiken voor de parameter LEFRSO in plaats van de oorspronkelijke 0,25. De nieuwe waarde past beter bij de tijdstaplengthte van 10 dagen in STONE.
  - Aanbevolen wordt om de diepte van het modelprofiel niet meer standaard dertien meter te nemen maar om de vier klassen (3, 5, 13 en 20 meter) te onderscheiden die in dit onderzoek zijn aangedragen. Een verdere differentiatie in diepte en ruimtelijk verdeling in samenhang met de ontwikkeling van een NHI-variant voor waterkwaliteit verdient de voorkeur, maar de vorming van dit instrumentarium laat nog op zich wachten. Voor STONE is het onverstandig daarop te wachten. De vier klassen moeten daarom als tussenoplossing worden beschouwd. Deze aanpassing vraagt waarschijnlijk om een nieuwe kalibratie van het model.



---

# 1 Inleiding

## 1.1 STONE2.3

STONE is een modelinstrument dat meer dan tien jaar geleden door RIVM, RIZA en Wageningen UR is ontwikkeld. Het bestaat uit een reeks deelmodellen die gebruikt worden om op nationale schaal de effecten van nationaal of Europees landbouw- en milieubeleid en van ontwikkelingen in de landbouwsector op de uitspoeling van stikstof en fosfaat naar het grond- en oppervlaktewater te kwantificeren ([www.stone.alterra.nl](http://www.stone.alterra.nl), Beusen *et al.*, 2004; Overbeek *et al.*, 2000; Wolf *et al.*, 2003; Schoumans *et al.*, 2002; Willems *et al.*, 2005). De ontwikkeling van STONE2.0, dat staat voor 'Samen Te Ontwikkelen Nutriënten Emissiemodel', vond grotendeels plaats in de periode 1997 - 2000. Na STONE 2.0 zijn een aantal aanpassingen doorgevoerd.

STONE bestaat uit een keten van modellen die de ruimtelijke en temporele patronen berekenen van de nitraatconcentratie in het grondwater, de fosfaatophoping in de bodem en de belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor. Verder berekent STONE posten van de N- en P-balans van de bodem en kan het diverse scenario's in intensiteit van de veestapel en de aanwending van dierlijke mest en kunstmest doorrekenen. STONE maakt gebruik van verschillende combinaties van landgebruik, grondsoort en hydrologische omstandigheden. Hiervoor is Nederland opgedeeld in circa 6405 ruimtelijke eenheden of plots. De dikte van het bodemprofiel in de modelsimulaties bedraagt 13 meter.

STONE is ingezet voor een reeks beleidsstudies. Nieuwe beleidsvragen zijn regelmatig aanleiding geweest voor aanpassingen van het model. Ook zijn sinds het gereedkomen van STONE regelmatig nieuwe inzichten in procesbeschrijvingen en procesparameters geïmplementeerd. Vanaf EMW2007 is gerekend met versie 2.3 (Willems *et al.*, 2008). De beschikbaarheid van deze versie is een goed moment om een aantal aspecten te onderzoeken die zich in de loop der tijd hebben aangediend.

Eén van die aspecten is de invloed van de oppervlakkige afstroming op de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten. Een ander aspect is de dikte van het modelprofiel. In STONE hebben alle plots dezelfde profieldiepte. Met het beschikbaar komen van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium ([www.NHI.nu](http://www.NHI.nu)) zijn de opbouw en eigenschappen van het diepere gedeelte van deze laag beter bekend. Dat maakt het ook mogelijk om een betere schatting te maken van de laagdikte die in het model daadwerkelijk wordt doorstroomd.

## 1.2 Oppervlakkige afstroming

Oppervlakkige afspoeling kan ook in vlakke gebieden zoals in Nederland een belangrijke route zijn voor de belasting van het oppervlaktewater met N en P uit de landbouw (Plette *et al.*, 2004; Noij *et al.*, 2006; Van der Salm *et al.*, 2006; Van Bakel *et al.*, 2008; Massop *et al.*, 2012). Het voorkomen van oppervlakkige afstroming was een belangrijke boodschap van het DOVE-project (Plette *et al.*, 2004). In dat project is geconcludeerd dat oppervlakkige afvoer op de drie gekozen onderzoekslocaties een belangrijke rol speelde bij de belasting van het oppervlaktewater, vooral voor P, waarvan het merendeel van de belasting van het oppervlaktewater via deze route het perceel verlaat. Voor de zandlocatie in Oost-Nederland (één van de drie onderzoekslocaties van het DOVE-project) werd gevonden dat ca. 15% van de stikstofbelasting van het oppervlaktewater is toe te schrijven aan oppervlakkige transportroutes (Van de Weerd en Torenbeek, 2007). Echter er bestaan twijfels over deze uitkomst (de gehanteerde opschaling van meetlocatie naar perceel is twijfelachtig). Op de zware kleigrond van het DOVE-project is aangetoond dat oppervlakkige afspoeling via greppels 60 – 90% van de totale belasting van het oppervlaktewater voor zijn rekening neemt (Van der Salm *et al.*, 2012). Ook de eerste resultaten van het DynaQual-project ([www.TNO.nl](http://www.TNO.nl)) leken te wijzen op een

relatief grote bijdrage van surface runoff aan de N- en P-belasting van oppervlaktewater. Plassen op het land lopen via graafgangen van mollen en wormen over naar het oppervlaktewater, waarbij oppervlakkige afvoer plaats vindt via snelle, korte afvoergolven die gepaard gaan met grote debieten en hoge vrachten aan fosfaat en andere nutriënten; ruim 60% van de slootafvoer bestaat uit oppervlakkig afstromend water. Echter na afronding van het meerjarig onderzoek blijkt dat meer dan 90% van de N- en P-vracht is toe te schrijven aan drainage. In natte perioden met hoge neerslagintensiteiten kan de bijdrage van surface runoff aan de N- en P-vracht aanzienlijk zijn, maar langjarig gemiddeld bleek de bijdrage toch beperkt te zijn.

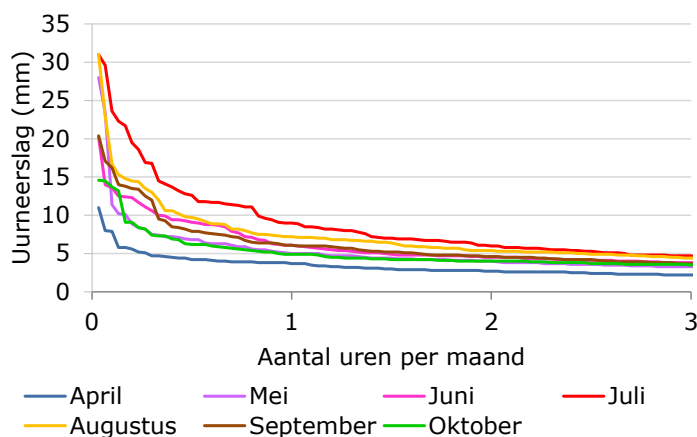
Als onderdeel van het Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water is in opdracht van agentschap NL een 'Bemestingstool' ontwikkeld (Assinck en Van der Salm, 2012) waarmee op basis van de meerdaagse weersverwachting een advies wordt gegeven voor het wel of niet uitrijden van mest. De tool is getoetst op de gegevens van een bol-liggend perceel met zware komkleigrond in de Betuwe. De juistheid van de tool blijkt in grote mate af te hangen van de verwachte neerslag.

Het risico op oppervlakkige afspoeling van water en eerder toegediende meststoffen is sterk afhankelijk van het weer, de helling van het land, de bodemtextuur en -ruwheid, en het gewas. Vooral bij intensieve regenbuien is het risico groot dat eerder toegediende meststoffen afspoelen naar aangrenzende waterlopen. De factoren die dit proces beïnvloeden zijn gelijk aan de factoren die het transport van bodemdeeltjes door watererosie bepalen. Een ondiepe grondwaterstand en een bevroren bodem of ondergrond beperken de infiltratie van regenwater in de bodem en versterken het risico op oppervlakkige 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, over het maaiveld draineren naar nabijgelegen sloten. In de zomer, bij een relatief diepe grondwaterstand en dus grote bergingscapaciteit in de bodem, kan oppervlakkige afvoer optreden 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 dus sterk in de tijd en in de ruimte.

### Afstroming van water en opgeloste meststoffen

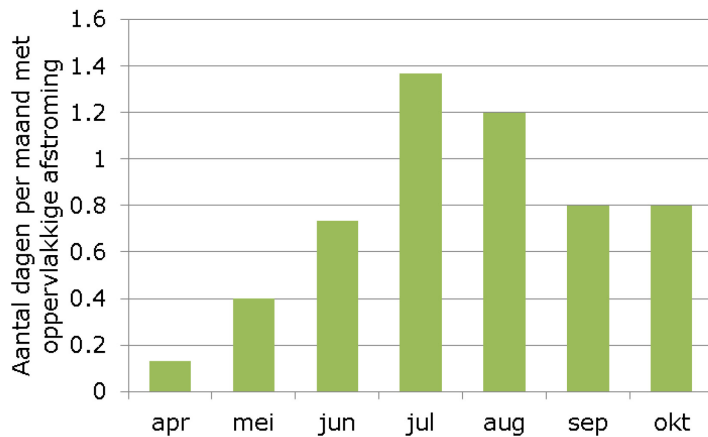
Oppervlakkige afstroming van een deel van het neerslagoverschot kan het gevolg zijn van een beperkte infiltratiecapaciteit. Een belangrijke factor voor de schatting van het risico op afspoeling is de neerslagintensiteit van regenbuien die vallen na een bemesting. Regenbuien in de zomer hebben gemiddeld genomen een grotere intensiteit dan de buien in het voorjaar of najaar. In figuur 1 zijn voor De Bilt in de periode 1981-2010 de maanden weergegeven met de meeste neerslag. In de maand juli vallen gemiddeld genomen de meeste buien met een hoge intensiteit (veel mm's per uur); in april is gemiddeld de piek-neerslagintensiteit het geringst.



**Figuur 1** Aantal uren in dertig jaar met een neerslag groter dan een bepaalde waarde (De Bilt).



Het risico op oppervlakkige afspoeling van kale grond door neerslagpieken is in juli en augustus groter dan in april of oktober. Echter, door begroeiing wordt de ruwheid van het maaiveld groter en dit heeft een remmende werking op de afvoersnelheid. De grond is in juli en augustus meestal begroeid terwijl dit in april en oktober lang niet altijd het geval is. Met een eenvoudig model is berekend wanneer oppervlakkige afstroming kan optreden als functie van de intensiteit van de regenval en de infiltratiecapaciteit van de bodem (zie bijlage 6). Vervolgens is voor de reeks van uurneerslagen van De Bilt in de periode 1981-2010 een analyse uitgevoerd waarbij de resultaten per uur zijn gegroepeerd naar dagwaarden (figuur 2). Hieruit blijkt dat de kans op oppervlakkige afstroming in de periode april - mei 2 tot 5 keer geringer is dan in de periode juli - oktober.

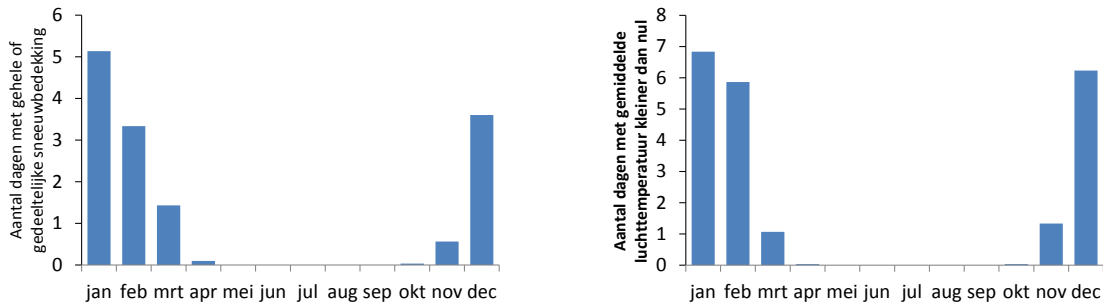


**Figuur 2** Aantal dagen per maand met oppervlakkige afstroming, berekend met een eenvoudig model op basis van de weerreeks 1981-2010 met uurneerslagen van De Bilt.

Als oppervlakkige afstroming optreedt omdat grondwaterstanden tot in het maaiveld stijgen, komt dit meestal voor in het hydrologisch winter halfjaar. Incidenteel kan dit ook in natte zomers optreden. De kans dat hoge grondwaterstanden optreden is vooral aanwezig in niet gedraineerde gronden bij grondwatertrappen I t/m III en V. Figuur 2 geeft alleen de resultaten voor de maanden april tot en met oktober omdat in de winterperiode het risico op oppervlakkige afspoeling wordt bepaald door hoge grondwaterstanden en door winterse omstandigheden. In de maanden november tot en met maart is er kans op gehele of gedeeltelijke bedekking van het maaiveld met sneeuw. Bovendien is in deze maanden kans op een bevroren toplaag van de bodem. Figuur 3 toont het aantal dagen met gehele of gedeeltelijke sneeuwbedekking in De Bilt in de periode 1981 - 2010. Daarnaast is ook het aantal dagen weergegeven met een gemiddelde luchttemperatuur kleiner dan nul.

De doorlatendheid van de grond is een belangrijke, maar onzekere factor voor het optreden van oppervlakkige afstroming. Thunnissen (1987) concludeerde dat de hoeveelheid oppervlakte-afvoer, die in een gebied op zal treden, afhankelijk is van de neerslagintensiteit en de verdeling van de neerslag in de tijd, de maaiveldsberging, de infiltratiecapaciteit en de ontwateringssituatie van een perceel. Bij volledig vlakke percelen is oppervlakte-afvoer pas van belang bij lage waarden van de infiltratiecapaciteit ( $\leq 1$  mm/dag), terwijl bij graslandpercelen met een helling van 1 à 2% en voldoende ontwatering deze afvoer pas een rol van betekenis zal spelen bij infiltratiecapaciteiten beneden ca. 5 mm/dag. Uit studies van Fonck (1968), uitgevoerd op grasland op enkeerdgronden en veld- en laarpodzolen, en uit studies van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolder (1979), uitgevoerd op grasland op lichte en zware zavel, blijkt de infiltratiecapaciteit nauwelijks gerelateerd te zijn aan bodemtype, maar sterk samen te hangen met het bodemgebruik. Verslemping, intensieve beweiding en berijding kunnen tot zeer lage infiltratiecapaciteiten leiden.

Voor Nederlandse landbouwgronden geldt dat de verzadigde doorlatendheid enkele cm's tot enkele dm's per dag bedraagt. In verslempde gronden en vooral in bevroren gronden is de doorlatendheid veel lager en het risico op oppervlakkige afstroming groot.

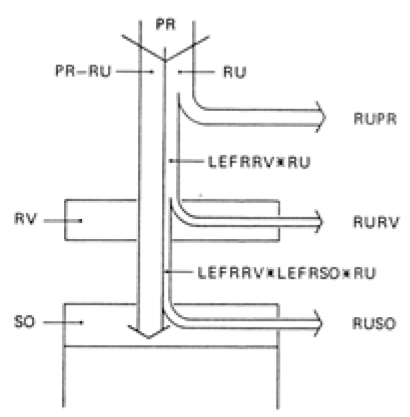


**Figuur 3** Aantal dagen per maand met een gehele of gedeeltelijke sneeuwbedekking (links) en aantal dagen per maand met een gemiddelde luchttemperatuur kleiner dan nul (rechts) voor de periode 1981-2010 in De Bilt.

### Analyse van onzekerheid in oppervlakkige afvoer

Het concept in STONE is vereenvoudigd tot een beschrijving van het transport met drie transportroutes (Figuur 4):

- Een deel van de surface runoff stroomt af met de neerslagconcentratie (RUPR),
- Een deel van de surface runoff stroomt af met de concentratie van water in plassen op het maaiveld (RURV),
- Een deel van de surface runoff stroomt af met de concentratie van de bovenste bodemlaag (RUSO).



**Figuur 4** Schematisch overzicht van de berekening van stoftransport door surface runoff in het nutriëntenmodel ANIMO.

Het risico op transport van meststoffen met afstromend water naar het oppervlaktewater is afhankelijk van:

- Intensiteit van regenbuien,
- Infiltratiecapaciteit van de bodem,
- Vorm, helling en lengte van het land,
- Aanwezigheid van begroeiing en
- Aanwezigheid van meststoffen op en direct onder het maaiveld.

De algemene vraag is of het concept van oppervlakkige afstroming in STONE adequaat is om oppervlakkig transport van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater te simuleren. Dit leidt tot de formulering van een aantal onderzoeksvragen. Deze vragen zijn verder onderzocht door modelanalyses.

Voor de kwantitatieve analyse van STONE2.3 zijn de bestaande SWAP-modellen van een aantal geselecteerde plots (tabel 1) gebruikt en voor de kwalitatieve analyse de bestaande ANIMO-modellen. Omdat in alle SWAP-modellen de flux over de onderrand wordt opgelegd, heeft een verandering van

de oppervlakkige afstroming directe gevolgen voor de drainageflux. Tegelijk met de oppervlakkige afstroming wordt daarom gekeken naar de drainageflux.

**Tabel 1**

*Geselecteerde STONE-plots met verschillen in grondsoort (zand, klei, veen), grondsoort (natuur, grasland, bouwland/mais) en grondwatertrap voor de analyse van de oppervlakkige afstroming.*

Plot	landgebruik	bodem	Gt-klasse	Gt	GHG (cm)	GLG (cm)
377	bouwland	klei	midden	VI	-69	-142
421	natuur	zand	nat	III	-17	-96
1632	mais	zand	nat	IV	-46	-105
2010	natuur	laagveen	nat	?	-7	-53
2093	grasland	klei	midden	?	-78	-139
2426	grasland	zand	droog	VII	-83	-169
2693	bouwland	klei	nat	IV	-75	-114
3055	natuur	zand	droog	VIII	-212	-272
3740	grasland	zand	nat	III	-23	-108
4325	grasland	laagveen	nat	?	-7	-54
4355	mais	klei	droog	?	-83	-212
5420	mais	zand	droog	VII*	-207	-270
6273	bouwland	zand	nat	IV	-73	-117

**Onderzoeksvraag 1.** Welke verschillen zijn er tussen districtsneerslag (op dagbasis) en neerslag die op neerslagstations op dag- en uurbasis is waargenomen en welke gevolgen heeft dat voor de oppervlakkige afstroming en de drainageflux en het transport van N en P naar het oppervlaktewater? Oppervlakkige afstroming treedt op als de neerslagintensiteit groter is dan de infiltratiesnelheid van de bodem. In hellende gebieden zal er dan al gauw water over het oppervlak tot afvoer komen, maar in vlakke gebieden, zoals het grootste gedeelte van Nederland, wordt eerst een deel van het water in plassen geborgen. Pas als deze plassen 'overlopen' treedt afvoer van water over het oppervlak op. Dit water kan via laagtes elders alsnog in de bodem infiltreren of stroomt anders af in het oppervlaktewater. Oppervlakkige afstroming treedt ook op als de bodem verzadigd is waardoor er geen water meer geborgen kan worden. Verder kan in kwelgebieden oppervlakkige afstroming optreden als er grondwater aan het maaiveld uittreedt.

De onzekerheid bij het vaststellen van de grootte van de oppervlakkige afstroming hangt samen met de keuze die in de SWAP-modellen is gemaakt voor de neerslaggegevens, de bodemfysische eigenschappen van de bovengrond en de dikte van de waterlaag (ponding) die als plassen op het maaiveld geborgen wordt. In de vigerende SWAP-modellen worden neerslaghoeveelheden gebruikt die op dagbasis aan vijftien zogenaamde KNMI-districten zijn toegekend (KNMI, 2009). Niet duidelijk is in hoeverre neerslag die op afzonderlijke neerslagstations is gemeten tot een andere verdeling cq. intensiteit van de neerslag leidt en zo de oppervlakkige afstroming beïnvloedt.

Op een aantal neerslagstations wordt de neerslag per uur geregistreerd. Dit biedt de mogelijkheid om na te gaan of hiermee meer oppervlakkige afstroming wordt berekend. Tijdens buien kan de neerslagintensiteit hoger zijn dan de infiltratiesnelheid, terwijl dat niet het geval hoeft te zijn als dezelfde hoeveelheid evenredig over een etmaal wordt verdeeld, zoals met neerslag op dagbasis het geval is.

**Onderzoeksvraag 2.** Welke gevolgen heeft een kleinere verzadigde doorlatendheid van de toplaag van 5 cm voor de oppervlakkige afstroming en de drainageflux en het transport van N en P naar het oppervlaktewater.

Naast de neerslagintensiteit is ook de infiltratiesnelheid belangrijk voor het al dan niet optreden van oppervlakkige afstroming. In de SWAP-modellen van STONE2.3 zijn de bodemfysische eigenschappen van standaardgronden (Wösten *et al.*, 1994 en 2001) gebruikt. De standaardgronden zijn er voor verschillende zand-, klei-, veen-, zavel- en leemgronden. Van elke grondsoort zijn eigenschappen voor een boven- en ondergrond beschikbaar. Voor de infiltratiesnelheid is vooral de verzadigde doorlatend-

---

heid ( $K_{sat}$ ) van de bovenste bodemlaag belangrijk. Afgezien van het feit dat de eigenschappen van de standaardgronden ontleend zijn aan een reeks waarnemingen die een zekere spreiding te zien geven, kan de doorlatendheid van de toplaag kleiner zijn door bij voorbeeld verslemping, vertrapping en berijding. Het is daarom goed mogelijk dat de toplaag een lagere infiltratiesnelheid heeft dan de standaardgrond aangeeft.

**Onderzoeksvraag 3.** Welke invloed heeft de dikte van de waterlaag die op het maaiveld geborgen kan worden op de oppervlakkige afstroming en de drainageflux en het transport van N en P naar het oppervlaktewater.

In alle SWAP-modellen wordt ervan uitgegaan dat het maaiveld vlak is en dat er 2 mm water -de zogenaamde ponding layer- op het maaiveld geborgen kan worden voor er oppervlakkige afstroming op gaat treden. De infiltratie van water vanuit de ponding layer gaat door zolang er water op het maaiveld staat. Via laagtes en ondiepe grondwaterstroming kan water van elders aan de ponding layer worden toegevoegd waardoor ook (nog) oppervlakkige afstroming kan optreden zonder dat er neerslag valt.

In de praktijk zullen er verschillen zijn, want afgezien van hellende gebieden kunnen percelen bol of juist hol liggen en kunnen er ploegzolen en mollengangen aanwezig zijn. Het is ondoenlijk om voor elk van de 6405 STONE-plots een inschatting te maken van de waterlaag die op het maaiveld geborgen wordt. Wel is het zinvol om een inzicht te verkrijgen van het verband tussen de dikte van de ponding layer en de oppervlakkige afstroming. Een dunnere of dikkere ponding layer betekent dat er respectievelijk meer of minder oppervlakkige afstroming optreedt. Als er helemaal geen water op het maaiveld geborgen wordt (ponding = 0 cm), treedt er direct oppervlakkige afstroming op zodra de neerslagintensiteit groter is dan de neerslagintensiteit.

**Onderzoeksvraag 4.** Welke gevolgen heeft de toedeling van de surface runoff aan de routes 'directe afstroming', 'afstroming over het maaiveld' en 'passage door de bovengrond' voor de afvoer van N en P naar het oppervlaktewater.

Water dat via oppervlakkige afstroming in het oppervlaktewater terecht komt bestaat voor een deel uit neerslagwater dat geen interactie met de bodem heeft gehad en dus de chemische samenstelling van de neerslag heeft, neerslagwater dat 'verrijkt' is met depositie en neerslagwater dat eerst in de bodem geïnfiltrerd is waar het via uitwisseling met het bodemcomplex stoffen heeft opgenomen en kort daarna weer aan het maaiveld is uitgetreden (Figuur 4). Zeker bij meer extreme oppervlakkige afstroming kan een andere verdeling over deze bronnen tot een aanzienlijke verandering van de netto belasting van het oppervlaktewater met N en P leiden.

In ANIMO wordt de verdeling tussen deze drie bronnen geregeld met twee parameters. LEFRRV is de parameter die de oppervlakkige afvoer verdeelt in een deel dat niet in contact komt met de bodem en een deel dat wel in contact komt met de bodem en LEFRSO verdeelt het bodem-deel over een deel dat met de 'bovengrondse' concentratie afstroomt en een deel dat met de concentratie van de eerste bodemlaag afstroomt.

Sinds 1989 zijn in de opeenvolgende STONE-modellen de waarden voor LEFRRV en LEFRSO op 0.2 en 0.25 gebruikt (Jeurissen, 1990) Dit resulteert in 80% met de neerslagconcentratie, 15% met de concentratie van het oppervlaktereservoir en 5% met de concentratie in de bovenste bodemlaag. De parametrisering is afgeleid uit een vergelijking van rekenopties met resultaten van een beregenings-experiment in Achterveld. In het gehanteerde hydrologische model was het niet mogelijk surface runoff veroorzaakt door een beperkte infiltratiecapaciteit te simuleren en is op een gekunstelde manier rekening gehouden met de tijdsperiode tussen bemesting en beregening. Ook de dikte van de rekenlagen in het door Jeurissen gebruikte ANIMO-model verschilde van de dikte van het bovenste compartiment in STONE.

---

## 1.3 Diepte van de modelprofielen

**Onderzoeksvraag 5** Kan op basis van recente NHI-informatie een beter onderscheid in profiel diepten worden aangebracht en welke gevolgen heeft dat op de water-, stikstof- en fosforhuishouding.

In alle 6405 STONE-plots is de dikte van het bodemprofiel 13 meter. De dikte is zodanig dat ook profielen met een diepe grondwaterstand niet 'droogvallen'. Met deze diepte wordt de doorstroomde diepte bij plots waar ondiep een ondoorlatend pakket keileem voorkomt overschat en bij plots met een dik doorlatend zandpakket onderschat.

Voor de profielopbouw is gebruik gemaakt van de bodemkaart. De opbouw en de eigenschappen van de bodemlagen zijn tot een diepte van 1,2 meter goed bekend. Voor de laag tussen 1,2 en 13 m zijn de gegevens veelal door extrapolatie van de diepst bekende bodemlaag verkregen. Momenteel zijn er in het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium ([www.NHI.nu](http://www.NHI.nu)) landsdekkend gedetailleerdere gegevens bekend over diepere bodemlagen. Ook wordt er gewerkt aan een verdieping van de bodemkaart waarin meer informatie over de bodemlagen beneden de 1,2 m beschikbaar komt (Van de Gaast *et al.*, in prep.).

## 1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 komen in de eerste drie paragrafen aspecten aan bod die bepalend zijn voor de oppervlakkige afstroming, te weten de neerslagintensiteit (hfdst. 2.1), de infiltratiecapaciteit (hfdst. 2.2) en de maaiveldberging (hfdst. 2.3). In hoofdstuk 2.4 worden de N- en P-vrachten berekend die met de grotere oppervlakkige afstroming in het oppervlaktewater terecht komen. Vervolgens wordt in hoofdstuk 2.5 gekeken naar de verdeling van N- en P-bronnen.

Hoofdstuk 3 gaat over de profiel diepte van de STONE-plots. Eerst wordt ingegaan op de manier waarop een betere inschatting van de doorstroomde diepte kan worden gemaakt (hfdst. 3.1). Daarna volgen de resultaten (hfdst. 3.2). In hfdst. 3.3 wordt voor een aantal plots voor de voorgestelde wijzigingen van de profiel diepte nagegaan wat de consequenties zijn voor N en P.

Tot slot volgt hoofdstuk 4 met discussie en conclusies. In dat hoofdstuk wordt ook ingegaan op een eventuele aanpassingen van STONE.

## 2 Waterafvoer met oppervlakkige afstroming

### 2.1 Neerslag op dag- en uurbasis

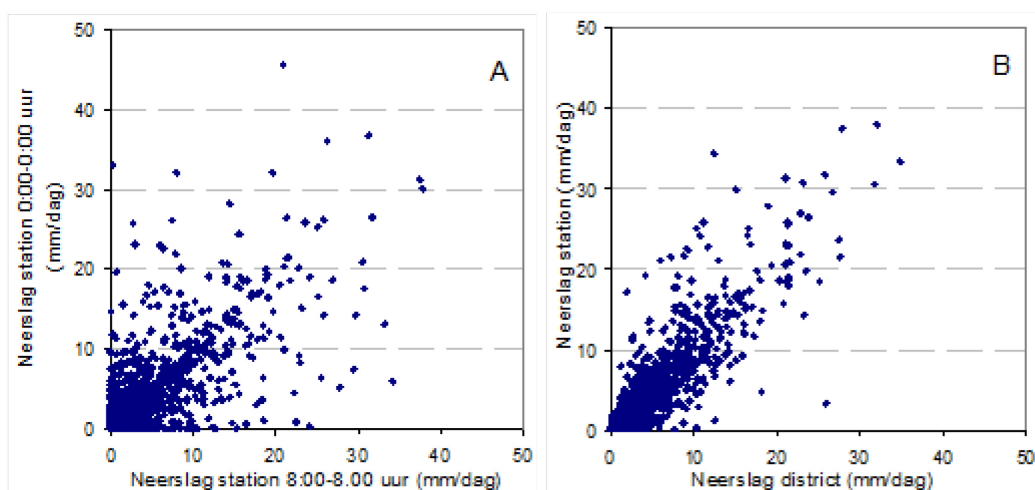
Voor de STONE 2.3-berekeningen is SWAP 3.1 gebruikt om de vochttoestand mee te berekenen. SWAP3.1 biedt de mogelijkheid om de neerslag in kortere perioden dan een dag op te geven zodat beter rekening gehouden kan worden met het effect van buien. De verwachting is dat tijdens perioden met intensieve neerslag eerder oppervlakkige afstroming optreedt dan met dagneerslag die door het SWAP-model in gelijke delen over een etmaal wordt verdeeld.

Momenteel worden in de SWAP-modellen neerslaghoeveelheden (op dagbasis) van de vijftien districten gebruikt. Binnen de districten liggen in totaal 320 neerslagstations waar dagwaarnemingen worden verricht. Op een toenemend aantal van die stations wordt de neerslag ook per uur geregistreerd. Voor de analyse zijn alleen de stations interessant waar sinds 1971 uurwaarnemingen worden verricht omdat met SWAP telkens perioden van dertig jaar worden doorgerekend. De neerslagstations waar sinds 1971 de neerslag per uur wordt waargenomen zijn De Kooy, Eelde, Schiphol, De Bilt, Vlissingen en Maastricht.

Voorafgaand aan de SWAP-berekeningen zijn voor De Bilt de verschillende methoden waarop neerslag wordt gemeten met elkaar vergeleken:

- Districtswaarnemingen op dagbasis.
- Puntwaarnemingen op dagbasis.
- Puntwaarnemingen op uurbasis.

In Figuur 5 zijn voor de periode 1981-1987 hoeveelheden neerslag op dagbasis voor De Bilt tegen elkaar uitgezet. In Figuur 5A staan de hoeveelheden voor district De Bilt (nr. 8) tegen neerslagstation De Bilt (nr. 550). Er is een goed verband en bij de districtshoeveelheden komen ook hoge waarden voor. Toch zijn er bij de districtshoeveelheden minder dagen met veel neerslag. Per jaar zijn er bij 'district' bijvoorbeeld acht dagen en bij het neerslagstation elf dagen met meer dan 15 mm neerslag. Daar staat tegenover dat bij het district op 237 dagen neerslag valt (0,1 mm of meer) en bij het neerslagstation slechts 192 dagen. De districtsneerslag is dus 'uitgemiddeld'.

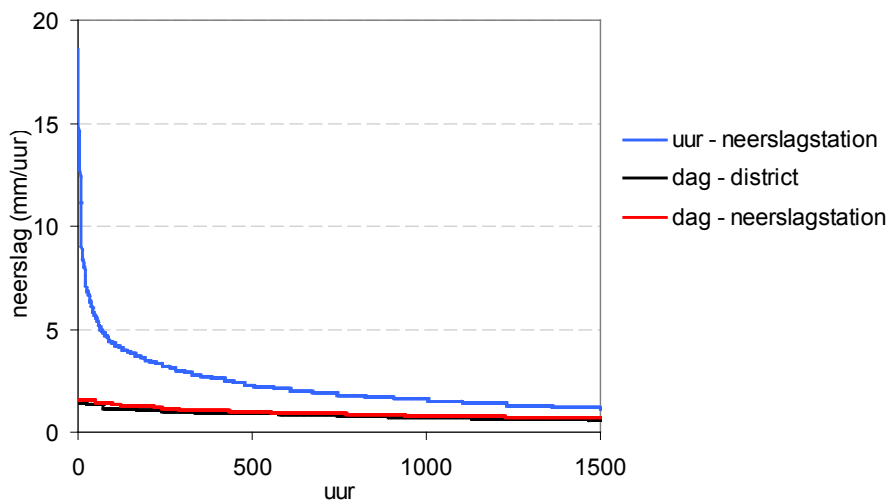


**Figuur 5** Vergelijking van de neerslag op dagbasis tussen District en Neerslagstation De Bilt (A) en tussen Neerslagstation de Bilt en tot daagwaarden gesommeerde urneerslag voor De Bilt (B).

In Figuur 5B staat de neerslag voor neerslagstation De Bilt (nr. 550) uitgezet tegen de uurneerslag die hier per etmaal is gesommeerd. In principe zijn de hoeveelheden gelijk, maar de hoeveelheid die uit de uurneerslag is berekend heeft betrekking op etmalen die van 0 a.m. - 0 a.m. lopen terwijl de dagwaarden van het neerslagstation (en die van de districtsneerslag) betrekking hebben op etmalen van 8 a.m. - 8 a.m. Het verschil van acht uur heeft al een forse spreiding tot gevolg. Voor de modeluitkomsten heeft dit verschil nagenoeg geen gevolgen.

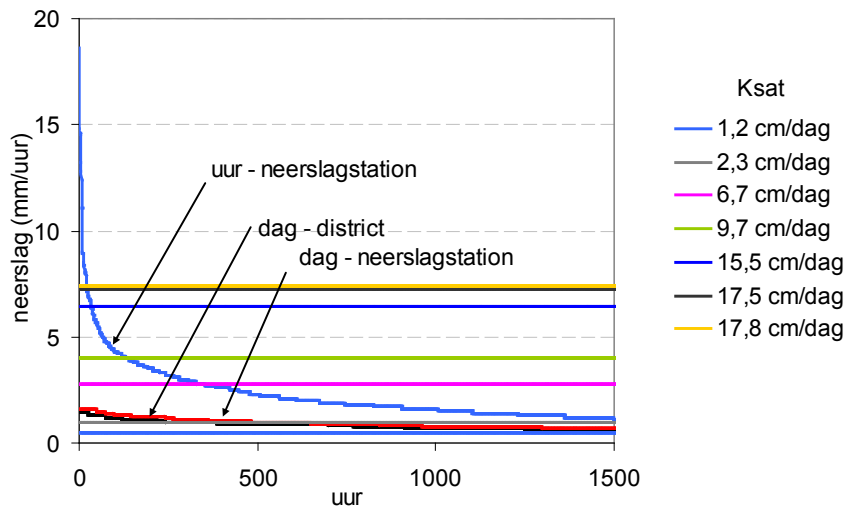
Om een eerste indruk te krijgen van de verschillen die dag- en uurneerslag in SWAP teweeg kunnen brengen zijn de neerslaggegevens op dagbasis (district (8) en neerslagstation (550)) verdeeld over 24 uur. (In SWAP wordt bij gebruik van dagwaarden ook met een gelijke neerslagverdeling over een etmaal gerekend). Samen met de uurneerslag zijn de uren met de meeste neerslag uit de periode 1981 t/m 1987 gesorteerd uitgezet in Figuur 6. De grootste neerslaghoeveelheden per dag liggen rond de 40 mm, ofwel 1,7 mm/uur gedurende een etmaal. De hoeveelheid neerslag die per uur is gemeten is op dezelfde wijze gesorteerd uitgezet. In de periode 1981-1987 was de grootste hoeveelheid 18,6 mm/uur, ruim 10 x hoger dan de 1,7 mm/uur die uit de dagwaarden is berekend. Over de periode 1981 t/m 1987 was gedurende 3353 uur de gemeten hoeveelheid uurneerslag groter dan de berekende uurhoeveelheden. Omgerekend komt dat per jaar neer op 480 uur (20 dagen).

Figuur 7 is identiek aan Figuur 6, maar hierin staat ook de verzadigde doorlatendheid ( $K_{sat}$ ) van de geselecteerde STONE-plots die met de verschillende neerslag worden doorgerekend. Een  $K_{sat}$  die groter is dan de hoeveelheid neerslag levert in ieder geval geen oppervlakkige afstroming op. Het omgekeerde is niet altijd het geval omdat er geen rekening mee is gehouden dat er 2 mm neerslag op het maaiveld geborgen wordt of dat er een (lokale) kwelcomponent aanwezig is die voor een extra toevoer kan zorgen.



**Figuur 6** Vergelijking van de uren met de meeste neerslag over de periode 1981-1987.

Bij een  $K_{sat}$  van 1,2 of 2,3 cm/dag komen er bij districts- en stationsneerslag op dagbasis uren voor waarin de neerslagintensiteit groter is en er dus kans op oppervlakkige afstroming is. Bij de uurneerslag zijn er meer uren waarin de neerslaghoeveelheid groter is dan  $K_{sat}$ . Het verschil tussen beide is ook groter, waardoor de kans op (forse) oppervlakkige afstroming ook toeneemt.



**Figuur 7** Vergelijking van de uren met de meeste neerslag over de periode 1981-1987 en de  $K_{sat}$  van een aantal STONE-plots.

De SWAP-modellen van de dertien STONE-plots zijn doorgerekend voor de periode 1971-2000 met de neerslaggegevens die verder worden verder aangeduid als, 'uur', 'dag' en 'district':

- District: Neerslaggegevens op dagbasis die gelden voor één van de vijftien meteo-districten die het KNMI onderscheidt. Deze gegevens worden standaard gebruikt.
- Dag: Neerslaggegevens op dagbasis. Om een goede vergelijking te kunnen maken met de gegevens op uurbasis zijn de urengegevens gesommeerd tot dagwaarden.
- Uur: Gemeten neerslag op uurbasis. Op zes neerslagstations wordt vanaf 1971 de neerslag op uurbasis waargenomen. Voor de plots zijn stations gekozen die er het beste bij passen (afstand, weerzones).

De andere meteorologische gegevens als referentieverdamping en temperatuur zijn per plot allemaal gelijk aan de oorspronkelijk invoergegevens. Bij alle plots treedt er oppervlakkige afstroming op als er meer dan 2 mm water op het maaiveld staat.

**Tabel 2**

*Gemiddelde oppervlakkige afstroming en drainage met neerslag op dagbasis van meteo-districten (district) en neerslagstations (dag) en op uurbasis van neerslagstations.*

Plot	landgebruik	bodem	Gt	grwst (cm) op 31 dec.	gem. runoff (mm/jr)			gem. drainage (mm/jr)			Ksat (cm/dag)
					district	dag	uur	district	dag	uur	
377	bouwland	klei	VI	95	3	2	9	396	390	385	15.5
421	natuur	zand	III	35	3	2	8	513	507	505	13.4
1632	mais	zand	IV	65	3	2	3	924	938	941	17.8
2010	natuur	laagveen	?	25	22	30	52	359	354	335	6.7
2093	grasland	klei	?	95	5	6	23	555	519	505	2.3
2426	grasland	zand	VII	85	3	1	2	97	106	107	9.7
2693	bouwland	klei	IV	90	1	1	9	871	883	877	15.5
3055	natuur	zand	VIII	200	2	1	1	14	9	9	17.5
3740	grasland	zand	III	45	2	2	9	560	560	556	17.8
4325	grasland	laagveen	?	25	22	31	55	326	335	312	6.7
4355	mais	klei	?	130	34	48	94	130	150	103	1.2
5420	mais	zand	VII*	175	1	0	1	6	54	58	9.7
6273	bouwland	zand	IV	75	1	0	2	511	601	606	9.7

In tabel 2 staan de gemiddelde oppervlakkige afstroming en drainage over de hele rekenperiode (1971-2000) en in Bijlage 1 staan figuren met de uitkomsten per jaar. Naast de oppervlakkige afstroming is ook de drainageflux gegeven omdat bij een grotere oppervlakkige afstroming de



drainageflux afneemt omdat er minder water in de bodem infiltreert. Voor de belasting van het oppervlaktewater met N en P kan de impact van een grotere oppervlakkige afstroming daardoor minder groot zijn als de uitspoeling via drainage afneemt. Per plot zijn ook het landgebruik, grondsoort en grondwatertrap vermeld evenals de (berekende) gemiddelde grondwaterstand in de winter en de verzadigde doorlatendheid van de toplaag. Bij een erg hoge grondwaterstand en een kleine doorlatendheid zal eerder oppervlakkige afstroming optreden.

Uit de resultaten blijkt dat landgebruik geen invloed heeft op de oppervlakkige afstroming en drainage. Ook wanneer de bovengrond uit zand bestaat treedt er geen of nauwelijks oppervlakkige afstroming op. Er treedt met zand alleen (bescheiden) oppervlakkige afstroming op met neerslag op uurbasis en een hoge grondwaterstand (plot 421 en 3740). In de andere gevallen is de oppervlakkige afstroming een gevolg van incidenten; relatief veel op een enkele dag en dan weer jaren niet. Opmerkelijk is dat dergelijke incidenten voor 'district', 'dag' (en 'uur') niet altijd op dezelfde dag plaatsvinden.

Ook bij kleigronden met een grote  $K_{sat}$  (plot 377 en 2693) treedt alleen enige oppervlakkige afstroming op bij gebruik van neerslag op uurbasis. Bij laagveen en bij klei met een lage doorlatendheid treedt bij zowel 'district', 'dag' als 'uur' regelmatig oppervlakkige afstroming op. Een toename van de oppervlakkige afstroming gaat dan samen met een (min of meer vergelijkbare) afname van de drainageflux. De grootste oppervlakkige afstroming treedt op bij de kleinste  $K_{sat}$  (1,2 cm/dag). De oppervlakkige afstroming wordt daar niet beïnvloed door de grondwaterstand.

Bij een jaarlijkse oppervlakkige afstroming die pakweg groter is dan 10 mm zijn er grote verschillen tussen 'district', 'dag' en 'uur'. Met uurneerslag wordt 2,5x zoveel oppervlakkige afstroming berekend dan met districtsneerslag.

### Relatie met de grondwaterstand

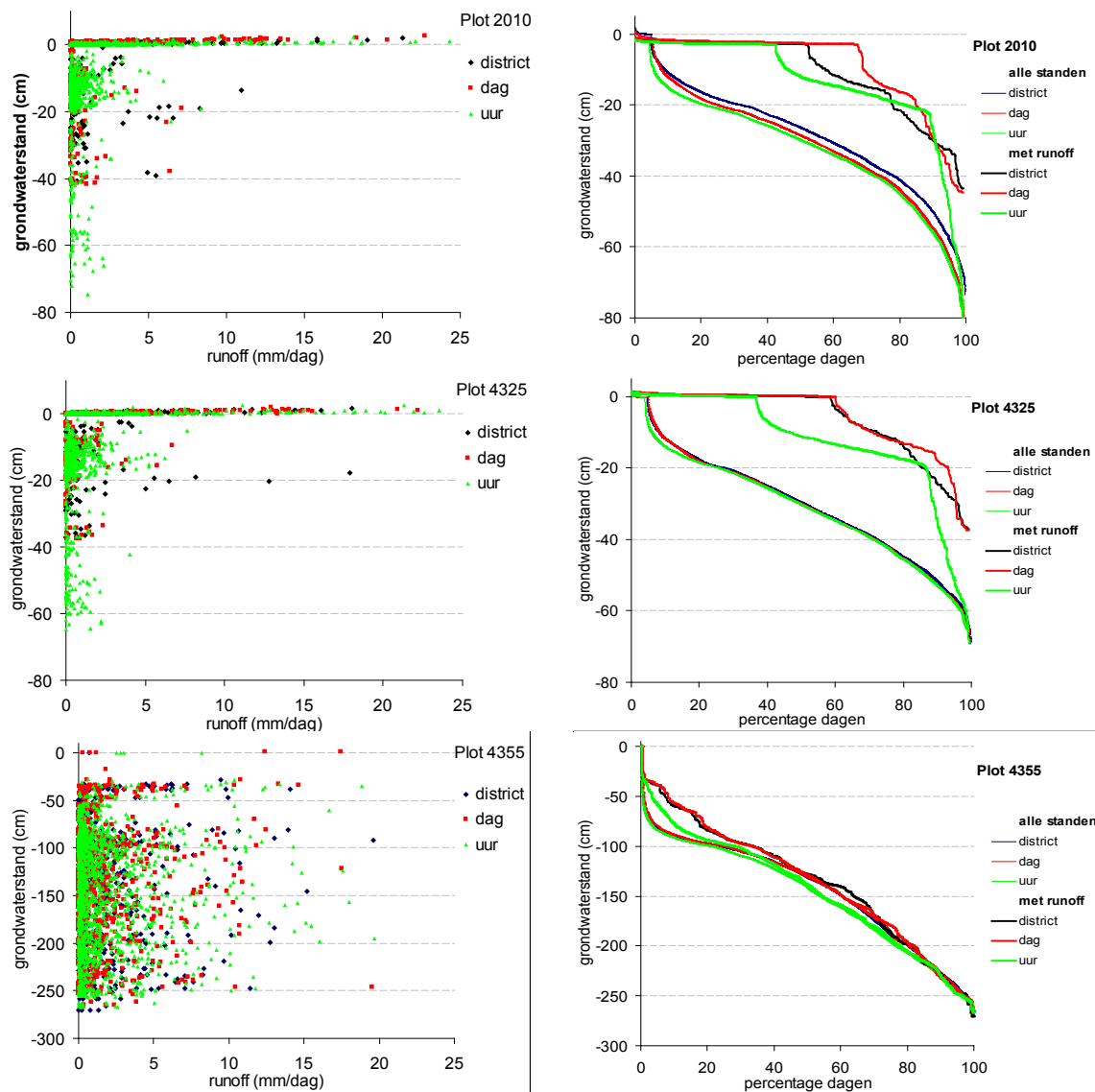
Voor de drie plots waar de meeste oppervlakkige afstroming optreedt, 2010, 4325 en 4355, is nagegaan in hoeverre de oppervlakkige afstroming gerelateerd is aan hoge grondwaterstanden. De plots 2010 en 4325 hebben beide een grondwatertrap II/III. Bij deze Gt's komen geregeld grondwaterstanden tot in het maaiveld voor. Plot 4355 heeft een Gt VI/VII. In de regel komen daar geen hoge grondwaterstanden voor. In de linkerkolom van Figuur 8 staan voor de rekenperiode van 30 jaar (1971-2000) de grondwaterstanden uitgezet tegen de runoff. In de rechterhelft staan procentuele overschijdingduurlijnen van alle grondwaterstanden uit de rekenperiodes en van alleen de grondwaterstanden waarbij runoff optreedt. Dit is gedaan voor neerslag 'district', 'dag' en 'uur'. Wanneer de lijnen samenvallen, treedt er bij alle grondwaterstanden runoff op. Dat is hier bij de derde plot, 4355, het geval. Bij deze 'droge' plot treedt de runoff slechts een incidentele keer op als de grondwaterstand hoog is.

Tabel 3

*Gemiddelde aantal dagen per jaar met runoff voor twee natte plots (2010 en 4325) en een droge plot (4355) en het aantal dagen per jaar waarbij het bodemprofiel verzadigd is.*

Plot	District		Dag		Uur	
	Totaal	grwst $\geq$ 0 cm	Totaal	grwst $\geq$ 0 cm	Totaal	grwst $\geq$ 0 cm
2010	9,4	5,0	12,0	8,2	32,9	14,3
4325	9,3	5,5	10,7	6,5	35,4	13,3
4355	20,2	0,03	27,1	0,2	53,0	0,1

Bij de natte plots 2010 en 4325 treedt runoff op zowel bij verzadiging, maar ook bij (wat) diepere grondwaterstanden. Met districts- en dagneerslag is dat bij beide plots bij meer dan de helft van de dagen waarop runoff optreedt het geval (Tabel 3). Bij uurneerslag is het aantal dagen met runoff fors groter. Het bodemprofiel is dan bij minder dan helft van het aantal dagen verzadigd. Bij 'district' en 'dag' worden intensive buien over een etmaal uitgesmeerd maar bij 'uur' leiden intensieve buien tot (korte) perioden met runoff, ook bij diepere grondwaterstanden.



**Figuur 8** Runoff van de plots 2010, 4325 en 4355 uitgezet tegen de grondwaterstand (links) en de duurlijnen van alle grondwaterstanden en van alleen de grondwaterstanden met runoff (rechts).

## 2.2 Verzadigde doorlatendheid van de toplaag

Voor de bodemopbouw van de STONE-plots zijn de bodemfysische gegevens van de standaardgronden uit de Staringreeks gebruikt. Voor de toplaag kan dat betekenen dat de eigenschappen te gunstig zijn omdat geen rekening wordt gehouden met bij voorbeeld verslamping of vertrappingseffecten. Daarom zijn de dertien STONE-plots doorgerekend met een kleinere  $K_{sat}$  van de toplaag. Als aangepaste  $K_{sat}$  is de doorlatendheid gekozen die oorspronkelijk bij een drukhoogte van  $-1$  cm ( $pF=0$ ) optreedt. Om enerzijds een vloeiende  $k-h$ -relatie te krijgen en anderzijds de  $pF$ -curve zo min mogelijk aan te tasten zijn de bodemfysische parameters van de toplaag opnieuw vastgesteld.

Bij de meeste bouwstenen moesten alle parameters behalve  $\theta_{sat}$  worden aangepast (Bijlage 2). Afhankelijk van het verschil tussen de oude en nieuwe  $K_{sat}$  waren de aanpassingen ingrijpender. Dat betrof vooral de kleigronden, B11 en B12 van een  $K(h)$  vanaf  $h = -10$  cm en lager<sup>1</sup>. In Tabel 4 staan de oorspronkelijke en aangepaste  $K_{sat}$ 's. Bij de kleigronden neemt de  $K_{sat}$  met meeste af.

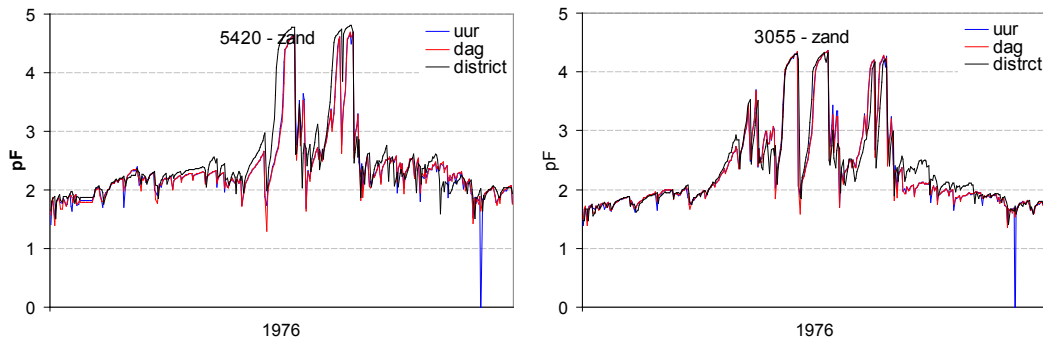
<sup>1</sup> Vaak wordt als nadeel van de Van Genuchten-curven genoemd dat de gefitte  $K_{sat}$ 's veel te laag zijn t.o.v. de gemeten doorlatendheid (pers. mededeling R. Hendriks). Hier speelt waarschijnlijk de invloed van macroporiën een rol, zeker bij gronden met een fijnere textuur.

Tabel 4

Aanpassing van  $K_{sat}$  van alle bouwstenen uit de Staringreeks die als toplaag in de STONE-plots voorkomen.

Nr	Staringreeks		STONEPLOT	Ksat (cm/dag)		Ratio oorspr/aangep.
	omschrijving			oorspr.	nieuw	
B01	bovengrond	zand, leemarm fijn	3055	17,46	12,50	0,72
B02	bovengrond	zand, zwak lemig fijn	2426,5420,6273	9,65	7,37	0,76
B03	bovengrond	zand, lemig fijn	1632,3740	17,80	12,06	0,68
B08	bovengrond	zavel, matig licht	2093	2,25	1,21	0,54
B10	bovengrond	klei, licht	4355	1,17	0,47	0,40
B11	bovengrond	klei, matig zwaar		5,26	0,61	0,12
B12	bovengrond	lei, zwaar	2693,377	15,46	0,73	0,05
B16	bovengrond	veen + zandig veen	421	13,44	7,53	0,56
B18	bovengrond	veen. Kleiig	2010,4325	6,67	1,38	0,21
O01	ondergrond	zand, leemarm fijn		13,21	12,87	0,97
O15	ondergrond	leem, siltig		3,70	2,20	0,59

De aanpassing van  $K_{sat}$  en de bodemfysische parameters van de toplaag beïnvloeden de doorlatendheid onder erg droge omstandigheden niet of nauwelijks, maar de gevolgen voor de vocht-karakteristiek kunnen in het traject  $pF > 4,2$  ingrijpend zijn (persoonlijke mededeling Rob Hendriks). De vraag is echter of dergelijke drukhoogtes regelmatig voorkomen en wat de effecten dan zijn. Figuur 9 geeft het antwoord voor de droogste zandgrond en de zwaarste kleigrond uit de serie van dertien STONE-plots. Van beide plots is de drukhoogte voor de ondiepste laag (0-1 cm) voor het droogste jaar uit de rekenperiode (1976) uitgezet voor 'uur', 'dag' en 'district'<sup>2</sup>. De drukhoogte van de zandgrond komt gedurende twee perioden wel boven de  $pF 4,2$ , maar er zijn dan geen noemenswaardige verschillen met de drukhoogte die met de oorspronkelijke  $K_{sat}$  en bodemfysische parameters van de toplaag berekend zijn. Bij de kleigrond komt de drukhoogte niet boven de  $pF 4,0$ . De conclusie is dan ook dat de aanpassingen geen invloed hebben op de onder erg droge omstandigheden drukhoogte.



**Figuur 9** Drukhoogteverloop in 1976 op 0,5 cm diepte op 2 droge STONE-plots.

De STONE-plots zijn vervolgens met de nieuwe bodemfysische parameters van de toplaag doorge-rekend. De oppervlakkige afstroming en drainage staan in Tabel 5 en de verschillen met de oorspronkelijk uitkomsten (Tabel 2) staan in Tabel 6.

<sup>2</sup> De opvallendste verschillen tussen neerslag volgens 'uur', 'dag' en 'district' zijn de snelle toename van de drukhoogte (afname  $pF$ ) die soms bij 'uur' optreedt als er intensieve bui valt. In nattere jaren is dat overigens vaker het geval dan in 1976. 'District' heeft hier in droge perioden de kleinste drukhoogte, maar dat is niet altijd het geval. 1975 bijvoorbeeld laat een omgekeerd beeld zien, daar is de drukhoogte van 'uur' en 'dag' dan regelmatig lager dan bij 'district'.

Tabel 5

Met aangepaste  $K_{sat}$  berekende gemiddelde runoff en drainage met neerslag die op dagbasis per meteo-district (district) en neerslagstation (dag) en op uurbasis per neerslagstation (uur) is ingevoerd.

Plot	landgebruik	bodem	Gt	grwst (cm) op 31 dec.	runoff (mm/jr)			drainage (mm/jr)			Ksat (cm/dag)
					district	dag	uur	district	dag	uur	
377	bouwland	klei	VI	95	69	82	126	321	304	258	0.7
421	natuur	zand	III	35	3	2	9	512	507	504	7.5
1632	mais	zand	IV	65	3	2	3	924	938	941	12.1
2010	natuur	laagveen	?	25	42	59	100	335	321	280	1.4
2093	grasland	klei	?	95	15	17	39	545	508	489	1.2
2426	grasland	zand	VII	85	3	1	2	97	106	107	7.4
2693	bouwland	klei	IV	90	72	92	138	790	782	736	0.7
3055	natuur	zand	VIII	200	2	1	1	14	9	9	12.5
3740	grasland	zand	III	45	3	2	10	573	560	556	12.1
4325	grasland	laagveen	?	25	38	53	96	308	311	269	1.4
4355	mais	klei	?	130	99	129	162	59	63	29	0.5
5420	mais	zand	VII*	175	1	0	1	6	54	58	7.4
6273	bouwland	zand	IV	75	1	0	2	511	601	605	7.4

De oppervlakkige afstroming van de plots waar al een forse oppervlakkige afstroming optrad neemt met de aangepaste  $K_{sat}$  sterk toe. Het gaat om de plots 4355, 2010, 4325 en 2093 (met bovengronden B08, B10 of B18 van de Staringreeks). Met de kleinere  $K_{sat}$  neemt de oppervlakkige afstroming toe met een factor 2 à 3. Bij de beide plots met zware klei (377 en 2693, Staringbodem B12) was oorspronkelijk nauwelijks sprake van oppervlakkige afstroming, maar met de aangepaste  $K_{sat}$  is de oppervlakkige afstroming het grootst. De aanpassing heeft geen invloed gehad op de oppervlakkige afstroming en drainage van de zandgronden.

Tabel 6

Toename van de oppervlakkige afstroming en afname van de drainage (uitkomsten Tabel 2 minus Tabel 5) door aanpassing van  $K_{sat}$ .

Plot	landgebruik	bodem	Gt	grwst (cm) op 31 dec.	runoff (mm/jr)			drainage (mm/jr)		
					district	dag	uur	district	dag	uur
377	bouwland	klei	VI	95	66	80	117	-75	-86	-126
421	natuur	zand	III	35	0	0	1	-1	-1	-1
1632	mais	zand	IV	65	0	0	0	0	0	-1
2010	natuur	laagveen	?	25	20	29	48	-24	-34	-55
2093	grasland	klei	?	95	10	10	14	-10	-11	-14
2426	grasland	zand	VII	85	0	0	0	0	0	0
2693	bouwland	klei	IV	90	71	91	129	-80	-101	-141
3055	natuur	zand	VIII	200	0	0	0	0	1	0
3740	grasland	zand	III	45	0	0	1	0	0	0
4325	grasland	laagveen	?	25	16	22	41	-18	-24	-43
4355	mais	klei	?	130	65	81	68	-71	-87	-74
5420	mais	zand	VII*	175	0	0	0	0	0	0
6273	bouwland	zand	IV	75	0	0	1	0	0	-1

---

## 2.3 Maaiveldberging

In SWAP wordt de maaiveldberging berekend met de volgende machtsfunctie:

$$\text{Surface runoff} = \frac{1}{\text{RSO}} (\text{dikte waterlaag t.o.v. ponding layer})^{\text{RSOexp}}$$

Met: RSO = weerstand (dagen<sup>-1</sup>)  
RSOexp = exponent (-)

De ponding layer is een maat voor de maximale berging op het maaiveld. De STONE-plots worden standaard doorgerekend met een dikte van 2 mm. Voor RSO en RSOexp, die de snelheid regelen waarmee het surplus boven de ponding layer wordt afgevoerd, worden standaard waarden van respectievelijk 0,5 en 1,0 toegepast. Bij de analyse van de gevoeligheid van de verschillende parameters is eerst gekeken naar het effect van de dikte van ponding layer en vervolgens naar de gevoeligheid van RSO en RSOexp.

Als de ponding layer kleiner is dan de standaard waarde van 2 mm zal de oppervlakkige afstroming in principe toenemen omdat er minder water de kans krijgt in de bodem te infiltreren. Bij een dikkere ponding layer gebeurt het omgekeerde. Er wordt dan meer water op het maaiveld geborgen waardoor de infiltratie toe- en de oppervlakkige afstroming afneemt. Alle dertien STONE-plots zijn doorgerekend met ponding layers die variëren van 0 tot 10 mm. Met een ponding layer van 0 mm treedt geen plasvorming op. Er treedt dan direct oppervlakkige afstroming op als de infiltratiecapaciteit kleiner is dan de neerslagintensiteit. De STONE-plots zijn doorgerekend met neerslag op dagbasis ('dag' en 'district') en neerslag op uurbasis ('uur'). De uitkomsten van de gemiddelde oppervlakkige afstroming en de gemiddelde drainage staan in Tabel 7. De oppervlakkige afstroming van de plots met de meeste afstroming staan in de figuren 10 en 11. De berekeningen zijn uitgevoerd met de oorspronkelijke  $K_{\text{sat}}$  en bodemfysische eigenschappen van de toplaag en met de kleinere  $K_{\text{sat}}$  en aangepaste eigenschappen zoals die in hoofdstuk 2.2 zijn beschreven.

De verschillen tussen de runoff met neerslag volgens 'district', 'dag' en 'uur' zijn voor een ponding layer van 2 mm eerder in hoofdstuk 2.1 ter sprake gekomen. Ook bij de kleinere diktes voor ponding layer zijn de verschillen evident. Met de oorspronkelijke  $K_{\text{sat}}$  van de toplaag en een afname van de ponding layer van 2 naar 1 mm neemt bij klei en laagveen de oppervlakkige afstroming toe met een factor 1,2. Bij een afname van 2 naar 0 mm neemt de oppervlakkige afstroming met een factor 1,5 toe. Beide factoren zijn globale gemiddelden. Naarmate de ponding later dikker is neemt de runoff af en worden de verschillen tussen district-, dag- en urneerslag steeds kleiner. Bij zand en laagveen halveert de runoff bij een toename van de ponding layer van 2 naar 5 mm. Bij klei is de afname met een derde iets kleiner. De aanpassing van de dikte van de ponding layer heeft niet of nauwelijks invloed op de oppervlakkige afstroming en drainage van de zandgronden omdat die toch al klein zijn.

De gevoeligheid van de runoff voor RSO en RSOexp is onderzocht voor twee plots waar regelmatig runoff optreedt, dit zijn plot 2010 (laagveen, natuur) en plot 4355 (klei, maïs). In Figuur 12 staat voor beide plots het effect op de runoff voor 'district' en 'uur' neerslag. Neerslag als 'dag' is vanwege de overzichtelijkheid niet afgebeeld. De lijnen hiervoor liggen tussen die van district en uur in. Figuur 12 laat zien dat een kleinere RSO (de weerstand wordt dan groter) en een kleinere RSOexp (de afvoersnelheid is dan kleiner) ervoor zorgen dat er minder snel water als runoff wordt afgevoerd waardoor er meer water in de bodem kan infiltreren. De runoff wordt daardoor kleiner. Voor de oorspronkelijke districtsneerslag zijn de gevolgen van een andere RSO en RSOexp klein omdat de neerslag gelijkmatig over een dag verdeeld wordt. Bij urneerslag zijn de effecten groter. Een afname van de RSO van 0,5 naar 0,1 of een toename van RSOexp van 1,0 naar 2,0 leidt tot bijna een verdubbeling van de runoff.

Tabel 7a

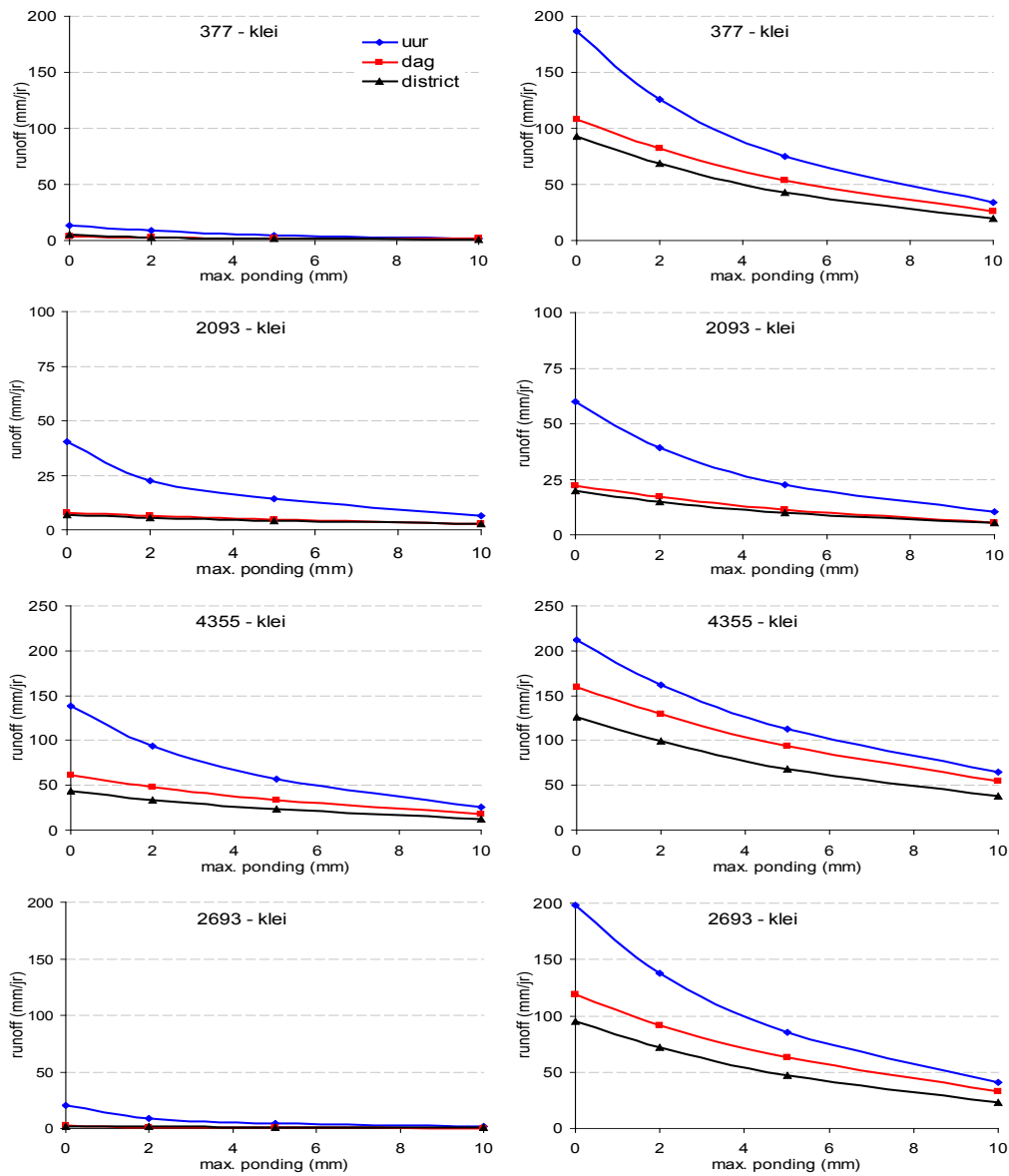
Gemiddelde oppervlakkige afstroming en gemiddelde drainage met verschillende diktes van de ponding layer en met neerslag op dagbasis per meteo-district (district) en per neerslagstation (dag) en op uurbasis per neerslagstation (uur), bij gebruik van oorspronkelijke  $K_{sat}$  en bodemfysische eigenschappen.

Plot	landgebruik	bodem	Gt	Ponding max. (mm)	gem. runoff (mm/jr)			gem. drainage (mm/jr)		
					district	dag	uur	district	dag	uur
377	bouwland	klei	VI	10	1	1	2	394	387	388
				2	3	2	9	396	390	385
				0	5	4	13	402	396	383
421	natuur	zand	III	10	1	1	1	515	509	512
				2	3	2	8	513	507	505
				0	5	3	15	511	506	498
1632	mais	zand	IV	10	1	1	1	925	939	942
				2	3	2	3	924	938	941
				0	5	2	5	923	938	939
2426	grasland	zand	VII	10	1	1	1	97	106	108
				2	3	1	2	97	106	107
				0	5	2	4	94	105	106
3055	natuur	zand	VIII	10	2	1	1	14	9	7
				2	2	1	1	14	9	7
				0	2	1	2	1	1	6
3740	grasland	zand	III	10	0	0	2	561	561	563
				2	2	2	9	560	560	556
				0	3	3	15	559	559	550
4355	mais	klei	?	10	12	18	26	152	181	171
				2	34	48	94	130	150	103
				0	44	62	138	124	139	61
6273	bouwland	zand	IV	10	0	0	1	511	602	605
				2	1	0	2	511	601	605
				0	2	1	3	511	600	604
2010	natuur	laagveen	?	10	7	10	14	375	374	373
				2	22	30	52	359	354	334
				0	32	40	77	350	344	308
2693	bouwland	klei	IV	10	0	0	2	869	879	880
				2	1	1	9	871	883	877
				0	2	2	20	878	889	870
4325	grasland	laagveen	?	10	7	13	17	341	352	351
				2	22	31	55	325.8	335	312
				0	31	40	81	319	327	287
2093	grasland	klei	?	10	3	3	6	558	523	523
				2	5	6	23	555	519	505
				0	7	8	41	553	518	489
5420	mais	zand	VII*	10	0	0	0	6	54	59
				2	1	0	1	6	54	58
				0	2	1	2	6	54	57

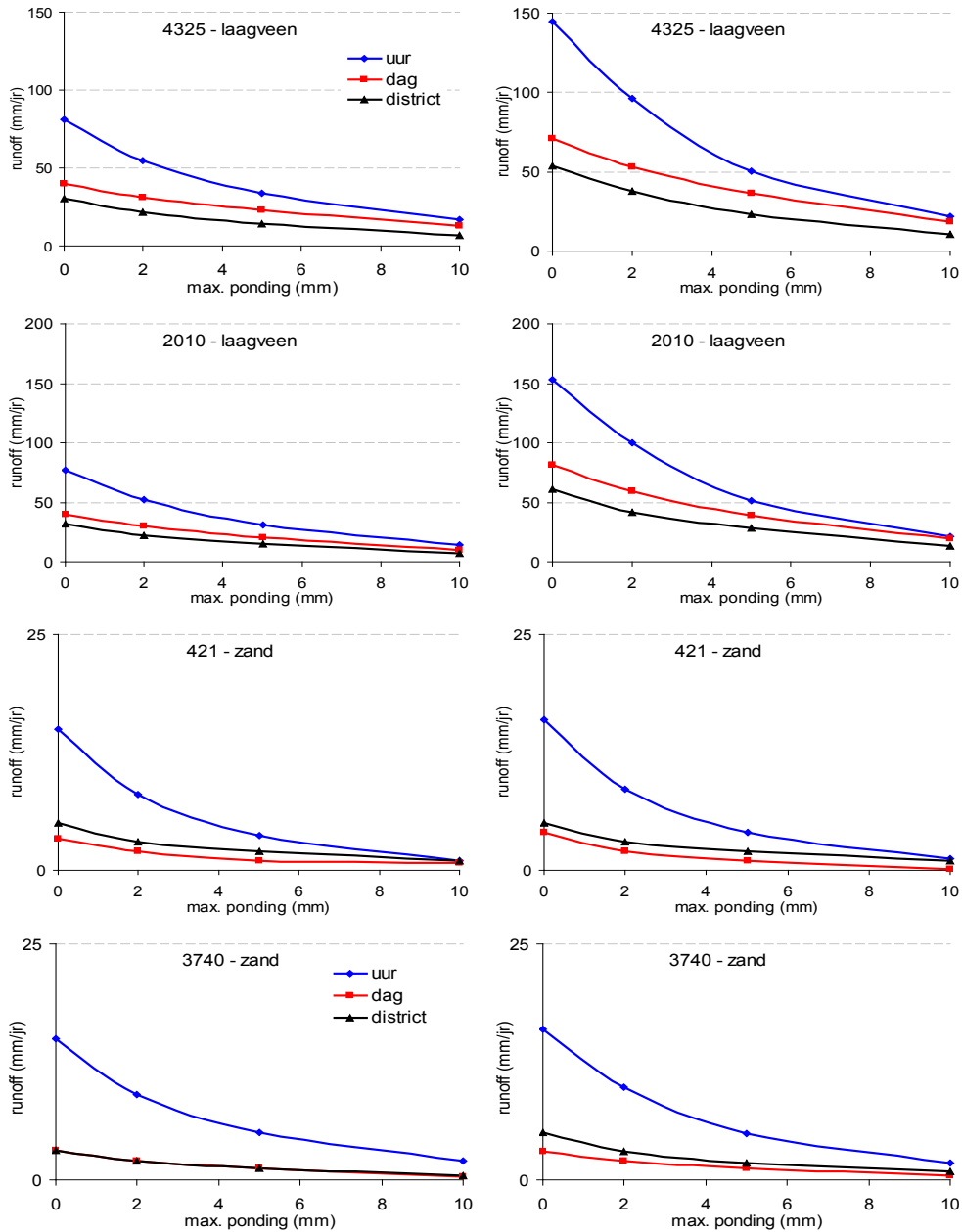
Tabel 7b

Gemiddelde oppervlakkige afstroming en gemiddelde drainage met verschillende diktes van de ponding layer en met neerslag op dagbasis per meteo-district (district) en per neerslagstation (dag) en op uurbasis per neerslagstation (uur), bij gebruik aangepaste  $K_{sat}$  en bodemfysische eigenschappen volgens hoofdstuk 2.2.

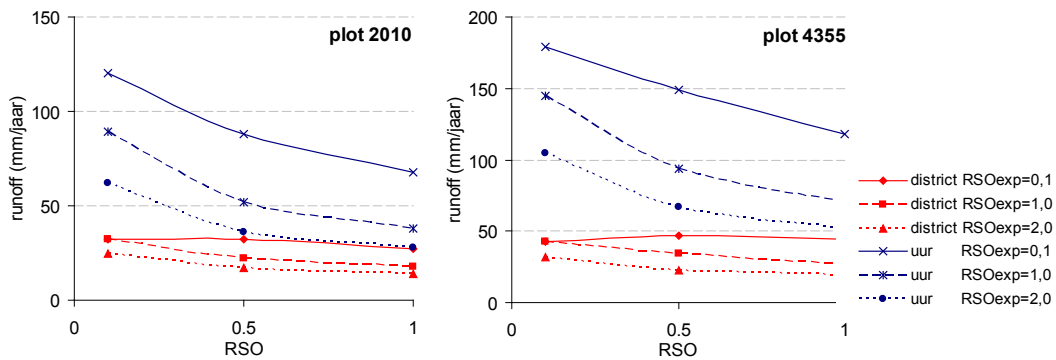
Plot	landgebruik	bodem	Gt	Ponding max. (mm)	gem. runoff (mm/jr)			gem. drainage (mm/jr)		
					district	dag	uur	district	dag	uur
377	bouwland	klei	VI	10	20	26	34	369	359	352
				2	69	82	126	321	304	258
				0	93	108	187	301	282	199
421	natuur	zand	III	10	1	0	1	515	509	510
				2	3	2	9	512	507	503
				0	5	4	16	511	506	497
1632	mais	zand	IV	10	1	1	1	925	939	942
				2	3	2	3	924	938	941
				0	5	2	5	923	938	939
2426	grasland	zand	VII	10	1	1	1	97	106	108
				2	3	1	2	97	106	107
				0	5	2	4	94	105	106
3055	natuur	zand	VIII	10	2	1	1	14	9	7
				2	2	1	1	14	9	7
				0	2	1	2	1	1	6
3740	grasland	zand	III	10	1	0	2	575	562	563
				2	3	2	10	573	560	556
				0	5	3	16	571	559	549
4355	mais	klei	?	10	38	55	65	122	139	124
				2	99	129	162	59	63	29
				0	126	160	212	34	34	-17
6273	bouwland	zand	IV	10	0	0	1	511	602	605
				2	1	0	2	511	601	605
				0	2	1	3	511	600	604
2010	natuur	laagveen	?	10	14	19	21	364	362	324
				2	42	59	100	335	321	280
				0	61	81	153	318	300	225
2693	bouwland	klei	IV	10	23.1	33.1	41.2	841	841	834
				2	72	92	138	790	782	736
				0	95	119	198	772	759	679
4325	grasland	laagveen	?	10	11	19	22	335	346	336
				2	38	53	96	308	311	269
				0	54	71	145	194	195	221
2093	grasland	klei	?	10	5	5	11	555	519	517
				2	15	17	39	545	508	489
				0	20	22	60	540	503	468
5420	mais	zand	VII*	10	0	0	0	6	54	59
				2	1	0	1	6	54	58
				0	2	1	2	6	54	57



**Figuur 10** Verband tussen de dikte van de ponding layer en de oppervlakkige afstroming (runoff) voor STONE-plots met een kleibodem met de oorspronkelijke (linker kolom) en met aangepaste  $K_{sat}$  (rechter kolom) en bodemfysische eigenschappen van de toplaag.



**Figuur 11** Verband tussen de dikte van de ponding layer en de oppervlakkige afstroming (runoff) voor STONE-plots met een laagveen- of zandbodem met de oorspronkelijke en met aangepaste  $K_{sat}$  en bodemfysische eigenschappen van de toplaag.



**Figuur 12** Het effect en RSO en RSOexp op de runoff voor 'district' en 'uur' neerslag voor twee plots met een substantiële runoff.



## 2.4 Gevoeligheid van N- en P-vrachten voor oppervlakkige afstroming

Bij een toename van de oppervlakkige afstroming komt er via die weg meer stikstof (N) en fosfor (P) in het oppervlaktewater terecht. Omdat een toename van de afstroming gepaard gaat met een afname van de drainage kan de netto belasting van het oppervlaktewater met N en P anders uitpakken. Om daar achter te komen zijn zes STONE-plots doorgerekend waarvan bij zeker één van de scenario's een substantiële oppervlakkige afstroming optreedt. Daaraan zijn twee plots met zand (met een bescheiden afstroming) toegevoegd om het scala aan grondsoorten te verbreden (Tabel 7).

Tabel 7

*STONE-plots waarvoor ANIMO-berekeningen zijn uitgevoerd.*

Plotnummer	bodem	landgebruik
377	klei	gras
421	zand	natuur
2010	laagveen	natuur
2093	klei	gras
2693	klei	bouwland
3740	zand	gras
4325	laagveen	gras
4355	klei	mais

Elk van de in totaal acht STONE-plots zijn met ANIMO doorgerekend met:

- 1a) Oorspronkelijke  $K_{sat}$  en bodemfysische parameters van de toplaag en dagwaarden voor de neerslag;
- 1b) Oorspronkelijke  $K_{sat}$  en bodemfysische parameters van de toplaag en uurwaarden voor de neerslag;
- 2) Kleinere  $K_{sat}$  en aangepaste bodemfysische parameters van de toplaag en uurwaarden voor de neerslag.

De berekende balanst termen van water, N en P die verantwoordelijk zijn voor de belasting van het oppervlaktewater zijn opgenomen in Tabel 8. Voor water zijn oppervlakkige afstroming en drainage gesplitst, zodat gelijk de verschuivingen tussen beide en tussen de scenario's zichtbaar worden. Voor N en P is de som gegeven die als oppervlakkige afstroming (runoff) en drainage wordt afgevoerd. Voor N zijn organisch N,  $NH_4$  en  $NO_3$  samengevoegd en voor P organisch P en  $PO_4$ .

In Figuur 13 staan de drainage en oppervlakkige afstroming tegen elkaar uitgezet voor zowel de hoeveelheid water, stikstof (de som van organisch N,  $NH_4$  en  $NO_3$ ) en P (de som van organisch P en  $PO_4$ ). In Bijlage 3 staan de volledige water, N- en P-balansen van de plots. Alle getallen hebben betrekking op jaargemiddelden over de periode 1986 t/m 2000 (15 jaar).

De oppervlakkige afstroming is de som van surface runoff met de neerslagconcentratie (PR), de surface runoff met de concentratie van water in plassen op het maaiveld (L0) en de surface runoff met de concentratie van de bovenste bodemlaag (L1). De drainage is de som van grondwater dat in grote waterlopen (niveau 1), sloten (niveau 2) en greppels (niveau 3) uittreedt. In Figuur 13 (en Tabel 8) is de som gegeven. In Bijlage 3 staan de afzonderlijk bijdragen. De grootste bijdrage aan de oppervlakkige afstroming komt voor rekening van de runoff (Pr). Bij de drainage wordt het meeste grondwater door kleine sloten en greppels afgevangen.

De oppervlakkige afvoer neemt toe van dag - uur - nieuw<sup>3</sup>. Zoals eerder in dit hoofdstuk ter sprake is gekomen gaat een toename van de oppervlakkige afvoer gepaard met een ongeveer even grote

<sup>3</sup> Dag = oorspronkelijke  $K_{sat}$  en bodemfysische parameters van de toplaag en dagwaarden voor de neerslag.

Uur = oorspronkelijke  $K_{sat}$  en bodemfysische parameters van de toplaag en uurwaarden voor de neerslag.

Nieuw = kleinere  $K_{sat}$  en aangepaste bodemfysische parameters van de toplaag en uurwaarden voor de neerslag.

afname van de drainage, uitgezonderd de beide zandplots (421 en 3740) waar de toename van de oppervlakkige afvoer ongeveer 1,6x groter is dan de afname van de drainage. De betrouwbaarheid van deze factor is hier betrekkelijk omdat de oppervlakkige afstroming in alle gevallen erg klein is.

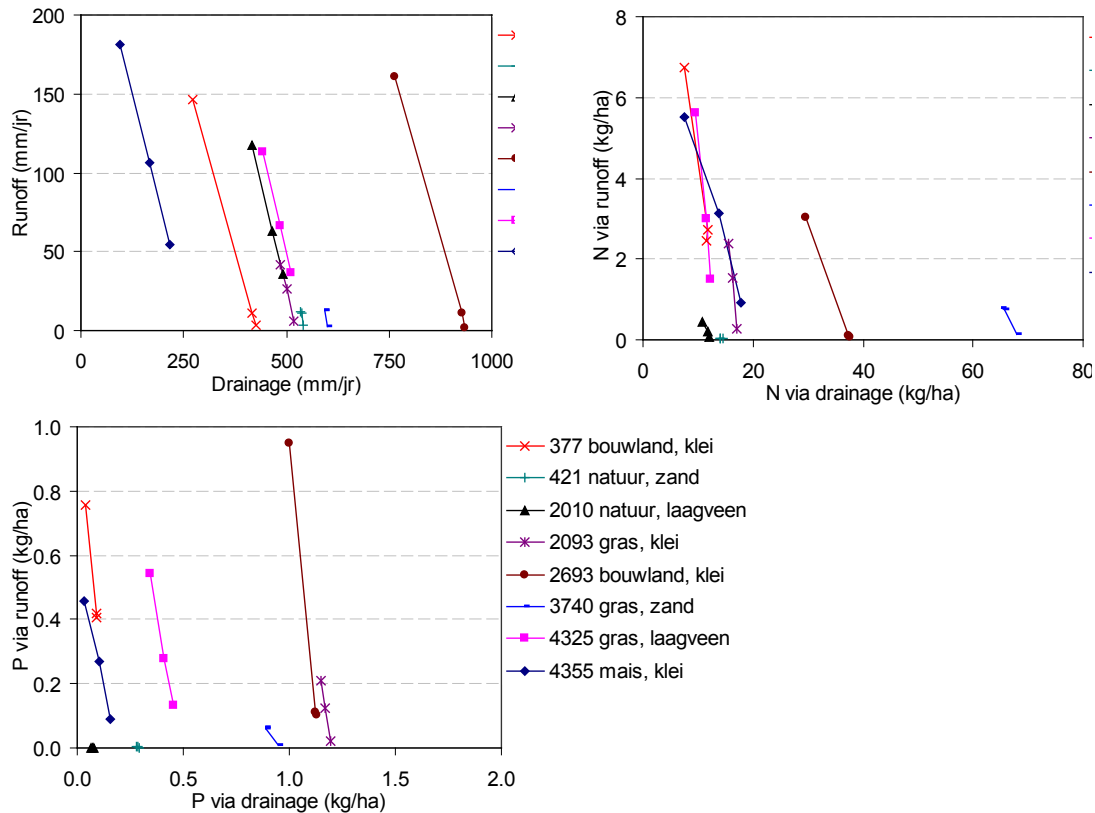
### Oppervlakkige afstroming en drainage van N

In Figuur 13 en Bijlage 3 valt op dat bij beide plots met natuur (2010 en 421) weinig of geen oppervlakkige afstroming van N plaatsvindt. Bij 4325 en 2093 (gras op laagveen en gras op klei) is de toename van N via oppervlakkige afstroming respectievelijk 1,3x en 1,4x groter dan de afname via drainage. Per saldo neemt de belasting van het oppervlaktewater hier dus toe als uurneerslag of een kleinere  $K_{sat}$  wordt gebruikt. De grondsoort van de andere grasplot (3740) is zand. Daar is de toename van N via oppervlakkige afstroming veel lager (0,2x) dan de afname via drainage. Ook bij bouwland op klei (4355 en 2693) is de toename van N via oppervlakkige afstroming lager dan de afname via drainage (beide 0,4x). Per saldo neemt de belasting van het oppervlaktewater met N af als de oppervlakkige afstroming toeneemt en de drainage afneemt. Bij de andere plot met bouwland op klei (377) zijn toename via runoff en afname via drainage even groot.

Tabel 8

*Oppervlakkige afstroming (runoff) en drainage en de N- en P-belasting door oppervlakkige afstroming + drainage van het oppervlaktewater bij dag- en uurwaarden voor neerslag en een kleinere doorlatendheid van de toplaag.*

	dag	uur	nieuw	uur tov dag (%)	nieuw tov uur (%)	nieuw tov dag (%)
<b>377 bouwland, klei</b>						
Runoff (Pr+L0+L1) (mm/jr)	3	11	147	365	1281	4681
Drainage (1+2+3) (mm/jr)	425	416	273	98	66	64
N (Runoff+drainage) (kg N/ha)	14.1	14.4	14.2	101	99	99
P (Runoff+drainage) (kg P/ha)	1.4	1.4	1.4	102	99	101
<b>421 natuur, zand</b>						
Runoff (Pr+L0+L1)	3	11	12	366	110	402
Drainage (1+2+3)	542	537	536	99	100	99
N (Runoff+drainage)	14.5	14.2	14.1	97	99	97
P (Runoff+drainage)	0.6	0.6	0.6	100	98	98
<b>2010 natuur, laagveen</b>						
Runoff (Pr+L0+L1)	36	63	118	173	188	326
Drainage (1+2+3)	491	466	415	95	89	85
N (Runoff+drainage)	12.2	11.9	11.2	98	93	91
P (Runoff+drainage)	0.46	0.45	0.40	97	89	87
<b>2093 gras, klei</b>						
Runoff (Pr+L0+L1)	6	26	42	437	158	692
Drainage (1+2+3)	518	500	484	97	97	94
N (Runoff+drainage)	17.3	17.8	17.8	103	100	103
P (Runoff+drainage)	4.3	4.3	4.3	100	99	99
<b>2693 bouwland, klei</b>						
Runoff (Pr+L0+L1)	1	11	161	750	1480	11091
Drainage (1+2+3)	933	928	763	99	82	82
N (Runoff+drainage)	3.5	3.3	3.1	94	95	89
P (Runoff+drainage)	37.8	37.4	32.6	99	87	86
<b>3740 gras, zand</b>						
Runoff (Pr+L0+L1)	3	12	13	430	104	446
Drainage (1+2+3)	599	593	592	99	100	99
N (Runoff+drainage)	68.1	66.4	65.9	98	99	97
P (Runoff+drainage)	1.9	1.8	1.8	97	98	95
<b>4355 mais, klei</b>						
Runoff (Pr+L0+L1)	55	106	182	194	171	331
Drainage (1+2+3)	216	168	95	78	56	44
N (Runoff+drainage)	18.7	16.9	13.0	90	77	70
P (Runoff+drainage)	0.4	0.5	0.5	123	113	138
<b>4325 gras, laagveen</b>						
Runoff (Pr+L0+L1)	37	66	113	180	172	310
Drainage (1+2+3)	513	485	441	95	91	86
N (Runoff+drainage)	13.9	14.6	15.2	105	104	109
P (Runoff+drainage)	2.2	2.3	2.2	101	97	98



**Figuur 13** Verband tussen de oppervlakkige afstroming (runoff) en drainage en de oppervlakkige afstroming en drainage van N en P van acht STONE-plots. Van de drie punten van op iedere lijn correspondeert het onderste punt met dagwaarden voor neerslag, het middelste punt met uurwaarden voor neerslag en het bovenste punt met kleinere  $K_{sat}$  en aangepaste van Genuchten en uurwaarden voor neerslag.

### Oppervlakkige afstroming en drainage van P

Resultaten in Bijlage 3 laten zien dat bij de plots 2010 en 421 (beide natuur) er geen afvoer van P naar het oppervlaktewater plaatsvindt. Bij de landbouwplots is de toename van het P-transport via oppervlakkige afstroming ongeveer gelijk aan de afname via drainage. In Figuur 13 is te zien dat de procentuele toename van P-transport via oppervlakkige afstroming veel groter is dan de procentuele afname van de P-afvoer via drains. Dit komt omdat in STONE het overgrote deel van het P-transport plaats vindt via drainage. De resultaten laten zien dat het gebruik van meer gedetailleerde neerslag en het gebruik van een aangepaste  $K_{sat}$  voor de toplaag effect hebben op het oppervlakkige P-transport, maar dat het moeilijk is om de daadwerkelijke omvang in te schatten, omdat in de uitgangssituatie de P-transporten berekend worden voor geïdealiseerde omstandigheden met een vlak maaiveld en uniform verdeelde fosfaatvoorraden.

## 2.5 Gevoeligheid van N- en P-vrachten voor runoff routes

In hoofdstuk 2.4 zijn de gevolgen besproken die een veranderingen in oppervlakkige afstroming en drainage hebben op de belasting van het oppervlaktewater met N en P. Telkens is uitgegaan van de standaardwaarden die de verdeling regelen van de oppervlakkige afstroming over:

1. Een aandeel van surface runoff met neerslagconcentratie (PR).
2. Een aandeel van surface runoff met concentratie van plassen op het maaiveld (L0).
3. Een aandeel van surface runoff met concentratie van de bovenste bodemlaag (L1).

De verdeling tussen PR, L0 en L1 wordt in ANIMO geregeld via twee parameters:

LEFRRV: het gedeelte van de oppervlakkige afstroming dat via de ponding layer in het oppervlaktewater terecht komt of in de eerste bodemlaag infiltreert (2+3).

---

LEFRSO: het gedeelte van de oppervlakkige afstroming uit de ponding layer dat de eerste bodemlaag passeert (3).

In formules:

$$PR = \text{RUNOFF} \times (1 - \text{LEFRRV})$$

$$LO = (\text{RUNOFF} - PR) \times (1 - \text{LEFRSO})$$

$$L1 = (\text{RUNOFF} - PR) \times (\text{LEFRSO})$$

Een combinatie met LEFRRV = 0,00 houdt dus in dat alle oppervlakkige afstroming uit PR bestaat. Bij LEFRRV = 1 gaat de oppervlakkige afstroming via de plassen op het maaiveld of door de eerste bodemlaag. Als in een tijdstap PR kleiner is dan de neerslag-interceptie wordt PR aangepast en wordt het restant toegekend aan L0 en L1.

Voor de selectie van acht STONE-plots is gekeken naar de gevoeligheid van de verdeling van de oppervlakkige afstroming over PR, L0 en L1 op de som van de oppervlakkige afstroming van N en P. Standaard in STONE is LEFRRV = 0,20 en LEFRSO = 0,25. Om de gevoeligheid te bepalen zijn de 7 STONE-plots doorgerekend met combinaties van:

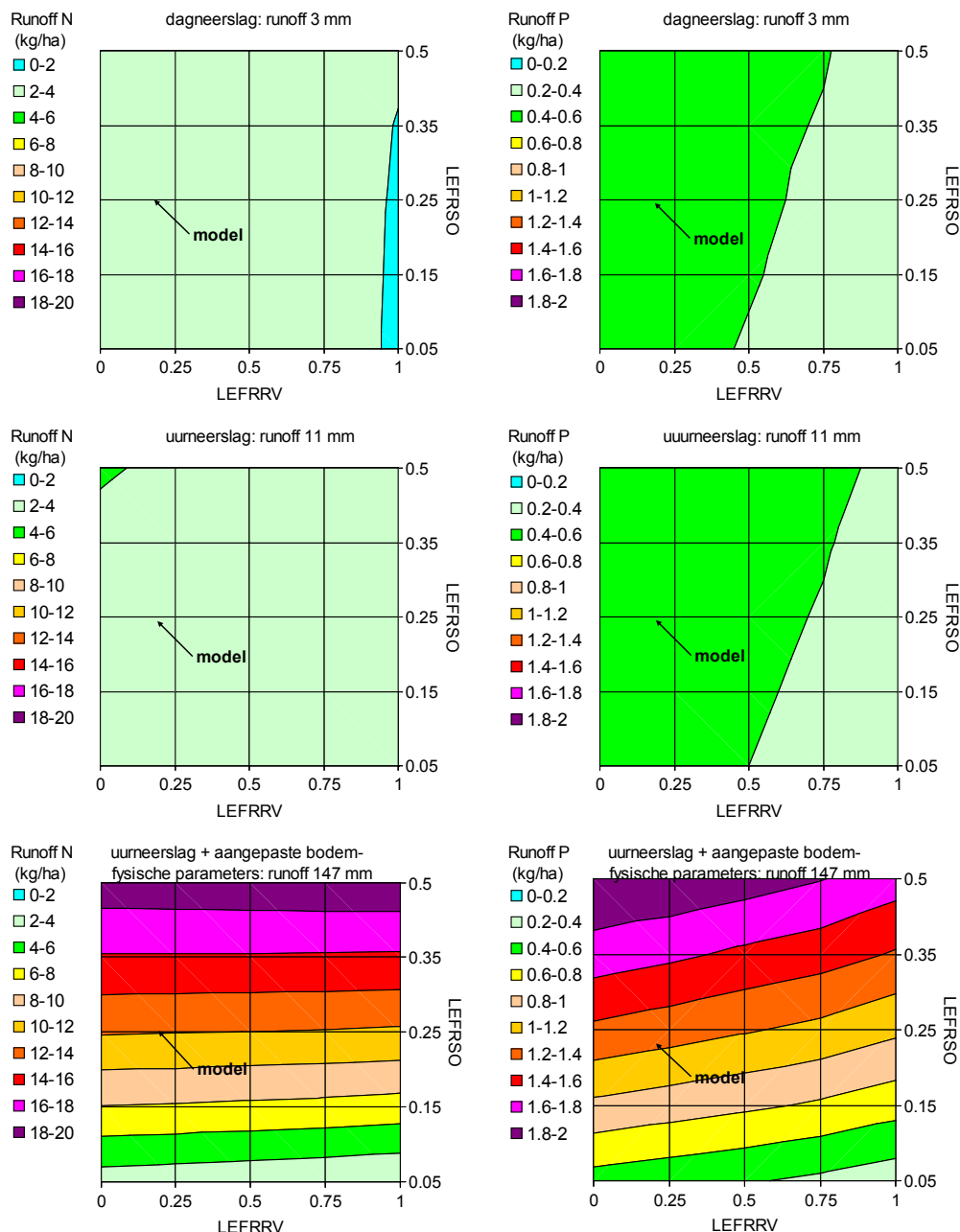
$$\text{LEFRRV} = 1,00 \ 0,75 \ 0,50 \ 0,25 \ 0,00 \ \text{en} \ \text{LEFRSO} = 0,50 \ 0,35 \ 0,25 \ 0,15 \ 0,05$$

De berekeningen zijn evenals in hoofdstuk 2.4 uitgevoerd met neerslag op dagbasis (standaard), op uurbasis en op uurbasis met een kleinere  $K_{\text{sat}}$  en aangepaste bodemfysische parameters van de top laag. De resultaten zijn per plot weergegeven in Bijlage 4 en voor plot 377 ook in Figuur 13. De verschillen zijn groot<sup>4</sup>. Dat komt vooral door de verschillen in oppervlakkige afvoer waarover in de hoofdstukken 2.1, 2.2 en 2.3 al is gerapporteerd.

De resultaten laten zien dat ook bij een kleine LEFRRV (er gaat dan weinig van de afstroming via L0 en L1) LEFRSO (de verhouding tussen L0 en L1) belangrijker is voor de afstroming van N en P. Bij een grote LEFRSO (er passeert dan relatief veel via de nutriëntenrijke bovenlaag) is de afstroming van N en P het grootst. Bij natuur op zand en laagveen maar ook bij maïs op klei heeft LEFRSO bij een kleine LEFRRV weinig invloed. Bij de (onbemeste) natuurplots valt dat te verwachten, maar niet bij de maïsplot. De oppervlakkige afstroming van P, die vaak een factor tien<sup>0</sup> kleiner is dan van N, laat per plot een vergelijkbare gevoeligheid voor de verdeling tussen LEFRRV en LEFRSO zien.

---

<sup>4</sup> Soms is de oppervlakkige afstroming vrijwel nihil en dit leidt tot een grillig verloop van de klasse-grenzen in de figuren.



**Figuur 13** Transport van N en P naar het oppervlaktewater met oppervlakkige afstroming in plot 377 (klei, gras) voor combinaties van LEFRRSO en LEFRRV en met neerslag op dagbasis (i), op uurbasis (ii) en op uurbasis met een kleinere  $K_{sat}$  aangepaste bodemfysische parameters van de toplaag (iii).

## 2.6 Consequenties voor STONE

Het transport van N en P met oppervlakkige afstroming in het STONE-model bedraagt 0,1% tot enkele tientallen procenten van de totale N- en P-afvoer naar het oppervlaktewater. Tabel 9a en 9b heeft voor verschillende gewas/bodemcombinaties per grondwatertrap het aandeel van het oppervlakkige transport in het totale transport. De cijfers zijn ontleend aan de STONE-berekeningen voor de studie naar de Toetsdiepte van Nitraat (Groenendijk *et al.*, 2009) en zijn berekend als gemiddelde voor de periode 1971 - 2000. De afvoer door het zgn. maaiveld drainagesysteem is niet als oppervlakkige afspoeling beschouwd.

Tabel 9a

Aandeel (procent) van oppervlakkige afspoeling in de totale N-belasting van het oppervlaktewater voor de periode 1971 – 2000.

Grond soort	Gewas	Grondwatertrap									
		II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*
Zand	gras	1.1	0.7	1.7	1.4	0.8	3.6	2.2	1.5	1.9	4.9
	mais					0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.5
	akkerbouw					0.6	0.1	0.8	0.6	1.3	4.3
Klei	gras	1.7	1.2	2.4	1.6	1.8	3.8	4.2	4.5	4.0	13.5
	mais					0.6	1.8		2.1	1.2	7.0
	akkerbouw					0.8	0.6	2.3	1.7	1.3	9.1
Veen	gras	5.6	3.0	2.9	2.4	3.7	4.2	3.0	5.6		
	mais					0.2	1.1	0.5	0.6		
	akkerbouw					5.4	5.9	1.3	3.9		

Tabel 9b

Aandeel (procent) van oppervlakkige afspoeling in de totale P-belasting van het oppervlaktewater voor de periode 1971 – 2000.

Grond soort	Gewas	Grondwatertrap									
		II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*
Zand	gras	1.1	1.0	2.3	2.6	2.6	5.9	6.5	9.5	16.7	23.6
	mais					0.3	0.8	0.6	0.7	1.2	2.8
	akkerbouw					0.6	0.5	0.7	3.1	2.0	2.9
Klei	gras	1.2	1.1	1.7	1.5	1.3	4.0	5.7	5.9	7.0	41.6
	mais					0.9	2.9		5.6	3.0	20.3
	akkerbouw					0.8	0.7	1.1	5.4	2.4	4.9
Veen	gras	5.3	3.2	4.1	3.3	6.4	7.6	8.8	14.5		
	mais					0.6	0.4	0.4	0.3		
	akkerbouw					5.4	2.3	1.4	0.6	3.0	

Het aandeel van de oppervlakkige afspoeling in de totale N-belasting van het oppervlaktewater bedraagt in STONE2.3 0.7 – 5.6% op de natte gronden, 0.1 – 5.6% bij de matig natte gronde en 0.1 – 13.5% op de droge gronden. Voor fosfaat wordt het aandeel van oppervlakkige afspoeling in de totale oppervlaktewaterbelasting berekend op 1.0 – 2.6% voor de natte gronden, 0.3 – 14.5% voor de matig natte gronden en 1.2 – 41.6% voor de droge gronden. In het algemeen wordt voor grasland een hoger aandeel oppervlakkig transport berekend dan voor de andere gewassen. Grasland wordt vaker bemest en daardoor is de kans groter dat ook in een ongunstige periode bemesting plaats vindt. Veen heeft ten opzichte van zand en klei een hoger aandeel oppervlakkige afspoeling in het totaal. De droge gronden hebben een relatief geringe drainageafvoer naar het oppervlaktewater. De eventuele incidenten waarbij oppervlakkige afvoer optreedt tellen voor deze gronden zwaarder mee in het percentage dan voor de andere gronden.

Bedacht moet worden dat mest=giften aan het begin van een rekenstap van tien dagen worden toegediend. Eventuele extreme waterfluxen die van invloed zouden kunnen zijn op de afstroming worden door een dergelijke tijdstapgrootte afgevlakt.

---

## 3 Bepaling diepte modelprofielen op basis van NHI-informatie

### 3.1 Achtergrond

Bij de schematisering van STONE hebben alle STONE-plots een profieldiepte van dertien meter gekregen omdat er onvoldoende kennis was van de ondergrond om daar differentiatie in aan te brengen (Kroon *et al.*, 2001). Daardoor wordt de doorstroomde laagdikte van de profielen waar op geringe diepte een slecht doorlatende laag voorkomt overschat en van zandgronden die tot op grote diepte homogeen zijn onderschat. De bodemkaart ([www.bodemdata.nl](http://www.bodemdata.nl)) leverde kennis over de bovengrond tot een diepte van 1,2 m, maar inmiddels zijn er landsdekkende gegevens beschikbaar uit het REgionaal Geohydrologisch InformatieSysteem (REGIS-II, [www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl)) en het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI, [www.NHI.nu](http://www.NHI.nu)) die betere informatie leveren over de opbouw en eigenschappen van de diepere bodemlagen. Momenteel wordt onderzocht of verdieping van de bodemkaart tot een verdere verbetering kan leiden (Van der Gaast *et al.*, in voorbereiding).

Met de extra informatie kan een betere inschatting worden gemaakt van de profieldiepte waar grondwaterstroming plaatsvindt. De diepte van de modelkolom is van invloed op de gemiddelde verblijftijd van het grondwater voordat het afstroomt naar het oppervlaktewater. Er bestaat een proportioneel verband tussen de dikte van de water verzadigde laag en de gemiddelde verblijftijd. Bij een langere verblijftijd valt te verwachten dat processen die tijdsafhankelijk zijn (denitrificatie, mineralisatie van opgeloste organische N en P) een groter effect hebben en dat dit tot lagere concentraties kan leiden.

### 3.2 Methode

Onlangs is de 7-lagen schematisering voor het NHI beschikbaar gekomen ([www.NHI.nu](http://www.NHI.nu)). Deze schematisering is gebruikt om de doorstroomde diepte te bepalen. Voor grids van 250 x 250 m zijn verschillende eigenschappen van de lagen in de ondergrond beschikbaar. In tabel 9 zijn deze gegevens per laag weergegeven.

Voor scheidende lagen zijn gegevens beschikbaar over de boven- en onderkant en de bijbehorende c-waarde. Voor watervoerende lagen is alleen een kD-waarde beschikbaar. Voor het Topsysteem (laag 1) is de totale dikte en de bijbehorende kD en c-waarde bekend. Verder is de geohydrologische basis bekend.

De (kD- en c-)waarden zijn gemiddeld per STONE-plot. Voor de c-waarde is de mediaan genomen omdat het ruimtelijke beeld na toekenning aan plots beter overeenkomt met de oorspronkelijke NHI-kaart dan ingeval van middeling.

Tabel 10

Beschikbare gegevens van de verschillende lagen uit het NHI.

	kD	c	Bovengrens	Ondergrens
Topsysteem	x	x	x	x
kD2	x			
c2		x	x	x
kD3	x			
c3		x	x	x
kD4	x			
c4		x	x	x
kD5	x			
c5		x	x	x
kD6	x			
c6		x	x	x
kD7	x			

In een isotroop watervoerend pakket is de maximale doorstroomde diepte gelijk aan:

$$D_{iso} \leq \frac{L}{4}$$

In een gelaagde ondergrond is de maximale doorstroomde diepte (De Vries, 1974 en Van Dam *et al.*, 1997):

$$D_{aniso} \leq \frac{L}{4} \sqrt{\frac{k_v}{k_h}}$$

Of anders:

$$D_{aniso} \leq D_{iso} \sqrt{\frac{k_v}{k_h}}$$

Omdat de verticale doorlatendheid als gevolg van gelaagde afzetting altijd kleiner is dan de horizontale doorlatendheid zal de doorstroomde diepte ook kleiner zijn dan in een niet gelaagd isotroop pakket.

In Tabel 9 is aangegeven welke data per STONE-plot beschikbaar zijn. In Tabel 10 zijn de bewerkingen per laag weergegeven. Voor elke laag is een dikte en een kD of c-waarde bekend. Met deze data kunnen we per laag de  $k_h$  of de  $k_v$  bepalen met onderstaande formules.

$$\frac{1}{k_h} = \frac{\sum k_h D}{\sum D}$$

$$\frac{1}{k_v} = \frac{\sum D}{\sum \frac{D}{k_v}}$$

Per laag is één k-waarde bekend, met uitzondering van het topsysteem waarvan er twee bekend zijn. Verondersteld wordt dat voor de watervoerende pakketten de  $k_v=k_h$  en voor de scheidende lagen de  $k_h=k_v$ . Nu voor elke laag over zowel een  $k_h$  als  $k_v$  bekend is, kan voor elke laag een kD en c berekend worden. Omdat ook de laagdikte bekend is kan vanaf maaiveld op elke laagscheiding de cumulatieve som van de dikte, kD en c worden bepaald. In de volgende stap wordt op de laagscheiding de gemiddelde  $k_h$ ,  $k_v$  en anisotropiefactor bepaald van het deel tussen maaiveld en laagscheiding.



Tabel 11

Berekende (zwart) en toegekende (rood) waarden voor bepaling anisotropiefactor.

Laag	$k_h$	$k_v$	d	Dikte	$\Sigma c$	$\Sigma kD$	$k_h$	$k_v$	anisofactor
	per laag			Cum. met diepte		gem. met diepte			
<b>Topsysteem</b>	$k_h$	$k_v$	d	d	c	kD	$k_h$	$k_v$	f
<b>kD2</b>	$k_h$	$k_v = k_h$	d	d	c	kD	$k_h$	$k_v$	f
<b>c2</b>	$k_h = k_h$	$k_v$	d	d	c	kD	$k_h$	$k_v$	f
<b>kD3</b>	$k_h$	$k_v = k_h$	d	d	c	kD	$k_h$	$k_v$	f
<b>c3</b>	$k_h = k_h$	$k_v$	d	d	c	kD	$k_h$	$k_v$	f
<b>kD4</b>	$k_h$	$k_v = k_h$	d	d	c	kD	$k_h$	$k_v$	f
<b>c4</b>	$k_h = k_h$	$k_v$	d	d	c	kD	$k_h$	$k_v$	f
<b>kD5</b>	$k_h$	$k_v = k_h$	d	d	c	kD	$k_h$	$k_v$	f
<b>c5</b>	$k_h = k_h$	$k_v$	d	d	c	kD	$k_h$	$k_v$	f
<b>kD6</b>	$k_h$	$k_v = k_h$	d	d	c	kD	$k_h$	$k_v$	f
<b>c6</b>	$k_h = k_h$	$k_v$	d	d	c	kD	$k_h$	$k_v$	f
<b>kD7</b>	$k_h$	$k_v = k_h$	d	d	c	kD	$k_h$	$k_v$	f

Voor de STONE-plots is de opbouw en de horizontale ( $k_h$ ) en verticale doorlatendheid ( $k_v$ ) van de bodemlagen bekend.

Hieruit kan een inschatting worden gemaakt van de doorstroomde diepte. Deze methode is uitvoerig

beschreven in Van der Gaast *et al.* (in prep.). Daarvoor wordt de relatie  $dd = 0,25L \sqrt{\frac{k_v}{k_h}} f(\text{diepte})$

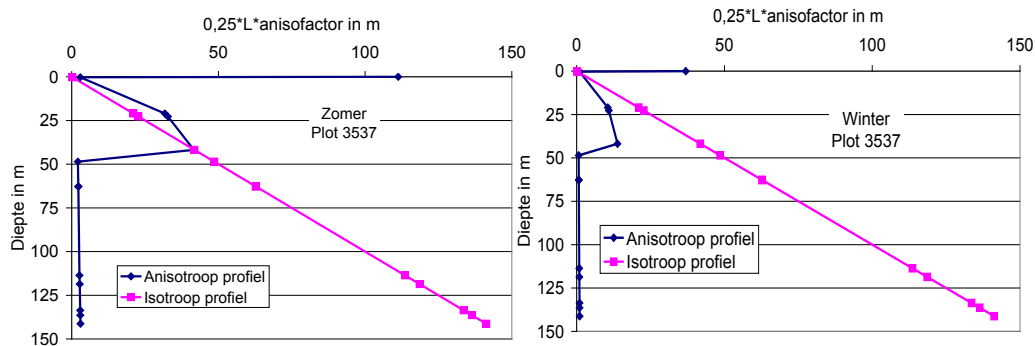
uitgezet tegen de diepte (z). Hierbij is de anisotropiefactor ( $k_v/k_h$ ) een functie van de diepte en de resulterende doorstroomde diepte (dd). Voor het bepalen van de lijn is aan de boven- en onderzijde van elk watervoerend pakket de dd bepaald. Binnen elke bodemlaag is een lineaire toe- of afname van dd verondersteld (in werkelijkheid zal dit niet het geval zijn). Door vervolgens het snijpunt te bepalen met de z = x lijn is de doorstroomde diepte af te lezen.

Als de anisotropiefactor 1 bedraagt, is de relatie voor de doorstroomde diepte  $dd = 0,25L$  en wordt de 1 : 1 lijn gesneden op een diepte van 0,25 L. Als er sprake is van anisotropie zal de richtingscoëfficiënt van de relatie in de scheidende lagen veelal negatief zijn (teruglopen). In de watervoerende pakketten is de coëfficiënt positief (toename). In totaliteit loopt de relatie terug met de diepte, dwz deze wordt kleiner dan 0,25 L.

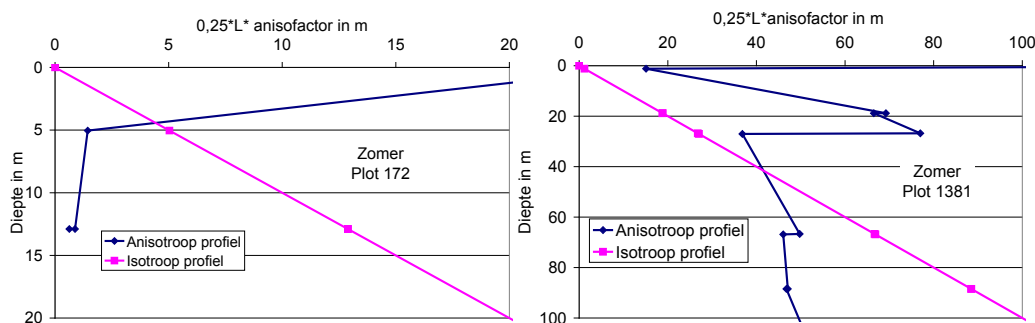
De relatie  $dd = 0,25L \sqrt{\frac{k_v}{k_h}} f(\text{diepte})$  bestaat uit een aantal lijnstukken, omdat alleen ter plaatse van

laagscheidingen de anisotropiefactor is bepaald. Om het snijpunt met de lijn z=x te bepalen dient eerst vastgesteld te worden in welk lijnstuk het snijpunt van de beide lijnen ligt. Als dat lijnstuk bekend is, kunnen ook de twee coördinaatparen van het begin- en het eindpunt van het lijnstuk worden bepaald. Hiermee ligt de functie van het lijnstuk ( $z=ax+b$ ) vast en kunnen de richtingscoëfficiënt (a) en de constante (b) van de vergelijking worden bepaald. In het snijpunt van beide lijnen geldt  $z=az+b$ , dus de doorstroomde diepte is gelijk aan  $\frac{b}{1-a}$ .

In Figuur 14 staat als voorbeeld van de hierboven beschreven methode de uitwerking voor plot 3537. Bij de bepaling van de diepte is rekening gehouden met een stukje onverzadigde zone. Het verloop van de anisotropielijn verschilt door verschil in slootafstand tussen de zomer- en wintersituatie. Omdat in de zomer sloten droog vallen is de slootafstand in de zomer (439,2 m) groter dan in de winter (109,8 m). Dit resulteert in doorstroomde diepten van 41,46 m in de zomer en 1,59 m in de winter. Dit is wel een heel extreem voorbeeld. In Figuur 15 zijn voor de zomer situatie een profiel met een geringe doorstroomde diepte (plot 172) en relatief grote doorstroomde diepte (plot 1381) weergegeven.



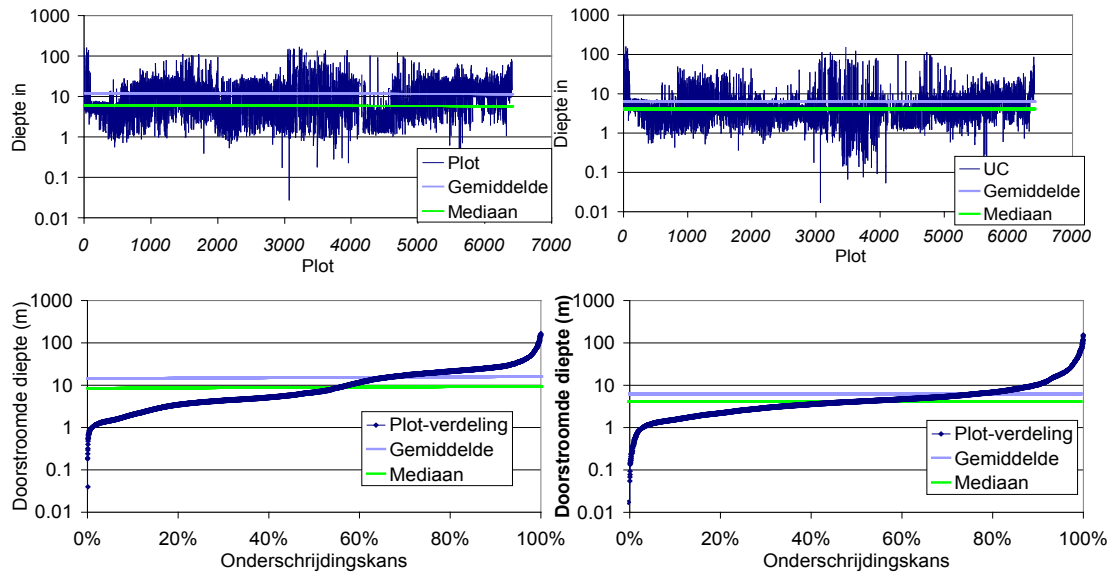
**Figuur 14** Bepaling van de doorstroomde diepte voor plot 3537 in de zomer en in de wintersituatie.



**Figuur 15** Doorstroomde diepte in de zomersituatie voor plot 172 en plot 1381.

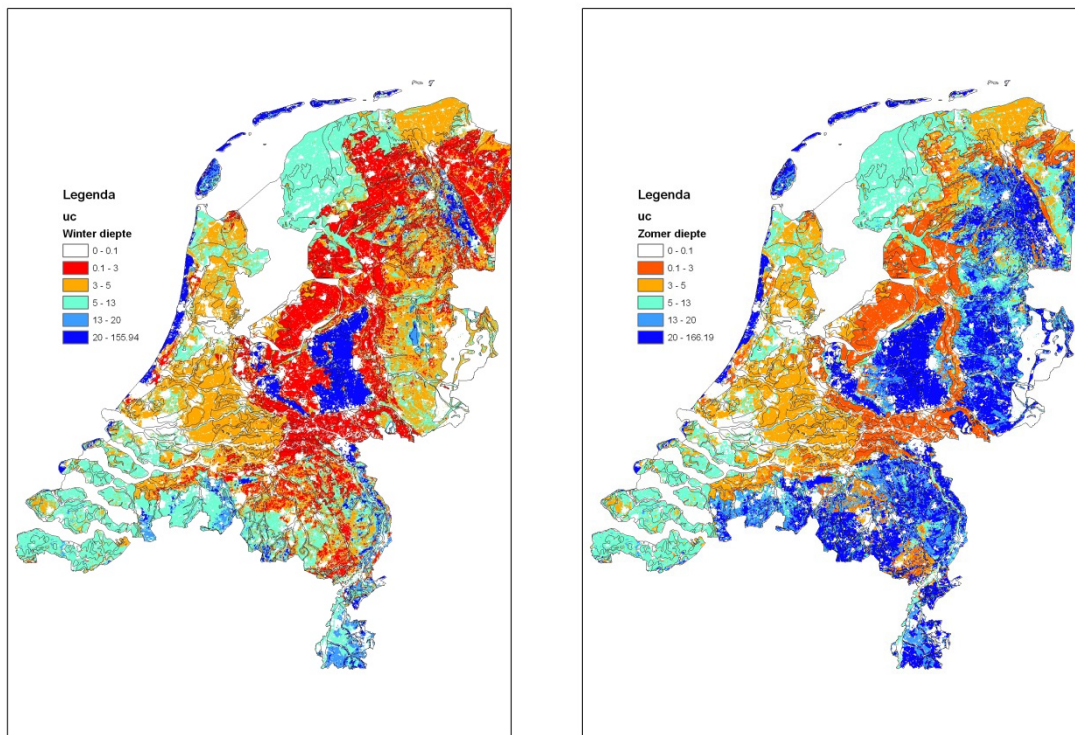
### 3.3 Resultaat

Voor alle 6405 STONE-plots zijn doorstroomde dieptes afgeleid voor zowel de zomer als de wintersituatie. In Figuur 16 zijn de berekende diepten per plot voor de zomer- en wintersituatie en de bijbehorende frequentieverdeling weergegeven. Voor een aantal plots is de doorstroomde diepte minder dan een meter, maar er zijn ook plots waar de doorstroomde diepte 100 m bedraagt.



**Figuur 16** Doorstroomde diepte per plot (boven) en bijbehorende frequentieverdeling (onder) voor de zomersituatie (links) en de wintersituatie (rechts).

De resultaten zijn in Figuur 17 eveneens ruimtelijk weergegeven per hydrotype. De open zandgronden van de Veluwe, Utrechtse Heuvelrug en de duinen waar weinig of geen tussenlagen voorkomen hebben geen of weinig sloten waardoor de doorstroomde diepte groot is, zowel 's zomers als 's winters. De (dek-) zandgronden in het zuiden en oosten van het land hebben vooral 's zomers een grote doorstroomde diepte als de sloten droog staan. 's Winters, als de sloten draineren, is de doorstroomde diepte een stuk kleiner. De leemgronden in het oosten van Twente en de Achterhoek met het zogenaamde oost-Nederlandprofiel, hebben de kleinste doorstroomde diepte.



**Figuur 17** Berekende doorstroomde diepte voor de wintersituatie (links) en de zomersituatie (rechts).

De doorstroomde diepte is vooral bij de zandgronden groter dan de 13 m die in het huidige STONE-model worden gebruikt. Aanpassing van de dikte van de profielen van afzonderlijke plots is geen optie gezien de grote variatie in de berekende dieptes. Anderzijds is er wel een verband tussen de diepte in Figuur 17 en de hydrotypenkaart (Massop *et al.*, 2000). Daarom zijn gemiddelde diepten per hydrotype bepaald. Dat is op twee manieren gedaan, enerzijds door alle plots per hydrotype te middelen en anderzijds door de plots oppervlaktegewogen te middelen per hydrotype (Tabel 11).

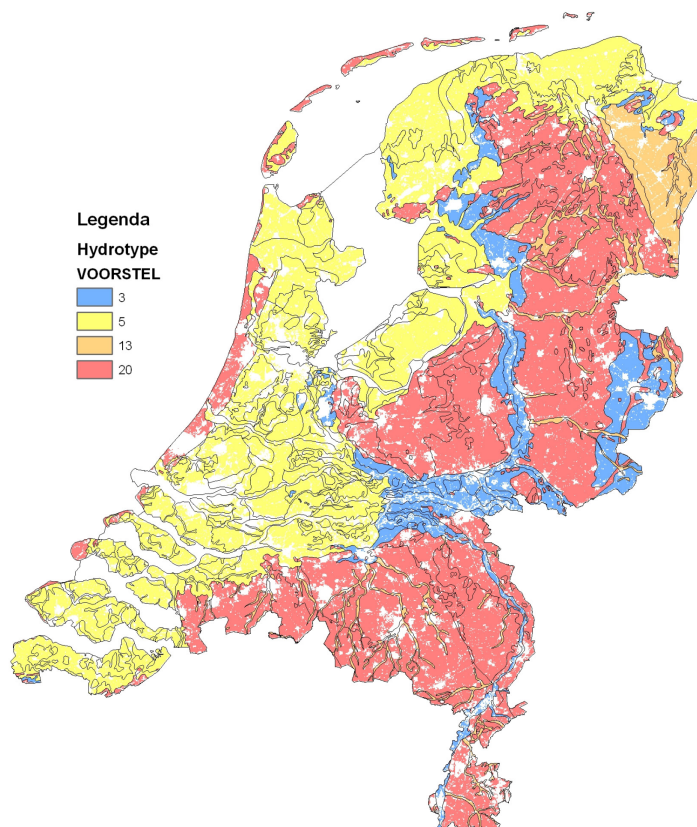
Uit Tabel 11 blijkt dat de diepte volgens beide middelingsmethoden in grote lijnen overeenkomt. Voor een beperkt aantal plots kon geen diepte worden berekend vanwege onvolkomenheden in de data (Tabel 12). De oorzaak hiervan is niet nader uitgezocht. Van de meeste hydrotypen is het uitvalpercentage kleiner dan 4%, met uitzondering van stuwwallen met een percentage van 13%. Opvallend is verder het grote aantal uitvallers binnen het hydrotype Oost-Nederland (98%). Daarom is voor dit hydrotype niet uitgegaan van een berekende diepte maar is de diepte (3 m) gekozen op grond van het voorkomen van een dun watervoerend pakket op een ondiepe geohydrologische basis.

In Tabel 11 is een kolom toegevoegd met een voorstel voor vier profiel diepten, namelijk 3, 5, 13 en 20 m. Dat betekent dat er naast de huidige 13 m ook kleinere en grotere dieptes voorkomen. De voorgestelde dieptes per hydrotype zijn in Figuur 18 ruimtelijk weergegeven.

Tabel 12

*Gemiddelde doorstroomde diepte per hydrotype in de winter en zomersituatie en voorstel voor diepteklasse. De kleuren komen overeen met die van de gebieden in Figuur 13.*

Hydrotype	Gemiddeld		Oppervlaktegewogen		Voorstel
	winter	zomer	winter	zomer	
Betuwe-komgronden	1.99	2.04	1.88	1.92	3
Betuwe-stroomruggonden	3.32	3.37	3.12	3.17	3
Dekzand profiel	5.50	18.63	5.66	20.01	20
Duinstrook	25.82	25.99	42.81	42.99	20
Eem en/of keileemprofiel	3.89	21.19	5.08	21.57	20
Keileem profiel	6.77	17.04	7.93	18.56	20
Keileem-Peeloo profiel	7.10	18.85	6.34	15.59	20
Loss profiel	26.39	36.35	17.54	25.09	20
Nuenengroep profiel	4.88	18.26	4.99	19.03	20
Oost-Nederland profiel	5.91	13.47	5.93	13.49	3
Open profiel	6.15	22.17	7.61	22.96	20
Peeloo profiel	2.65	11.54	2.76	10.38	13
Singraven-beekdalen	5.20	13.28	5.08	12.85	13
Stuwwallen	43.76	62.00	63.80	98.19	20
Tegelen/Kedichem profiel	10.98	18.31	11.26	18.77	20
Westland-C-profiel	4.53	4.57	4.61	4.64	5
Westland-DC-profiel	4.70	4.74	4.61	4.65	5
Westland-DHC-profiel	5.32	5.38	5.49	5.44	5
Westland-DH-profiel	3.99	4.03	4.30	4.25	5
Westland-D-profiel	6.27	6.39	5.96	5.85	5
Westland-HC-profiel	4.44	4.49	4.51	4.45	5
Westland-H-profiel	2.49	2.52	2.82	2.78	3



**Figuur 18** Nieuwe profieldiepte in meters voor vier groepen hydrotypen volgens het voorstel uit Tabel 11.

**Tabel 13**

Aantal uitvallers in de diepteberekening.

Hydrotype	Aantal plots	Winter			Zomer		
		Berekend	Verschil	Perc.	Berekend	Verschil	Perc.
Betuwe-komgronden	190	187	3	1.6%	187	3	1.6%
Betuwe-stroomruggonden	225	225	0	0.0%	225	0	0.0%
Dekzand profiel	881	847	34	3.9%	847	34	3.9%
Duinstrook	102	99	3	2.9%	99	3	2.9%
Eem en/of keileemprofiel	235	230	5	2.1%	230	5	2.1%
Keileem profiel	398	395	3	0.8%	395	3	0.8%
Keileem-Peeloo profiel	378	376	2	0.5%	364	14	3.7%
Loss profiel	20	20	0	0.0%	20	0	0.0%
Nuenengroep profiel	393	392	1	0.3%	392	1	0.3%
Oost-Nederland profiel	168	3	165	98.2%	3	165	98.2%
Open profiel	264	262	2	0.8%	257	7	2.7%
Peeloo profiel	136	134	2	1.5%	134	2	1.5%
Singraven-beekdalen	424	413	11	2.6%	413	11	2.6%
Stuwwallen	114	102	12	10.5%	99	15	13.2%
Tegelen/Kedichem profiel	172	166	6	3.5%	166	6	3.5%
Westland-C-profiel	199	197	2	1.0%	197	2	1.0%
Westland-DC-profiel	140	138	2	1.4%	138	2	1.4%
Westland-DHC-profiel	456	440	16	3.5%	440	16	3.5%
Westland-DH-profiel	725	717	8	1.1%	717	8	1.1%
Westland-D-profiel	535	533	2	0.4%	533	2	0.4%
Westland-HC-profiel	87	87	0	0.0%	87	0	0.0%
Westland-H-profiel	163	161	2	1.2%	161	2	1.2%
Totaal	6405	6124	283	4.4%	6104	303	4.7%

### 3.4 Gevoeligheid van N- en P-vrachten voor diepte van het modelprofiel

De voorgestelde profieldiepten bedragen 3, 5, 13 en 20 meter. Voor de selectie van 13 STONE-plots zou volgens Figuur 18 slechts één plot de standaarddiepte van 13 meter behouden. Van de andere plots krijgen er twee een diepte van 3 meter, vier een diepte van 5 meter en zes van 20 meter.

De plots zijn met nieuwe profieldieptes doorgerekend. Voor de SWAP-berekeningen zijn de oorspronkelijke diktes afgekapt bij drie of vijf meter en bij een profieldiepte van 20 meter zijn twee sublagen van elk 3,5 m toegevoegd. De toegevoegde lagen hebben dezelfde eigenschappen van de diepste bodemlaag meegekregen. Aansluitend aan de SWAP-berekeningen zijn ook ANIMO-berekeningen uitgevoerd. Voor de invoer van de vochttoestand in ANIMO wordt een bestand van SWAP gebruikt waarin de resultaten voor 22 bodemcompartimenten zijn weggeschreven. Voor de nieuwe profieldiepten zijn de laagdiktes van deze compartimenten aangepast (Tabel 13).

Tabel 14

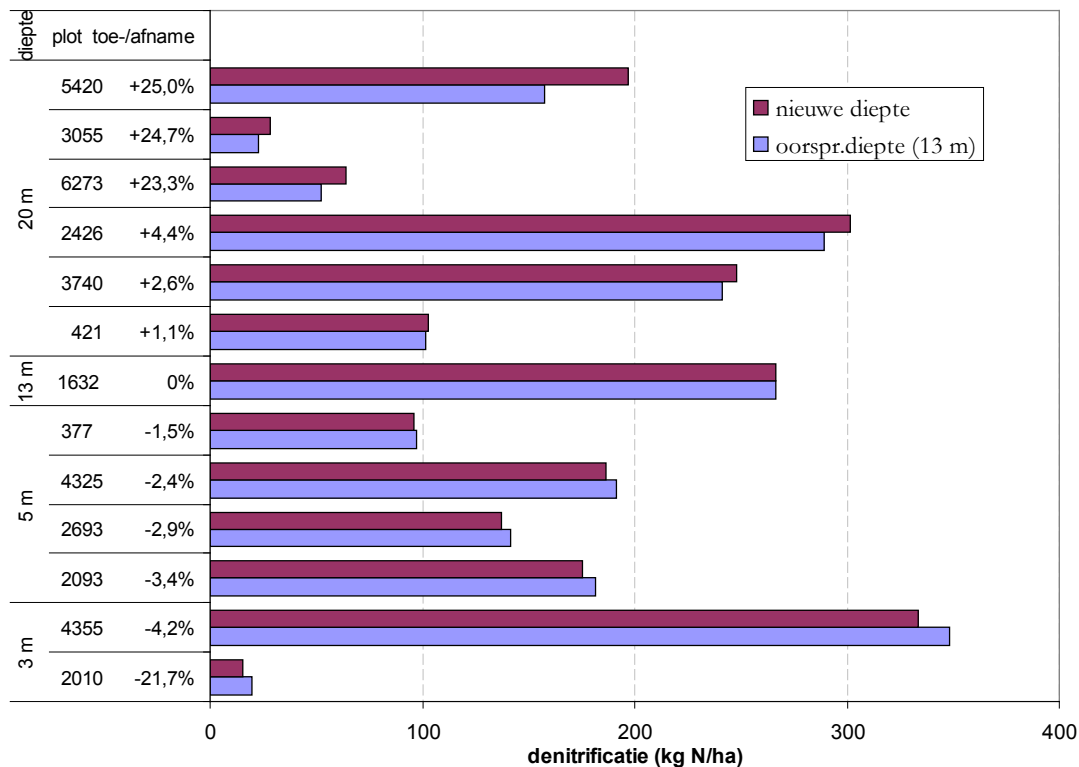
*Indeling van de bodemprofielen in ANIMO in 22 compartimenten voor vier diepten.*

Compartiment	diepte (cm)			
	Profiel 3 m	Profiel 5 m	Profiel 13 m	Profiel 20 m
1	5	5	5	5
2	15	15	15	15
3	20	20	20	20
4	25	25	25	25
5	35	35	35	35
6	50	50	50	50
7	60	60	60	60
8	75	75	75	75
9	100	100	100	100
10	120	120	120	120
11	140	140	140	140
12	170	170	170	170
13	200	200	200	200
14	210	220	230	250
15	220	260	260	300
16	30	300	300	400
17	240	340	350	500
18	250	365	400	600
19	260	390	500	800
20	270	420	700	1200
21	280	450	900	1600
22	300	500	1300	2000

Een profieldiepte die kleiner of groter is dan de standaarddiepte heeft geen invloed op de waterbalans. Als er al verschillen zijn gaat het om een enkele millimeter. Veranderingen die in de N- en P-balansen optreden zijn daarom het gevolg van de verblijftijd in relatie tot interne processen en de verdeling over de drainagemiddelen. Wel bestaat er een proportioneel verband tussen de dikte van de waterverzadigde laag en de gemiddelde verblijftijd. Bij een langere verblijftijd is het te verwachten dat processen die tijdsafhankelijk zijn (denitrificatie, mineralisatie van opgeloste organische N en P) een groter effect hebben en dat dit tot lagere concentraties kan leiden. Uit mineralisatie van kan weer ammonium worden gevormd, maar in de verzadigde zone wordt geen nitraat gevormd. Daardoor zal er meer denitrificatie optreden. Bij een minder diep profiel is de verblijftijd korter en valt te verwachten dat dat tegengestelde veranderingen tot gevolg heeft.

De input van N en P via depositie en bemesting is bij de berekeningen met de nieuwe profieldiepten niet gewijzigd. Bij de input lijkt alleen bij N de nitrificatie en netto mineralisatie bij een kleinere profieldiepte (3 of 5 m) iets af en bij 20 m profiel iets toe te nemen, maar de verschillen zijn klein en niet consequent. Bij de output zijn de verschillen in N tussen de oorspronkelijke en de nieuwe profieldieptes voor gewasopname, nitrificatie en oppervlakkige afstroming eveneens nihil. Bij N is er

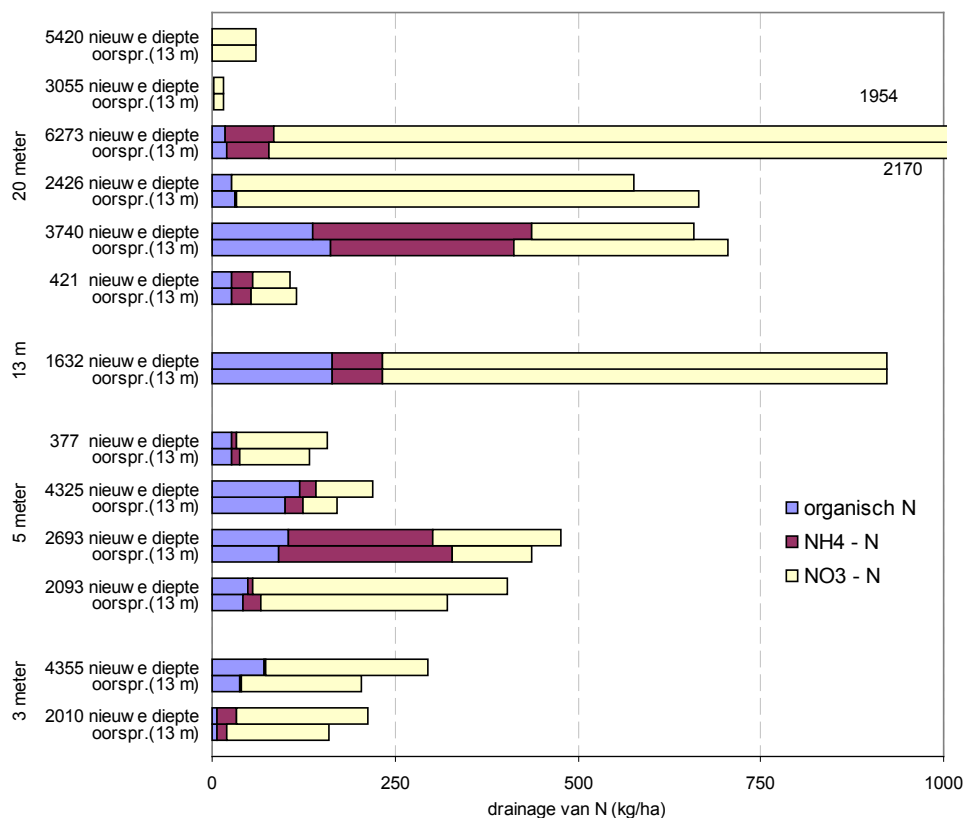
wel een verband tussen de profieldiepte enerzijds en de denitrificatie en de afvoer via de drainage anderzijds. In Figuur 19 staan de verschillen in denitrificatie. Ongeacht de oorspronkelijke hoeveelheid neemt de denitrificatie af met een kleinere profieldiepte. Bij drie meter is de afname het grootst. Bij een profieldiepte van 20 meter neemt de denitrificatie toe. Afgezien van de profieldiepte lijkt er geen verband te zijn met de grondsoort, het landgebruik of de vochttoestand.



**Figuur 19** Gemiddelde denitrificatie bij de oorspronkelijke profieldiepte van 13 m en de nieuwe diepten van 3, 5 of 20 m. De toe-/afname in procenten is het verschil tussen beide.

De volgorde in verschillen in denitrificatie uit Figuur 19 is ook gebruikt in Figuur 20 en Tabel 14 waarin de afvoer van N via het oppervlaktewater is weergegeven. In Figuur 20 staan de absolute verschillen van organisch N, NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub> en in Tabel 14 staan de procentuele verschillen. Bij plot 1632 is de profieldiepte niet gewijzigd. Bij de plots waar de profieldiepte tot drie meter is teruggebracht neemt de afvoer van zowel organisch N als NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub> toe. Opvallend is dat bij een profieldiepte van vijf meter de afvoer van NH<sub>4</sub> niet toe- maar afneemt. Bij een grotere profieldiepte (20 m) laat de afvoer van NH<sub>4</sub> een wisselend beeld zien. Bij de plots met een substantiële afvoer van NH<sub>4</sub> is sprake van een toename en bij plots met een kleine afvoer van een afname.

Voor P verandert bij andere profieldiepten alleen de afvoer via drainage. In Tabel 15 staan de gemiddelde hoeveelheden en de verschillen in procenten. Hoewel de hoeveelheden soms erg klein zijn laat de tabel zien dat er (over het algemeen) meer organisch P wordt afgevoerd bij een kleinere profieldiepte. Bij een grotere profieldiepte neemt de afvoer van organisch P af. Bij PO<sub>4</sub> is er geen duidelijk verband tussen en toe- of afname van de afvoer en de profieldiepte.



**Figuur 20** Verandering van de afvoer via drainage van stikstof bij een andere profieldiepte. De oorspronkelijke profieldiepte is 13 m.

**Tabel 15**

Procentuele verandering van de afvoer via drainage van stikstof bij een andere profieldiepte. De oorspronkelijke profieldiepte is 13 m.

plotnr.	profieldiepte (m)	org.N (%)	NH4 (%)	NO3 (%)
2010	3	5	76	31
4355	3	80	164	36
2093	5	14	-67	36
2693	5	14	-16	62
4325	5	19	-1	58
377	5	-2	-39	29
1632	13	—	—	—
421	20	-3	4	-13
3740	20	-15	19	-24
2426	20	-16	-14	-13
6273	20	-10	15	-10
3055	20	-17	-29	5
5420	20	-11	0	-2



Tabel 16

*Absolute en procentuele verandering van de afvoer via drainage van fosfor bij een andere profieldiepte. De oorspronkelijke profieldiepte is 13 m.*

plot-nummer	nieuwe profiel-diepte (m)	organisch P			PO4-P		
		oorspr. (kg/ha)	nieuw (kg/ha)	verschil (%)	oorspr. (kg/ha)	nieuw (kg/ha)	verschil (%)
2010	3	0.07	0.08	14	0.38	0.16	-58
4355	3	0.14	0.24	71	0.12	0.18	50
2093	5	1.03	0.96	-7	2.22	1.99	-10
2693	5	1.26	1.44	14	6.65	5.79	-13
4325	5	0.46	0.55	20	1.51	1.53	1
377	5	0.09	0.10	11	0.86	0.86	0
1632	13	0.99	0.99		2.10	2.10	
421	20	0.30	0.29	-3	0.33	0.39	18
3740	20	1.03	0.92	-11	0.95	0.87	-8
2426	20	0.19	0.16	-16	0.32	0.22	-31
6273	20	0.22	0.21	-5	0.52	0.51	-2
3055	20	0.02	0.01	-50	0.00	0.00	
5420	20	0.00	0.00		0.00	0.00	

### 3.5 Ervaringen van het project Monitoring Stroomgebieden

In fase 3 van het project Monitoring Stroomgebieden ([www.monitoringstroomgebieden.nl](http://www.monitoringstroomgebieden.nl)) is een analyse uitgevoerd van het effect van het aanpassen van het modelprofiel. In dit project worden in vier stroomgebieden metingen verricht aan de water- en nutriëntenhuishouding en worden stofvrachten en nutriëntenconcentraties gemodelleerd met proces-georiënteerde, gedistribueerde modellen. In de proefgebieden van de Drentse Aa en Quarles van Ufford is het modelprofiel aangepast, terwijl in de proefgebieden Schuitenbeek en Krimpenerwaard dit niet is gedaan. De geohydrologische opbouw van de ondergrond is daar zodanig dat een diepte van 13 m voor het modelprofiel als realistisch kan worden beschouwd.

In de Drentse Aa is door TNO-NITG op basis van boringen de diepte van het topsysteem vastgesteld (Van der Linden, 2002). Door de aanwezige keilemlagen kan het voorkomen dat de dikte van het topsysteem minder is dan 2 m en zelfs minder diep is dan de bodem van waterlopen. Dit wordt voor de modellering als niet realistisch beschouwd. Als vuistregel voor het schatten van de diepte van het modelprofiel is uitgegaan van de grootste diepte van drie niveaus:

- De diepte op basis van de genoemde kaart van het topsysteem,
- De Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG), verdiept met tweemaal de standaard deviatie en
- De bodem van het ontwateringssysteem, verdiept met 2,5 m.

Op de hooggelegen zandgronden is de diepte van dertien gehandhaafd. Areaal gemiddeld kwam hiermee de diepte op ca. 3 m te liggen, in plaats van 13 m zoals in STONE wordt aangenomen.

Met de aangepaste diepte is een simulatie uitgevoerd van de N- en P-huishouding in de bodem voor de periode 1986-2000 (Roelsma, 2008). De bemesting en de hydrologische randvoorwaarden zijn gelijk gehouden.

De belangrijkste conclusies ten aanzien van de water- en stofbalansen op gebiedsniveau waren:

- De afvoer naar het oppervlaktewater nam met ca. 5-10 mm jr<sup>-1</sup> toe, de opwaartse kwel nam met ca. 10-15 mm jr<sup>-1</sup> toe en de neerwaartse wegzijging nam met ca. 5 mm jr<sup>-1</sup> toe. Deze getallen zijn gering, omdat de hydrologische randvoorwaarden van het originele model zijn gehandhaafd,
- De denitrificatie in de bodem nam met ca. 10 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> af en de stikstofvracht naar het oppervlaktewater nam met ca. 5 kg ha<sup>-1</sup> toe. De verschillen in andere balansposten waren minder dan 1 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. Aangezien in de uitgangssituatie de post denitrificatie veel groter is dan de

- 
- uitspoeling naar oppervlaktewater, is de procentuele afname van denitrificatie relatief klein ten opzichte van de procentuele toename van de N-vracht naar het oppervlaktewater,
- Voor de fosfaathuishouding had de aanpassing nagenoeg geen effect.

Voor het bemalingsgebied Quarles van Ufford is ook een analyse uitgevoerd van het effect van een minder diep modelprofiel (Siderius *et al.*, 2008). In dit gebied is de diepte op vier meter gesteld, aan de hand van beschrijvingen van ondiepe boringen van het topsysteem (Van der Linden, 2002), de GLG en de diepte van de ontwateringsmiddelen. Hierbij zijn dezelfde rekenregels gehanteerd als voor de Drentse Aa.

- De verschillen in de waterbalans zijn klein doordat dezelfde hydrologische randvoorwaarden werden opgelegd,
- In de stikstofbalans nam de denitrificatie met ca.  $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  af (-4%). De N-vracht naar het oppervlaktewater nam met ca.  $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  toe (34%), waarbij het ondiepe drainagesysteem de grootste toename liet zien,
- Voor fosfaat nam de accumulatiesnelheid met ca.  $0.5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  af (-2%). Dit ging gepaard met een hogere uitspoeling in met name het ondiepe ontwateringssysteem met  $0.6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  (50%).

### **Samenvattend**

Het kleiner maken van het modelprofiel heeft een effect op de verblijftijd van het grondwater en op de laterale fluxintensiteit als functie van de diepte.

- Door een kleinere verblijftijd neemt de denitrificatie af,
- Door een hogere laterale fluxintensiteit in de zone waarin het water naar drains en greppels stroomt, in combinatie met een afnemende concentratie met de diepte, kan de stofvracht naar ondiepe ontwateringsmiddelen toenemen.

---

## 4 Discussie en conclusies

De resultaten worden besproken aan de hand van de geformuleerde onderzoeksdoelen in hoofdstuk 1.

**Onderzoeksvraag 1.** Welke verschillen zijn er tussen districtsneerslag (op dagbasis) en neerslag die op neerslagstations op dag- en uurbasis is waargenomen en welke gevolgen dat heeft voor de oppervlakkige afstroming en de drainageflux en het transport van N en P naar het oppervlaktewater.

- Dagneerslag, gemeten op een meteostation levert ten opzichte van dagneerslag per district meer dagen met grotere neerslaghoeveelheden op en minder met dagen met weinig neerslag.
- Bij gebruik van neerslag die op neerslagstations wordt gemeten neemt de oppervlakkige afstroming met ruim 50% toe ten opzichte van de districtsneerslag die momenteel in STONE wordt gebruikt.
- Bij gebruik van neerslaggegevens die per uur worden waargenomen neemt de oppervlakkige afstroming met 150% toe ten opzichte van de districtsneerslag die momenteel in STONE wordt gebruikt.
- Bij natte en matig natte plots waar regelmatig grondwaterstanden tot in het maaiveld voorkomen (GtII/III) treedt grofweg de helft van de oppervlakkige afstroming op als het bodemprofiel helemaal verzadigd is. Naarmate plots droger zijn treedt er minder oppervlakkige afstroming op bij een verzadigd bodemprofiel.

Het aantal neerslagstations bedraagt ruim 300. Dagneerslag van afzonderlijke neerslagstations geeft een beter beeld dan de wat uitgemiddelde districtsneerslag (ook het aantal dagen met weinig neerslag). Het gebruik van uurneerslag kan op termijn een betere optie zijn, maar het aantal stations met lange meetreeksen is nog (te) beperkt. Ook moet worden nagegaan of de oppervlakkige afvoer dan niet wordt overschat en of de combinatie LEFRRV=0,20 nog voldoet.

**Onderzoeksvraag 2.** Welke gevolgen heeft een kleinere verzadigde doorlatendheid van de toplaag van 5 cm voor de oppervlakkige afstroming en de drainageflux en het transport van N en P naar het oppervlaktewater.

- Verkleining van de verzadigde doorlatendheid ( $K_{sat}$ ) van de toplaag, waarbij de nieuwe  $K_{sat}$  de waarde krijgt die oorspronkelijk bij  $pF=0$  hoorde, leidt tot een afname van de doorlatendheid van minder dan 5% voor sommige zandgronden tot meer dan 95% voor (zware) kleigronden.
- Door verkleining van  $K_{sat}$  van de toplaag varieert de toename van de oppervlakkige afstroming van 0% voor plots waar (nog steeds) geen oppervlakkige afstroming optreedt tot 300% voor plots waar met de oorspronkelijke (kleine)  $K_{sat}$  al de meeste oppervlakkige afstroming optrad.

De oorspronkelijke  $K_{sat}$  voor een grondsoort is een gemiddelde met een grote spreiding. Die bandbreedte biedt ruimte om  $K_{sat}$  te verkleinen. De aanpassing zoals die hier is toegepast leidt echter tot een (te) grote differentiatie van de oppervlakkige afstroming. De oppervlakkige afstroming op bepaalde kleigronden wordt (veel) groter terwijl op zandgronden, waar op bouwland verslemping kan optreden, de afstroming nog steeds nihil blijft.

**Onderzoeksvraag 3.** Welke invloed heeft de dikte van de waterlaag die op het maaiveld geborgen kan worden op de oppervlakkige afstroming en de drainageflux en het transport van N en P naar het oppervlaktewater.

- Bij een afname van de dikte van de ponding layer van 2 naar 1 mm neemt bij de grondsoorten klei en laagveen de oppervlakkige afstroming toe met grofweg een factor 1,2. Bij een afname van 1 naar 0 mm is de toename een factor 1,5. Bij (zand-)gronden waar toch al nauwelijks oppervlakkige afvoer optreedt heeft aanpassing van de ponding layer geen effect.

- Naarmate de ponding layer dikker is neemt de runoff af en worden de verschillen tussen district-, dag- en urneerslag steeds kleiner. Bij zand en laagveen halveert de runoff bij een toename van de ponding layer van 2 naar 5 mm. Bij klei is de afname met een derde iets kleiner.
- De oppervlakkige afvoer wordt geregeld met een empirische vergelijking waarin RSO een weerstand is  $RSO_{exp}$  een exponent voor de afvoersnelheid. Een kleinere RSO (de weerstand wordt dan groter) en een kleinere  $RSO_{exp}$  (de afvoersnelheid is dan kleiner) hebben voor de oorspronkelijke districtsneerslag weinig gevolgen. Bij urneerslag heeft een afname van de RSO van 0,5 naar 0,1 of een toename van  $RSO_{exp}$  van 1,0 naar 2,0 tot bijna een verdubbeling van de runoff tot gevolg.

Een dunnere ponding layer heeft betrekkelijk weinig impact op de oppervlakkige afstroming. Zonder ponding layer is de toename ook nog bescheiden (+50%). Er is in de literatuur weinig bekend over de factoren die bepalend zijn voor de dikte van ponding layer. Ook de eigenschappen op plotniveau zijn wat dat aangaat niet goed bekend.

**Onderzoeksvraag 4.** Welke gevolgen heeft de toedeling van de surface runoff aan de routes 'directe afstroming', 'afstroming over het maaiveld' en 'passage door de bovengrond' voor de afvoer van N en P naar het oppervlaktewater .

- Een grotere oppervlakkige afvoer gaat gepaard met een vrijwel even grote afname van de drainage omdat de flux over de onderrand van de STONE-plots niet verandert. De netto belasting van het oppervlaktewater met N en P is daardoor kleiner dan de extra belasting als gevolg van een grotere oppervlakkige afstroming.
- Bij een verschuiving van drainage naar oppervlakkige afstroming neemt de netto belasting van het oppervlaktewater met N met ongeveer een factor 1,3 toe bij grasland op klei en op laagveen. Bij grasland op zand en bouwland op klei neemt de belasting met N soms aanzienlijk af.
- Bij een verschuiving van drainage naar oppervlakkige afstroming neemt de netto belasting van het oppervlaktewater met P meestal fors toe (3-6,5x). Alleen bij grasland op zand is er geen toe- of afname en bij natuur is er geen oppervlakkige afstroming van P.
- Voor de belasting van het oppervlaktewater met N en P is bij de verdeling van de oppervlakkige afstroming over runoff met neerslagconcentratie (PR), runoff met de concentratie van plassen (L0) en de runoff met concentratie van het bovenste grondwater (L1) het aandeel (L1) meestal het belangrijkste, ook bij een (erg) grote directe afstroming (PR).

Naarmate er meer oppervlakkige afstroming optreedt en er meer nutriënten in de bovengrond aanwezig zijn, hebben LEFRSO en LEFRRV een grotere impact op de belasting van het oppervlaktewater. Er is weinig onderzoek gedaan naar reële waarden voor LEFRSO en LEFRRV.

**Onderzoeksvraag 5.** Kan op basis van recente NHI-informatie een beter onderscheid in profiel-diepten worden aangebracht en welke gevolgen heeft dat op de water-, stikstof- en fosforhuishouding.

- Uit de analyse blijkt dat er een ruimtelijk differentiatie is in doorstroomde diepte die afwijkt van de in de huidige situatie gehanteerde diepte van 13 m. Samengevat zien de gemiddelde diepten er als volgt uit:

Diepte	zomer	winter
Gemiddelde plots	12.91	6.25
Mediaan plots	6.78	4.11
Oppervlaktegewogen gemiddelde	15.66	8.64

- Bij gelijkblijvende randvoorwaarden hangen de verschillen in denitrificatie en afvoer via drainage samen met de verblijftijd van het grondwater die wijzigt door verandering van de profieldiepte. Bij een profieldiepte die kleiner is dan de oorspronkelijke diepte van 13 m neemt de denitrificatie af en de afvoer van organisch N en  $NO_3$  via de drainage toe. Bij een grotere profieldiepte gebeurt het omgekeerde, de denitrificatie neemt toe en de afvoer van organisch N en  $NO_3$  neemt af.

- 
- Er wordt meer organisch P wordt via drainage afgevoerd als de profieldiepte kleiner is dan de standaarddiepte van 13 m en minder als de profieldiepte groter is. Bij PO<sub>4</sub> is er geen duidelijk verband tussen en toe- of afname van de afvoer en de profieldiepte.

De voorgestelde diepten, die afhankelijk zijn van het hydrotype, bedragen 3, 5, 13 of 20 m. Ook deze indeling is nog een grove generalisatie van de werkelijke opbouw bij de STONE-plots, maar hiermee wordt al beter recht gedaan aan de overheersende verschillen in dikten van de doorstroomde pakketten. Mogelijk biedt het onderzoek naar de verdieping van de ondergrond uit de bodemkaart een volgende stap tot nauwkeuriger profieldieptes (Van der Gaast *et al.*, in prep.).

### **Algemeen**

Het aandeel van de oppervlakkige afspoeling in de totale N-belasting van het oppervlaktewater bedraagt in STONE2.3 0.7 - 5.6% op de natte gronden, 0.1 - 5.6% bij de matig natte gronde en 0.1 - 13.5% op de droge gronden. Voor fosfaat wordt het aandeel van oppervlakkige afspoeling in de totale oppervlaktewaterbelasting berekend op 1.0 - 2.6% voor de natte gronden, 0.3 - 14.5% voor de matig natte gronden en 1.2 - 41.6% voor de droge gronden.

Dit onderzoek laat zien dat bij aanpassing van factoren die de berekening van de oppervlakkige afspoeling zouden vergroten (stationswaarden, uurwaarden, aanpassing  $K_{sat}$ -toplaag) een toename van de N-belasting van het oppervlakteater is te verwachten van 1 tot 4 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> en een toename van de P-belasting van 0.3 tot 0.8 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. In enkele situaties liggen deze getallen hoger. De grootste toename is te zien bij de kleigronden. De aanpassing van  $K_{sat,r}$  zonder verder aandacht te schenken aan het optreden van macro-poriën is echter niet reëel. Een aanpassing van de verdelingsfactor voor surface runoff met de concentratie van de waterlaag op het maaiveld en surface runoff met de concentratie van de eerste bodemlaag zou tot een toename van de N-transportroute van 0 tot 4 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> leiden en een toename van 0 tot 0.5 kg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> voor de P-transportroute. Afhankelijk van de oppervlakkige afspoeling in de oorspronkelijke berekening zou dit een toename van 0 tot enkele tientallen procenten kunnen betekenen.

Op basis van veldonderzoek in het DOVE-project is geconcludeerd dat voor stikstof de surface runoff voor 10 - 20% bijdraagt van de totale vracht in de zand- en veenlocaties en ca. 70% in de kleilocatie. De surface runoff draagt voor 80 - 90% bij aan de totale P-vracht in de zandlocatie, 25 - 30% in de veenlocatie en 70 - 80% in de kleilocatie. Het is niet duidelijk hoe representatief de onderzoekspercelen van het DOVE-project zijn. Wel bestaan er twijfels over de correctheid van de opschalingsprocedure van de onderzoeksgegevens van de zandlocatie.

De resultaten van dit onderzoek laten zien dat door aanpassing van modelinvoer en parameters een hoger aandeel N- en P-transport door oppervlakkige afspoeling wordt berekend. Een eventuele aanpassing in STONE zal niet leiden tot waarden die de gerapporteerde DOVE-percentages evenaren.

---

## 5 Aanbevelingen

In dit rapport is een aantal mogelijke aanpassingen in het STONE-model besproken. Een eventuele aanpassing zal leiden tot kleine of grote veranderingen van de modeluitkomsten. STONE is voor een reeks beleidsstudies ingezet. Een nieuwe versie met gewijzigde uitkomsten kan leiden tot discussies over de robuustheid van eerder gepresenteerde modeluitkomsten. Daarom is het raadzaam het model alleen aan te passen als dit te verantwoorden is. Hiervoor is een afwegingskader nodig. Beoordeeld moet worden of de aanpassingen aan één of liefst meerdere criteria voldoen:

1. de aanpassing leidt tot een betere match van resultaten met veldmetingen,
2. de aanpassing leidt tot een betere match van resultaten met een deskundigen-oordeel,
3. de aanpassing betreft een actualisatie van invoergegevens voortkomend uit nieuwe resultaten van ander onderzoek.
4. de aanpassing betreft een verbetering van modelconcepten, voorkomend uit nieuwe resultaten van nader onderzoek.

De criteria 3 en 4 hoeven niet direct tot een betere match van resultaten met veldmetingen of deskundigenoordeel te leiden, maar dragen wel bij aan een bredere wetenschappelijke acceptatie van het model.

De resultaten van dit onderzoek zijn besproken met een aantal deskundigen. Op basis hiervan zijn een aantal aanbevelingen geformuleerd.

Aanbevolen wordt om niet aan te passen:

- **Stationsneerslag en urneerslag.** Hoewel urneerslag een reëler beeld geeft van de neerslag-intensiteit kunnen de gevolgen voor de modelberekeningen aanzienlijk zijn waardoor ook andere factoren als berging (bodem en maaiveld),  $K_{\text{sat}}$  en LEFRSO/LEFRRV ter discussie komen te staan. Bovendien is het aantal stations waar urneerslag wordt gemeten nog beperkt. STONE is een consensusmodel en het gebruik van eigen varianten voor urneerslag past niet in deze filosofie. Aanbevolen wordt om te wachten op een algemeen geaccepteerde aanpak, te ontwikkelen en publiceren door het KNMI.
- **$K_{\text{sat}}$  van de toplaag.** Op de manier waarop de  $K_{\text{sat}}$  is teruggebracht is het effect bij zandgronden gering. Voor klei- en veengronden is de huidige waarde te beschouwen als een effectieve waarde waarmee ook het gedrag van macroporiën wordt beschreven. Een sterke aanpassing van de  $K_{\text{sat}}$ -waarden zonder rekening te houden met macro-poriën is niet consistent. Daarnaast zijn de chemisch / biologische processen in het model ingeregeld aan de hand van een versie die gebruik maakt van de standaard bodemfysische schematiseringen. Uit berekeningen met STONE waarin de macroporiën optie was ingeschakeld is geconcludeerd dat een herziening van de parametrisering van de chemisch / biologische processen nodig zou zijn bij gebruik van deze optie.
- **Maximum ponding layer.** Er zijn onvoldoende literatuur- of meetgegevens bekend om een andere dikte dan de huidige 2 mm van de ponding layer en factoren voor RSO en RSOexp op te baseren. Bij het handhaven van districtsneerslag zou aanpassing van RSO en/of RSOexp weinig gevolgen hebben. Bij urneerslag neemt de runoff bij de standaardwaarden voor RSO en RSOexp al fors toe. Een kleinere RSO en/of een kleiner RSOexp zou dan tot een onwaarschijnlijk grote runoff leiden.

Aanbevolen wordt om wel aan te passen:

- **LEFRSO.** De parameter LEFRSO verdeelt de oppervlakkige afstroming van het 'bodemdeel' over het een deel met de concentratie van plassen en een deel dat met de concentratie van de eerste bodemlaag afstroomt. Hiervoor is altijd de waarde 0,25 gebruikt, maar op grond van een theoretische beschouwing ligt een waarde van 0,40 - 0,475 meer voor de hand. Dit past beter bij de tijdstaplengthte van tien dagen in STONE. Aanbevolen wordt hiervoor de waarde 0,45 voor te gaan gebruiken. Er is geen aanleiding om tevens de parameter LEFRRV (0,20) aan te passen.
- **Diepte modelprofiel.** Differentiatie in profieldieptes levert een realistischere dikte van de doorstroomde laag op, en daarmee van de verblijftijd cq. de waterkwaliteit. Een verdere differentiatie in diepte en ruimtelijk verdeling in samenhang met de ontwikkeling van een NHI-

---

variant voor waterkwaliteit verdient de voorkeur, maar de vorming van dit instrumentarium laat nog op zich wachten. Gezien het belang van de profieldiepte verdient het aanbeveling om als pragmatische tussenoplossing al wel met de vier diepteklassen (3, 5, 13 en 20 meter) te gaan rekenen die dit onderzoek heeft opgeleverd. Deze aanpassing vergt waarschijnlijk om een nieuwe kalibratie van het model op meetgegevens en de resultaten van vorige versies.

Aanbevolen wordt om, voordat de aanpassingen definitief in een nieuwe versie van STONE worden geïmplementeerd, eerst *alle* plots met de nieuwe gegevens worden doorgerekend en de uitkomsten te vergelijken met de oorspronkelijk resultaten.

---

# Literatuur

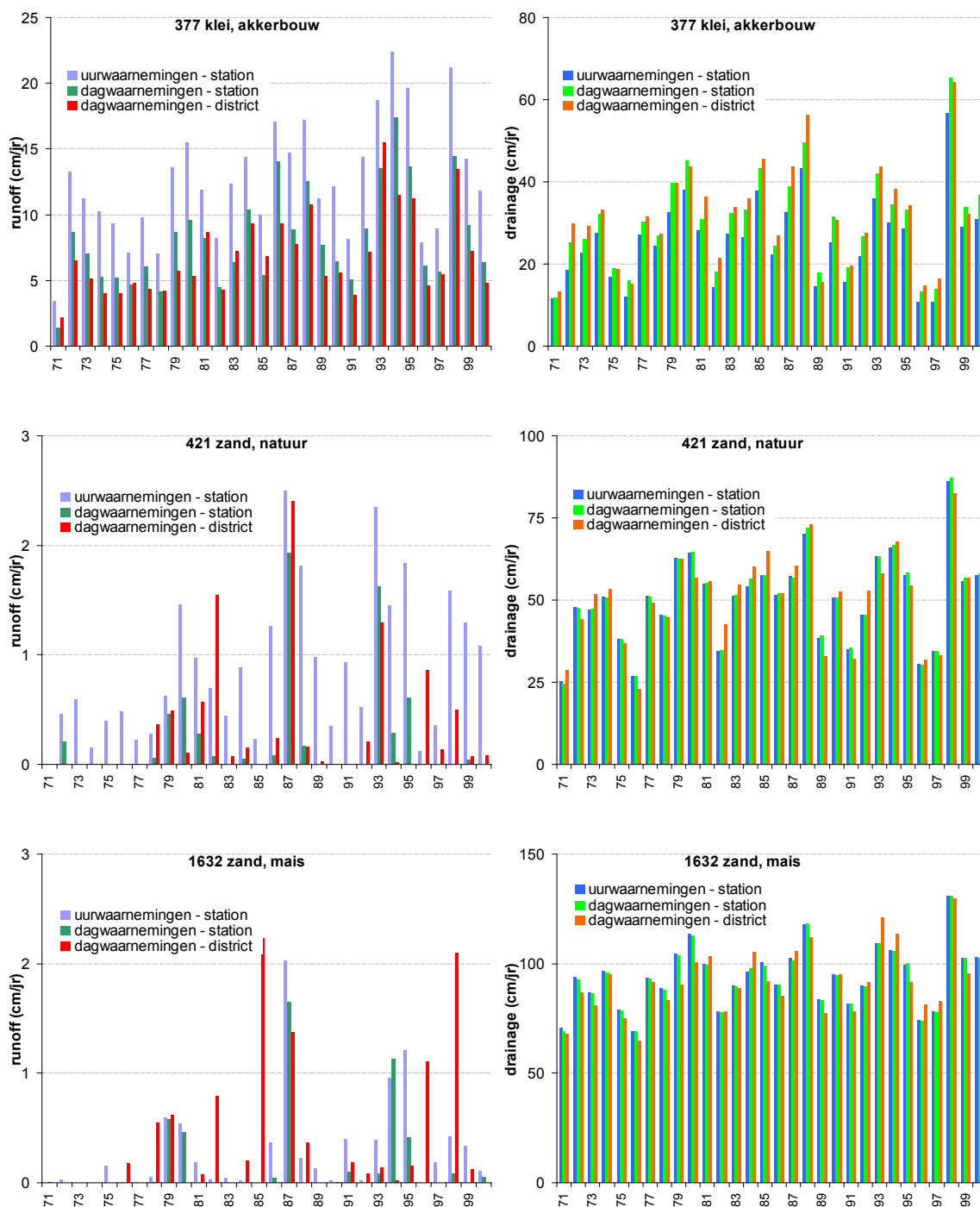
- Assinck, F.B.T. en C. van der Salm, 2012. Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden. Bemestingstool: een instrument ter voorkoming van incidentele nutriëntenverliezen door oppervlakkige afvoer. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 2271.
- Beusen, A.H.W., C.C.G. Schotten, J. Roelsma en P. Groenendijk, 2004. STONE 2.1, technische documentatie. Intern rapport MNP-RIVM (IMP rapport nr. M004/04), Bilthoven.
- Dam, J.C. van, J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk en C.A. van Diepen, 1997. Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. Technical Document 45, SC-DLO. Wageningen.
- Fonck, H., 1968. Een onderzoek naar de infiltratiecapaciteit van gronden in de Gelderse Achterhoek. Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, ICW-nota 455.
- Gaast, J.W.J. van der, H.R.J. Vroon, H.Th.L. Massop en J.G. Wesseling, 2013. Verdieping bodemkaart Nederland; Landsdekkende schematisatie en parametrisatie van de boven- en ondergrond ten behoeve van hydrologische modellering. Wageningen, Alterra rapport in voorbereiding.
- Groenendijk, P., L.V. Renaud en J. Roelsma, 2005. Prediction of Nitrogen and Phosphorus leaching to groundwater and surface waters. Wageningen, Alterra, Report 983.
- Groenendijk, P., L.V. Renaud, L.V., J. Roelsma, G.M.C.M. Janssen, S. Jansen, R. Heerdink, J. Griffioen en B. van der Grift, 2008. A new compliance checking level for nitrate in groundwater: modelling nitrate leaching and the fate of nitrogen in the upper 5 meter of the groundwater system. Wageningen, Alterra, Report 1820.
- Groenendijk, P., L.V. Renaud, O.F. Schoumans, H.H. Luesink, T.J. De Koeijer en G. Kruseman. 2012a. MAMBO- en STONE-resultaten van rekenvarianten van gebruiksnormen. Evaluatie meststoffenwet 2012: eindrapport ex ante. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2317.
- Jeurissen, L.J.J., 1990. Toetsing van het waterkwaliteitsmodel ANIMO; fosfaat af- en uitspoeling op zand-grasland. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen. Nota 1970.
- KNMI, 2009. [www.knmi.nl/klimatologie](http://www.knmi.nl/klimatologie).
- Kroes, J.G. en J. van Dam (eds.), 2003. Reference Manual SWAP version 3.0.3.
- Kroon T., P. Finke, I. Peereboom en A. Beusen, 2001. Redesign Stone. De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters. Riza rapport 2001.017. Lelystad.
- Linden, W. van der, 2002. Landsdekkende karakterisering topsysteem 1:250000. Eindrapport. NITG 02-176-B. Delft.
- Massop H.T.L., T. Kroon, P.J.T van Bakel, W.J. de Lange, M.J.H. Pastoors en J. Huygen, 2000. Hydrologie voor Stone; Schematisatie en parametrisatie. Wageningen, ALTERRA, RIZA en RIVM. Alterra-rapport 038. Reeks Milieuplanbureau 9.
- Massop, H.Th. L., I.G.A.M. Noij, W.M. Appels en A. van den Toorn, 2012. Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden. Metingen op zandgrond in Limburg. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2270.
- Noij, I.G.A.M., P.J.T. van Bakel, R.A. Schmidt, H.Th.L. Massop en W.J. Chardon, 2006. Fosfaatpilot Noord- en Midden-Limburg. Plan van Aanpak en Monitoring. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1255.
- Overbeek, G.B.J., A.H.W. Beusen, P.C.M. Boers *et al.*, 2000. Plausibiliteitsdocument STONE 2.0. RIVM rapport 718501001, Bilthoven.
- Plette S., C. van Beek, C. van der Zalm en R.F.A. Hendriks, 2004. Mest en oppervlaktewater; een synthese van de drie DOVE projecten ten behoeve van de evaluatie Meststoffenwet 2004. Lelystad, RIZA, RIZA werkrapport, nr. 2004.092x.
- Roelsma, J., T.P. van Tol-Leenders, F.J.E. van der Bolt, R.J. Löschner-Wolleswinkel, L.V. Renaud, J.D. Schaap, O.F. Schoumans, C. Siderius, H. van der Hleide en K. van der Molen, 2008. Systeemanalyse voor het gebied van de Drentse Aa Fase 3. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1764.
- Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, 1979. Rond of vlak grasland in de Flevopolders. RIJP rapport 1979-20. Abw, Lelystad.

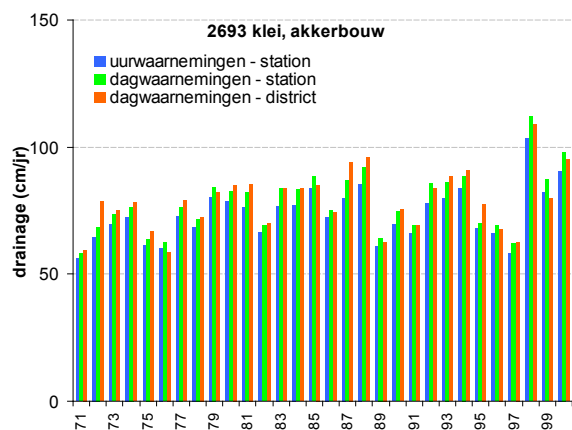
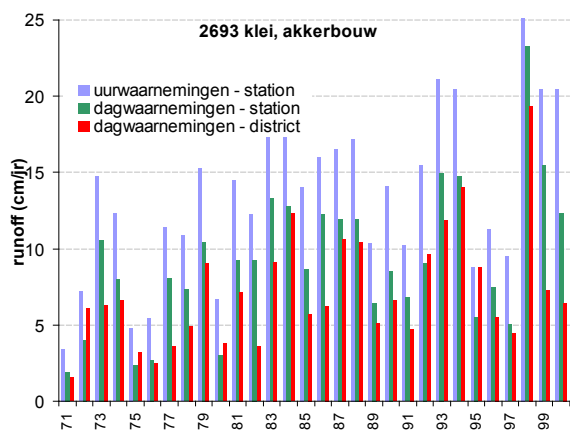
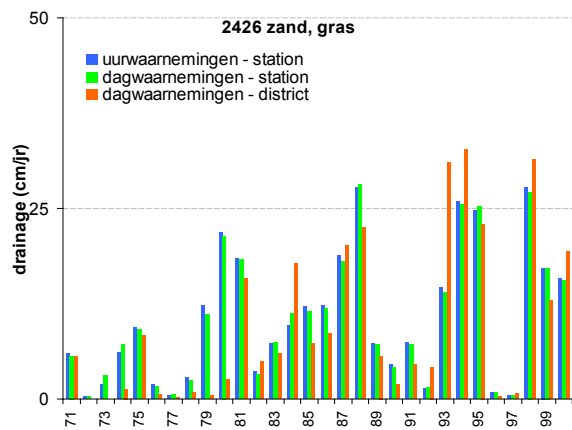
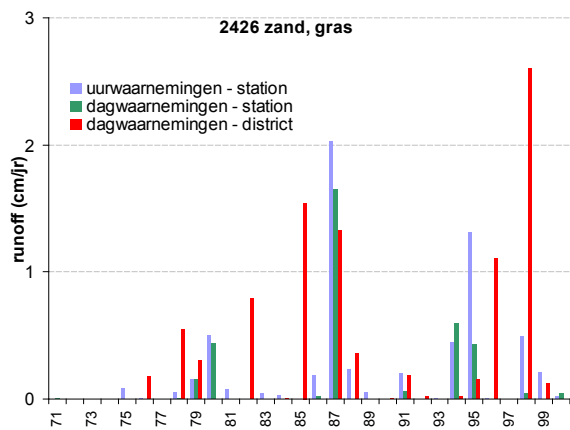
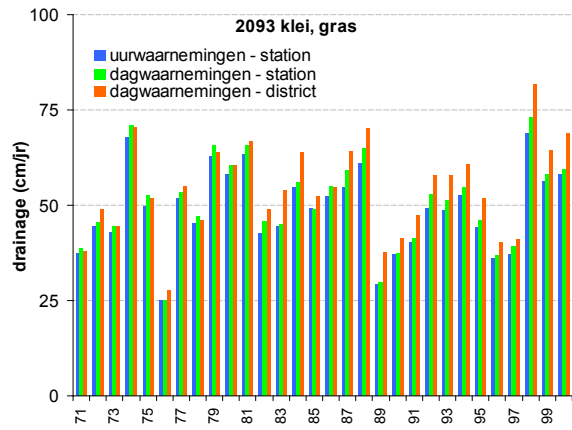
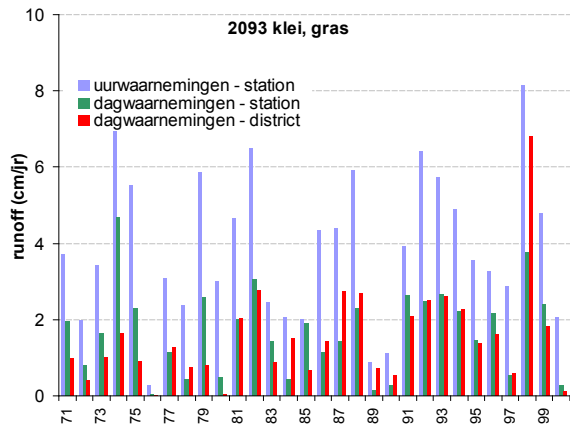
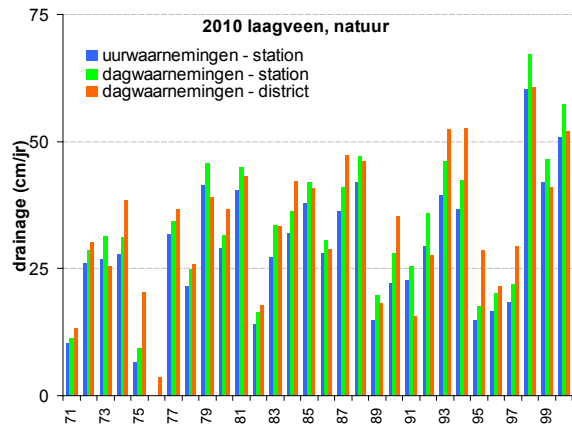
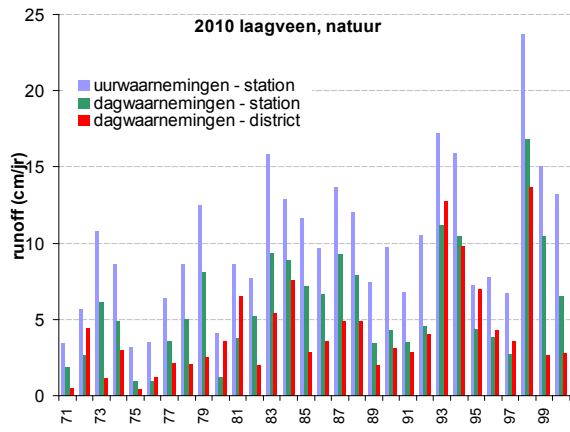


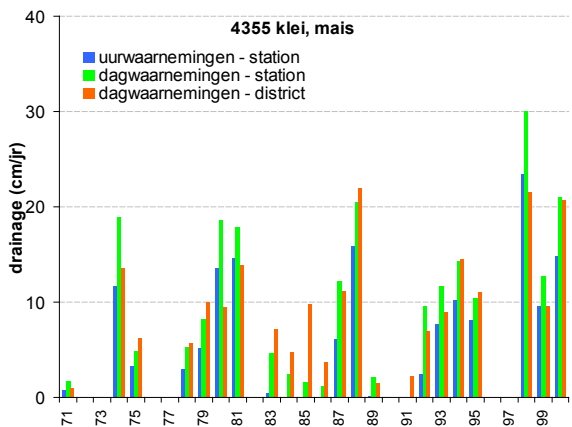
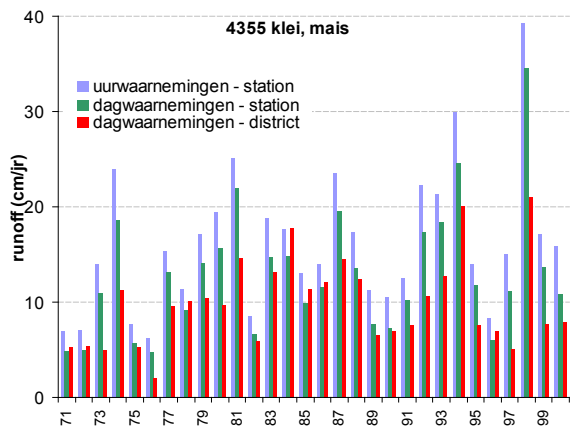
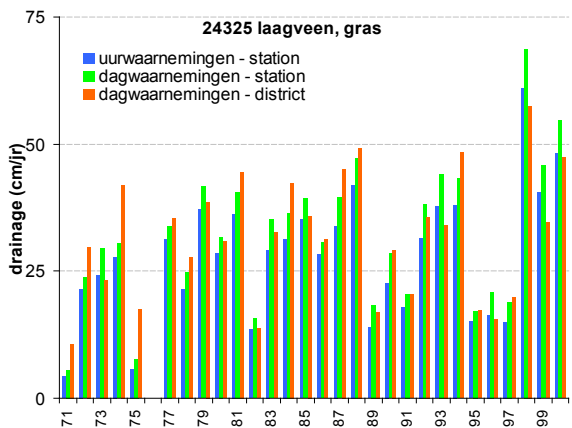
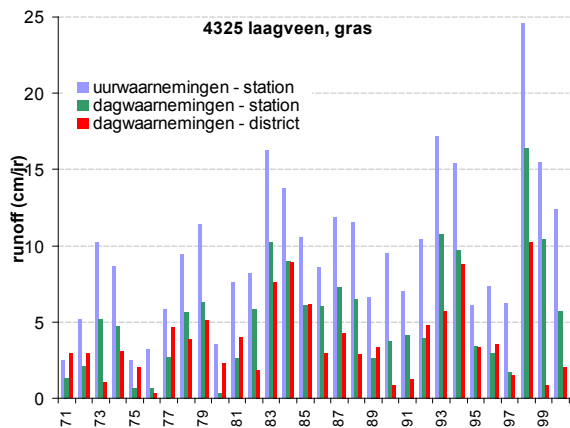
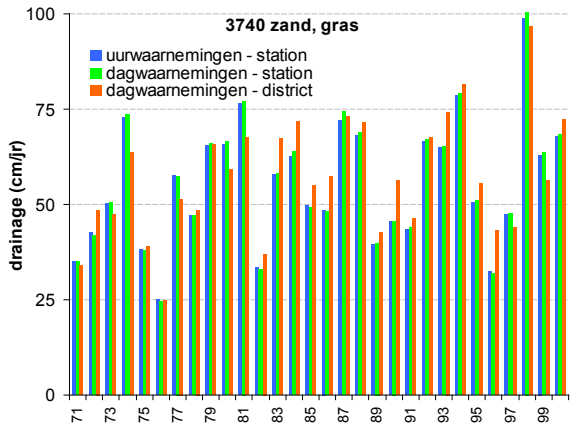
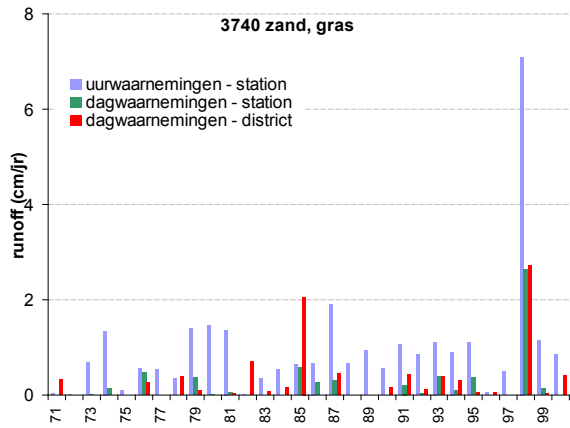
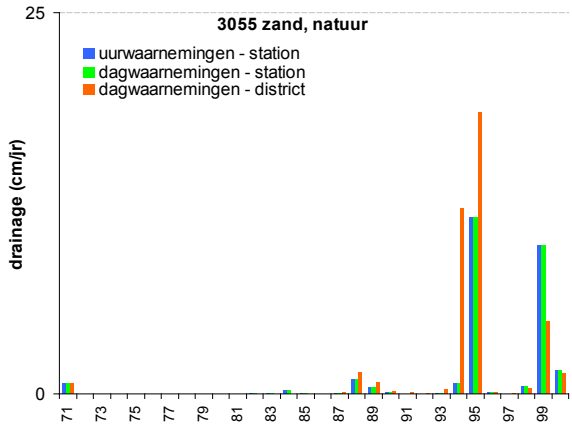
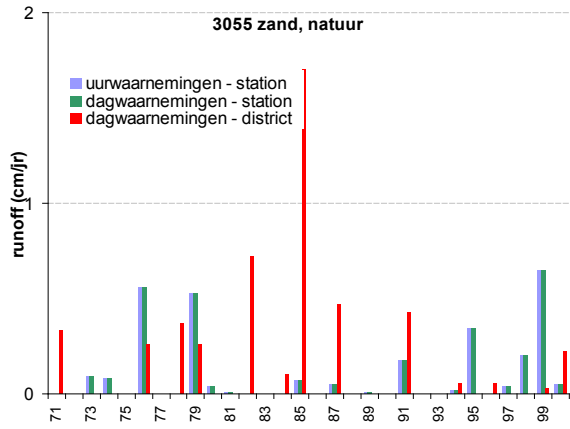
- 
- Rozemeijer, J.C., 2010. Dynamics in groundwater and surface water quality: From field-scale processes to catchment-scale monitoring. Utrecht University, PhD thesis.
- Schoumans, O.F., J. Roelsma, H.P. Oosterom, P. Groenendijk, J. Wolf, H. van Zeijts, G.J. van den Born, S. van Tol, A.H.W. Beusen, H.F.M. ten Berge, H.G. van der Meer en F.K. van Evert. 2002. Nutriëntenemissie vanuit landbouwgronden naar het grondwater en oppervlaktewater bij varianten van verliesnormen. Modelberekeningen met STONE 2.0. Rapportage cluster 4, deel 1, Alterra, Wageningen, the Netherlands.
- Siderius, C., R.J. Wolleswinkel, F.J.E. van der Bolt, J. Roelsma, O.F. Schoumans, T.P. van Tol – Leenders en H. de Ruiter, 2008. Systeemanalyse voor het bemalingsgebied Quarles van Ufford Fase 3. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 1767.
- Thunnissen, H.A.M., 1987. Oppervlakte-afvoer: hoeveelheid en samenstelling. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene, RIVM rapport 728472003.
- Vries, de J.J., 1974. Groundwater flow systems and stream nets in the Netherlands. A groundwater-hydrological approach to the functional relationship between the drainage system and the geological and climatical conditions in a Quaternary accumulation area. Rodopi, Amsterdam. Proefschrift, Vrije Universiteit Amsterdam.
- 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. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1647.
- Van de Weerd, H. en R. Torenbeek, 2007. Uitspoeling van meststoffen uit grasland. Emissieroutes onder de loep. STOWA-rapport 2007;14, 49 pp.
- Van der Salm, C. J. Dolfig, 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 zware kleigrond. Monitoring van nutriëntenemissies op een melkveehouderijbedrijf in Waardenburg. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1266.
- Van der Salm, C., A. van den Toorn, W.J. Chardon en G.F. Koopmans, 2012. Water and nutrient transport on a heavy clay soil in a fluvial plain in the Netherlands. *J. Env Qual* 41: 229-241.
- Wallach, R., W.A. Jury en W.F. Spencer, 1988. Transfer of Chemicals from Soil Solution to Surface Runoff: a Diffusion-based Soil Model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **52** : 612-618.
- Wallach, R. en M. Th. Van Genuchten, 1990. A Physically Based Model for Prediction Solute Transfer From Soil Solution to Rainfall-Induced Runoff Water. *Water Resources Research*, **26** (9) 2199-2126.
- Willems W.J., A.H.W. Beusen, L.V. Renaud et. al., 2005. Nutriëntenbelasting van bodem en water: verkenning van de gevolgen van het nieuwe mestbeleid. Rapportnr. 500031003, Bilthoven.
- Willems, W.J., A.H.V. Beusen, L.V. Renaud *et al.*, 2008. Verkenning van milieugevolgen van nieuw mestbeleid. Achtergrondrapport Evaluatie Meststoffenwet 2007. Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven. PBL rapport 500124002.
- Wolf J., A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rötter en H. Van Zeijts, 2003. The integrated modelling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands. *Environ. Modell. Softw.* 18, pp. 597-617.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 1994. SC-CLO, Technisch rapport 18, Wageningen.
- 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, Wageningen.

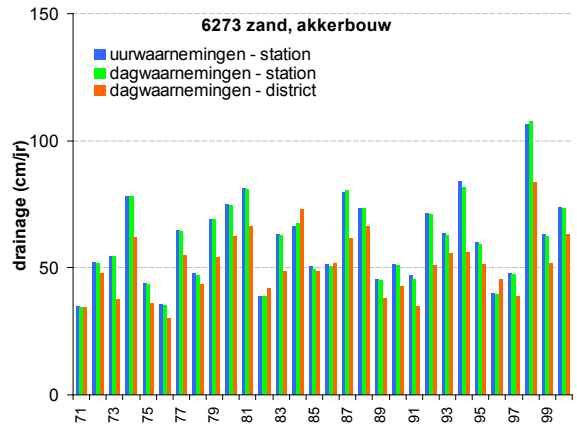
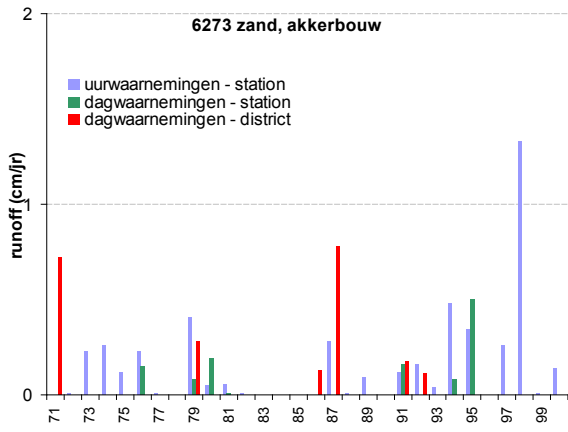
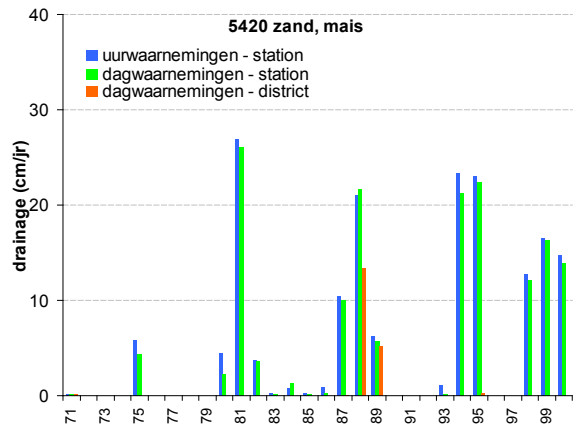
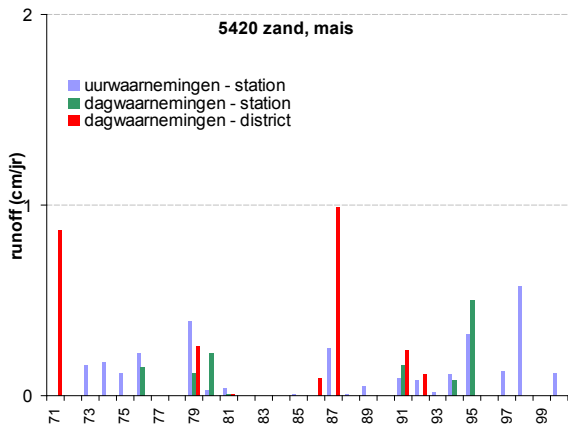
# Bijlage 1 Oppervlakkige afstroming en drainage van dertien STONE-plots

In bijlage 1 is de gemiddelde oppervlakkige afstroming en drainage grafisch weergegeven voor jaartotalen voor de periode 1971-2000. Met neerslag die op dagbasis per meteo-district ('district') en neerslagstation ('dag') en op uurbasis per neerslagstation ('uur') is ingevoerd.









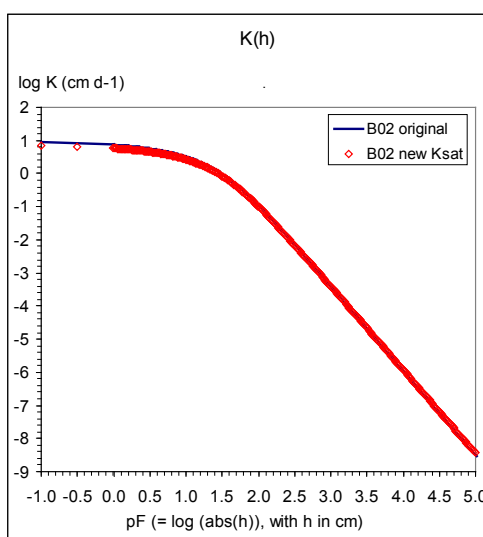
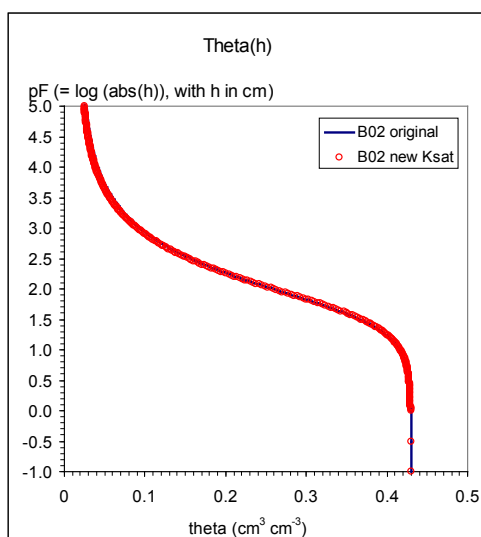
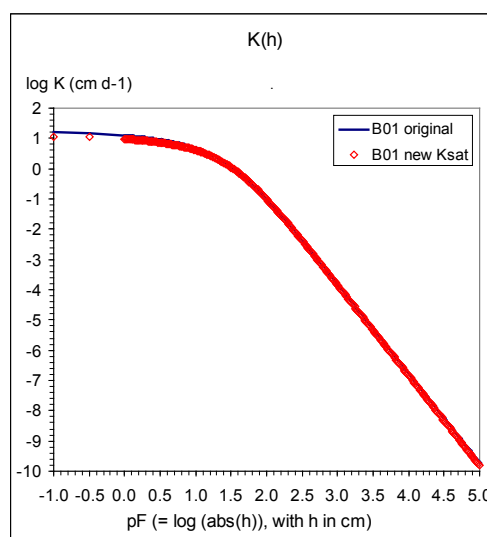
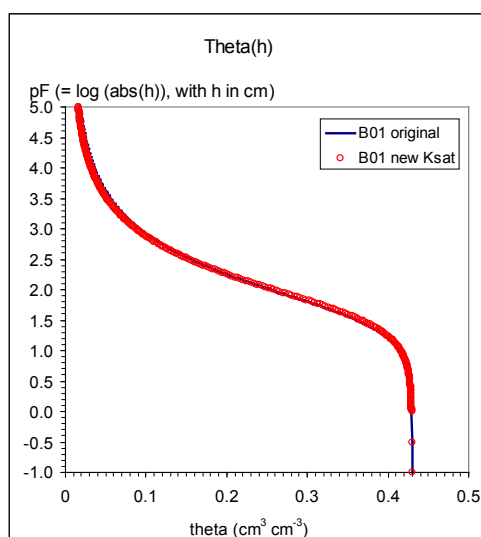


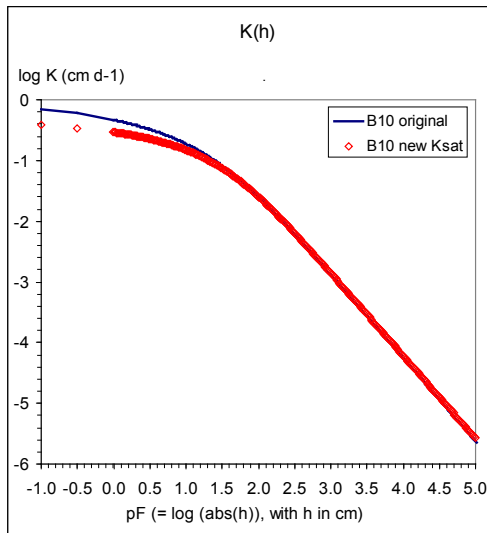
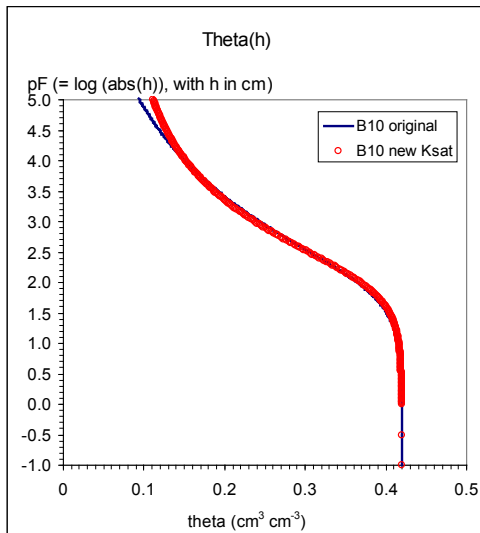
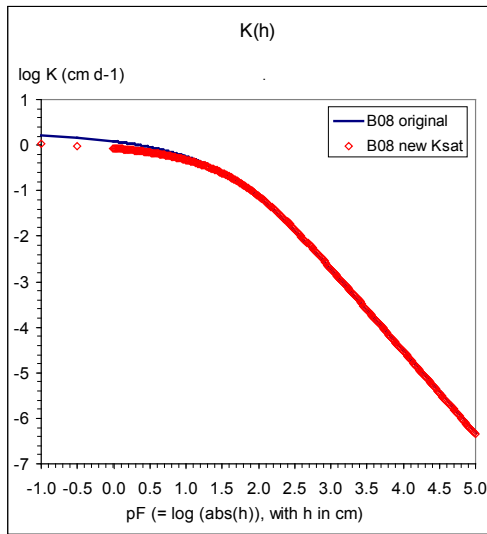
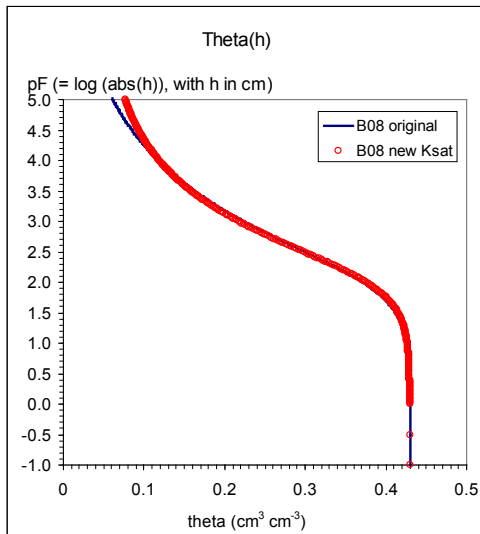
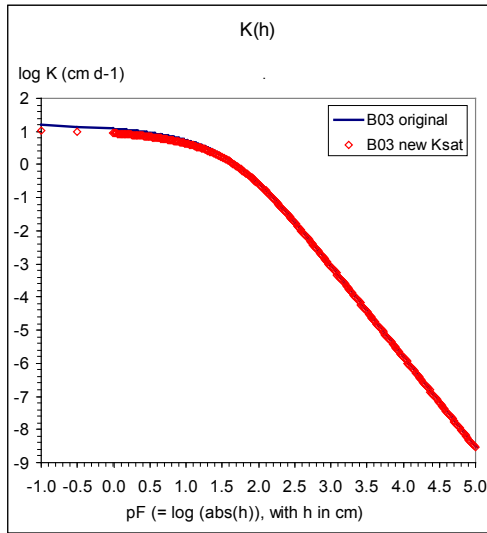
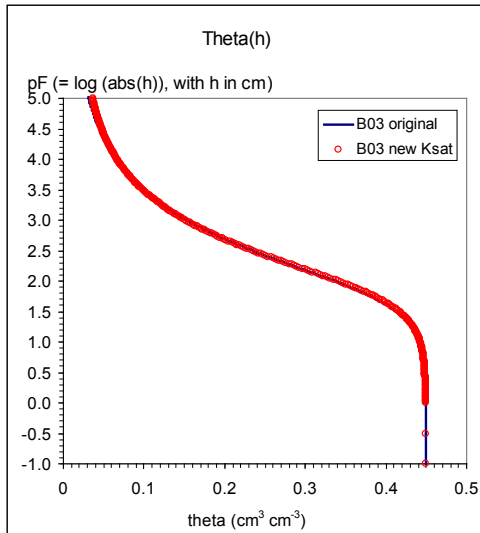
# Bijlage 2    Aanpassing Van Genuchten-parameters van de eerste bodemlaag in STONE na verkleining van $K_{sat}$

Compilation of results.

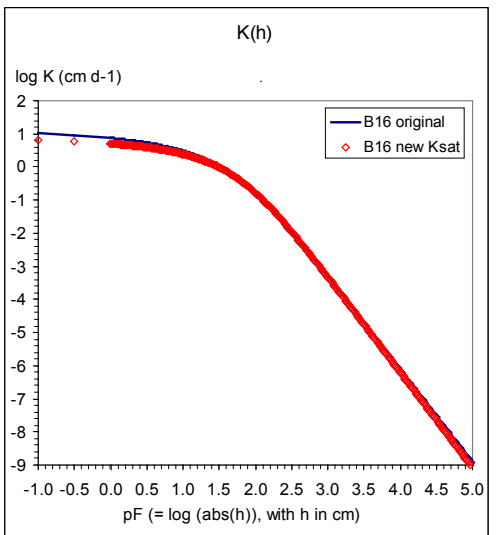
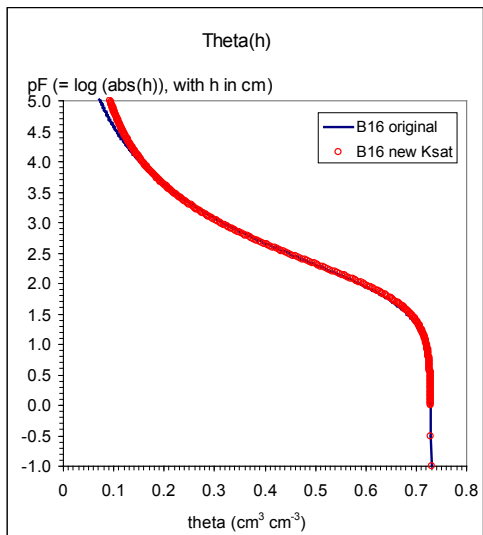
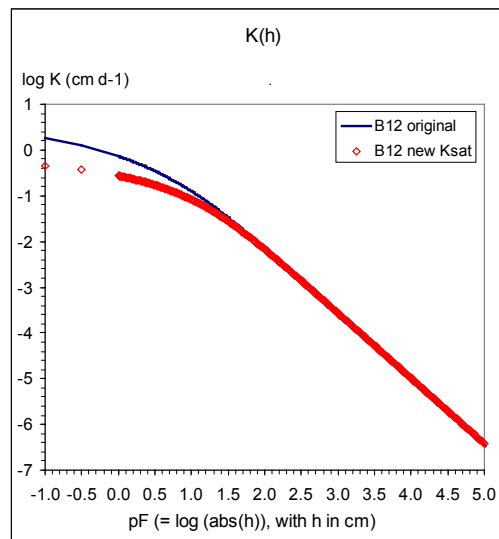
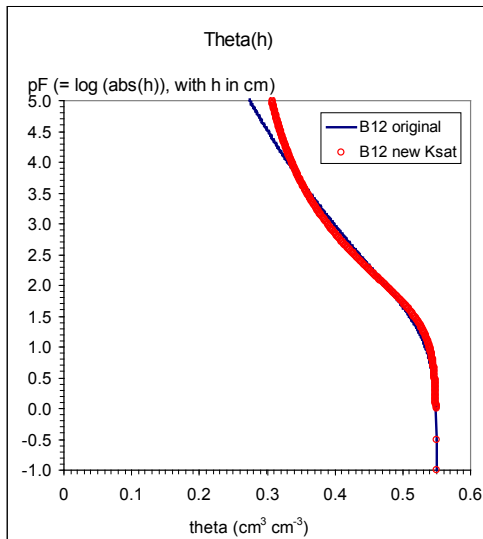
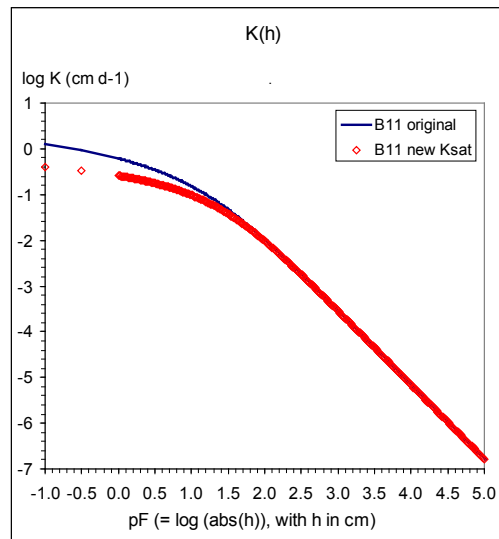
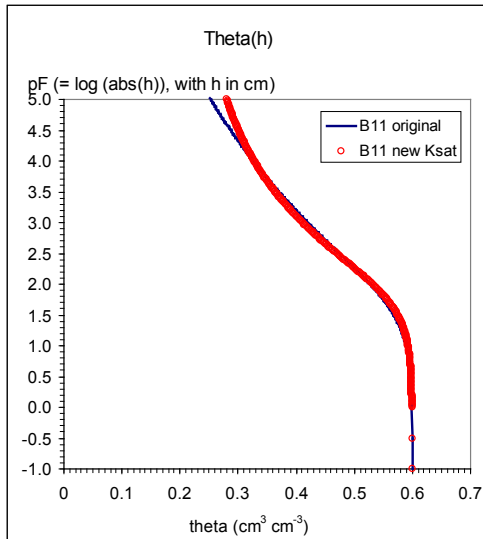
SWAP-parameter Bouwsteen	B01	B02	B03	B08	B10	B11	B12	B16	B18	O01	O15
ORES	0.010	0.020	0.020	0.047	0.077	0.220	0.272	0.049	0.200	0.010	0.050
OSAT	0.43	0.43	0.45	0.43	0.42	0.60	0.55	0.73	0.77	0.36	0.41
ALFA	0.0225	0.0220	0.0138	0.0081	0.0093	0.0153	0.0275	0.0116	0.0150	0.0244	0.0065
NPAR	1.542	1.570	1.450	1.380	1.335	1.250	1.260	1.387	1.270	2.167	1.380
$K_{SAT}$	12.50	7.37	12.06	1.21	0.47	0.61	0.73	7.53	1.38	12.87	2.20
LEXP	-0.18	-1.08	-0.34	-2.45	-3.90	-3.50	-4.20	0.30	-2.00	0.00	0.40

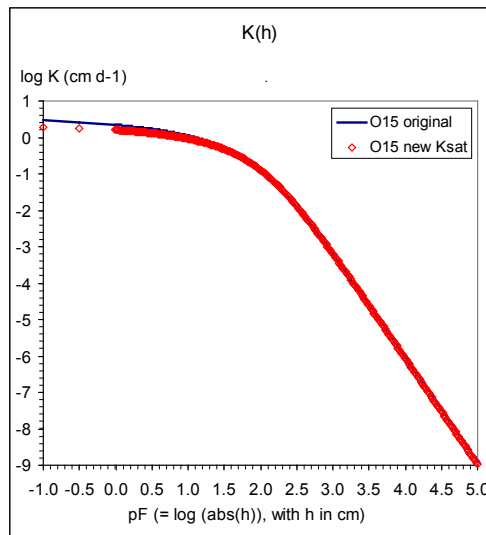
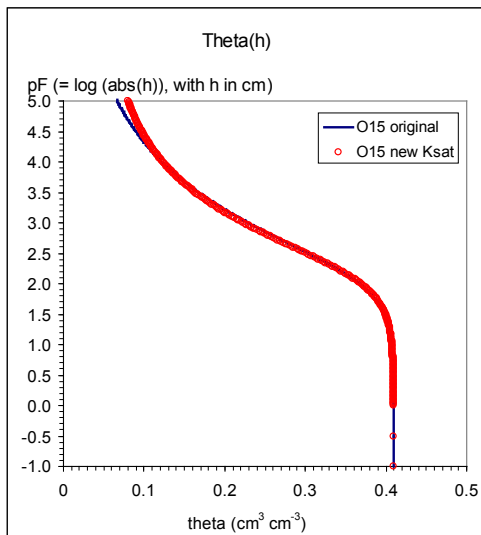
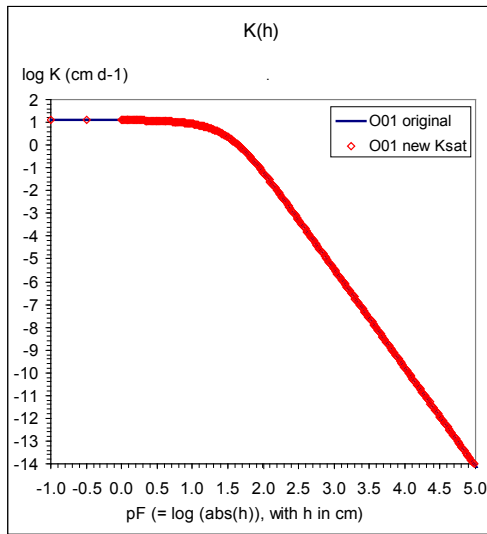
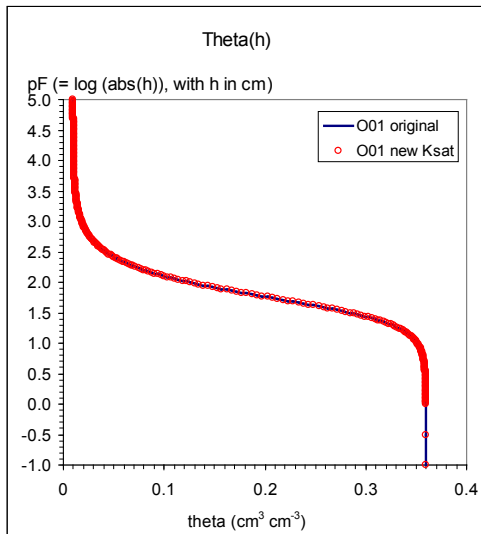
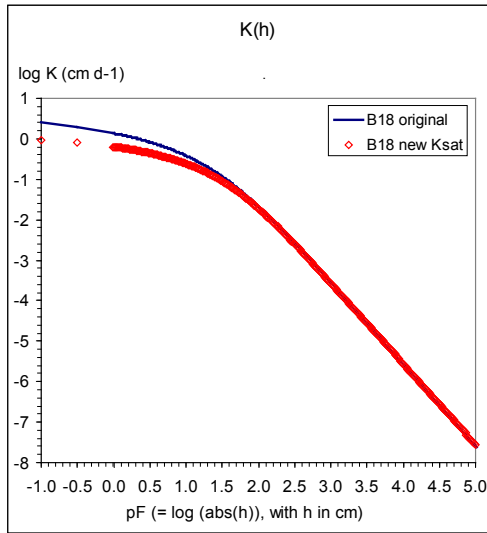
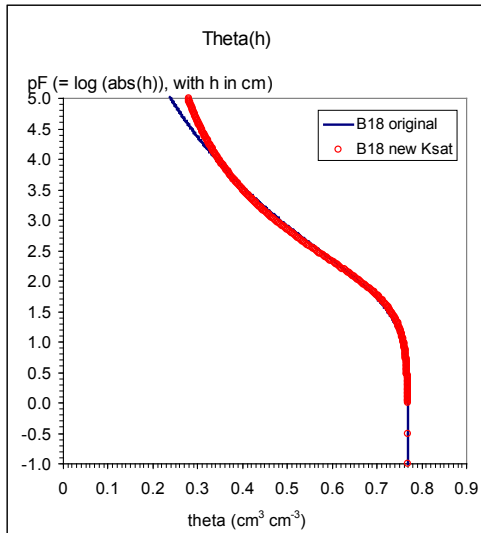
: modified values











# Bijlage 3 Gemiddelde water, N- en P-balansen van acht STONE-plots bij uur-neerslagwaarden en kleinere $K_{sat}$ -waarden

Dag = oorspronkelijk  $K_{sat}$ -waarden en MvG-parameters en dag-neerslagwaarden  
 Uur = oorspronkelijk  $K_{sat}$ -waarden en MvG-parameters en uur-neerslagwaarden  
 Nieuw = kleinere  $K_{sat}$ -waarden en aangepaste MvG-parameters en uur-neerslagwaarden

Gemiddelde N-, P- en waterbalans over de periode 1986-2000 voor STONE-plot: **4355** (mais, klei)

4355 N (kg/ha)

Input	Org-N			NH4-N			NO3-N		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition dry	0	0	0	35	35	35	13	13	13
Deposition wet	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Additions	233	233	233	206	206	206	60	60	60
Redistrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crop residues	16	16	16	0	0	0	0	0	0
Exudates	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Incorporation	74	75	76	0	0	0	0	0	0
Nett mineral.	0	0	0	258	262	266	0	0	0
Nitrification	0	0	0	0	0	0	420	423	428
Irrigation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Runon	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inundation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltration from:									
- 3rd order	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- 2nd order	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- 1st order	0	0	0	0.03	0.03	0.05	0.67	0.79	0.99
Bottom upw flux	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
<b>Total input</b>	<b>322</b>	<b>323</b>	<b>324</b>	<b>500</b>	<b>503</b>	<b>507</b>	<b>494</b>	<b>498</b>	<b>503</b>

Output	Org-N			NH4-N			NO3-N		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Volatilization	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Redistrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crop uptake	0	0	0	79	79	77	128	131	134
Gross mineral.	332	336	341	0	0	0	0	0	0
Immobilization	0	0	0	0.05	0.05	0.05	0	0	0
Nitrification	0	0	0	420	423	428	0	0	0
Denitrification	0	0	0	0	0	0	350	349	350
Runoff_Pr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Runoff_L0	0.00	0.00	0.00	0.17	0.73	1.24	0.15	0.70	1.15
Runoff_L1	0.09	0.19	0.36	0.05	0.11	0.21	0.47	1.40	2.56
Discharge to:									
- 3rd order	2.99	2.01	0.61	0.09	0.06	-	###	8.79	4.67
- 2nd order	0.15	0.1	0.04	0	0	0	1.11	0.98	0.66
- 1st order	0.05	0.02	0	0	0	0	1.71	1.8	1.5
Bot downw flux	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	5.1	5.8	6.4
<b>Total output</b>	<b>336</b>	<b>339</b>	<b>342</b>	<b>500</b>	<b>503</b>	<b>507</b>	<b>498</b>	<b>500</b>	<b>501</b>

4355 P (kg/ha)

Input	Org-P			PO4-P		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition wet	0	0	0	0	0	0
Additions	11.1	11.1	11.1	112	112	112
Redistrib	0	0	0	0	0	0
Crop residues	2.56	2.56	2.56	0	0	0
Exudates	0	0	0	0	0	0
Incorporation	9.23	9.34	9.46	0	0	0
Net mineral.	0	0	0	16.2	16.5	16.8
Irrigation	0	0	0	0	0	0
Runon	0	0	0	0	0	0
Inundation	0	0	0	0	0	0
Infiltration from:						
- 3rd order	0	0	0	0	0	0
- 2nd order	0	0	0	0	0	0
- 1st order	0	0	0	0	0	0
Bottom Upw flux	0	0	0	0	0	0
<b>Total input</b>	<b>22.9</b>	<b>23</b>	<b>23.1</b>	<b>128</b>	<b>129</b>	<b>129</b>

Output	Org-P			PO4-P		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Redistrib	0	0	0	0	0	0
Crop uptake	0	0	0	34.5	34.5	34.5
Gross mineral.	25.4	25.8	26.2	0	0	0
Immobilization	0	0	0	0	0	0
Runoff_Pr	0	0	0	0	0	0
Runoff_L0	0	0	0	0.02	0.13	0.21
Runoff_L1	0.01	0.01	0.02	0.06	0.12	0.23
Discharge to:						
- 3rd order	0.15	0.1	0.03	0.12	0.08	0.03
- 2nd order	0.01	0	0	0.01	0.01	0
- 1st order	0	0	0	0.02	0.02	0.01
Bottom downw f	0	0	0	0.09	0.09	0.09
<b>Total output</b>	<b>25.5</b>	<b>25.9</b>	<b>26.3</b>	<b>34.8</b>	<b>35.0</b>	<b>35.1</b>

4355 water (mm/jaar)

Input	water		
	dag	uur	nieuw
Rainfall	852	856	856
Snowfall	8.0	8.3	8.3
Irrigation	0	0	0
Runon	0	0	0
Inundation	0	0	0
Infiltration from:			
- 3rd order	0	0.04	0.08
- 2nd order	0	0.06	0.11
- 1st order	33.6	39.6	49.9
Bottom upw flux	0	0	0
<b>Total input</b>	<b>894</b>	<b>904</b>	<b>915</b>

Output	water		
	dag	uur	nieuw
Interception	44.3	44.7	44.7
Snow sublimation	2.1	2.1	2.1
Pond evaporation	0	0	0
Soil evaporation	195	198	205
Plant evaporation	206	209	209
Runoff_Pr	44	85	145
Runoff_L0	8.2	16.0	27.2
Runoff_L1	2.7	5.3	9.1
Drainage to:			
- 3rd order	157.0	116.8	60.4
- 2nd order	16.1	13.1	7.87
- 1st order	42.7	37.8	26.3
Bottom downw flux	176	176	176
<b>Total output</b>	<b>893</b>	<b>904</b>	<b>913</b>

Gemiddelde N-, P- en waterbalans over de periode 1986-2000 voor STONE-plot: **4325** (gras, laagveen)

4325 N (kg/ha)

Input	Org-N			NH4-N			NO3-N			Output	Org-N			NH4-N			NO3-N		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw		dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition dry	0	0	0	26	26	26	13	13	13										
Deposition wet	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
Additions	161	161	161	231	231	231	82	82	82	Volatilization	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Redistrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Redistrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crop residues	334	334	334	0	0	0	0	0	0	Crop uptake	0	0	0	525	526	526	161	162	161
Exudates	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Incorporation	147	148	148	0	0	0	0	0	0	Gross mineral.	673	678	679	0	0	0	0	0	0
Nett mineral.	0	0	0	527	531	531	0	0	0	Immobilization	0	0	0	0.20	0.20	0.20	0	0	0
Nitrification	0	0	0	0	0	0	258	260	259	Nitrification	0	0	0	258	260	259	0	0	0
										Denitrification	0	0	0	0	0	0	188	190	189
Irrigation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Runoff_Pr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Runon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Runoff_L0	0.00	0.00	0.00	1.00	1.90	3.54	0.45	0.91	1.71
Inundation	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Runoff_L1	0.03	0.08	0.15	0.00	0.03	0.07	0.02	0.08	0.15
Infiltration from:										Discharge to:									
- 3rd order	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.03	- 3rd order	6.33	5.73	4.75	1.66	1.61	1.37	2.64	2.61	1.91
- 2nd order	0	0	0	0.56	0.57	0.59	0.72	0.72	0.73	- 2nd order	0.72	0.65	0.61	0.27	0.26	0.27	0.17	0.17	0.15
- 1st order	0	0	0	0.41	0.41	0.43	0.51	0.53	0.55	- 1st order	0.22	0.19	0.18	0.3	0.29	0.29	0.05	0.05	0.03
Bottom upw flux	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	0.00	0.00	0.00	Bot downw flux	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total input	641	643	643	786	790	791	353	356	355	Total output	680	685	685	786	790	790	353	356	354

4325 P (kg/ha)

Input	Org-P			PO4-P			Output	Org-P			PO4-P		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw		dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition wet	0	0	0	0	0	0							
Additions	4.91	4.91	4.91	56.2	56.2	56.2	Redistrib	0	0	0	0	0	0
Redistrib	0	0	0	0	0	0	Crop uptake	0	0	0	81.5	81.5	81.5
Crop residues	38.9	38.9	38.9	0	0	0	Gross mineral.	58.3	58.7	58.8	0	0	0
Exudates	0	0	0	0	0	0	Immobilization	0	0	0	0.01	0.01	0.01
Incorporation	12.2	12.3	12.3	0	0	0	Runoff_Pr	0	0	0	0	0	0
Net mineral.	0	0	0	46.1	46.4	46.4	Runoff_L0	0	0	0	0.1	0.21	0.43
Irrigation	0	0	0	0	0	0							
Runon	0	0	0	0	0	0	Runoff_L1	0	0	0.01	0.03	0.06	0.1
Inundation	0	0	0	0	0	0	Discharge to:	0	0	0	0	0	0
							- 3rd order	0.39	0.36	0.29	1.31	1.25	0.98
Infiltration from:	0	0	0	0	0	0	- 2nd order	0.04	0.04	0.04	0.18	0.18	0.18
- 3rd order	0	0	0	0	0	0	- 1st order	0.02	0.01	0.01	0.15	0.14	0.14
- 2nd order	0	0	0	0.07	0.07	0.07	Bottom downw f	0	0	0	0	0	0
- 1st order	0	0	0	0.05	0.05	0.05	Total output	58.8	59.1	59.1	83.3	83.4	83.4
Bottom Upw flux	0.1	0.1	0.1	0.25	0.25	0.25							
Total input	56.1	56.2	56.3	103	103	103							

4325 water (mm/jaar)

Input	water			Output	water		
	dag	uur	nieuw		dag	uur	nieuw
Rainfall	855	858	858	Interception	55.8	56.3	56.3
Snowfall	8.9	9.1	9.1	Snow sublimation	1.5	1.5	1.5
Irrigation	0	0	0	Pond evaporation	0	0	0
				Soil evaporation	140	141	144
Runon	0	0	0	Plant evaporation	281	282	282
Inundation	0	0	0	Runoff_Pr	29	53	91
				Runoff_L0	5.5	9.9	17.0
Infiltration from:	0	0	0	Runoff_L1	1.8	3.3	5.7
- 3rd order	3.97	3.99	4.59	Drainage to:			
- 2nd order	70.4	70.8	74.2	- 3rd order	400.9	375.4	333
- 1st order	51.6	52	54.6	- 2nd order	64.6	63.3	62.7
Bottom upw flux	39.1	39.1	39.1	- 1st order	47.2	46.3	46
				Bottom downw flux	0	0	0
Total input	1029	1033	1040	Total output	1028	1032	1039

Gemiddelde N-, P- en waterbalans over de periode 1986-2000 voor STONE-plot: **2010** (natuur, laagveen)

2010 N (kg/ha)

Input	Org-N			NH4-N			NO3-N		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition dry	0	0	0	23	23	23	10	10	10
Deposition wet	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Additions	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Redistrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crop residues	20	20	19	0	0	0	0.97	0.97	1.03
Exudates	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Incorporation	9	9	9	0	0	0	0	0	0
Nett mineral.	0	0	0	15	15	14	0	0	0
Nitrification	0	0	0	0	0	0	24	24	25
Irrigation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Runon	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inundation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltration from:									
- 3rd order	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.03
- 2nd order	0	0	0	0.02	0.02	0.04	0.41	0.41	0.47
- 1st order	0	0	0	0.04	0.04	0.05	0.45	0.45	0.5
Bottom upw flux	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
<b>Total input</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>36</b>

Output	Org-N			NH4-N			NO3-N		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Volatilization	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Redistrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crop uptake	0	0	0	14	14	13	7	8	8
Gross mineral.	24	24	23	0	0	0	0	0	0
Immobilization	0	0	0	0.10	0.10	0.10	0	0	0
Nitrification	0	0	0	24	24	25	0	0	0
Denitrification	0	0	0	0	0	0	20	20	21
Runoff_Pr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Runoff_L0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.07	0.00	0.01	0.03
Runoff_L1	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.12	0.05	0.12	0.22
Discharge to:									
- 3rd order	0.45	0.45	0.37	0.91	0.88	0.66	9.23	8.83	8.12
- 2nd order	0.03	0.04	0.03	0.1	0.1	0.1	0.85	0.87	0.87
- 1st order	0	0	0	0.23	0.23	0.21	0.37	0.36	0.36
Bot downw flux	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
<b>Total output</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>24</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>39</b>

2010 P (kg/ha)

Input	Org-P			PO4-P		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition wet	0	0	0	0	0	0
Additions	0	0	0	0	0	0
Redistrib	0	0	0	0	0	0
Crop residues	2.86	2.88	2.69	0	0	0
Exudates	0	0	0	0	0	0
Incorporation	0.75	0.77	0.74	0	0	0
Net mineral.	0	0	0	1.66	1.7	1.6
Irrigation	0	0	0	0	0	0
Runon	0	0	0	0	0	0
Inundation	0	0	0	0	0	0
Infiltration from:						
- 3rd order	0	0	0	0	0	0
- 2nd order	0	0	0	0	0	0
- 1st order	0	0	0	0	0	0
Bottom Upw flux	0	0	0	0	0	0
<b>Total input</b>	<b>3.61</b>	<b>3.65</b>	<b>3.43</b>	<b>1.66</b>	<b>1.7</b>	<b>1.6</b>

Output	Org-P			PO4-P		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Redistrib	0	0	0	0	0	0
Crop uptake	0	0	0	2.85	2.88	2.68
Gross mineral.	2.4	2.46	2.33	0	0	0
Immobilization	0	0	0	0.01	0.01	0.01
Runoff_Pr	0	0	0	0	0	0
Runoff_L0	0	0	0	0	0	0
Runoff_L1	0	0	0	0	0	0
Discharge to:						
- 3rd order	0.06	0.06	0.05	0.29	0.27	0.24
- 2nd order	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04	0.04
- 1st order	0	0	0	0.06	0.06	0.05
Bottom downw f	0	0	0	0.02	0.02	0.02
<b>Total output</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>2.4</b>	<b>3.3</b>	<b>3.3</b>	<b>3.1</b>

2010 water (mm/jaar)

Input	water		
	dag	uur	nieuw
Rainfall	845	849	849
Snowfall	18.5	18.8	18.8
Irrigation	0	0	0
Runon	0	0	0
Inundation	0	0	0
Infiltration from:			
- 3rd order	2.96	2.99	4.01
- 2nd order	39.5	39.7	44.7
- 1st order	44.3	44.5	50.2
Bottom upw flux	0	0	0
<b>Total input</b>	<b>950</b>	<b>955</b>	<b>966</b>

Output	water		
	dag	uur	nieuw
Interception	150	151	151
Snow sublimation	1.5	1.5	1.5
Pond evaporation	0	0	0
Soil evaporation	71.7	71.5	72.6
Plant evaporation	182	183	190
Runoff_Pr	29	50	94
Runoff_L0	5.6	9.7	18.1
Runoff_L1	1.9	3.2	6.0
Drainage to:			
- 3rd order	394.2	371.4	323
- 2nd order	45.6	44.8	43.5
- 1st order	50.9	50.0	48.5
Bottom downw flux	17.5	17.5	17.5
<b>Total output</b>	<b>949</b>	<b>953</b>	<b>965</b>

Gemiddelde N-, P- en waterbalans over de periode 1986-2000 voor STONE-plot: **377** (bouwland, klei)

377 N (kg/ha)

Input	Org-N			NH4-N			NO3-N		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition dry	0	0	0	20	20	20	9	9	9
Deposition wet	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Additions	21	21	21	85	85	85	73	73	73
Redistrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crop residues	32	32	32	0	0	0	0	0	0
Exudates	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Incorporation	69	69	71	0	0	0	0	0	0
Nett mineral.	0	0	0	94	95	103	0	0	0
Nitrification	0	0	0	0	0	0	125	126	132
Irrigation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Runon	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inundation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltration from:									
- 3rd order	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- 2nd order	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- 1st order	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bottom upw flux	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.00	0.00	0.00
<b>Total input</b>	<b>122</b>	<b>122</b>	<b>124</b>	<b>199</b>	<b>200</b>	<b>208</b>	<b>207</b>	<b>208</b>	<b>215</b>

Output	Org-N			NH4-N			NO3-N		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Volatilization	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Redistrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crop uptake	0	0	0	72	72	73	102	103	103
Gross mineral.	162	164	174	0	0	0	0	0	0
Immobilization	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0	0	0
Nitrification	0	0	0	125	126	132	0	0	0
Denitrification	0	0	0	0	0	0	95	94	101
Runoff_Pr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Runoff_L0	0.00	0.00	0.00	1.13	1.25	2.73	1.13	1.25	2.68
Runoff_L1	0.01	0.01	0.09	0.02	0.02	0.10	0.17	0.21	1.13
Discharge to:									
- 3rd order	1.81	1.80	1.29	0.41	0.43	0.26	9.13	9.19	5.71
- 2nd order	0.03	0.03	0.02	0	0	0	0.10	0.1	0.1
- 1st order	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.02	0.02	0.02
Bot downw flux	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total output</b>	<b>164</b>	<b>166</b>	<b>175</b>	<b>199</b>	<b>200</b>	<b>208</b>	<b>207</b>	<b>209</b>	<b>214</b>

377 P (kg/ha)

Input	Org-P			PO4-P		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition wet	0	0	0	0	0	0
Additions	0.9	0.9	0.9	24.6	24.6	24.6
Redistrib	0	0	0	0	0	0
Crop residues	5.72	5.72	5.72	0	0	0
Exudates	0	0	0	0	0	0
Incorporation	8.59	8.62	8.87	0	0	0
Net mineral.	0	0	0	10.7	10.8	11.3
Irrigation	0	0	0	0	0	0
Runon	0	0	0	0	0	0
Inundation	0	0	0	0	0	0
Infiltration from:						
- 3rd order	0	0	0	0	0	0
- 2nd order	0	0	0	0	0	0
- 1st order	0	0	0	0	0	0
Bottom Upw flux	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03
<b>Total input</b>	<b>15.2</b>	<b>15.2</b>	<b>15.5</b>	<b>35.4</b>	<b>35.5</b>	<b>35.9</b>

Output	Org-P			PO4-P		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Redistrib	0	0	0	0	0	0
Crop uptake	0	0	0	33.7	33.7	33.7
Gross mineral.	19.3	19.4	20.1	0	0	0
Immobilization	0	0	0	0	0	0
Runoff_Pr	0	0	0	0	0	0
Runoff_L0	0	0	0	0.4	0.41	0.68
Runoff_L1	0	0	0.01	0	0.01	0.06
Discharge to:						
- 3rd order	0.09	0.09	0.04	0.81	0.81	0.52
- 2nd order	0	0	0	0.02	0.02	0.02
- 1st order	0	0	0	0.03	0.03	0.03
Bottom downw f	0	0	0	0	0	0
<b>Total output</b>	<b>19.4</b>	<b>19.5</b>	<b>20.2</b>	<b>35.0</b>	<b>35.0</b>	<b>35.0</b>

377 water (mm/jaar)

Input	water		
	dag	uur	nieuw
Rainfall	815	819	819
Snowfall	18.1	18.4	18.4
Irrigation	0	0	0
Runon	0	0	0
Inundation	0	0	0
Infiltration from:			
- 3rd order	0	0	0
- 2nd order	0	0	0
- 1st order	0.17	0.21	0.6
Bottom upw flux	7.7	7.7	7.7
<b>Total input</b>	<b>841</b>	<b>845</b>	<b>846</b>

Output	water		
	dag	uur	nieuw
Interception	36	36.3	36.3
Snow sublimation	2.9	3.0	3.0
Pond evaporation	0	0	0
Soil evaporation	156	161	172
Plant evaporation	216	217	214
Runoff_Pr	2	8	116
Runoff_L0	1.2	2.5	22.8
Runoff_L1	0.4	0.8	7.6
Drainage to:			
- 3rd order	401.8	393.3	254
- 2nd order	10.1	9.8	7.81
- 1st order	13.4	13.1	11.3
Bottom downw flux	0	0	0
<b>Total output</b>	<b>840</b>	<b>844</b>	<b>845</b>

Gemiddelde N-, P- en waterbalans over de periode 1986-2000 voor STONE-plot: **2093** (gras, klei)

2093 N (kg/ha)

Input	Org-N			NH4-N			NO3-N		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition dry	0	0	0	13	13	13	11	11	11
Deposition wet	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Additions	115	115	115	242	242	242	117	117	117
Redistrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crop residues	293	293	293	0	0	0	0	0	0
Exudates	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Incorporation	123	123	123	0	0	0	0	0	0
Nett mineral.	0	0	0	432	433	433	0	0	0
Nitrification	0	0	0	0	0	0	262	263	261
Irrigation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Runon	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inundation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltration from:									
- 3rd order	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- 2nd order	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- 1st order	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bottom upw flux	1.53	1.53	1.53	6.8	6.8	6.8	0.30	0.30	0.30
<b>Total input</b>	<b>532</b>	<b>532</b>	<b>532</b>	<b>694</b>	<b>694</b>	<b>695</b>	<b>391</b>	<b>391</b>	<b>389</b>

Output	Org-N			NH4-N			NO3-N		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Volatilization	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Redistrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crop uptake	0	0	0	425	425	426	192	192	190
Gross mineral.	555	556	556	0	0	0	0	0	0
Immobilization	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0	0	0
Nitrification	0	0	0	262	263	261	0	0	0
Denitrification	0	0	0	0	0	0	191	192	192
Runoff_Pr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Runoff_L0	0.00	0.00	0.00	0.18	0.91	1.37	0.08	0.48	0.71
Runoff_L1	0.02	0.09	0.16	0.00	0.01	0.01	0.01	0.05	0.12
Discharge to:									
- 3rd order	2.24	2.11	1.95	4.61	4.52	4.45	8.65	8.15	7.55
- 2nd order	0.1	0.1	0.1	0.45	0.45	0.45	0.21	0.17	0.17
- 1st order	0.1	0.1	0.1	0.59	0.58	0.58	0.09	0.08	0.08
Bot downw flux	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total output</b>	<b>557</b>	<b>558</b>	<b>558</b>	<b>693</b>	<b>694</b>	<b>694</b>	<b>392</b>	<b>393</b>	<b>391</b>

2093 P (kg/ha)

Input	Org-P			PO4-P		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition wet	0	0	0	0	0	0
Additions	3.39	3.39	3.39	53	53	53
Redistrib	0	0	0	0	0	0
Crop residues	36.4	36.4	36.4	0	0	0
Exudates	0	0	0	0	0	0
Incorporation	15.3	15.3	15.3	0	0	0
Net mineral.	0	0	0	41.7	41.7	41.7
Irrigation	0	0	0	0	0	0
Runon	0	0	0	0	0	0
Inundation	0	0	0	0	0	0
Infiltration from:						
- 3rd order	0	0	0	0	0	0
- 2nd order	0	0	0	0	0	0
- 1st order	0	0	0	0	0	0
Bottom Upw flux	1.88	1.88	1.88	4.68	4.68	4.68
<b>Total input</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>99.4</b>	<b>99.4</b>	<b>99.4</b>

Output	Org-P			PO4-P		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Redistrib	0	0	0	0	0	0
Crop uptake	0	0	0	76.3	76.3	76.3
Gross mineral.	57	57.1	57.1	0	0	0
Immobilization	0	0	0	0	0	0
Runoff_Pr	0	0	0	0	0	0
Runoff_L0	0	0	0	0.02	0.1	0.17
Runoff_L1	0	0.01	0.01	0	0.02	0.02
Discharge to:						
- 3rd order	0.98	0.96	0.94	2.45	2.37	2.29
- 2nd order	0.09	0.09	0.09	0.28	0.27	0.27
- 1st order	0.12	0.12	0.12	0.39	0.38	0.38
Bottom downw f	0	0	0	0	0	0
<b>Total output</b>	<b>58.2</b>	<b>58.3</b>	<b>58.2</b>	<b>79.5</b>	<b>79.5</b>	<b>79.5</b>

2093 water (mm/jaar)

Input	water		
	dag	uur	nieuw
Rainfall	746	749	749
Snowfall	4.1	4.3	4.3
Irrigation	0	0	0
Runon	0	0	0
Inundation	0	0	0
Infiltration from:			
- 3rd order	0	0	0
- 2nd order	0	0	0.01
- 1st order	0.13	0.17	0.17
Bottom upw flux	337	337	337
<b>Total input</b>	<b>1087</b>	<b>1090</b>	<b>1090</b>

Output	water		
	dag	uur	nieuw
Interception	54.7	55.2	55.2
Snow sublimation	0.8	0.8	0.8
Pond evaporation	0	0	0
Soil evaporation	152	152	153
Plant evaporation	356	356	356
Runoff_Pr	5	21	33
Runoff_L0	0.9	4.0	6.2
Runoff_L1	0.3	1.3	2.1
Drainage to:			
- 3rd order	460.0	443.3	428
- 2nd order	27.7	27.2	26.8
- 1st order	30.2	29.9	29.5
Bottom downw flux	0	0	0
<b>Total output</b>	<b>1088</b>	<b>1091</b>	<b>1091</b>

Gemiddelde N-, P- en waterbalans over de periode 1986-2000 voor STONE-plot: **2693** (bouwland, klei)

2693 N (kg/ha)

Input	Org-N			NH4-N			NO3-N			Output	Org-N			NH4-N			NO3-N		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw		dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition dry	0	0	0	18	18	18	11	11	11										
Deposition wet	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
Additions	37	37	37	86	86	86	62	62	62										
Redistrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
Crop residues	57	57	57	0	0	0	0	0	0										
Exudates	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
Incorporation	73	73	75	0	0	0	0	0	0										
Nett mineral.	0	0	0	166	166	171	0	0	0										
Nitrification	0	0	0	0	0	0	184	185	188										
Irrigation	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
Runon	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
Inundation	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
Infiltration from:																			
- 3rd order	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
- 2nd order	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
- 1st order	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
Bottom upw flux	7.1	7.1	7.1	10.5	10.5	10.5	0.50	0.50	0.50										
<b>Total input</b>	<b>174</b>	<b>174</b>	<b>176</b>	<b>281</b>	<b>281</b>	<b>286</b>	<b>257</b>	<b>258</b>	<b>261</b>	<b>Total output</b>	<b>246</b>	<b>246</b>	<b>252</b>	<b>279</b>	<b>279</b>	<b>284</b>	<b>257</b>	<b>257</b>	<b>260</b>

2693 P (kg/ha)

Input	Org-P			PO4-P			Output	Org-P			PO4-P		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw		dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition wet	0	0	0	0	0	0							
Additions	1.72	1.72	1.72	43.2	43.2	43.2							
Redistrib	0	0	0	0	0	0							
Crop residues	9.88	9.88	9.88	0	0	0							
Exudates	0	0	0	0	0	0							
Incorporation	9.18	9.18	9.37	0	0	0							
Net mineral.	0	0	0	20	20	20.4							
Irrigation	0	0	0	0	0	0							
Runon	0	0	0	0	0	0							
Inundation	0	0	0	0	0	0							
Infiltration from:	####	0	0	0	0	0							
- 3rd order	0	0	0	0	0	0							
- 2nd order	0	0	0	0	0	0							
- 1st order	0	0	0	0	0	0							
Bottom upw flux	1.62	1.62	1.62	4.08	4.08	4.08							
<b>Total input</b>	<b>22.4</b>	<b>22.4</b>	<b>22.6</b>	<b>67.3</b>	<b>67.3</b>	<b>67.7</b>	<b>Total output</b>	<b>30.2</b>	<b>30.3</b>	<b>30.8</b>	<b>39.0</b>	<b>39.1</b>	<b>39.0</b>

2693 water (mm/jaar)

Input	water			Output	water		
	dag	uur	nieuw		dag	uur	nieuw
Rainfall	857	861	861	Interception	34.2	34.5	34.5
Snowfall	6.3	6.5	6.5	Snow sublimation	1.8	1.9	1.9
Irrigation	0	0	0	Pond evaporation	0	0	0
				Soil evaporation	180	179	193
Runon	0	0	0	Plant evaporation	237	237	236
Inundation	0	0	0	Runoff_Pr	1	9	129
				Runoff_L0	0.2	1.6	24.2
Infiltration from:	0	0	0	Runoff_L1	0.1	0.5	8.1
- 3rd order	0	0	0	Drainage to:			
- 2nd order	0	0	0	- 3rd order	876.4	871.5	712
- 1st order	0	0	0	- 2nd order	26.2	26.0	23.3
Bottom upw flux	524	524	524	- 1st order	30.4	30.3	28.3
				Bottom downw flux	0	0	0
<b>Total input</b>	<b>1388</b>	<b>1391</b>	<b>1391</b>	<b>Total output</b>	<b>1387</b>	<b>1390</b>	<b>1391</b>



Gemiddelde N-, P- en waterbalans over de periode 1986-2000 voor STONE-plot: **421** (grasland, zand)

4355 N (kg/ha)

Input	Org-N			NH4-N			NO3-N		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition dry	0	0	0	26	26	26	9	9	9
Deposition wet	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Additions	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Redistrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crop residues	102	102	101	0	0	0	1.22	1.23	1.26
Exudates	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Incorporation	76	76	76	0	0	0	0	0	0
Nett mineral.	0	0	0	173	174	173	0	0	0
Nitrification	0	0	0	0	0	0	187	187	186
Irrigation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Runon	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inundation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltration from:									
- 3rd order	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- 2nd order	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
- 1st order	0	0	0	0	0	0	0.09	0.09	0.09
Bottom upw flux	0.9	0.9	0.9	4.2	4.2	4.2	0.20	0.20	0.20
Total input	179	179	177	203	203	203	197	197	197

Output	Org-N			NH4-N			NO3-N		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Volatilization	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Redistrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crop uptake	0	0	0	12	12	12	91	91	90
Gross mineral.	249	250	249	0	0	0	0	0	0
Immobilization	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0	0	0
Nitrification	0	0	0	187	187	186	0	0	0
Denitrification	0	0	0	0	0	0	100	100	101
Runoff_Pr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Runoff_L0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Runoff_L1	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03
Discharge to:									
- 3rd order	1.68	1.59	1.56	1.59	1.66	1.67	3.71	3.35	3.27
- 2nd order	1.23	1.26	1.25	0.43	0.39	0.38	2.42	2.44	2.45
- 1st order	0.51	0.51	0.51	2.66	2.65	2.64	0.29	0.29	0.29
Bot downw flux	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total output	253	253	252	203	203	203	197	198	197

4355 P (kg/ha)

Input	Org-P			PO4-P		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition wet	0	0	0	0	0	0
Additions	0	0	0	0	0	0
Redistrib	0	0	0	0	0	0
Crop residues	15.3	15.3	15.1	0	0	0
Exudates	0	0	0	0	0	0
Incorporation	9.53	9.54	9.47	0	0	0
Net mineral.	0	0	0	15.8	15.9	15.7
Irrigation	0	0	0	0	0	0
Runon	0	0	0	0	0	0
Inundation	0	0	0	0	0	0
Infiltration from:						
- 3rd order	0	0	0	0	0	0
- 2nd order	0	0	0	0	0	0
- 1st order	0	0	0	0	0	0
Bottom Upw flux	0.21	0.21	0.21	0.54	0.54	0.54
Total input	25	25	24.8	16.4	16.4	16.3

Output	Org-P			PO4-P		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Redistrib	0	0	0	0	0	0
Crop uptake	0	0	0	15.3	15.3	15.2
Gross mineral.	25.1	25.2	25	0	0	0
Immobilization	0	0	0	0.22	0.22	0.22
Runoff_Pr	0	0	0	0	0	0
Runoff_L0	0	0	0	0	0	0
Runoff_L1	0	0	0	0	0	0
Discharge to:						
- 3rd order	0.13	0.13	0.12	0.06	0.06	0.06
- 2nd order	0.06	0.06	0.05	0.02	0.02	0.02
- 1st order	0.1	0.1	0.1	0.25	0.25	0.25
Bottom downw f	0	0	0	0	0	0
Total output	25.4	25.5	25.2	15.9	15.9	15.7

4355 water (mm/jaar)

Input	water		
	dag	uur	nieuw
Rainfall	815	819	819
Snowfall	18.1	18.4	18.4
Irrigation	0	0	0
Runon	0	0	0
Inundation	0	0	0
Infiltration from:			
- 3rd order	0	0.01	0.01
- 2nd order	0.39	0.51	0.53
- 1st order	2.27	2.25	2.27
Bottom upw flux	208	208	208
Total input	1043	1048	1048

Output	water		
	dag	uur	nieuw
Interception	73.6	74.5	74.5
Snow sublimation	1.8	1.9	1.9
Pond evaporation	0	0	0
Soil evaporation	134	134	134
Plant evaporation	288	288	288
Runoff_Pr	2	8	9
Runoff_L0	1.0	2.4	2.5
Runoff_L1	0.3	0.8	0.8
Drainage to:			
- 3rd order	233.6	229.1	229
- 2nd order	165.2	165.2	164
- 1st order	142.9	143.0	142
Bottom downw flux	0	0	0
Total output	1042	1047	1047

Gemiddelde N-, P- en waterbalans over de periode 1986-2000 voor STONE-plot: **3740** (grasland, zand)

4355 N (kg/ha)

Input	Org-N			NH4-N			NO3-N		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition dry	0	0	0	40	40	40	13	13	13
Deposition wet	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Additions	192	192	192	306	306	306	134	134	134
Redistrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crop residues	360	360	360	0	0	0	0	0	0
Exudates	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Incorporation	122	122	122	0	0	0	0	0	0
Nett mineral.	0	0	0	530	531	531	0	0	0
Nitrification	0	0	0	0	0	0	414	414	411
Irrigation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Runon	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inundation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltration from:									
- 3rd order	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- 2nd order	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- 1st order	0	0	0	0	0	0	0.07	0.09	0.09
Bottom upw flux	0.3	0.3	0.3	35.8	35.8	35.8	1.80	1.80	1.80
Total input	675	675	675	912	913	913	563	563	560

Output	Org-N			NH4-N			NO3-N		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Volatilization	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Redistrib	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crop uptake	0	0	0	461	462	465	296	295	292
Gross mineral.	652	653	653	0	0	0	0	0	0
Immobilization	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0	0	0
Nitrification	0	0	0	414	414	411	0	0	0
Denitrification	0	0	0	0	0	0	246	247	248
Runoff_Pr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Runoff_L0	0.00	0.00	0.00	0.07	0.34	0.37	0.05	0.29	0.29
Runoff_L1	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07	0.07
Discharge to:									
- 3rd order	9.55	8.86	8.79	###	###	###	###	###	###
- 2nd order	1.37	1.37	1.37	10.5	10.5	10.5	2.67	2.56	2.51
- 1st order	0.41	0.41	0.41	9.78	9.8	9.8	0.99	0.92	0.91
Bot downw flux	0.0	0.0	0.0	2.3	2.3	2.3	0.1	0.1	0.1
Total output	663	664	664	913	914	914	563	562	560

4355 P (kg/ha)

Input	Org-P			PO4-P		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Deposition wet	0	0	0	0	0	0
Additions	6.29	6.29	6.29	64.9	64.9	64.9
Redistrib	0	0	0	0	0	0
Crop residues	36.5	36.5	36.5	0	0	0
Exudates	0	0	0	0	0	0
Incorporation	15.2	15.2	15.2	0	0	0
Net mineral.	0	0	0	40.9	41	40.9
Irrigation	0	0	0	0	0	0
Runon	0	0	0	0	0	0
Inundation	0	0	0	0	0	0
Infiltration from:						
- 3rd order	0	0	0	0	0	0
- 2nd order	0	0	0	0	0	0
- 1st order	0	0	0	0	0	0
Bottom Upw flux	0.16	0.16	0.16	0.37	0.37	0.37
Total input	58.1	58.2	58.2	106	106	106

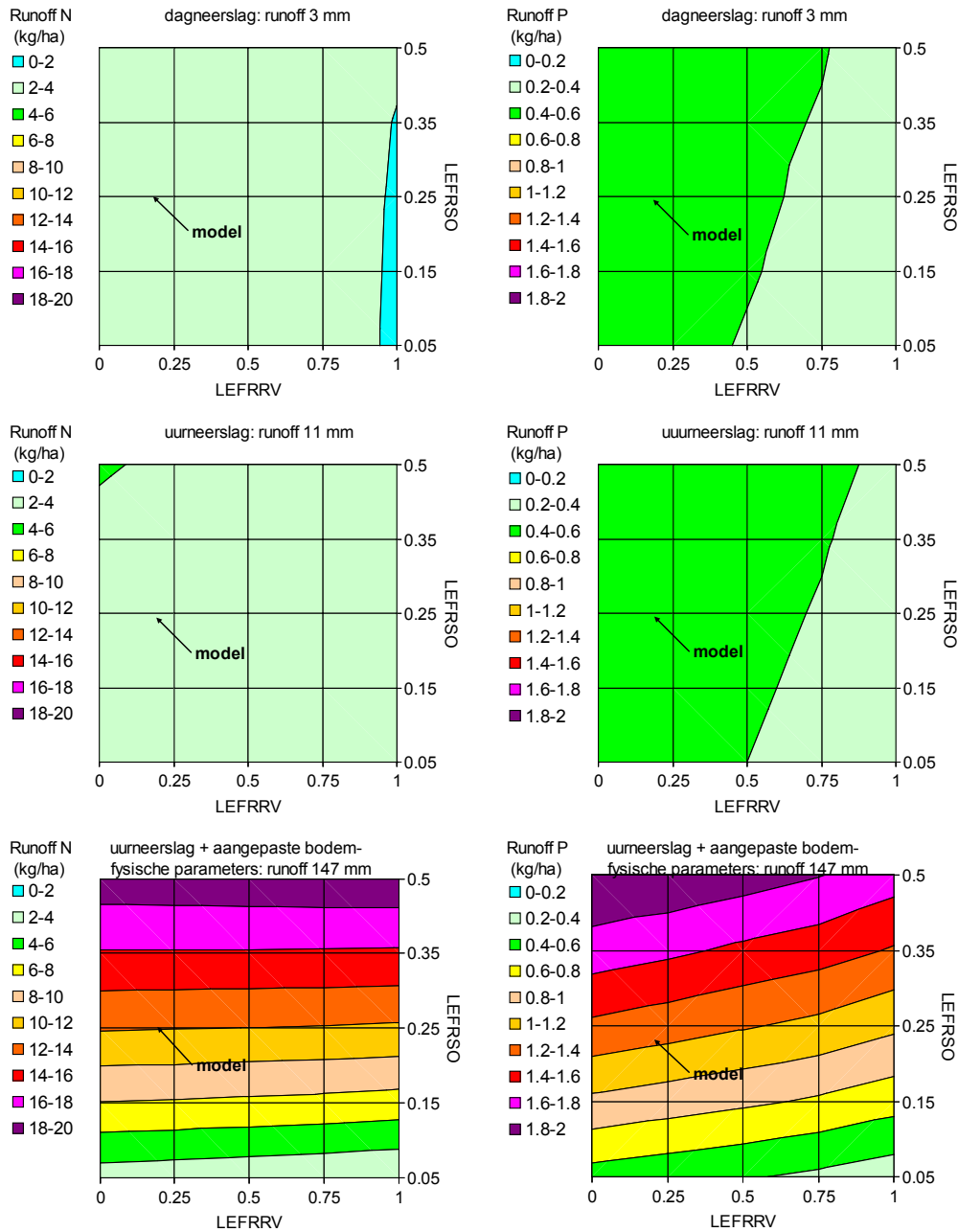
Output	Org-P			PO4-P		
	dag	uur	nieuw	dag	uur	nieuw
Redistrib	0	0	0	0	0	0
Crop uptake	0	0	0	76.5	76.5	76.5
Gross mineral.	56.1	56.2	56.2	0	0	0
Immobilization	0	0	0	0	0	0
Runoff_Pr	0	0	0	0	0	0
Runoff_L0	0	0	0	0	0.04	0.04
Runoff_L1	0	0	0	0	0.02	0.02
Discharge to:						
- 3rd order	0.75	0.7	0.7	0.68	0.63	0.6
- 2nd order	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12
- 1st order	0.06	0.06	0.06	0.1	0.1	0.1
Bottom downw f	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Total output	57.1	57.1	57.1	77.4	77.4	77.4

4355 water (mm/jaar)

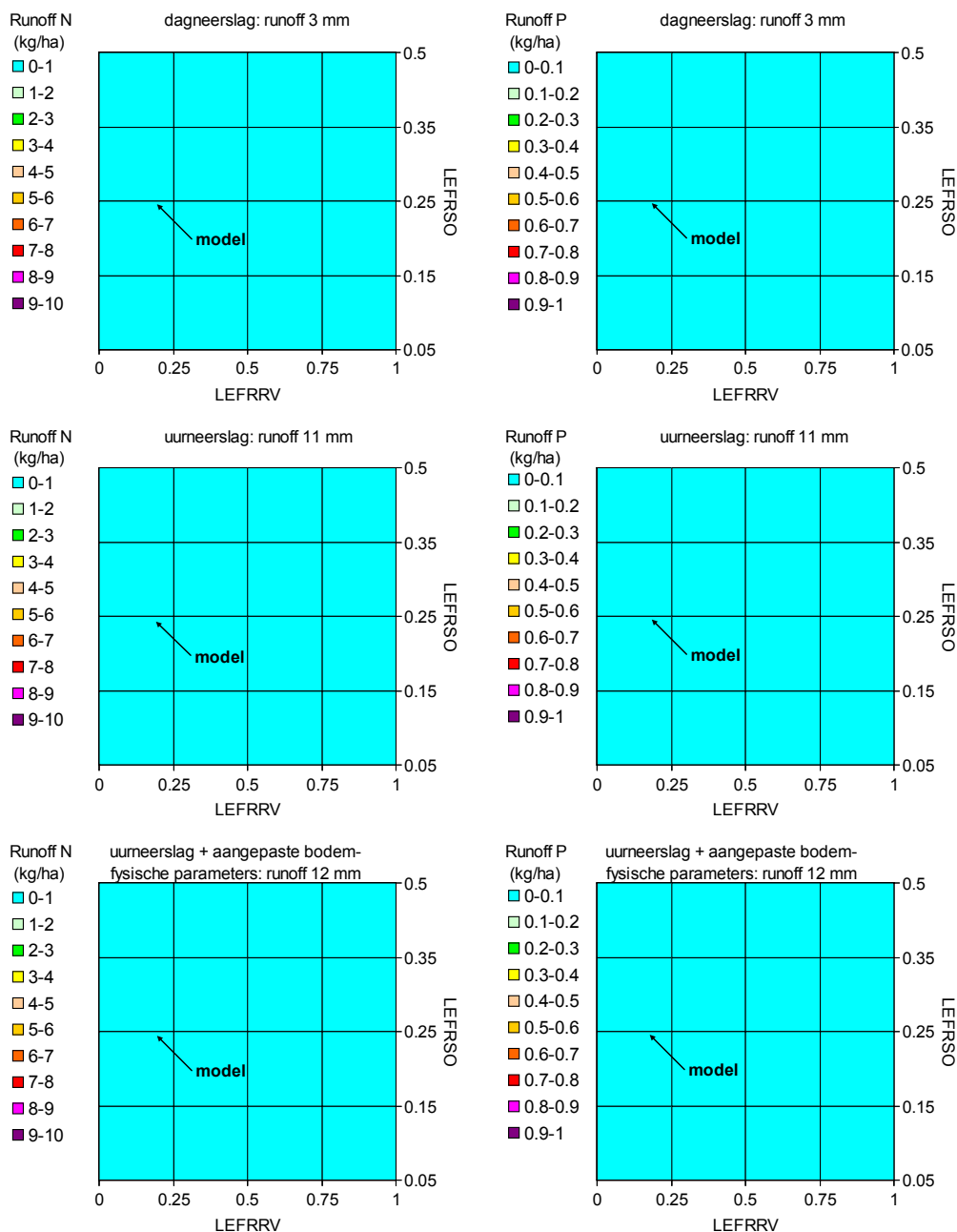
Input	water		
	dag	uur	nieuw
Rainfall	852	856	856
Snowfall	8.0	8.3	8.3
Irrigation	0	0	0
Runon	0	0	0
Inundation	0	0	0
Infiltration from:			
- 3rd order	0	0	0
- 2nd order	0	0.01	0.01
- 1st order	0.78	0.9	0.93
Bottom upw flux	267	267	267
Total input	1128	1132	1132

Output	water		
	dag	uur	nieuw
Interception	56.4	57	57
Snow sublimation	1.4	1.4	1.4
Pond evaporation	0	0	0
Soil evaporation	136	136	135
Plant evaporation	315	316	316
Runoff_Pr	2	10	10
Runoff_L0	0.4	1.9	1.9
Runoff_L1	0.1	0.6	0.6
Drainage to:			
- 3rd order	372.7	367.0	367
- 2nd order	138.2	137.7	138
- 1st order	88.2	88.0	88
Bottom downw flux	17.1	17.1	17.1
Total output	1128	1132	1132

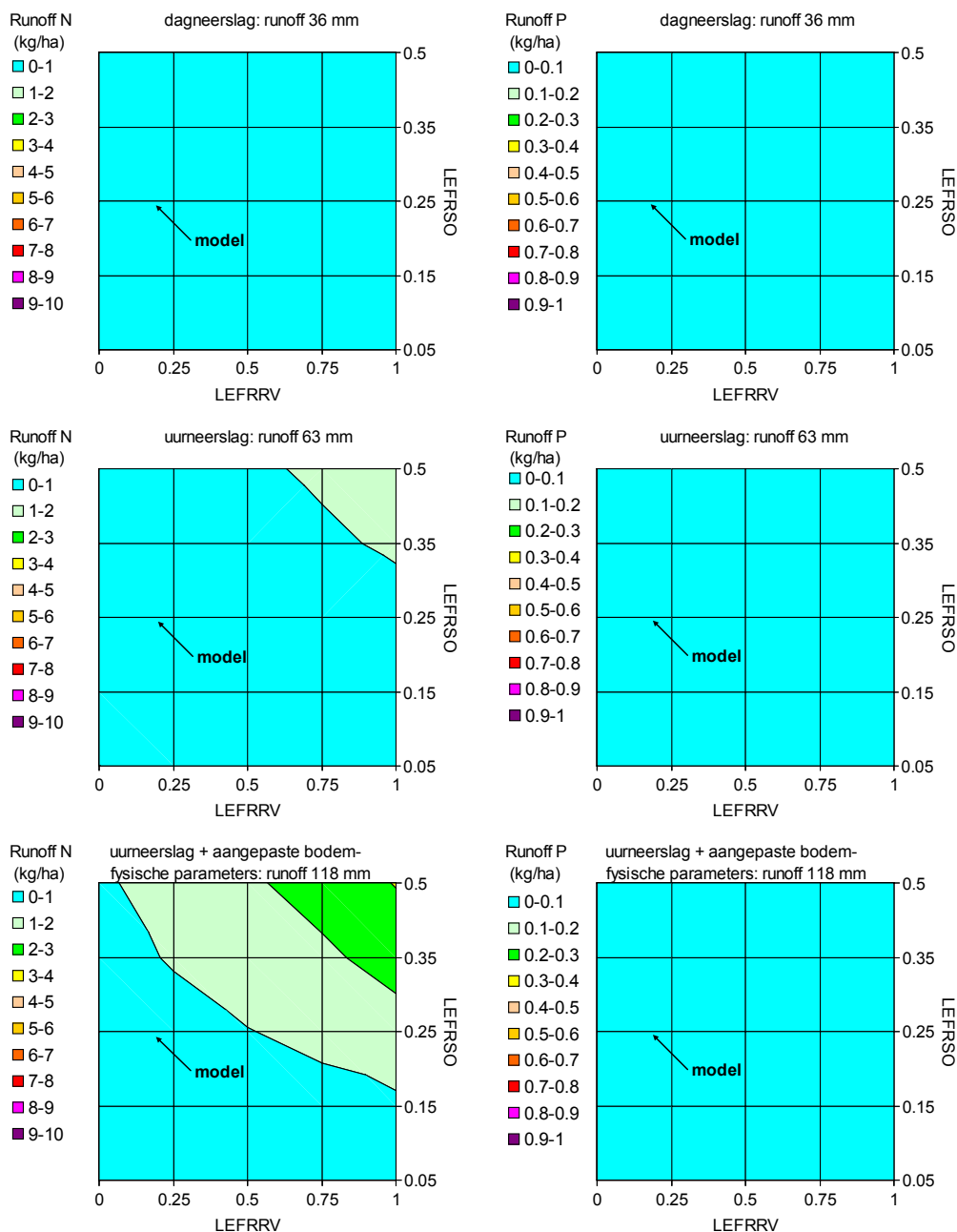
# Bijlage 4 Gevoeligheid N- en P-transport voor LEFRSO en LEFRRV



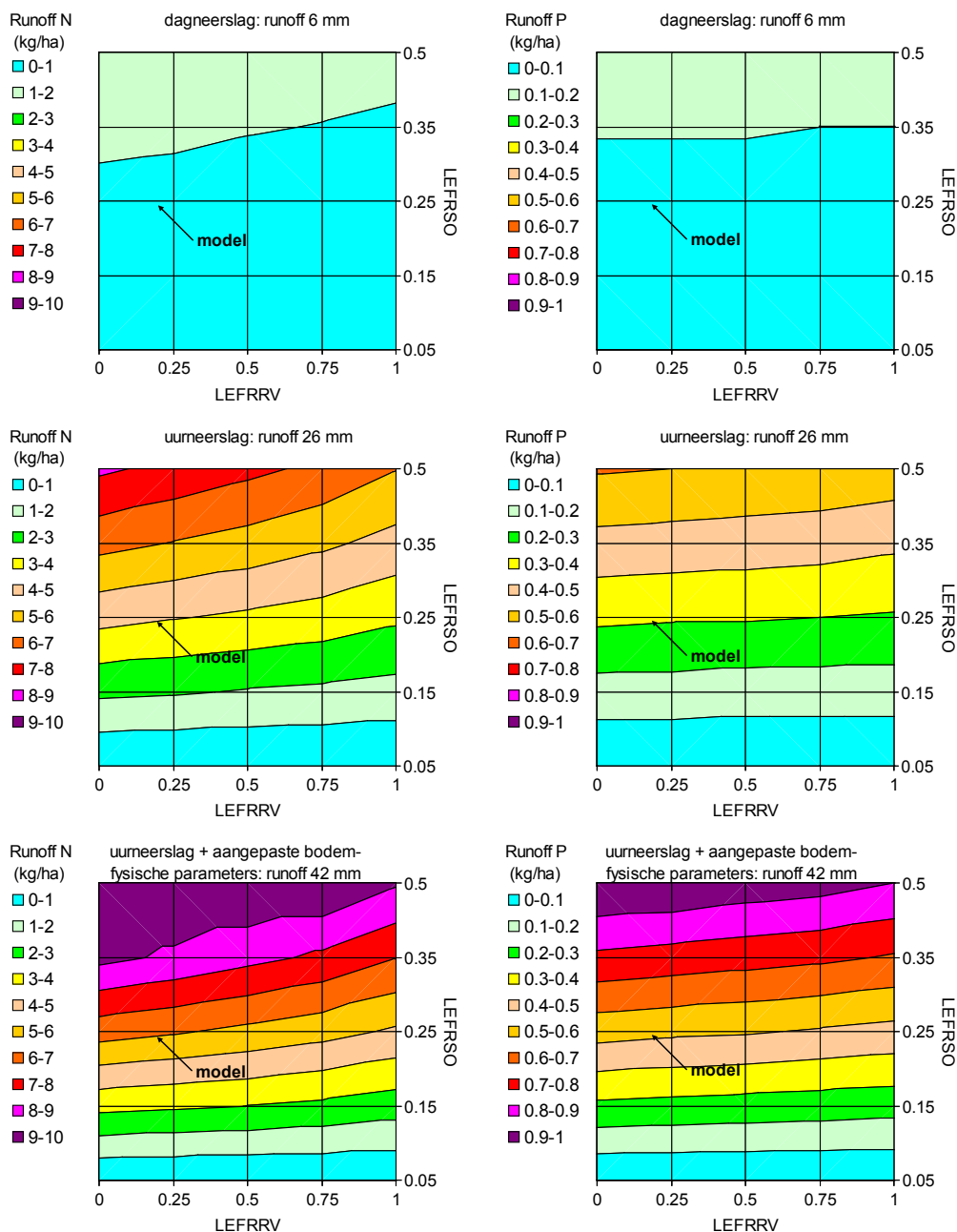
**Figuur A4-1** Transport van N en P naar het oppervlaktewater met oppervlakkige afstroming in plot 377 (klei, gras) voor combinaties van LEFRSO en LEFRRV en met neerslag op dagbasis (i), op uurbasis (ii) en op uurbasis met een kleinere Ksat aangepaste bodemfysische parameters van de toplaag (iii).



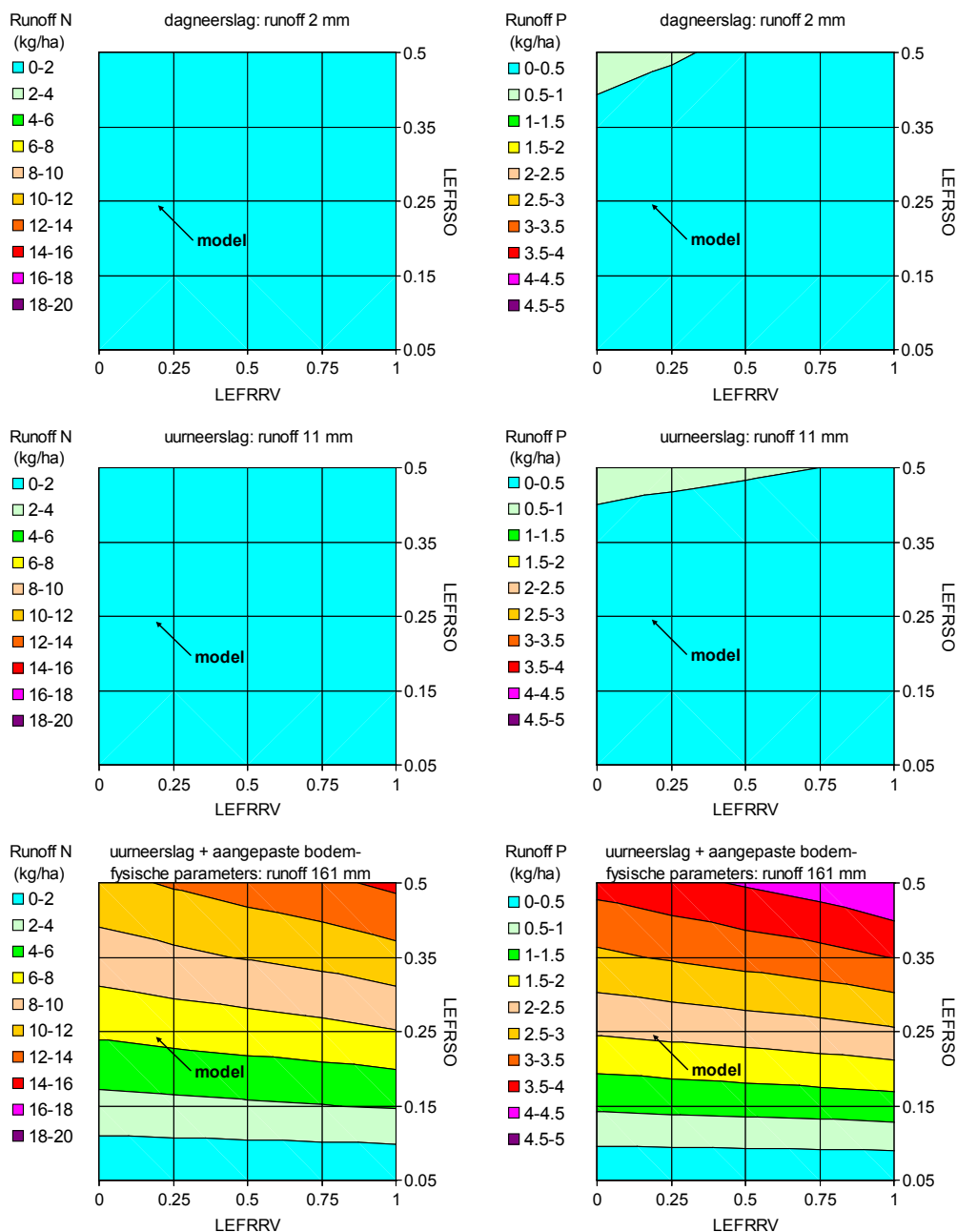
**Figuur A4-2** Transport van N en P naar het oppervlaktewater met oppervlakkige afstroming in plot 421 (zand, natuur) voor combinaties van LEFRSO en LEFRRV en met neerslag op dagbasis (i), op uurbasis (ii) en op uurbasis met een kleinere Ksat aangepaste bodemfysische parameters van de toplaag (iii).



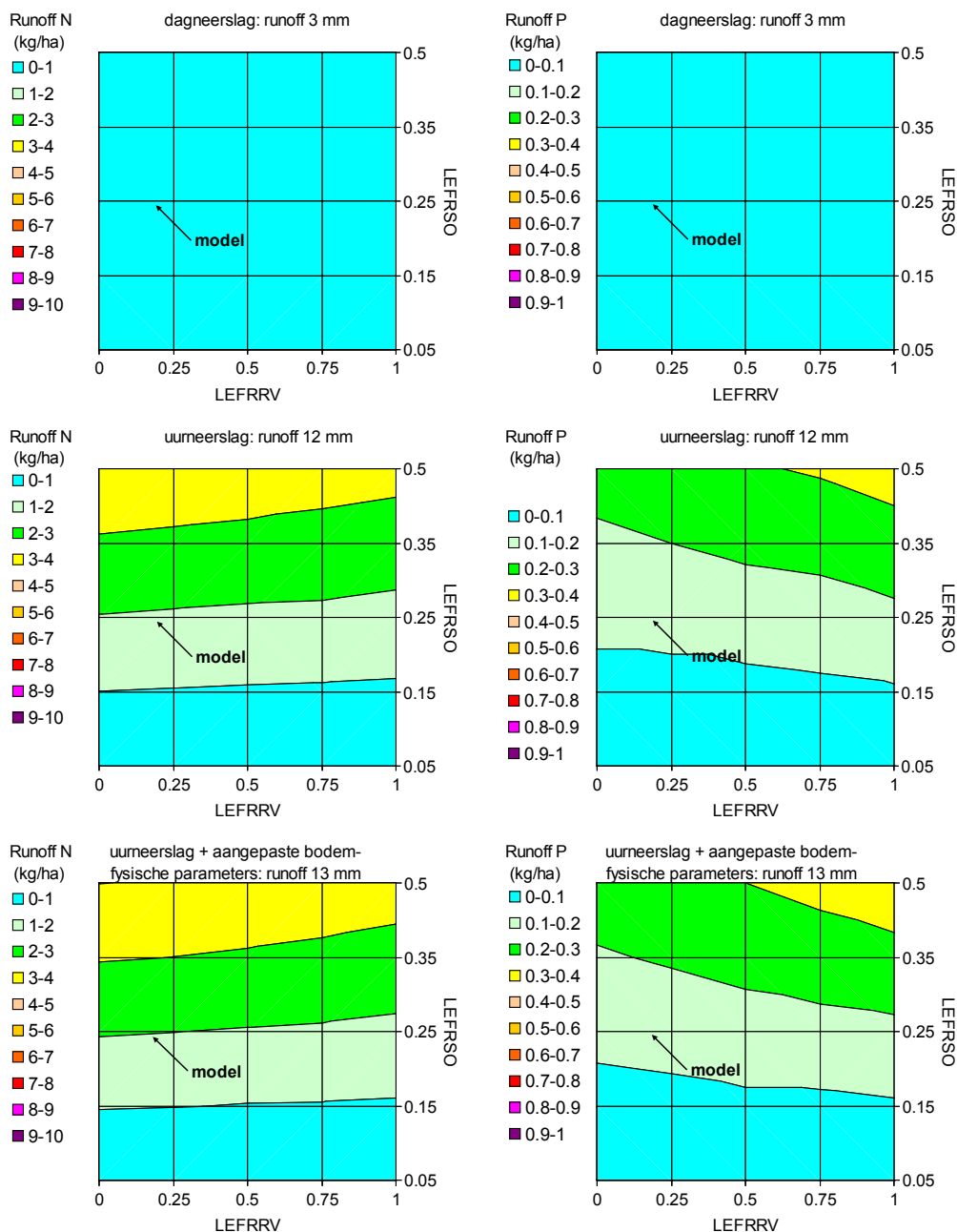
**Figuur A4-3** Transport van N en P naar het oppervlaktewater met oppervlakkige afstroming in plot 2010 (laagveen, natuur) voor combinaties van LEFRSO en LEFRRV en met neerslag op dagbasis (i), op uurbasis (ii) en op uurbasis met een kleinere Ksat aangepaste bodemfysische parameters van de toplaag (iii).



**Figuur A4-4** Transport van N en P naar het oppervlaktewater met oppervlakkige afstroming in plot 2093 (klei, gras) voor combinaties van LEFRSO en LEFRRV en met neerslag op dagbasis (i), op uurbasis (ii) en op uurbasis met een kleinere Ksat aangepaste bodemfysische parameters van de toplaag (iii).

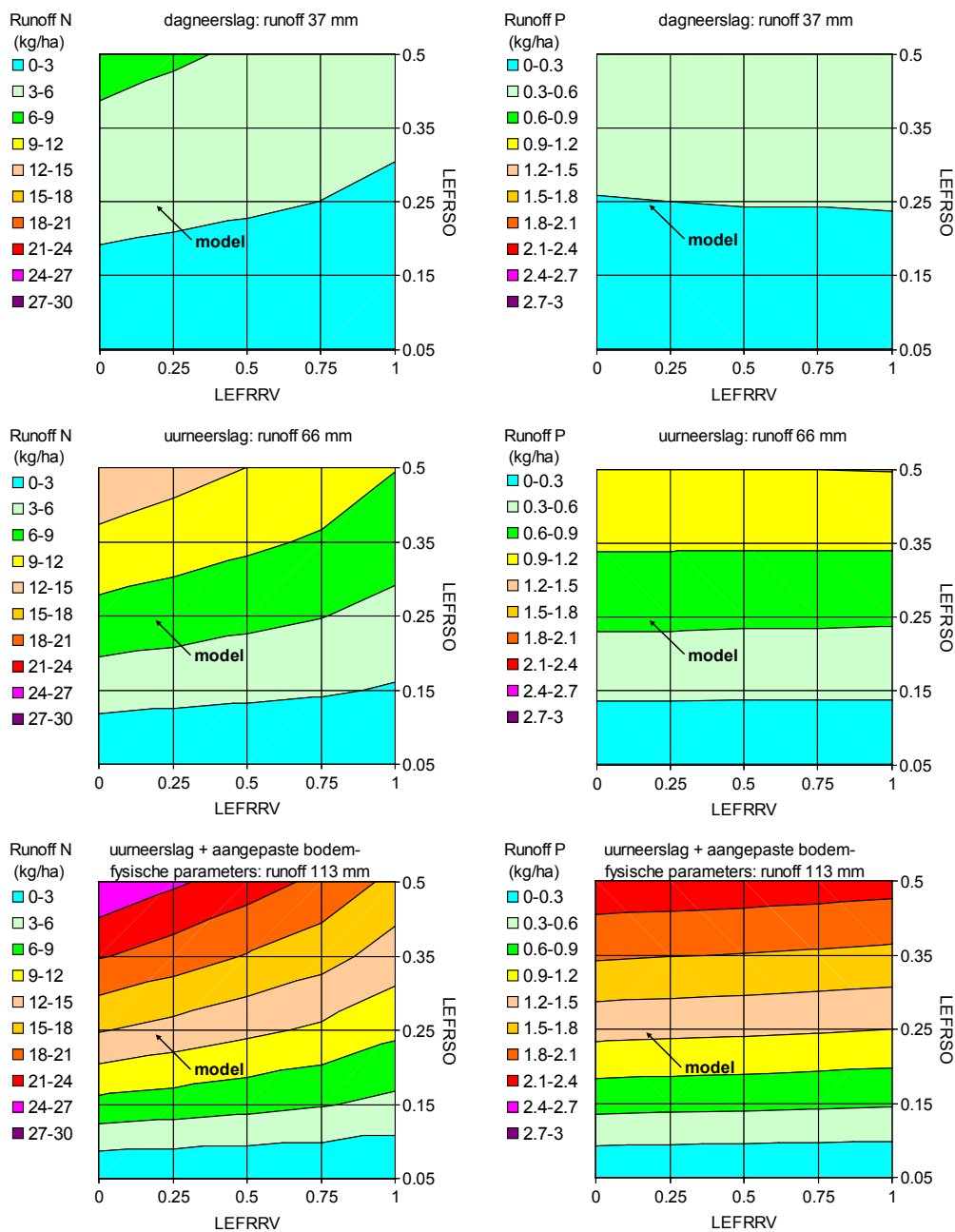


**Figuur A4-5** Transport van N en P naar het oppervlaktewater met oppervlakkige afstroming in plot 2693 (klei, bouwland) voor combinaties van LEFRSO en LEFRRV en met neerslag op dagbasis (i), op uurbasis (ii) en op uurbasis met een kleinere Ksat aangepaste bodemfysische parameters van de toplaag (iii).

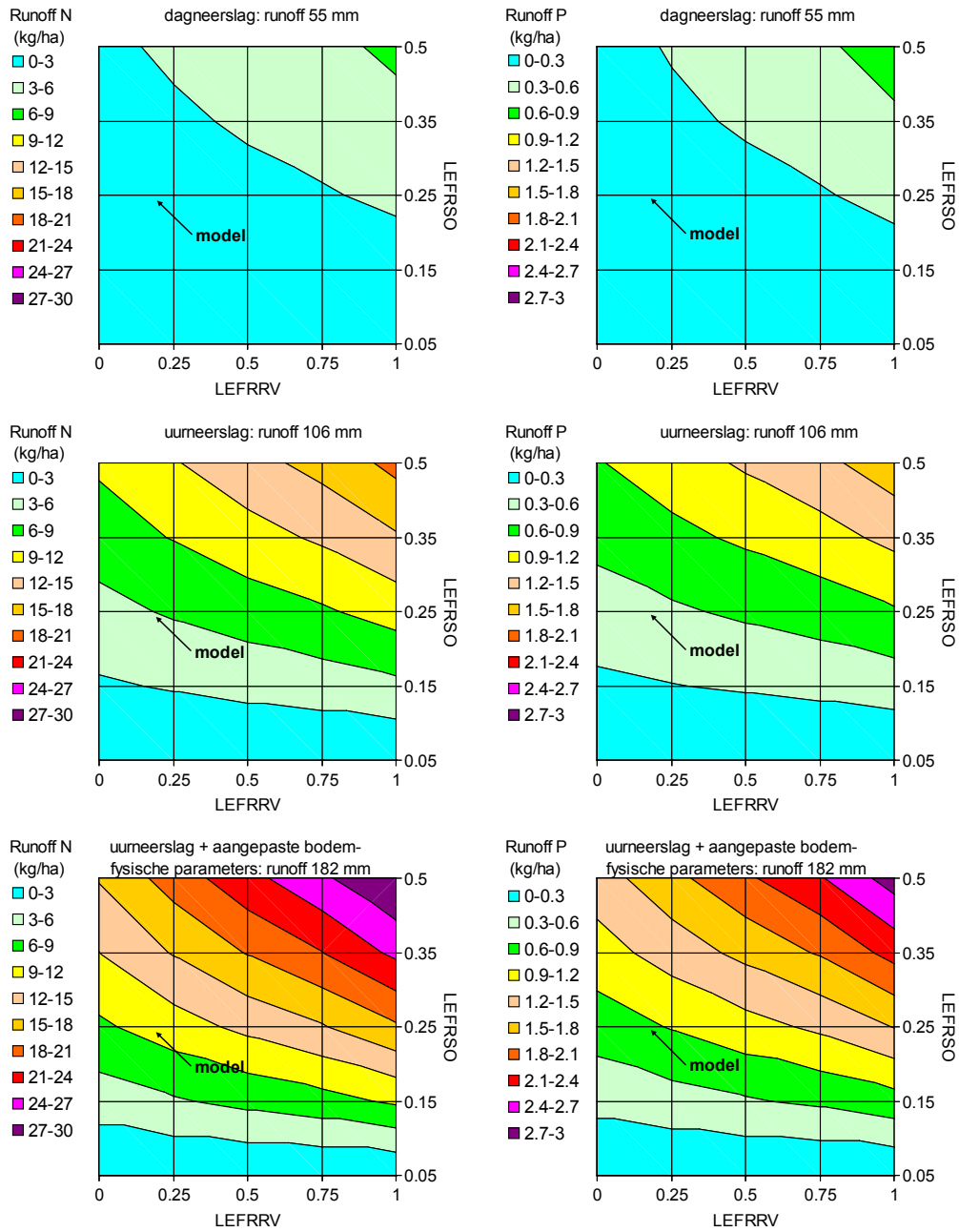


**Figuur A4-6** Transport van N en P naar het oppervlaktewater met oppervlakkige afstroming in plot 3740 (zand, gras) voor combinaties van LEFRSO en LEFRRV en met neerslag op dagbasis (i), op uurbasis (ii) en op uurbasis met een kleinere Ksat aangepaste bodemfysische parameters van de toplaag (iii).





**Figuur A4-7** Transport van N en P naar het oppervlaktewater met oppervlakkige afstroming in plot 4325 (laagveen, gras) voor combinaties van LEFRRSO en LEFRRV en met neerslag op dagbasis (i), op uurbasis (ii) en op uurbasis met een kleinere Ksat aangepaste bodemfysische parameters van de toplaag (iii).

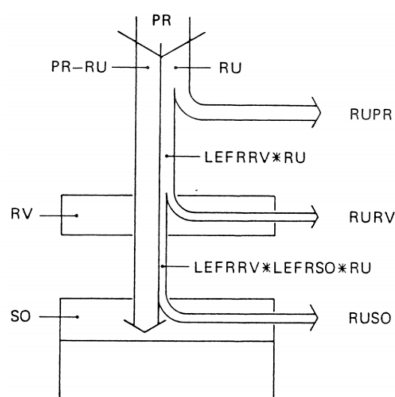


**Figuur A4-8** Transport van N en P naar het oppervlaktewater met oppervlakkige afstroming in plot 4355 (klei, mais) voor combinaties van LEFRSO en LEFRRV en met neerslag op dagbasis (i), op uurbasis (ii) en op uurbasis met een kleinere  $K_{sat}$  aangepaste bodemfysische parameters van de toplaag (iii).

# Bijlage 5 Influence of solute exchange between soil and surface ponding water on the transport by surface runoff

Piet Groenendijk

The solute transport by surface runoff in the ANIMO model is calculated by partitioning the runoff water into three components and by multiplying these water fluxes with the solute concentration of resp. rain water, water in the surface ponding layer and water in the first soil compartment (5 cm).



**Figure A5-1** Partitioning the runoff water into three components.

The surface runoff flux (RU) is calculated by a supporting hydrological simulation model. A part of the water is assumed to be conveyed to surface waters directly, without any contact with the soil surface. The remainder (LEFRRV x RU) reaches the soil surface. A part of this remainder (LEFRSO x LEFRRV x RU) flows through the first soil compartment to surface water and the other part flows through the water reservoir which represent the ponding water on the soil surface.

The parameters LEFRRV and LEFRSO have been assessed by Jeurissen (1989) by model calibration on a few field data. However, the calibrated values have a limited applicability:

- Only surface runoff by water saturation of the soil was considered.
- The soil was discretized to 10 cm thick compartments in the leaching model.
- The timing of application events was not consistent with the time increments of the simulation model.

To gain insight in the physical meaning and the possible range of values of the parameter LEFRSO an analytical model was developed that combines solute transport by convection/dispersion in soil and mixing in a ponding reservoir. The analytical model of Wallach and Van Genuchten (1990) was taken as a starting point for the analysis.

Solute transport in the soil system is described by:

$$K_d \rho_d \frac{\partial c}{\partial t} + \theta \frac{\partial c}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial z} (q_v c - \theta D \frac{\partial c}{\partial z})$$

Where:

$D$	diffusion / dispersion constant	$\text{cm}^2 \text{d}^{-1}$
$\theta$	volumetric moisture fraction	-
$q_v$	vertical downward soil water flux	$\text{cm d}^{-1}$
$K_d$	linear sorption coefficient	$\text{cm}^3 \text{gr}^{-1}$
$\rho_d$	dry bulk density	$\text{gr cm}^{-3}$

The diffusion / dispersion constant  $D$  is approximated by:

$$D = D_0 \lambda + \frac{q_v}{\theta} \alpha$$

In which  $D_0$  ( $\text{cm}^2 \text{d}^{-1}$ ) is the diffusion constant of the solute in free water and  $\lambda$  (-) is the tortuosity factor. The upper boundary condition is governed by the first order rate exchange of solute in soil water and surface ponding water:

$$q_v c - \theta D \left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{z=0} = \theta k (c_w - c(0, t))$$

Where  $c_w$  is the solute concentration in the surface ponding reservoir,  $c(0, t)$  is solute concentration at the upper soil boundary and  $k$  ( $\text{cm d}^{-1}$ ) is a first order mass transfer coefficient. Wallach *et al*, (1988) presented some theory on the dependency of  $k$  on the surface runoff flow conditions. The lower boundary for a semi-infinite soil profile is characterized by:

$$\left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{z=\infty} \rightarrow 0$$

The initial concentration is taken as a constant  $c_0$  for the whole profile:

$$c(z, 0) = c_0$$

The mixing of the solute in the surface ponding reservoir with thickness  $H$  (cm) is described by:

$$H \frac{dc_w}{dt} = k(c(0, t) - c_w) - q_r c_w$$

Where  $q_r$  ( $\text{cm d}^{-1}$ ) is the surface runoff flux. The initial concentration of the reservoir is set to  $c_{w0}$

Laplace transformation is applied to solve the equations

$$\begin{aligned} \tilde{c}(z, s) = & \frac{c_0}{s} \left( 1 + \frac{\frac{k^2 \theta}{q_r + k\theta + Hs} - (q_v + k\theta)}{\frac{1}{2} q_v + k\theta - \frac{k^2 \theta}{q_r + k\theta + Hs} + \frac{1}{2} \sqrt{q_v^2 + 4\alpha q_v (\theta + \rho_d K_d) s}} \right) e^{-z \left( \frac{1}{2} \frac{q_v - \sqrt{q_v^2 + 4\alpha q_v (\theta + \rho_d K_d) s}}{\alpha q_v} \right)} \\ & + c_{w0} \left( \frac{\frac{H k \theta}{q_r + k\theta + Hs}}{\frac{1}{2} q_v + k\theta - \frac{k^2 \theta}{q_r + k\theta + Hs} + \frac{1}{2} \sqrt{q_v^2 + 4\alpha q_v (\theta + \rho_d K_d) s}} \right) e^{-z \left( \frac{1}{2} \frac{q_v - \sqrt{q_v^2 + 4\alpha q_v (\theta + \rho_d K_d) s}}{\alpha q_v} \right)} \end{aligned}$$

and

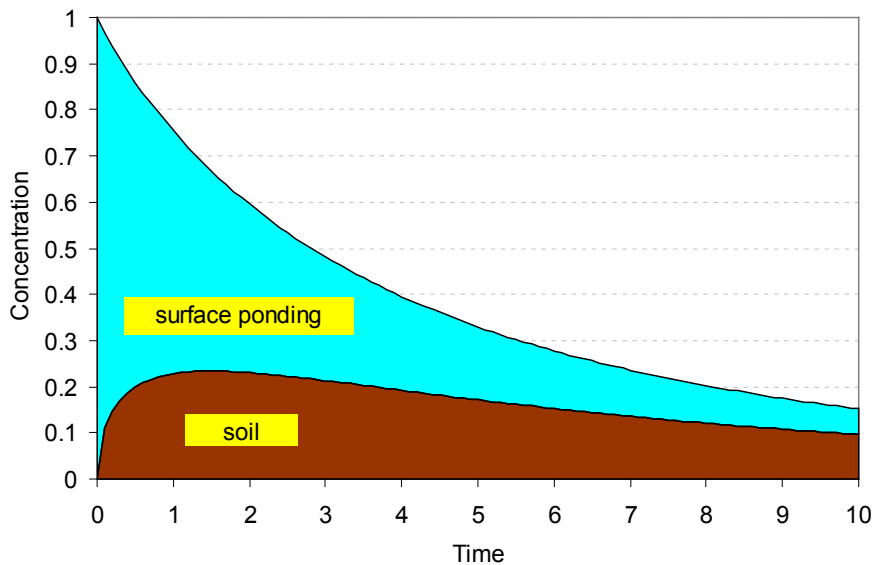
$$\begin{aligned} \tilde{c}_w(s) = & \frac{c_0}{s} \frac{k}{q_r + k\theta + Hs} \left( \frac{-\frac{1}{2} q_v + \frac{1}{2} \sqrt{q_v^2 + 4\alpha q_v (\theta + \rho_d K_d) s}}{\frac{1}{2} q_v + k\theta - \frac{k^2 \theta}{q_r + k\theta + Hs} + \frac{1}{2} \sqrt{q_v^2 + 4\alpha q_v (\theta + \rho_d K_d) s}} \right) \\ & + \frac{c_{w0}}{s} \frac{Hs}{q_r + k\theta + Hs} \left( \frac{\frac{1}{2} q_v + k\theta + \frac{1}{2} \sqrt{q_v^2 + 4\alpha q_v (\theta + \rho_d K_d) s}}{\frac{1}{2} q_v + k\theta - \frac{k^2 \theta}{q_r + k\theta + Hs} + \frac{1}{2} \sqrt{q_v^2 + 4\alpha q_v (\theta + \rho_d K_d) s}} \right) \end{aligned}$$

Finding an inverse form in the real time domain appears to be impossible. Evaluation of the equation can be done by using a numerical method (e.g. Crump or Zakian). These numerical methods have proved to yield similar results as the analytical solutions for problems that can be solved analytically.

Apportionment of the surface ponding reservoir concentration can be done by making two types of calculations:

- The initial concentration in soil is set to 1 and the initial surface ponding concentration is set to 0;
- The initial concentration in soil is set to 0 and the initial surface ponding concentration is set to 1.

Since the system has been defined as a linear system, the sum of both concentrations is equal to the solution where both the initial soil concentration and initial surface ponding are set to 1. An example of the concentration time courses is given in Figure A5-2.



**Figure A5-2** Contribution of soil and surface ponding reservoir to the concentration of surface runoff.

The total load in a time interval that stems from the soil and the surface ponding is given by the integral:

$$Q_s = \int_{t_0}^t q_r c_w(t | c_0 = 1, c_{w0} = 0) dt$$

And

$$Q_w = \int_{t_0}^t q_r c_w(t | c_0 = 0, c_{w0} = 1) dt$$

In this analysis, the surface runoff flux is taken constant, thus:

$$Q_s = q_r \int_{t_0}^t c_w(t | c_0 = 1, c_{w0} = 0) dt$$

And

$$Q_w = q_r \int_{t_0}^t c_w(t | c_0 = 0, c_{w0} = 1) dt$$

The fraction of the surface runoff that is influenced by the water in soil pores ( $f_{soil}$ ) is defined as the ratio between the solute load for  $c_0 = 1; c_{w0} = 0$  and the solute load for  $c_0 = 1; c_{w0} = 1$

$$f_{soil} = \frac{Q_s}{Q_w + Q_s} \quad \text{OR:} \quad f_{soil} = \frac{\int_{t_0}^t c_w(t | c_0 = 1, c_{w0} = 0) dt}{\int_{t_0}^t c_w(t | c_0 = 1, c_{w0} = 1) dt}$$

A series of  $f_{soil}$ -values has been calculated for different time steps and different values of vertical water flux in soil, surface runoff flux, dispersion lengths  $\alpha$  and exchange coefficients  $k$ . The soil moisture content was taken 0.3 (-) and the height of the ponding reservoir was set to 2 cm. Wallach and Van Genuchten (1990) reported a mass transfer coefficient value of 0.79 cm/hr for Parsons clay, 0.83 cm/hr for Ruston fine sandy loam 0.9 cm/hr for Ruston loam. In our analysis we have taken  $k = 10$  and  $k = 20$  cm/d as minimum and maximum values.

Time step = 1 day.

$q_v$ (mm d <sup>-1</sup> )	$q_r$ (mm d <sup>-1</sup> )	$\alpha = 1$ (cm)		$\alpha = 2$ (cm)		$\alpha = 5$ (cm)	
		$k = 10$ (cm d <sup>-1</sup> )	$k = 20$ (cm d <sup>-1</sup> )	$k = 10$ (cm d <sup>-1</sup> )	$k = 20$ (cm d <sup>-1</sup> )	$k = 10$ (cm d <sup>-1</sup> )	$k = 20$ (cm d <sup>-1</sup> )
1	1	0.145	0.150	0.199	0.208	0.284	0.301
	3	0.146	0.151	0.200	0.209	0.286	0.302
	5	0.147	0.152	0.201	0.210	0.287	0.304
	10	0.149	0.154	0.205	0.213	0.291	0.308
3	1	0.193	0.206	0.266	0.286	0.370	0.402
	3	0.194	0.207	0.267	0.287	0.372	0.404
	5	0.195	0.208	0.268	0.288	0.373	0.405
	10	0.198	0.210	0.272	0.291	0.377	0.409
5	1	0.211	0.229	0.292	0.320	0.404	0.446
	3	0.212	0.230	0.293	0.321	0.406	0.447
	5	0.213	0.231	0.295	0.322	0.407	0.449
	10	0.215	0.234	0.298	0.325	0.411	0.452

Time step = 10 days.

$q_v$ (mm d <sup>-1</sup> )	$q_r$ (mm d <sup>-1</sup> )	$\alpha = 1$ (cm)		$\alpha = 2$ (cm)		$\alpha = 5$ (cm)	
		$k = 10$ (cm d <sup>-1</sup> )	$k = 20$ (cm d <sup>-1</sup> )	$k = 10$ (cm d <sup>-1</sup> )	$k = 20$ (cm d <sup>-1</sup> )	$k = 10$ (cm d <sup>-1</sup> )	$k = 20$ (cm d <sup>-1</sup> )
1	1	0.284	0.288	0.401	0.407	0.554	0.561
	3	0.289	0.293	0.408	0.413	0.561	0.568
	5	0.293	0.297	0.413	0.419	0.567	0.573
	10	0.299	0.303	0.422	0.427	0.577	0.583
3	1	0.306	0.316	0.451	0.464	0.628	0.642
	3	0.307	0.317	0.454	0.466	0.631	0.645
	5	0.308	0.318	0.455	0.468	0.634	0.647
	10	0.309	0.319	0.459	0.471	0.639	0.651
5	1	0.299	0.315	0.453	0.472	0.645	0.664
	3	0.299	0.315	0.454	0.473	0.646	0.665
	5	0.299	0.315	0.454	0.473	0.648	0.666
	10	0.299	0.315	0.456	0.474	0.651	0.669

## Conclusions

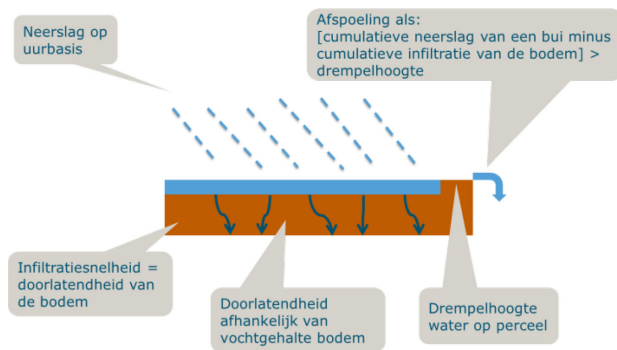
A time step length 10 days instead of 1 day yields 1.5 – 2.0 times higher values of  $f_{soil}$

The fraction  $f_{soil}$  is most influenced by the diffusion/dispersion process in soil.

The STONE model applies time steps of 10 days and the thickness of the upper soil layer amounts to 5 cm. For these conditions the fraction  $f_{soil}$  ranges from 0.4 – 0.475.

# Bijlage 6 Eenvoudig model voor oppervlakkige afstroming van water

Om de invloed van neerslagpieken op de oppervlakkige afstroming van water te analyseren is een eenvoudig model geformuleerd, waarin de dikte van een eventuele waterlaag op het maaiveld een drijvende kracht is.



**Figuur A6-1** Conceptueel model voor oppervlakkige afstroming.

De hoogte  $h$  van de waterlaag op het maaiveld op tijdstip  $t+\Delta t$  wordt als volgt berekend:

$$\begin{aligned}
 h_{t+\Delta t} &= 0 && \text{als } h_t = 0 \text{ en } R < K\left(\frac{dh}{dz} + 1\right) \\
 \frac{dh}{dt} &= R - K\left(\frac{dh}{dz} + 1\right) && \text{als } 0 \leq h_t < p_{\max} \text{ of } R > K\left(\frac{dh}{dz} + 1\right) \\
 \frac{dh}{dt} &= R - K\left(\frac{dh}{dz} + 1\right) - \beta(h - p_{\max}) && \text{als } h_t > p_{\max}
 \end{aligned}$$

Hierin is  $h_t$  de hoogte van de waterlaag aan het begin van het tijdsinterval (mm),  $R$  de urneerslag ( $\text{mm hr}^{-1}$ ),  $K$  de doorlatendheid ( $\text{mm hr}^{-1}$ ),  $dh/dz$  de drukhoogtegradiënt over het toplaagje van de bodem,  $p_{\max}$  de drempelhoogte van de waterlaag waarboven water gaat afstromen (mm) en  $\beta$  de eerste orde transfercoëfficiënt voor waterafstroming ( $\text{hr}^{-1}$ ). De drukhoogtegradiënt wordt berekend tussen maaiveld en 10 mm diepte, waarbij de drukhoogte op deze diepte op -1 cm wordt verondersteld ( $pF=0$ ). Bij deze drukhoogte bedraagt de doorlatendheid 7 - 12 cm/dag, terwijl de verzadigde doorlatendheid 9 - 18 cm/dag bedraagt. Als gemiddelde waarde wordt in deze analyse  $K=5$  mm/hr gebruikt. De drempelhoogte voor afstroming  $p_{\max}$  wordt op 2 mm gezet en de eerste orde transfer-coëfficiënt  $\beta$  wordt op  $1 \text{ hr}^{-1}$  gesteld.

---

Alterra Wageningen UR  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra)

Alterra-rapport 2464  
ISSN 1566-7197



---

Alterra Wageningen UR is hét 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.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

---





To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



Alterra Wageningen UR  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 317 48 07 00  
[www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra)

Alterra-rapport 2464  
ISSN 1566-7197

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

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

