

# **Actualisatie van de hydrologie voor STONE 2.0**

**J.G. Kroes**

**P.J.T. van Bakel**

**J. Huygen**

**T. Kroon**

**R. Pastoors**

**Alterra-rapport 298**  
**Reeks Milieuplanbureau 16**

**Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2001**

## REFERAAT

Kroes, J.G., P.J.T. van Bakel, J. Huygen, T. Kroon, R. Pastoors, 2001. *Actualisatie van de hydrologie voor STONE 2.0*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 298. Reeks Milieuplanbureau 16. 68 blz. 14 fig.; 14 tab.; 29 ref.

Er is een nieuwe landsdekkende hydrologische dataset berekend voor het nutriënten-emissiemodel STONE. Met het model SWAP is voor een reeks van 30 jaar, de hydrologie gesimuleerd voor 6405 rekeneenheden. Dit rapport beschrijft de schematisatie, de parametrisatie en de plausibiliteit van de resultaten van de berekeningen met het model SWAP. De resultaten worden in het algemeen als plausibel beoordeeld. Voor de verdamping geldt dat de berekeningswijze wordt gezien als 'state of the art'. Voor grasland is een zeer plausibele verdamping berekend, voor bouwland behoeft de bodemverdamping meer aandacht. Drainagefluxen zijn voor meerdere oppervlaktewatersystemen berekend. Relatief ondiepe systemen blijken de grootste bijdrage te leveren aan de waterafvoer vanuit de bodem naar het oppervlaktewatersysteem, waarbij de aanwezigheid van buisdrainage van groot belang is. De berekende neerslagoverschotten en grondwatertrappen zijn plausibel. Aanbevelingen voor verbetering betreffen met name de schematisatie en enkele hydrologische aspecten, zoals beregening en de interactie met de regionale hydrologie.

Trefwoorden: hydrologie, STONE, SWAP, drainage, verdamping

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 40,00 (€18,-) over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 298. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2001 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,  
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [postkamer@alterra.wag-ur.nl](mailto:postkamer@alterra.wag-ur.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

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

# Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
2 Werkwijze	9
2.1 Algemene methodiek	9
2.1.1 Ruimtelijke schematisering	9
2.1.2 Van schematisering naar modelberekening	10
2.2 Het instrument STONEGui voor pre- en postprocessing	10
2.3 Het model SWAP voor de hydrologie	11
2.4 Opslag van rekenprogramma's en bijbehorende gegevens	12
3 Voorbewerkingen	13
3.1 Meteo	13
3.1.1 Basisgegevens	13
3.1.2 Verdamping	13
3.1.3 Invoer SWAP	14
3.2 Gewas	16
3.3 Bodem	16
3.4 Drainage	17
3.4.1 Drainagesystemen	17
3.4.2 Maaiveldsdrainage	18
3.5 Berekening	19
3.6 Oppervlakte-afvoer	19
3.7 Open waterstanden en wateraanvoer	20
3.8 Onderrandvoorwaarde	21
3.9 Reparaties van plots waar de grondwaterstand onder de kolom uitzakt	21
3.9.1 Probleemschets	21
3.9.2 Bepalen van de te verbeteren plots	22
3.9.3 Redenen voor het ver uitzakken van de grondwaterstand	23
3.9.4 Oplossen van de "zakkers"	25
3.9.5 Resultaat van de oplossing	25
3.9.6 Conclusie	25
4 Nabewerking: van SWAP-uitvoer naar STONE-Plots	27
4.1 Verticale schematisering	27
4.2 Tijdsdiscretisatie en -integratie	27
4.3 Drainagefluxen	28
4.4 De berekening van GHG, GLG en Gt	28
5 Resultaten en plausibiliteit	31
5.1 Gemiddelde waterbalans voor zeer nat, zeer droog en gemiddeld jaar	31
5.2 Neerslag en verdamping	33
5.2.1 Resultaten	33
5.2.2 Vergelijking met de waterbalansen van gebieden	35
5.2.2.1 Stroomgebied Hupsel	35

5.2.2.2 Rottegatspolder	36
5.2.3 Vergelijking met NLOAD	37
5.3 Berekening	38
5.4 Buisdrainage	39
5.5 Maaiveldsdrainage en oppervlakte-afvoer	40
5.6 De berekende Gt's	41
6 Conclusies en aanbevelingen	43
6.1 Conclusies	43
6.2 Aanbevelingen	44
Referenties	47
<b><i>Aanhangsels</i></b>	
1 Vertikale schematisering modelbodemprofiel	49
2 De database UCBase: datamodel en inhoud van bestand SUCIN	51
3 De gemiddelde waterbalans voor Nederland over de periode 1971-1999	53
4 Neerslag, berekening, potentiële en actuele verdamping voor 3 grondgebruiksvormen grasland, snijmais en overig bouwland	55
5 Plotnummers waar de grondwaterstand onder profiel uitzakte	59
6 Berekende arealen per Gt, bodemsoort en landgebruik	61

## Samenvatting

Er is een nieuwe landsdekkende hydrologische dataset berekend voor het, door DLO, RIVM en RIZA gezamenlijk ontwikkelde, nutriëntenemissiemodel STONE. Daartoe is met het hydrologische model SWAP, voor een reeks van 30 jaar, de hydrologie gesimuleerd voor 6405 rekeneenheden van het STONE-instrumentarium. Deze rekeneenheden zijn een resultaat van een nieuwe ruimtelijke indeling, waarbij tevens waarden voor diverse hydrologische parameters per rekeneenheid zijn toegekend.

Dit rapport beschrijft de schematisatie, de parametrisatie en de resultaten van de berekeningen met het model SWAP. Er wordt uitgebreid ingegaan op de voorbereidingen en aannames die nodig waren om tot modelinvoer te komen. De resultaten worden besproken tegen de achtergrond van de vraag: zijn de rekenresultaten van STONE 2.0 met betrekking tot de hydrologie plausibel? Het betreft met name de plausibiliteit met betrekking tot de verdamping, neerslagoverschot, diverse drainagecomponenten en grondwaterstanden.

Voor de verdamping geldt dat de berekeningswijze wordt gezien als 'state of the art'. Voor grasland is een zeer plausibele verdamping berekend, voor bouwland heeft bodemverdamping meer aandacht. Drainagefluxen zijn redelijk geavanceerd voor maximaal 3 oppervlaktewatersystemen, het maaiveld en de buisdrainage berekend. Uit de resultaten blijkt dat relatief ondiepe systemen de grootste bijdrage leveren aan de waterafvoer vanuit de bodem naar het oppervlaktewatersysteem. Daarbij is de aanwezigheid van buisdrainage van groot belang. De berekende grondwatertrappen zijn gemiddeld droger vergeleken met de grondwatertrappen volgens de bodemkaart. Een verschuiving richting drogere grondwatertrappen is plausibel en ook goed in overeenstemming met de landelijke steekproef. Daarom zijn de berekende grondwatertrappen als redelijk beoordeeld.

Er wordt afgesloten met een aantal aanbevelingen. Samengevat zijn dat de volgende:

- de parametrisatie van de bodemverdamping moet worden geëvalueerd
- de invoerdata voor beregeningsomvang en aanwezigheid van buisdrainage moeten worden geactualiseerd
- het proces van maaiveldsdrainage dient nader te worden onderbouwd met concepten en parameterwaarden
- het gebruik van een ander type onderrandvoorwaarde en de mogelijkheden en nut en noodzaak van gekoppeld rekenen moeten in een proefgebied worden uitgezocht
- de resultaten van de Gt-actualisatie dienen te worden gebruikt voor een betere verificatie maar ook voor hernieuwd kalibreren van de parameterwaarden voor de interactie grondwater-oppervlaktewater
- de effecten van profielverlenging dienen via een beperkte gevoeligheidsanalyse te worden aangegeven

- de effecten van nutriëntenberekeningen op dagbasis (in plaats van op decadebasis) dienen te worden nagegaan
- het landgebruik (m.n. natuur) moet verder worden gedifferentieerd.

# 1 Inleiding

Het model STONE (Samen Te Ontwikkelen Nutriënten Emissiemodel) is gezamenlijk ontwikkeld door DLO, RIVM en RIZA. De ruimtelijke indeling en de hydrologie worden niet met het model STONE bepaald en berekend, maar worden apart gemaakt. Een nieuwe ruimtelijke indeling en bijbehorende parametrisatie is voor STONE versie 2.0 opgesteld door Kroon e.a. (2001) en resulteerde in 6405 ruimtelijke eenheden (Plots of UC's<sup>1</sup>). Dit rapport geeft een verslag van de werkzaamheden om landsdekkende hydrologische berekeningen uit te voeren. De berekeningen zijn uitgevoerd met het hydrologische model SWAP. De resultaten van de berekeningen worden in STONE gebruikt als input voor berekeningen met als hoofddoel de uitspoeling van de nutriënten stikstof en fosfor vanaf het maaiveld naar grondwater en oppervlaktewater.

Dit rapport heeft 2 hoofddoelen:

- a) vastleggen van de schematisatie en parametrisatie ten behoeve van de berekeningen met het model SWAP voor STONE 2.0;
- b) beoordelen van de plausibiliteit van de rekenresultaten van het model SWAP.

De algemene werkwijze en een korte beschrijving van het gebruikte instrumentarium wordt gegeven in hoofdstuk 2. De verschillende voorbereidingen met bijbehorende aannames die nodig waren om tot modelinvoer te komen worden beschreven in hoofdstuk 3. De resultaten van het model SWAP konden niet zonder meer als invoer voor STONE worden gebruikt en de benodigde conversies om van SWAP-uitvoer te komen tot STONE-invoer is beschreven in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden de resultaten besproken met tevens een beoordeling van de plausibiliteit. Tot slot volgen in hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen voor verbetering.

---

<sup>1</sup> UC = Unieke Combinatie; in deze versie van STONE zijn UC's en Plots aan elkaar gelijk





## **2 Werkwijze**

### **2.1 Algemene methodiek**

#### **2.1.1 Ruimtelijke schematisering**

In navolging op de schematisering voor een vorige STONE-versie (Massop e.a., 2000) is door Kroon e.a. (2001) een nieuwe ruimtelijke schematisering gemaakt. Deze vernieuwde schematisering resulteerde in 6405 Plots (STONE-rekeneenheden). Voor een uitgebreide toelichting op de schematisering wordt verwezen naar Kroon e.a. (2001). Om dit rapport zelfstandig leesbaar te laten zijn, wordt hier een samenvatting van de nieuwe schematisering gegeven. Deze schematisering is in 2 stappen samen te vatten:

##### ***Stap 1: hydrologische UC's***

Deze schematisering startte met een ruimtelijke indeling van ca 900 hydrologische UC's (Unieke Combinaties), gebaseerd op een methodiek zoals beschreven in Massop e.a. (2000). Deze indeling is gebaseerd op:

- a) indeling in 22 hydro-geologische eenheden (hydrotypen) afgeleid van de geologische kaart (1:600.000)
- b) 6 kwel-klassen (volgens kwelkaart MONA, 250 x 250 m)
- c) 6 lekweerstandklassen gebaseerd op de lekweerstand van het totale drainagesysteem
- d) 7 Gt-groepen (bijvoorbeeld V + V\* in één groep)

De ca 900 hydrologische UC's zijn ontstaan door combinatie van bovengenoemde parameters en opschoning (kleine oppervlakten ontstaan door onzuiverheid zijn samengevoegd bij sterk verwante combinaties). Er is geprobeerd om kleine oppervlakten die van nature voorkomen, bijvoorbeeld Gt I, zoveel mogelijk te handhaven.

Voor de parametrisatie van de nieuwe UC's zijn nieuwe invoerbestanden gemaakt van kD-waarden, verticale weerstanden, buisdrainage, wateraanvoer en berekening. Bovendien zijn nieuwe parameterwaarden bepaald voor lekweerstand en kwel/wegzingsfluxen.

##### ***Stap 2: landgebruik en bodemchemie***

De ruimtelijke indeling is verder gedifferentieerd naar nieuwe STONE-eenheden door combinatie met bodemchemie en landgebruik; deze verdere differentiatie is tevens gebruikt om de hydrologische eigenschappen uiteindelijk zo weinig mogelijk uit te middelen. De ca. 900 hydrologische eenheden zijn verder ruimtelijk gedifferentieerd naar eenheden voor STONE, door combinatie met:

- a) landgebruik ( 4 klassen: gras, mais, overige landbouw en natuur )
- b) fosfaatbindend vermogen ( 3 klassen )
- c) mineralisatiecapaciteit ( 2 of 3 klassen )
- d) kationenadsorptiecapaciteit (2 of 3 klassen).

Laatstgenoemde parameters, gecombineerd met de hydrologische eenheden, resulteerde in ca 120 000 eenheden. Deze zijn gecombineerd en opgeschoond, evenals bij stap 1, door kleine combinaties ontstaan door onzuiverheden samen te voegen bij sterk verwante combinaties en vervolgens na te gaan of de eenheden groot genoeg zijn om verder te differentiëren. De eerstgenoemde parameters hebben bij deze indeling een hogere prioriteit gekregen dan de laatstgenoemde. Bij de differentiatie naar STONE-eenheden is naast bovengenoemde onderscheidende parameters rekening gehouden met de indeling in 15 meteo-districten, een bodemindeling in zand, veen en klei, en het zo veel mogelijk behouden van 21 bodemfysische eigenschappen. Uiteindelijk resulteerde deze 2<sup>e</sup> stap in 6405 STONE-eenheden, ofwel plots.

## 2.1.2 Van schematisering naar modelberekening

De nieuwe schematisering is opgeslagen in een database, welke als invoer diende voor het instrument STONEGui. Dit instrument stuurde de berekeningen van het model SWAP aan. De resultaten zijn gegenereerd met het model SWAP. Op de resultaten is een nabewerking uitgevoerd, waarna de resultaten in de vorm van bestanden per plot zijn opgeslagen.

## 2.2 Het instrument STONEGui voor pre- en postprocessing

Om de berekeningen met SWAP te kunnen uitvoeren is een interface ontwikkeld. Deze is gecodeerd in de programmeertaal Delphi: het instrument STONEGui. Vanuit deze interface wordt de schematisering uit de database gelezen (figuur 2.1) en doorgegeven aan het model SWAP. De resultaten zijn in de vorm van binaire files opgeslagen en samenvattende resultaten zijn naar de database geschreven. De binaire files dienen als invoer voor het STONE-instrumentarium (Beusen e.a., 1998).

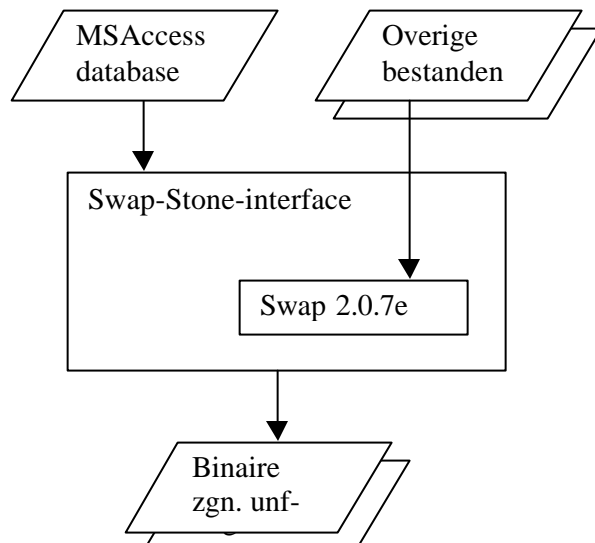


Fig 2.1 Schematisch overzicht van de datastroom

## 2.3 Het model SWAP voor de hydrologie

SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant) is een simulatiemodel voor het bodem-water-atmosfeer-plant-systeem (figuur 2.2). Het model simuleert het transport van water en warmte in zowel de onverzadigde als de verzadigde zone.

Het is een dynamisch simulatiemodel dat invoer op dagbasis vereist van meteorologische, bodemkundige en waterhuishoudkundige gegevens. Uitvoer in de vorm van waterbalansen wordt standaard op dagbasis gegenereerd.

Het model is de opvolger van het welbekende SWATRE-model waarvan de eerste versie in 1978 verscheen (Feddes e.a., 1978). Sindsdien is het model over de hele wereld toegepast. Van het model SWAP is versie 2.0.7d recent verschenen en via internet verkrijgbaar ( <http://www.alterra.nl/model/SWAP> ). Deze versie is gedocumenteerd middels een theoretische beschrijving (Van Dam, 2000 en Van Dam e.a., 1997) en een gebruikershandleiding (Kroes e.a., 1999). Belangrijke verbeteringen t.o.v. het SWATRE-model zijn: stabiele numerieke oplossing, stof- en warmte-transport, bodemheterogeniteit (preferent transport, zwel/krimp), berekening en irrigatiewaterbeheer, gedetailleerde gewasgroei, regionale aan- en afvoer naar drainagemiddelen en interactie met oppervlaktewatersystemen.

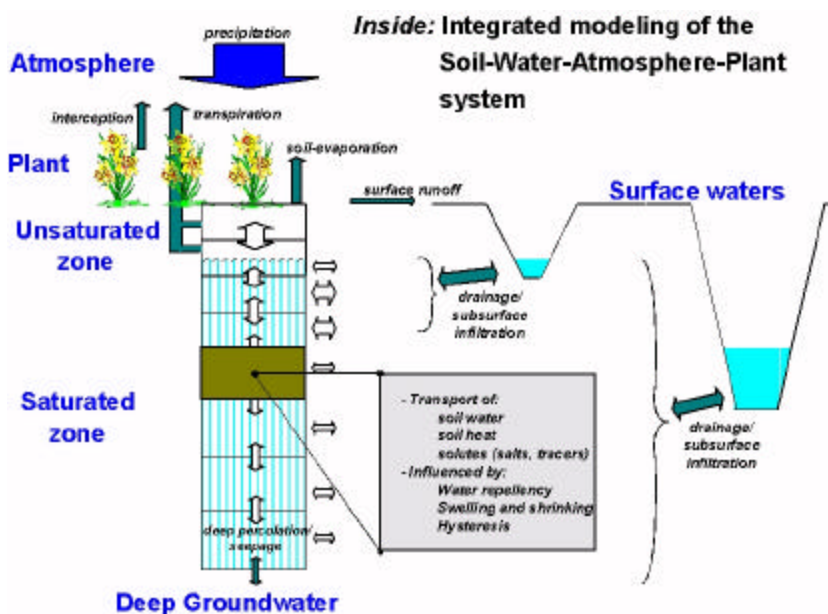


Fig 2.2 Schematisering en processen in het model SWAP

De berekeningen voor STONE 2.0 zijn uitgevoerd met SWAP versie 2.0.7e. Deze versie verschilt van de vorige versie (SWAP 2.0.7d, Kroes e.a., 1999) uitsluitend wat betreft de introductie van de maaiveldsdrainage (zie paragraaf 3.4.2).

## 2.4 Opslag van rekenprogramma's en bijbehorende gegevens

Met het instrumentarium zijn berekeningen uitgevoerd voor een 4-tal scenario's (scenario-codering conform Boogaard en Kroes, annex 5 (1997)):

- 1) *scenario A*: 956<sup>2</sup> bestanden (zgn. *unf-files*), gebaseerd op de meteorologische gegevens van 1971 t/m 1985. Dit scenario wordt in STONE gebruikt voor de initialisatie van de nutriëntenberekeningen met de periode 1941-1970. Hiertoe is het landgebruik snijmaïs vervangen door akkerbouw (overig bouwland) (zie Boogaard en Kroes, 1997);
- 2) *scenario C*: 6405 bestanden (zgn. *unf-files*), gebaseerd op de meteorologische gegevens van 1971 t/m 1985. Dit scenario wordt in STONE gebruikt voor het doorrekenen van de periode 1971 t/m 1985;
- 3) *scenario L*: 956<sup>2</sup> bestanden (zgn. *unf-files*), gebaseerd op de meteorologische gegevens van 1971 t/m 1985. Dit scenario wordt in STONE gebruikt voor scenario-berekeningen waarbij snijmaïs vervangen is door snijmaïs met vanggewas;
- 4) *scenario Y*: 6405 bestanden (zgn. *unf-files*), de meteorologische gegevens van 1986 t/m 1999, aangevuld met 1 maal de meteorologische gegevens van 1996. Het aanvullende jaar (1996) is nodig omdat het STONE-instrumentarium een reeks van 15 jaren nodig heeft.

Tevens is een extra bestand (*Swat.dat*) gegeneerd met gesimuleerde Gt's en kwel/wegzigtigingsvlak. De resultaten in dit bestand zijn gebaseerd op de resultaten van de periode 1985 t/m 1999 (samenvoeging van scenario's C en Y).

Door omstandigheden waren in laatste instantie (jan-april 2001) 2 rekensessies nodig. Deze zijn beide opgeslagen.

De eerste rekensessie bevat resultaten die door Kroon e.a. (2001) zijn gebruikt voor analyse. De tweede rekensessie heeft het definitieve resultaat gegenereerd.

Van de eerste rekensessie zijn de instrumenten en data (interface met bijbehorende gegevens, ca 16 Gb) gearchiveerd op een HP-C4435 Data Cartridge en op 21 februari 2001 opgenomen in de brandvrije kluis van het computercentrum van Alterra en voorzien van de tekst:

"Stone hydrologie 2000, 21 februari 2001, Joop Kroes".

Van de tweede rekensessie zijn de instrumenten en data, evenals de eerste rekensessie, gearchiveerd op een HP-C4435 Data Cartridge en op 18 juni 2001 opgenomen in de brandvrije kluis van het computercentrum van Alterra en voorzien van de tekst:

"Stone hydrologie 2000, 5 april 2001, Kroes - Alterra".

---

<sup>2</sup> Voor de scenario's A en L zijn alleen die plots doorgerekend waarvan het grondgebruik is gewijzigd; hierdoor zijn 956 plots doorgerekend i.p.v. 6405 plots (zie verder Boogaard en Kroes, 1997)

## 3 Voorbewerkingen

### 3.1 Meteo

#### 3.1.1 Basisgegevens

Decadecijfers voor neerslag en referentie-gewasverdampingsgegevens waren beschikbaar voor 15 KNMI hoofdweerstations en voor een reeks van jaren. De cijfers waren bekend als cumulatieve waterfluxen (mm per decade) en gegeven voor decades met een variabele tijdsduur (8, 9, 10 of 11 dagen). De decadecijfers zijn vertaald naar dagcijfers en geformatteerd als invoer voor het model SWAP, dat invoer van meteorologische gegevens op dagbasis vereist. Daartoe is de verdeling binnen een decade afgeleid van de verdeling zoals die in de reeks van doorgerekende jaren in De Bilt voorkomt. Per KNMI hoofdweerstation is de dagelijkse variatie binnen een decade, zoals die voorkomt in het hoofdweerstation De Bilt, toegepast op elke regio om dagelijkse meteorologische gegevens voor SWAP te genereren. Er zijn invoerbestanden voor het model SWAP gegenereerd voor de periode 1971 t/m 1999. Omdat STONE met reeksen van 15 jaar werkt zijn ook invoerbestanden voor het jaar 2000 gemaakt. Omdat bij aanvang van deze studie nog geen gegevens voor het jaar 2000 beschikbaar waren, zijn de invoerbestanden voor het jaar 2000 gebaseerd op de gegevens van het jaar 1996, een relatief droog jaar met gemiddeld 640 mm neerslag, en een neerslagoverschot van 190 mm.

De ruimtelijke relatie tussen hoofdweerstations en STONE-plots is uitgevoerd door Kroon e.a. (2001) en vastgelegd in de database UCBase (aanhangsel 2).

#### 3.1.2 Verdamping

De basis voor de verdampingsberekeningen is gelegd door de weergegevens van het KNMI. Vanaf januari 1956 worden maandelijks gepubliceerd in de klimatologische overzichten van het weer (MOW-overzichten). Voor de verdampingsgegevens in de MOW-overzichten geldt (Huinink, 1998):

- 1956-1971: Verdamping per decade als  $E_o^{MOW*}$  (verdamping vrij wateroppervlak) met maandgemiddelde invoer van overdaggemiddelden;
- 1971-1/4/1987: Verdamping per decade als  $E_o^{MOW}$  met ca 10% verhoogde etmaalgemiddelden;
- 1/4/1987-heden: Verdamping per decade als  $E_M$  (Makkink-verdamping): de potentiële verdamping van gras, bekend als de referentie-gewasverdamping.

Door RIZA zijn de verdampingscijfers vanaf 1/4/1987 met een factor gecorrigeerd om een zo consistent mogelijke reeks de  $E_o^{MOW}$  te krijgen. Daartoe zijn alle referentieverdampingscijfers vanaf deze periode gedeeld door een factor 0.8, gebaseerd op het verschil van de gewasfactor voor gras in de Penman- en de

Makkink-benadering. Feddes toonde aan dat onder bepaalde omstandigheden in een langdurig gemiddeld zomerhalfjaar deze factor rond de 0.8 kan variëren (Cultuurtechnisch vereniging, 1988, p.355). De resultaten van deze laatste conversie zijn als  $E_o^{MOW}$  in het model SWAP gebruikt.

### 3.1.3 InvoerSWAP

Om te komen tot de best mogelijke schatting van de potentiële verdamping per gewas is de  $E_o^{MOW}$  omgezet naar een potentiële verdamping van een referentiegewas ( $ET_{ref}$ ). Dit is gedaan door alle verdampingscijfers te vermenigvuldigen met een gewasfactor van 0.8 (tabel 3, CHO-TNO, 1988). Met deze verdampingscijfers ( $ET_{ref}$ ) zijn nieuwe meteo invoerbestanden voor SWAP gegenereerd voor de periode 1971 t/m 1999. Vervolgens zijn in SWAP gewas/ruwheidsfactoren ( $k_c$  als cropfactoren, zie Van Dam, 1997, p.73) gehanteerd om  $ET_{ref}$  om te zetten naar een gewas-specifieke potentiële verdamping ( $ET_{p0}$ ):

$$ET_{p0} = k_c * ET_{ref} \quad (1)$$

De gehanteerde gewas/ruwheidsfactoren ( $k$ ) voor omzetting van  $ET_{ref}$  naar  $ET_{p0}$  staan vermeld in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Per gewas de ingevoerde gewas/ruwheidsfactoren ( $k_c$ ) als functie van het ontwikkelingsstadium van het betreffende gewas (DVS=DeVelopment Stage); in de tabel is tevens de groeiperiode van elk gewas opgenomen.

Gewas	Groeiperiode	DVS	$k_c$
Snijmaïs	20/5 – 17/10	0.0	1.0
		1.0	1.2
		2.0	1.2
Overige bouwland	10/5 – 1/10	0.0	1.0
		2.0	1.0
Grasland	1/1 – 31/12	0.0	1.0 <sup>3</sup>
		2.0	1.0
Wintertarwe <sup>4</sup>	1/1-15/5 en 1/11– 31/12	0.0	1.0
		2.0	1.0

Vervolgens is  $ET_{p0}$  verdeeld over bodem ( $E_{pot}$ ) en gewas ( $T_{pot}$ ) met de LAI-waarden uit tabel 3.2.

Voor de omzetting van potentiële naar actuele bodemverdamping is de empirische methode van Black (Black, 1969; Van Dam e.a., 1997, p.76) gehanteerd. Tijdens de simulaties wordt de uiteindelijke actuele bodemverdamping berekend doordat het model SWAP per tijdstap het minimum bepaalt van de bodemverdamping volgens de methode van Black en de maximale Darcy-flux. Parameterwaarden zijn overgenomen uit de User's guide (Kroes e.a., 1999) en niet gevarieerd per bodemtype.

<sup>3</sup> voor grasland is een gewashoogte van 12 cm gebruikt, hetgeen resulteert in een  $k_c$  van 1.0

<sup>4</sup> wintertarwe is alleen als vanggewas gehanteerd, aansluitend op de oogst van snijmaïs

Tabel 3.2 Per gewas de ingevoerde LAI (Leaf Area Index) als functie van het ontwikkelingsstadium van het betreffende gewas (DVS=DeVelopment Stage). De LAI-waarden (m.u.v. grasland) zijn gebaseerd op berekeningen met WOFOST (Hijmans e.a., 1994).

Snijmais		Overige bouwland		Grasland		Wintertarwe	
DVS	LAI	DVS	LAI	DVS	LAI	DVS	LAI
0.0	0.05	0.0	0.14	0.0	3.0	0.0	0.05
0.3	0.14	0.5	0.34	2.0	3.0	0.23	0.17
0.5	4.1	1.0	0.84			0.51	0.87
1.0	5.0	1.2	6.17			0.83	4.58
1.4	5.8	1.5	3.94			1.21	5.83
2.0	5.2	1.7	3.56			1.69	4.85
		2.0	1.41			2.0	1.32

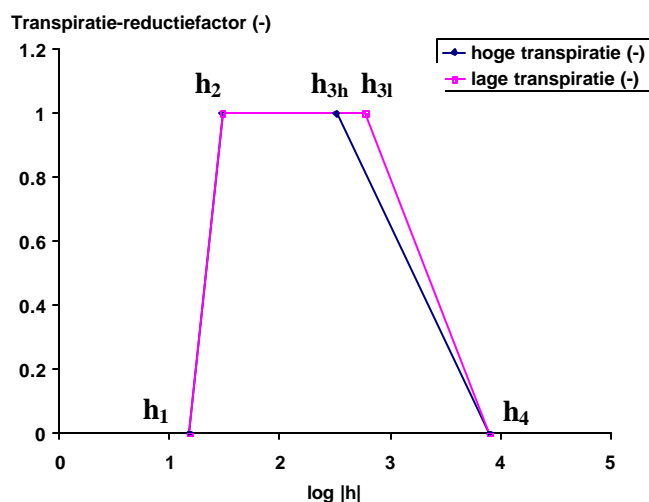


Fig. 3.1 Transpiratiereductie-functie voor snijmais

Tabel 3.3 Kritieke drukhoogtes (cm) voor de transpiratie reductie functie gehanteerd bij het berekenen van de actuele gewasverdamping (drukhoogtes  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_{3h}$ ,  $h_{3l}$  en  $h_4$  in cm)

Gewas	$h_1$	$h_2$	$h_{3h}$	$h_{3l}$	$h_4$
Grasland	0	-1	-200	-800	-8000
Snijmais	-15	-30	-325	-600	-8000
overig bouwland (aardappelen)	-10	-25	-320	-600	-16.000
Vanggewas (wintertarwe)	0	-1	-500	-900	-16.000

Voor de omzetting van potentiële naar actuele gewasverdamping kan transpiratie in natte en droge omstandigheden worden gereduceerd. Hiervoor zijn de functies en bijbehorende waarden gebruikt, zoals gegeven door Van Dam e.a. (1997), m.u.v. grasland. Ter illustratie is in figuur 3.1 de transpiratiereductie-functie voor snijmais gegeven. De waarden voor de functies zijn per gewas gegeven in tabel 3.3. Voor alle gewassen geldt dat bij een hogere verdampingsvraag ( $>1 \text{ mm d}^{-1}$ ) de reductie eerder begint. De, hierbij behorende omslagpunten ( $h_{3l}$  en  $h_{3h}$ ) liggen voor alle gewassen voor lage en hoge verdamping bij een verdampingsvraag van resp. 1 en 5  $\text{mm d}^{-1}$ .

### 3.2 Gewas

Binnen de STONE-schematisering zijn 5 gewassen onderscheiden (Boogaard en Kroes, 1997):

1. snijmaïs met vanggewas
2. snijmaïs
3. overig bouwland
4. natuur
5. grasland

De gewas-files (crp-, cal-files), die als invoer voor SWAP dienen, zijn handmatig aangemaakt met parameters voor verdamping, zoals in paragraaf 3.1.3 is beschreven.

Voor overig bouwland zijn, evenals in Kroes e.a. (1999), de gewasgegevens van aardappelen aangehouden omdat aardappelen en bieten het grootste areaal overig bouwland vormen (44% van het overig bouwland), waarbinnen aardappelen het meest voorkomen. Voor 'overig bouwland' is een groeiseizoen aangehouden van 10/5 t/m 1/10 (gemiddelde van de 4 meest voorkomende gewassen).

Natuur is in hydrologische zin beschouwd als grasland. De gehanteerde schematisering is vastgelegd in het bestand UCBase (aanhangsel 2).

Wintertarwe is als vanggewas gebruikt bij de relevante scenario's (zie ook paragraaf 2.4).

De gehanteerde gegevens voor de bewortelingsdiepte staan vermeld in tabel 3.4.

*Tabel 3.4. Per gewas de ingevoerde bewortelingsdiepte (RD=RootingDepth in cm) als functie van het ontwikkelingsstadium van het betreffende gewas (DVS=DeVelopment Stage). De waarden (m.u.v. grasland) zijn gebaseerd op berekeningen met WOFOST (Hijmans e.a., 1994).*

Snijmaïs		Overige bouwland		Grasland		Wintertarwe	
DVS	RD	DVS	RD	DVS	RD	DVS	RD
0.0	5	0.0	10	0.0	30	0.0	10
0.3	20	0.5	22	2.0	30	0.23	50
0.5	50	1.0	30			0.51	90
0.7	80	1.24	50			0.83	120
1.0	90	2.0	50			1.21	120
2.0	100					1.69	120
						2.0	120

### 3.3 Bodem

De verticale bodemschematisering is gebaseerd op de horizont-indeling van de 21 bodemeenheden (Wösten e.a., 1988) en de compartimentering zoals die in de STONE-plots is gewenst. De verticale schematisering is op 2 manieren aangepast t.o.v. de vorige berekeningen t.b.v. STONE (Kroes e.a., 1999b, aanhangsel 2): de totale profieldikte is verlengd en de indeling in compartimenten is verfijnd.



De totale profiellengte is verlengd met 6 m tot een totaal van 13 m om de grondwaterstanden dieper te kunnen laten uitzakken is. Het effect hiervan op de nutriëntenuitspoeling is vooralsnog niet gekwantificeerd. De bodem is verondersteld niet beperkend te zijn voor de bewortelingsdiepte.

Een verfijning van de compartimentindeling was gewenst, omdat in de oude schematisering de laag van 1 tot 2 m-mv als 1 laag was geschematiseerd. De GLG zit vaak in deze zone en de nitraatconcentraties op GLG-niveau werden duidelijk beïnvloed door deze grove schematisering. Om dit probleem te ondervangen is de schematisering in modelcompartimenten vanaf 1 m-mv aangepast (zie aanhangsel 1). Tot 1 m-mv zijn geen aanpassingen doorgevoerd, omdat: i) er al een redelijke indeling was en ii) de bodemchemische schematisering al te ver gevorderd was op basis van de oude schematisering; aanpassing was hier door tijdgebrek niet meer mogelijk.

### 3.4 Drainage

#### 3.4.1 Drainagesystemen

Als bron voor de definitie van het oppervlaktewatersysteem is de Top10-vector gebruikt, aangevuld met informatie over het voorkomen van drainbuizen en aannames over het proces van maaiveldsdrainage. De 4 klassen van waterlopen uit de Top10-vector zijn voor de berekeningen met SWAP geclusterd tot 3 systemen. Voor deze 3 systemen zijn lekweerstand berekend met de formule van De Lange (Kroon e.a., 2001) en vastgelegd in de database UCBase (aanhangsel 2). Daaraan is buisdrainage toegevoegd (4e nivo) en een zgn. maaiveldsdrainage (5e nivo). Daarmee zijn voor de berekeningen met SWAP maximaal 5 drainagesystemen onderscheiden (tabel 3.5).

*Tabel 3.5 De vijf niveaus van drainagesystemen, zoals ze voor de berekeningen met SWAP zijn gehanteerd*

Niveau	Omschrijving
1	Primair systeem, waterlopen met breedte 3-6 m en waterlopen breder dan 6 m, volgens Top10-vector
2	Secundair systeem, waterlopen smaller dan 3 m, volgens Top10-vector
3	Tertiair systeem, greppels en droogvallende waterlopen, volgens Top10-vector
4	Buisdrainage op basis van criteria: hydrotype, Gt, bodem, landgebruik en slootdichtheid
5	Maaiveldsdrainage in elke plot

Door Kroon e.a. (2001) en Massop e.a. (2000) is een uitgebreide toelichting gegeven op de schematisering en parametrisatie van de buis- en maaiveldsdrainage. In aanvulling daarop geldt dat voor buisdrainage is gerekend met een vaste drainafstand van 10 m en een vaste weerstand van 100 d.

De parameters voor maaiveldsdrainage zijn nader toegelicht in paragraaf 3.4.2.

### 3.4.2 Maaiveldsdrainage

Het maaiveld van een perceel is niet vlak maar kent hogere en lagere delen. De verdeling van de maaiveldshoogte lijkt veelal op een normale verdeling. Een karakteristiek voor de ongelijkheid van de maaiveldsverdeling is de standaardafwijking van de maaiveldshoogtepunten van een nader gedefinieerd vlak. Voor ontwateringseenheden is die in de orde van 20 cm. Bij hoge grondwaterstanden gaat het maaiveld als drainagemiddel fungeren. Bij een grondwaterstand van 20 cm-mv draagt al een redelijk deel van het maaiveld bij aan deze vorm van drainage met een bijbehorende relatief lage weerstand van 30 d. Als de grondwaterstand gelijk is aan het gemiddelde maaiveld is aangenomen dat deze weerstand is teruggelopen tot 10 d en daarna niet meer verder afneemt (figuur 3.1), ofwel:

$$g_{\text{drain},5} = \max \left[ \left( 30 - (h_{\text{drain},5} - h_{\text{grondwater}}) \right); 10 \right]$$

waarin:  $g_{\text{drain},5}$  is maaiveldslekweerstand (d) van het hoogste (meestal 5<sup>e</sup>) drainage systeem,  $h_{\text{drain},5}$  is ontwateringsbasis (cm t.o.v. gemiddeld maaiveld) van het 5<sup>e</sup> systeem (maaiveldsdrainage),  $h_{\text{grondwater}}$  is grondwatertand (cm t.o.v. gemiddeld maaiveld).

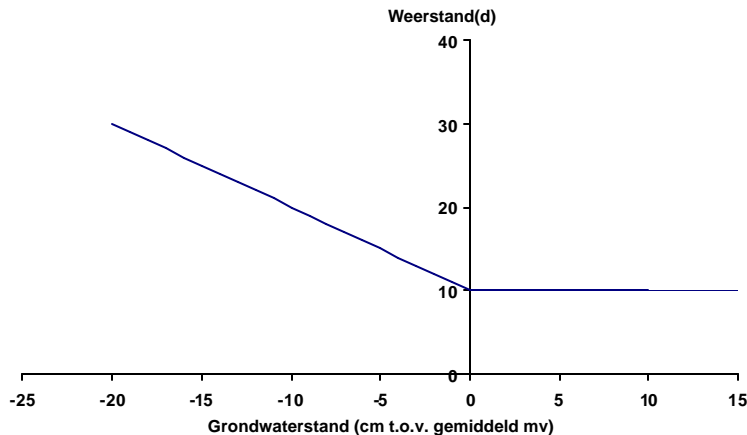


Fig.3.1 Lekweerstand  $g_{\text{drain},5}$  (d) voor afvoer via het maaiveldsdrainagesysteem met een ontwateringsbasis ( $h_{\text{drain},5}$ ) van 20 cm-mv. Lekweerstand is uitgezet als functie van de grondwaterstand volgens de gegeven formule (paragraaf 3.4.2)

Voor de ontwateringsbasis  $h_{\text{drain},5}$  van het 5<sup>e</sup> systeem (maaiveldsdrainage) is een diepte van 20 cm ( $h_{\text{drain},5}$  in cm t.o.v. gemiddeld maaiveld) gekozen.

Er is (vooralsnog) geen gevoeligheidsanalyse uitgevoerd en de gekozen parametrisatie moet als voorlopig worden beschouwd.

### 3.5 Berekening

Uit de schematisering van Kroon e.a. (2001) volgt op welke STONE-plots berekening plaats mag vinden.

De berekening is vervolgens door SWAP gegenereerd voor WSV-plots waar berekening plaats mag vinden. Daarbij zijn de volgende criteria gebruikt:

- sensor op 20 cm diepte;
- kritieke drukhoogtes voor grasland, snijmaïs en bouwland, resp. -316, -500 en 200 cm (pF 2.5, 2.7, 2.3);
- berekening tot actuele drukhoogte zich op veldcapaciteit (is drukhoogte van -100 cm, ofwel pF 2.0) bevindt.

Er is geen onderscheid gemaakt tussen berekening uit grondwater en berekening uit het oppervlaktewater. De invloed, die onttrekkingen uit grondwater t.b.v. berekening hebben op de grondwaterstand, is niet meegenomen in de berekeningen.

### 3.6 Oppervlakte-afvoer

SWAP kan op 2 manieren oppervlakte-afvoer (surface runoff) genereren:

- a) door een beperkte infiltratiecapaciteit van bodem en
- b) doordat grondwaterstand boven het maaiveld uitkomt.

Door de maaiveldsdrainage zal in de praktijk de grondwaterstand nauwelijks boven het ontwateringsniveau van de maaivelddrainage uitkomen en er zal weinig oppervlakte-afvoer optreden als gevolg van hoge grondwaterstanden. Een uitzondering geldt voor gebieden met hoge kwelfluxen die tot aan het maaiveld reiken.

Oppervlakte-afvoer zal voornamelijk worden gegenereerd, doordat de infiltratiecapaciteit van de bodem wordt overschreden. Als dit gebeurt treedt er in werkelijkheid plasvorming aan het maaiveld op. In het model wordt dit benaderd door een zogenaamde ponding laag te introduceren (Van Dam e.a., 1997). De oppervlakte-afvoer wordt beschreven met de vergelijking:

$$q_r = \frac{h_{pond} - h_{pond,max}}{g_{sil}}$$

waarbij:  $q_r$  is de oppervlakte-afvoer ( $\text{cm.d}^{-1}$ ),  $h_{pond}$  is de dikte (cm) van de ponding laag,  $h_{pond,max}$  is de maximale dikte (cm) van de ponding laag,  $g_{sil}$  is de weerstand (d) voor oppervlakte-afvoer.

De maximale dikte van deze ponding laag is een invoerparameter, waarbij voor deze studie een waarde van 1 cm is gehanteerd. Bij geringe infiltratiecapaciteit of snel stijgende grondwaterstanden wordt deze ponding laag opgevuld en pas nadat de maximale dikte wordt overschreden treedt oppervlakte-afvoer op.

De snelheid waarmee de oppervlakte-afvoer naar het oppervlaktewaterstelsel wordt afgevoerd, kan worden geregeld door een weerstand voor oppervlakte-afvoer ( $?_{sij}$ ) te hanteren. In deze studie is daarvoor een waarde van 0.5 d ingevoerd.

Voor een optimale beschrijving van de oppervlakte-afvoer dient met neerslagintensiteiten van minder dan 1 d gerekend te worden, hetgeen buiten de scope van deze studie viel. Aangezien gerekend is met dagwaarden van de neerslag zal de oppervlakte-afvoer waarschijnlijk zijn onderschat.

### 3.7 Open waterstanden en wateraanvoer

De berekening van de open waterstanden in STONE 2.0 is enerzijds zeer geavanceerd doordat de waterbalans van het oppervlaktewater, waartoe de rekeneenheid behoort, dynamisch wordt bijgehouden en daardoor een realistisch verloop van de open waterstand wordt berekend (voor de precieze rekenwijze en gehanteerde parameterwaarde, zie Kroon, 2001), anderzijds zeer primitief doordat geen rekening wordt gehouden met:

- a) de regionale toe- en afstroming via het oppervlaktewater (m.u.v. de mogelijkheid van wateraanvoer als gegeven waarde) en
- b) met het oplopen van de waterstand in de watergang als gevolg van opstuwung.

Dit opstuwungseffect kan worden verdisconteerd in de afvoerformule maar hiervan is in deze versie van SWAP geen gebruik gemaakt. De aan- en afvoer in het oppervlaktewatersysteem wordt beschreven met een vergelijking (zie ook Van Dam e.a., 1997, p110-116 en Kroes e.a., 1999, p.69-71) voor een vaste stuw, waarbij de afvoer afhankelijk is van een aantal in te voeren parameters:

$$q_{dis} = a_{input} (H)^b$$

waarbij:  $q_{dis}$  is de afvoer in het oppervlaktewatersysteem ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ),  $a_{input}$  ( $m^{3-b} s^{-1}$ ) en  $b$  (-) zijn in te voeren stuwkarakteristieken,  $H$  is de overstorthoogte (m); deze wordt per tijdstap berekend (alleen positieve waarden) als het verschil tussen de open waterstand en de kruinhoogte van de stuw (zie tabel 3.6).

Voor deze studie is de werkelijkheid vereenvoudigd tot drie managementperiodes, waarbij streefpeilen voor zomer en winter zijn benaderd via de ingevoerde waterpeilen. Een voorbeeld van de gehanteerde waarden voor het waterbeheer in het oppervlaktewatersysteem van STONE-plot nr 2 is gegeven in tabel 3.6. De gehanteerde waarden zijn opgenomen in de database met invoergegevens (aanhangsel 2, tabel 1, bestand SucIn).

Tabel 3.6 De stuwkarakteristieken van drie managementperiodes die voor STONE-plot nr 2 zijn gehanteerd in deze studie, waarbij  $a_{input}$  geldt voor een oppervlakte van 100 ha.

Managementperiode	$a_{input}$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	kruinhoogte (cm-mv)	$\beta$ (-)
1: 1/1 - 31/3	3	-195	1.4765
2: 31/3 - 30/9	3	-165	1.4765
3: 30/9 - 31/12	3	-195	1.4765

Deze relatie betekent dat bij een overstort van 10 cm een afvoer van  $0.9 \text{ cm d}^{-1}$  en bij een overstort van 20 cm treedt een afvoer op van  $2.5 \text{ cm d}^{-1}$ .

Doordat geen rekening is gehouden met opstuwing, en daarmee gepaard gaande stijgende open waterstanden, zullen de open waterstanden bij hoge afvoeren systematisch lager zijn dan in werkelijkheid. Het effect hiervan op de grondwaterstanden en afvoeren is niet onderzocht.

Via de schematisering (Kroon e.a., 2001) zijn gebieden met wateraanvoer onderscheiden. Grofweg komt het neer op wateraanvoer in het Holocene deel en in de Veenkoloniën. De resultaten van de schematisering zijn overgenomen en in deze berekeningen gebruikt.

### 3.8 Onderrandvoorwaarde

Met behulp van het modelinstrumentarium MONA zijn kwel/wegzijgingsfluxen berekend van het eerste watervoerende pakket naar het topsysteem (Kroon e.a., 2001). Voor het pleistocene gebied is temporele variatie van de onderrand toegepast. Hiervoor is met de nieuwe weerstanden een kwelelasticiteit berekend. Vervolgens is met een gegeven verschil in laagste en hoogste grondwaterstand een in de tijd variërende sinusvormige onderrand-flux berekend. In het holocene gebied is geen temporele variatie van de onderrand toegepast, omdat de onzekerheid in de toe te passen variatie te groot is.

De weerstanden voor het primaire, secundaire en tertiaire drainagesysteem zijn berekend met de formule van de voedingsweerstand van De Lange. Kroon e.a. (2001) geven een uitgebreide toelichting op het verkrijgen van de onderrandvoorwaarde.

### 3.9 Reparaties van plots waar de grondwaterstand onder de kolom uitzakt

#### 3.9.1 Probleemschets

De in STONE geschematiseerde plots hebben een beperkte kolomdiepte. In droge tijden kan de grondwaterstand uitzakken tot de bodem van deze kolom, of zelfs dieper. Omdat uit de hydrologische schematisatie voor STONE (Kroon e.a., 2001) al bleek dat de grondwaterstand dikwijls onder de oorspronkelijke kolomdiepte van 6 m werd berekend, is de profieldiepte voor STONE in de nieuwe schematisatie verlengd

tot een diepte van 13 m. Toch blijkt ook dit niet genoeg, in de schematisatie is nog steeds een aantal plots te vinden waar de grondwaterstand in droge perioden gedurende één of meerdere decaden onder de 13 m beneden het maaiveld uitzakt. Ten dele kan deze uitzakking realistisch zijn (bijvoorbeeld grote delen in Zuid-Limburg en op hoge gronden) voor een ander deel zal dit veroorzaakt zijn door een fout in de hydrologische schematisatie, met name in de gehanteerde onderrandflux.

### 3.9.2 Bepalen van de te verbeteren plots

In de hydrologische invoerfile voor ANIMO (= nutriëntenuitspoelingsmodel binnen STONE) staan de grondwaterstanden voor de periode 1970 - 2000 per decade weergegeven. Uit deze lijst bleek dat bij circa 50 plots de berekende grondwaterstand één of meerdere decaden onder de gedefinieerde profieldiepte uitkwam. In de praktijk kunnen dit meer plots zijn, omdat de in deze file voorkomende decadegrondwaterstand is afgeleid van dagelijkse grondwaterstanden en er op dagbasis meer extreme waarden zullen voorkomen dan op decadebasis. Daarom zijn eerst voor de hele periode de dagelijkse grondwaterstanden weer gegenereerd met SWAP. Uit deze rekenexercitie bleek dat in totaal 289 plots één of meerdere dagen onder de kolomdiepte uitzakten. In figuur 3.2 is de ligging van de plots weergegeven. De plotnummers zijn weergegeven in aanhangsel 5. De plots komen grotendeels voor op de drogere gronden. In Zuid-Limburg bevindt zich een hoge concentratie van “probleemplots”.



*Figuur 3.2: ligging van de plots waar de grondwaterstand onder de gedefinieerde profielkolom uitzakt*

### 3.9.3 Redenen voor het ver uitzakken van de grondwaterstand

Er is een aantal redenen denkbaar voor het uitzakken van de grondwaterstand onder de benedenkant van het profiel. Enerzijds kan deze te maken hebben met werkelijk voorkomende diepe grondwaterstanden, anderzijds kan zij een meer modeltechnische achtergrond hebben; de opgegeven onderrandvoorwaarde voor de plots in SWAP (kwel/wegzijging) hoeft niet te corresponderen met de werkelijke door klimatologie bepaalde onderrandflux. Hieronder volgt een overzicht van mogelijke redenen :

- 1) De kwel/wegzijgingsflux die gebruikt is voor de modellering is berekend voor een gemiddelde situatie ( eerst 1985, later voor periode 1977-1985 ). De werkelijke kwel/wegzijging over de hele periode kan door de klimatologische variatie afwijken van deze situatie. Bijvoorbeeld het droge jaar 1976 zal de grondwaterstand dieper dalen dan in de gemiddelde situatie, dit droge jaar is in principe niet betrokken bij de berekening van de onderrandflux.
- 2) In Zuid-Limburg en de Waddeneilanden zijn geen fluxen berekend met het model NAGROM, omdat het model hier geen dekking heeft. Voor deze gebieden is een kwel/wegzijgingsflux ingeschat op basis van overige hydrologische kenmerken, zoals lekweerstand en Gt (voor zover bekend). Met name in grote delen van Zuid-Limburg was ook laatstgenoemde vaak onbekend. Veelal is voor de kwel/wegzijging een waarde genomen op basis van kenmerken binnen de zelfde geohydrologische hoofdingdeling (hydrotype Löss of open profiel) waar wel informatie beschikbaar was. De toegekende waarde heeft veelal een extreme wegzijgingswaarde (nabij circa  $1.2 \text{ mm d}^{-1}$ ) en kan zeer wel mogelijk afwijken van de werkelijk optredende kwel/wegzijgingsflux, waardoor vervolgens in het model SWAP een te droge conditie wordt gegenereerd.
- 3) Er is wel een variatie in onderrandflux in de tijd verondersteld, voor het pleistocene gebied. Hiervoor is de variatie in flux berekend ten gevolge van grondwateraanvullingen van  $0.5$  en  $1 \text{ mm d}^{-1}$ . Voor deze variatie in flux is voor de berekeningen in STONE vervolgens een sinusvormig verloop in de tijd toegepast. Het is zeer goed mogelijk dat in de praktijk de grondwateraanvulling meer varieert en dat de verdeling van de sinus afwijkt ten opzichte van de werkelijke temporele fluxverdeling ten gevolge klimatologische variatie.
- 4) De waterbalansen in de modellen SWAP (model voor het topsysteem) en NAGROM (hier: het hydrologische model dat de regionale hydrologie berekent) worden in MONA iteratief op elkaar afgesteld. Dit resulteert in een goede afstemming van de kwel/wegzijgingsflux op de grondwateraanvulling in het topsysteem. Berekeningen bij het RIZA met MOZART en NAGROM tonen aan dat bijna altijd minstens 2 iteraties in de berekeningen moeten plaatsvinden. De modellen SWAP en NAGROM zijn wegens de tijdsdruk in feite slechts 1 keer geïtereerd. Wel heeft voor deze iteratieve berekening nog een iteratieve berekening plaats gevonden, maar toen werd in het model SWAP de verkeerde grondwateraanvulling gehanteerd, omdat de verdamping van Penman en Makkink door elkaar waren gebruikt. Deze eerste iteratieve berekening kan daarom niet worden meegeteld. De grootste bijstelling vond plaats in de eerste iteratieve berekening. Deze toonde aan dat de resultaten in SWAP aanzienlijk positief

werden bijgesteld. Bij de 2e iteratieronde worden in de praktijk met name in de gebieden met sterke hydrologische variatie, de “extreme” fluxen (sterke kwel in beekdalen of sterke wegzijging in hogere delen) verder afgestemd op de regionale hydrologische situatie. Door het in feite ontbreken van een correcte 2e iteratieronde kunnen nog te extreme fluxen worden gehanteerd. Voor de situatie met “wegzakkers” betekent dit mogelijk een te sterke wegzijging.

- 5) De iteratieve afstelling van SWAP en NAGROM vindt plaats in MONA. In principe wordt per 250-meter cel een stijghoogte opgevraagd uit NAGROM, vervolgens wordt per grid-cel een specifieke flux berekend als het verschil tussen deze stijghoogte en het gemodificeerd peil ( $P^*$ , waarin de grondwateraanvulling is verwerkt), gedeeld door de voedingsweerstand. De op deze wijze berekende flux wordt binnen een NAGROM-element gemiddeld, en vergeleken met de door NAGROM berekende flux. Als deze fluxen niet aan elkaar gelijk zijn, kan het verschil in de flux worden vereffend binnen het NAGROM-element. Deze vereffening kan in principe op verschillende wijze plaats vinden. De meest gangbare is deze flux op basis van de weerstandsverdeling binnen het element te verdisconteren. Hierbij is het mogelijk om bij de verdiscontering voor de cel-specifieke flux minima en maxima te hanteren, waardoor binnen het element een andere verdeling van dit fluxverschil wordt gerealiseerd. In de voor STONE gehanteerde methode werd bijvoorbeeld een minimum van  $1.2 \text{ mm d}^{-1}$  wegzijging gehanteerd. Voor een aantal plots is deze waarde van  $1.2 \text{ mm d}^{-1}$  te extreem, omdat deze  $1.2 \text{ mm d}^{-1}$  soms aanzienlijke groter is dan de gemiddelde grondwateraanvulling.
- 6) De STONE-plots hebben een verspreide ligging binnen een regio, maar daardoor ook over verschillende NAGROM-elementen. De met de modellen NAGROM/MONA per cel berekende onderrandfluxen zijn voor de schematisatie rekenkundig gemiddeld over het oppervlakte van de STONE-plots. Binnen één plot is het mogelijk dat een bepaalde spreiding in de onderrandflux wordt berekend. Deze spreiding is zoveel mogelijk beperkt gehouden, door de flux in de ruimtelijke indeling van STONE-plots te betrekken. Echter voor deze indeling is wegens tijdgebrek een 1e orde benadering voor de flux-iteratie gehanteerd (zie opmerkingen onder 5), die niet precies is afgestemd met de uiteindelijk schematisatie van het topsysteem in SWAP. Het is mogelijk dat de in STONE gehanteerde SWAP schematisatie uiteindelijk tot een gering afwijkende flux-indeling leidt, dan is gebruikt voor de ruimtelijke indeling. Hierdoor kan een geringe onzuiverheid zijn geïntroduceerd, waardoor ook hier een onderrandflux is gehanteerd die niet volledig is afgestemd op de uiteindelijk berekende grondwateraanvulling.
- 7) De grondwaterstanden kunnen in een deel van Nederland werkelijkheid dieper dan 13 meter onder maaiveld bedragen (dit speelt met name in Zuid-Limburg).

Op basis van de huidige inzichten lijkt het waarschijnlijk dat alle hierboven genoemde argumenten in meer of mindere mate bijdragen aan de zakkers in SWAP. Naar verwachting dragen de argumenten 1, 2, 4 en 5 het meest bij aan eventueel te laag gemodelleerde grondwaterstanden. Het 7e argument heeft naar verwachting, behoudens in Z-Limburg, een te verwaarlozen invloed.



### 3.9.4 Oplossen van de “zakkers”

Voor de plots die zakkers vertoonden is eerst in maximaal 3 stappen de onderrandflux aangepast. Voor elke stap is het resultaat in een SWAP-run getest. In sommige gevallen werkte dit niet en zijn in een vierde stap ook nog overige hydrologische kenmerken aangepast. De volgende procedure is gehanteerd:

Stap 1) hanteer voor de iteratie van de MONA-flux een andere oplosmethode, waarbij de eventuele verschillen tussen de MONA-flux en de NAGROM-flux worden begrensd door de grondwateraanvulling op celniveau. Succesvol als de nieuw berekende flux minimaal  $0.2 \text{ mm d}^{-1}$  groter is dan de oorspronkelijke flux.

Stap 2) Voor de niet-succesvolle plots (154 x): ken de gemiddelde flux toe van de hydrologische hoofdeenheden (circa 900). Succesvol als de nieuw berekende flux minimaal  $0.2 \text{ mm d}^{-1}$  groter is dan de oorspronkelijke flux.

Stap 3) Voor de niet-succesvolle plots: verminder de aanvankelijke onderrandflux met  $0.25 \text{ mm d}^{-1}$ .

Stap 4) Voor de niet-succesvolle plots (65 x): ken alle hydrologische kenmerken toe van een hydrologische plot met vergelijkbare hydrologische eigenschappen. Hiervoor zijn alle hydrologische eigenschappen van het meest voorkomende plot binnen dezelfde hydrologische hoofdeenheid (ca. 900 eenheden) toegekend aan de plot met de zakkers; alleen de oppervlakte van het probleemplot is origineel gehouden.

### 3.9.5 Resultaat van de oplossing

De plots met “zakkers” worden opgelost door de onderrandflux te verhogen. Enerzijds door de maximale wegzijging meer direct op celniveau te relateren aan de berekende grondwateraanvulling, anderszijds door de flux te middelen over grotere eenheden, zodat minder extreme waarden (minder wegzijging) worden verkregen, of door de flux direct te verminderen. Omdat de gekozen stap, behalve stap 4, alleen gebruikt wordt als het resultaat tot een noemenswaarde vermeerdering van de onderrandflux leidt, leidt de gekozen methode dan ook tot systematische verlaging van de onderrandflux. De onderand bedroeg voor de probleemplots gemiddeld  $1.1 \text{ mm d}^{-1}$  wegzijging. Door de correctie van deze probleemplots, met name door relatering aan de grondwateraanvulling, wordt de gemiddelde wegzijging voor deze plots gecorrigeerd tot rond de  $0.7 \text{ mm d}^{-1}$  wegzijging. In totaal waren de plots verspreid over bijna 20 000 gridcellen van  $250 * 250 \text{ m}$ , dit komt overeen met bijna 125 000 ha. Een groot deel van deze plots was geconcentreerd in Zuid-Limburg, waar de flux niet was berekend, maar ingeschat. Met de gekozen methode blijven in de 289 plots met “zakkers” de grondwaterstanden binnen de gedefinieerde kolom.

### 3.9.6 Conclusie

In 289 plots (ca 125 000 ha) werd de grondwaterstand één of meerdere dagen onder de bodem van de gedefinieerde kolomdiepte (13 m) berekend. De oorzaak kan worden ontleend aan vier typen verklaringen:

- 1) de hydrologische condities ( met name kwel/wegzijging ) bepaald voor een gemiddelde periode (1977-1985), terwijl bij de berekening extreem droge jaren voorkomen (1976);
- 2) voor een aantal probleemplots, waar het NAGROM-model geen dekking heeft, kan een te hoge wegzijging zijn ingeschat;
- 3) een aantal model-technische verklaringen is denkbaar, die te maken hebben met de koppeling tussen SWAP en het model dat het regionale hydrologische stromingspatroon berekent;
- 4) in delen van Nederland kunnen ook daadwerkelijkheid zeer diepe grondwaterstanden voorkomen, zoals is berekend.

Voor de plots met zakkers is in 3 stappen de onderrandvoorwaarde verhoogd (minder wegzijging). Voor 65 plots was dit niet succesvol en zijn (ook) overige hydrologische kenmerken aangepast. De gekozen aanpak had tot gevolg dat de grondwaterstanden voor de 289 behandelde plots binnen de gedefinieerde kolom bleven. Een bijkomend effect is dat de wegzijging over een vlak van bijna 125 000 ha is verminderd (orde  $0.4 \text{ mm d}^{-1}$ ).

## **4 Nabewerking: van SWAP-uitvoer naar STONE-Plots**

De uitvoer van SWAP is weggeschreven in bestanden waarvan het formaat is beschreven in Kroes e.a. , 1999a). Om de uitvoer van SWAP geschikt te maken voor de berekeningen met STONE/ANIMO zijn 3 wijzigingen doorgevoerd in:

- i) de verticale schematisering;
- ii) de tijdsdiscretisatie en –integratie;
- iii) de volgorde en sommatie van drainagefluxen.

Deze wijzigingen zijn als nabewerking op de SWAP-resultaten uitgevoerd en worden in dit hoofdstuk nader toegelicht.

### **4.1 Verticale schematisering**

De verticale schematisering van de bodem in (SWAP-) modelcompartimenten is aangepast om een zo reëel mogelijke dispersie te verkrijgen bij de stoftransport-berekeningen met STONE/ANIMO. Voor de bodemlaag van 0 - 1 m-mv is deze aanpassing gelijk aan die van eerdere berekeningen (Kroes e.a., 1999b). Dieper dan 1 m-mv is een aangepaste schematisering toegepast om een verfijning in de laag van 1 - 2 m-mv (aanhangel 1) te realiseren.

De indeling in horizonten is vergroot om een gedetailleerdere bodemchemische schematisering mogelijk te maken. Elk modelcompartimenten in de bodemlaag van 0 – 1 m-mv is tevens horizont geworden. Dieper dan 1 m-mv zijn 3 horizonten onderscheiden (1-2 m, 2-4 m, 4-13 m). Het totaal aantal horizonten is daarmee gefixeerd op 12 voor alle STONE-plots.

### **4.2 Tijdsdiscretisatie en –integratie**

SWAP rekent met variabele tijdstappen (van minuten tot uren). SWAP voert resultaten uit met een minimale tijdstap lengte van een dag, waarbij is geïntegreerd over alle tussenliggende tijdstappen. Deze integratie geldt voor alle fluxen; voor toestandsvariabelen (grondwaterstand, vochtgehalte, drukhoogte) wordt de toestand aan het begin en aan het eind van de tijdstap uitgevoerd (Kroes e.a., 1999a, annex D). Dit wordt gedaan om per tijdstap in een nabewerking sluitende waterbalansen op te stellen en middelingprocedures voor bijv. vochtgehalten in een nabewerking uit te voeren. Dit gebeurt ook bij STONE/ANIMO, waar bijvoorbeeld vochtgehalten voor denitrificatie-berekeningen (binnen de ANIMO-module) lineair worden gemiddeld over de tijdstap en vochtgehalten aan het eind van de tijdstap gebruikt voor het opstellen van stofbalansen worden (Groenendijk en Kroes, 1999).

Evenals in voorgaande berekeningen (Kroes e.a., 1999b) is hier gekozen voor tijdsintegratie met een decade als lengte van de uitvoertijdstap. Daarbij varieert de

lengte van een decade tussen 8 en 11 dagen en is rekening gehouden met schrikkeljaren.

### 4.3 Drainagefluxen

Aangezien het voor de berekeningen met SWAP nodig bleek om de ontwateringsystemen te sorteren naar ontwateringsdiepte is in een aantal gevallen de volgorde gewijzigd. Bovendien kent het STONE-instrumentarium een maximum van 3 drainage systemen, waardoor een omzetting van 5 naar 3 systemen nodig is.

Om bovenstaande onvolkomenheden op te lossen is in een nabewerking er voor gezorgd dat:

- de fluxen van het 4<sup>e</sup> en het 5<sup>e</sup> systeem altijd bij het 3<sup>e</sup> systeem worden opgeteld;
- de buisdrainage altijd in het 3<sup>e</sup> systeem terecht is gekomen.

De 3 systemen, die voor STONE gebruikt worden, hebben daarmee de volgende karakteristieken:

*Tabel 4.1. Karakteristieken van de 3 ontwateringssystemen die in STONE worden gehanteerd.*

Oppervlaktewatersysteem	Omschrijving
1 <sup>e</sup> nivo	lange verblijftijd, diep en groot systeem (kanaal, grote rivier)
2 <sup>e</sup> nivo	matig lange verblijftijd, matig diep en middelgroot (rivier, bredere sloot, diepe drainage)
3 <sup>e</sup> nivo	korte verblijftijd, ondiep (droogvallende sloot, ondiepe drains, maaiveldsdrainage, buisdrainage)

### 4.4 De berekening van GHG, GLG en Gt

Bij het berekenen van de GHG en de GLG is uitgegaan van de berekende grondwaterstand op de 14e en de 28e van elk maand. Per volledig hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) is daaruit het gemiddelde van de drie hoogste en de drie laagste standen (HG3 en LG3) berekend. Het gebruik van het volledig hydrologisch jaar, i.p.v. onderscheid in zomer en winter-halfjaar, minimaliseert de kans dat GHG's worden berekend die dieper zijn dan GLG's. Bovendien wordt deze methode momenteel standaard gehanteerd bij het bepalen van Gt's op basis van veldmetingen (P. Finke, 28 maart 2001, mondelinge mededeling). Het rekenkundig gemiddelde van de HG3's en de LG3's over een veeljarige reeks resulteert in de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand (GHG en GLG).

Vervolgens zijn de Gt's bepaald volgens de oude indeling (De Vries en Van Wallenburg, 1990), zoals weergegeven in tabel 4.2.

Tabel 4.2. Overzicht van de oude grondwatertrappenindeling

GHG (cm-mv)	GLG (cm-mv)	Oude Gt
-	< 50	I
-	50 - 80	II
> 25	50 - 80	II*
< 40	80 - 120	III
25 - 40	80 - 120	III*
> 40	80 - 120	IV
< 40	> 120	V
25 - 40	> 120	V*
40 - 80	> 120	VI
80 - 140	> 120	VII
> 140	> 120	VII*

Gebaseerd op resultaten van de reeks 1971 t/m 1999 zijn vervolgens de Gt, GHG en GLG bepaald volgens de hiervoor vermelde criteria.

De berekende Gt, GHG en GLG is naar het bestand Swat.dat geschreven. Het bestand Swat.dat is een van de invoerbestanden voor STONE/GONAT (zie Boogaard en Kroes, 1997. p. 81).



## 5 Resultaten en plausibiliteit

### 5.1 Gemiddelde waterbalans voor zeer nat, zeer droog en gemiddeld jaar

In tabel 5.1 is de waterbalans voor het bodemprofiel gegeven voor een zeer nat, een zeer droog en een gemiddeld jaar, resp. de jaren 1998, 1976, en 1985.

Met deze tabel kan de volgende sluitende waterbalans voor het topsysteem van de bodem worden opgesteld:

$$\Delta B_b + \Delta B_p = P + I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + K - E_i - E_s - E_c - R - D_1 - D_2 - D_3 - D_4 - D_5 - W$$

waarin:

- bergingsveranderingen ( $\text{mm jr}^{-1}$ ):  $\Delta B_b$  voor de bodem en  $\Delta B_p$  aan maaiveld (ponding)
- aanvoertermen ( $\text{mm jr}^{-1}$ ):  $P$  is neerslag (incl. berekening);  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$  is infiltratie vanuit 5 oppervlaktewater-systemen;  $K$  is kwel over de onderrand van het modelprofiel.
- afvoertermen ( $\text{mm jr}^{-1}$ ):  $E_i, E_s, E_c$  zijn 3 vormen van verdamping (respectievelijk interceptie, bodem en gewas);  $R$  is oppervlakte afvoer;  $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5$  is drainage naar 5 oppervlaktewater-systemen;  $W$  is wegzijging over de onderrand van het modelprofiel.

De verschillende posten van de waterbalans vertonen een variatie tussen de jaren die overeenkomt met de verwachtingen met uitzondering van de kwel of wegzijging die per definitie niet varieert tussen de jaren. De wegzijging is groter dan de kwel (125 mm resp. 93 mm per jaar). De verdeling van de aan- en afvoer over de verschillende oppervlaktewatersystemen lijkt redelijk maar deze beoordeling berust niet op meetwaarden.

De totale waterafvoer naar het oppervlaktewater ( $R + D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5$ ) bedraagt in een zeer nat, een droog en een gemiddeld jaar resp. 541, 150 en 347 mm, en vertoont daarmee een variatie van ruim 300%. In eerdere landsdekkende studies met een soortgelijk instrumentarium voor het gemiddelde jaar 1985 bedroeg de totale waterafvoer 333 mm (Kroes e.a., 1999b) en 310 mm (Kroes e.a., 1990). Een vergelijking met Kroes e.a. (1999b) laat zien dat de verandering is veroorzaakt door relatief geringe verschillen in vrijwel alle overige balanstermen, m.u.v. de wegzijging: neerslag+berekening zijn met 4 mm toegenomen, evenals de infiltratie vanuit het oppervlaktewater, kwel is met 15 mm toegenomen, de totale verdamping is met 30 mm afgenomen, de wegzijging is met 67 mm toegenomen (vrijwel verdubbeld), en de bergingsverandering is 8 mm gewijzigd. De bergingsveranderingen zijn per jaar (tabel 5.1) verklaarbaar uit de droogtegraad: in een droog jaar is de kans groot dat op het eind van het jaar minder water in het profiel aanwezig is dan aan het begin van het jaar en het verschil is een positieve bijdrage aan de waterbalans van dat jaar.

In figuur 5.1 en aanhangsel 3 is de waterbalans gegeven voor de reeks 1971 – 1999.

Tabel 5.1 Gemiddelde (naar oppervlakte gewogen) waterbalans (mm jr<sup>-1</sup>) voor het topsysteem; voor een zeer droog een zeer nat en het gemiddelde referentiejaar, resp. de jaren 1976, 1998 en 1985

Balansterm	Omschrijving	1976	1985	1998
Pgross	Neerslag+berekening	550.8	812.6	1118.2
Infil1	InfiltratieSysteem1	20.4	4.6	5.9
Infil2	InfiltratieSysteem2	13.7	3.0	3.7
Infil3	InfiltratieSysteem3	0.5	0.1	0.1
Infil4	InfiltratieSysteem4	3.4	0.5	0.7
Infil5	InfiltratieSysteem5	0.4	0.2	0.2
BotUp	Kwel over onderrand	93.0	92.6	92.0
Einterc	Evaporatie_interceptie	61.0	71.5	86.8
Esoil	Evaporatie_bodem	99.3	112.4	120.2
Etransp	Evaporatie_gewas	303.8	264.6	261.1
Runoff	Oppervlakte-afvoer	0.1	3.9	13.3
Drain1	DrainageSysteem1	28.6	54.5	60.9
Drain2	DrainageSysteem2	25.5	56.8	77.9
Drain3	DrainageSysteem3	9.0	23.8	39.1
Drain4	DrainageSysteem4	62.5	145.1	207.6
Drain5	DrainageSysteem5	24.3	62.5	142.5
BotDown	Wegzijing over onderrand	125.4	125.1	124.9
DeltaSt	Bergingsverandering_bodem	57.4	6.5	-86.6
DeltaPn	Bergingsverandering_ponding	0.0	0.0	0.0
Badev	Balansafwijking	0.0	0.0	0.0
De volgende 2 posten zijn potentiële waarden en derhalve geen onderdeel van de waterbalans				
EsoilPot	Evaporatie_bodem_potentieel	208.6	161.6	168.2
EtranspPot	Evaporatie_gewas_potentieel	377.6	282.1	279.5

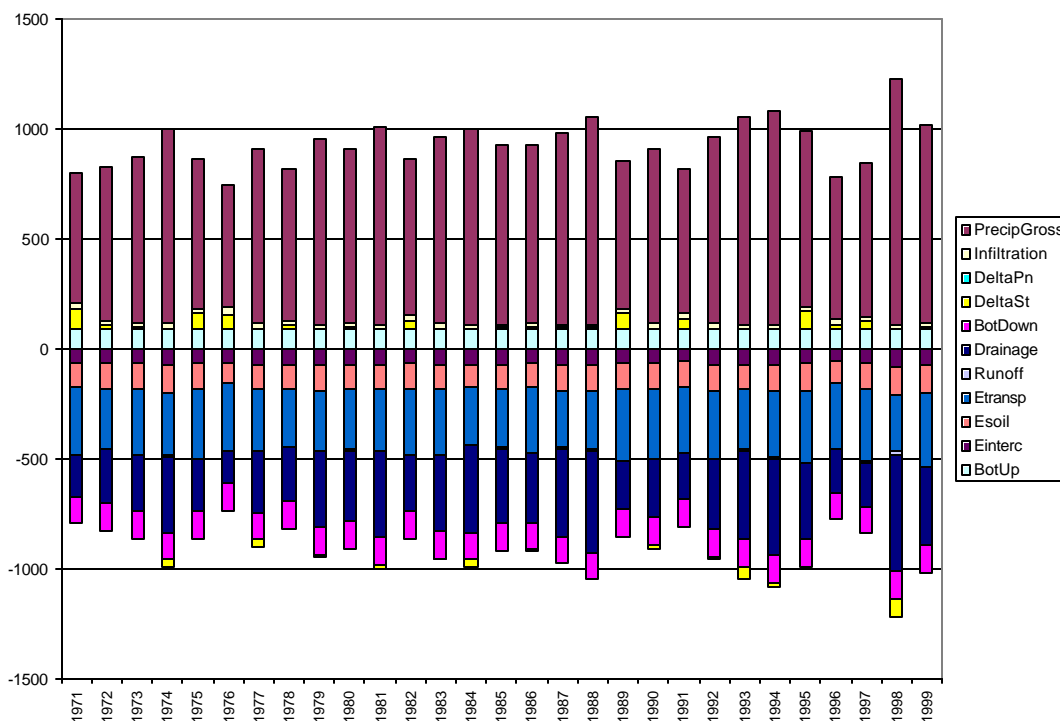


Fig 5.1 Jaarlijkse waterbalans gedurende de periode 1971-1999



Omdat het STONE-instrumentarium een maximum kent van 3 oppervlakte-watersystemen zijn drainfluxen samengevoegd (zie paragraaf 4.3). Daarbij zijn de fluxen van systeem3 ontstaan door samenvoeging van de systemen 3, 4 en 5 (respectievelijk het tertiair systeem volgens top10-vector, de buisdrainage en de maaiveldsdrainage). In tabel 5.2 is de verdeling van de infiltratie- en drainagefluxen gegeven, die na samenvoeging is ontstaan.

*Tabel 5.2 Gemiddelde (naar oppervlakte gewogen) infiltratie- en drainagefluxen (mm jr<sup>-1</sup>) voor de 3 onderscheiden oppervlaktewatersystemen ná samenvoeging en voor 3 verschillende weerjaren.*

Oppervlaktewatersysteem	1976	1985	1998
Infiltratie vanuit Systeem1	20.4	4.6	5.9
Infiltratie vanuit Systeem2	13.7	3.0	3.7
Infiltratie vanuit Systeem3	4.2	0.8	1.0
Drainage naar Systeem1	28.6	54.5	60.9
Drainage naar Systeem2	25.5	56.8	77.9
Drainage naar Systeem3	95.8	231.3	389.2

Uit tabel 5.2 valt af te leiden dat verreweg de grootste bijdrage aan de drainafvoer wordt geleverd door systeem 3. In het gemiddelde jaar 1985 is dat 231.3 mm, ofwel 67 % van de totale drainafvoer van 342.6 mm. Dit percentage neemt toe met het natter worden: in het droge jaar 1976 is het 64% en in het natte jaar 1998 is het 74%.

## 5.2 Neerslag en verdamping

De neerslag en actuele verdamping zijn in vrijwel alle gebieden van Nederland de 2 grootste posten van de waterbalans.

De ‘natuurlijke’ neerslag wordt betrouwbaar en op veel plaatsen gemeten en daarvan behoeft de plausibiliteit niet te worden nagegaan, te meer daar het een invoergegeven betreft. Dit is niet het geval met de kunstmatige vorm van neerslag: de berekening (zie par. 5.3). De omvang wordt bepaald door de mogelijkheden en de in de tijd variërende behoefte aan water van het gewas. In paragraaf 5.2.2 wordt de berekende omvang van de verdamping besproken.

De potentiële verdamping is eveneens redelijk betrouwbaar bekend. De actuele verdamping echter wordt door SWAP berekend en het is van groot belang de berekende waarden te analyseren omdat het verschil tussen neerslag en actuele verdamping het neerslagoverschot bepaalt. Dit overschot is bepalend voor het grondwaterstandsverloop en de grootte van de drainagefluxen. In de navolgende analyse zal daarom de nadruk liggen op het neerslagoverschot.

### 5.2.1 Resultaten

Figuur 5.2 geeft een indruk van de ruimtelijke variabiliteit en figuur 5.3 geeft weer de variatie van de jaarlijkse neerslag, de actuele verdamping en het neerslagoverschot gedurende de periode 1971-1999. In tabel 5.3 zijn voor de 4 landgebruiksvormen de

over heel Nederland gemiddelde neerslag- en verdampingscijfers en het neerslagoverschot weergegeven. Gemiddeld over Nederland is het neerslagoverschot 318 mm per jaar. De temporele spreiding is groot: (figuur 5.3) en varieert van een minimum van 87 mm in het zeer droge jaar 1976 tot een maximum van 650 mm in het zeer natte jaar 1998. De standaardafwijking in de neerslagoverschotten-reeks 1971-1999 bedraagt 129 mm.

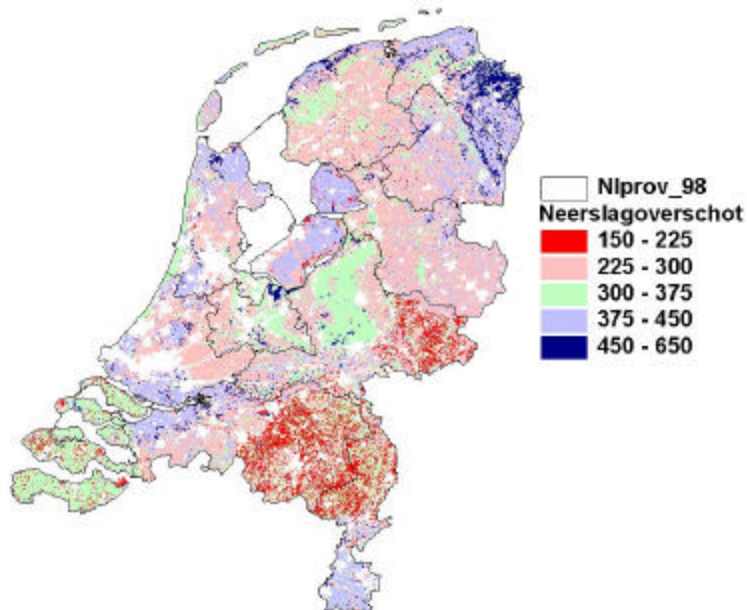


Fig 5.2 Neerslagoverschot ( $N-ET_{act}$ ), gemiddelde waarden over de periode 1971-1999, uitgedrukt in  $mm\ jr^{-1}$ .

De plausibiliteit van de verdampings- en neerslagoverschotcijfers uit tabel 5.3 en de ruimtelijke beelden (figuur 5.2) is moeilijk te beoordelen, omdat er geen gemeten equivalenten bestaan. Wel zijn er indirecte metingen van het neerslagoverschot door de indikking van de neerslag te bepalen aan de hand van chloride of deuterium. Dit vereist echter een meer uitgebreide analyse die als vervolgvraagstuk is gepland. De beoordeling is nu alleen mogelijk door vergelijking met gemeten waterbalansen van gebieden. Hierop zal in de volgende paragraaf worden ingegaan.

Tabel 5.3 Neerslag ( $N$ ), potentiële evapotranspiratie ( $ET_{pot}$ ), actuele evapotranspiratie ( $ET_{act}$ ) en neerslagoverschot ( $N-ET_{act}$ ), gemiddelde waarden over de periode 1971-1999, uitgedrukt in  $mm\ jr^{-1}$ .

Landgebruik	Neerslag+berekening ( $N$ )	$ET_{pot}$	$ET_{act}$	Neerslagoverschot ( $N-ET_{act}$ )
snijmaïs	784	590	406	377
bouwland	796	550	377	418
grasland	809	566	537	273
natuur	795	566	521	273
gemiddeld	795	565	476	318

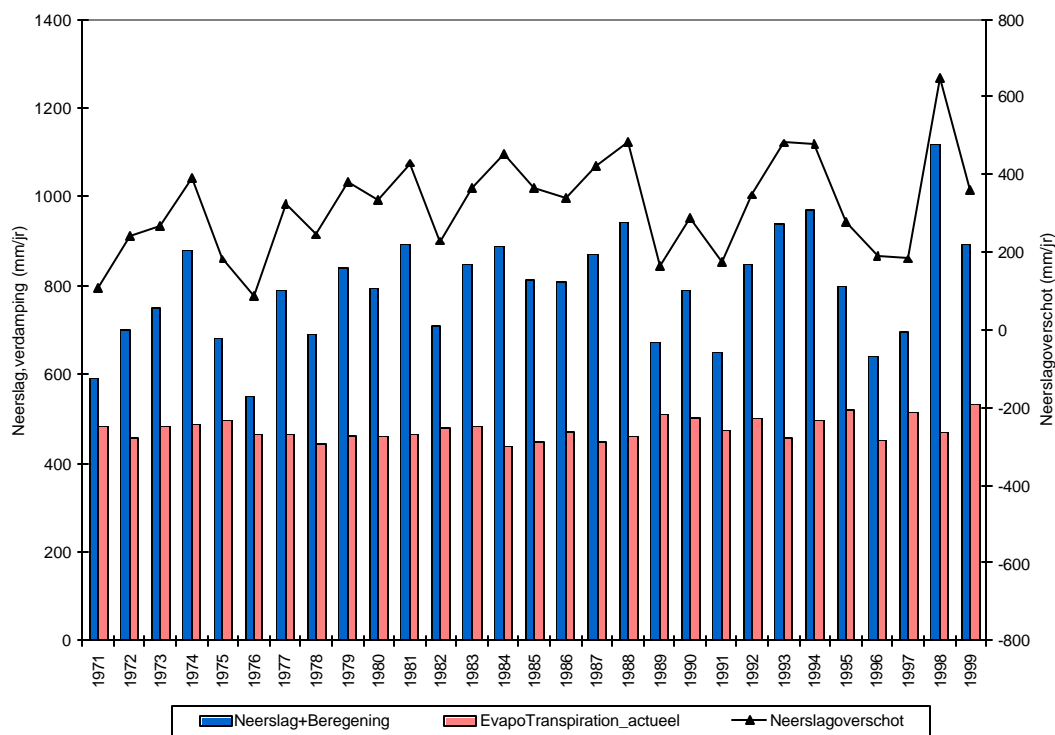


Fig 5.3 Jaarlijkse neerslag (incl berekening), actuele verdamping en neerslagoverschot voor de periode 1971-1999, uitgedrukt in mm jr<sup>-1</sup>.

## 5.2.2 Vergelijking met de waterbalansen van gebieden

In Nederland zijn maar weinig gebieden waar de actuele verdamping betrouwbaar is bepaald als sluitpost op de waterbalans. Na enig spoorwerk resteerden 2 gebieden: Hupsel en Rottegatpolder.

### 5.2.2.1 Stroomgebied Hupsel

Het stroomgebied van de Hupsel, in de buurt van Eibergen (Gld), heeft een oppervlakte van 652 ha. Het grondgebruik is overwegend grasland en maïs. Sinds 1972 worden door RWS en LUW alle posten van de waterbalans intensief gemeten. Een selectie van deze metingen is door de leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer van de LUW beschikbaar gesteld. Voor een aantal perioden zijn waterbalansen opgesteld. De gemeten neerslag en actuele verdamping zijn vergeleken met de berekende waarden. Deze laatste zijn bepaald door het gemiddelde van de plots die zo goed mogelijk het stroomgebied bedekken. Zie figuur 5.4 en tabel 5.4.

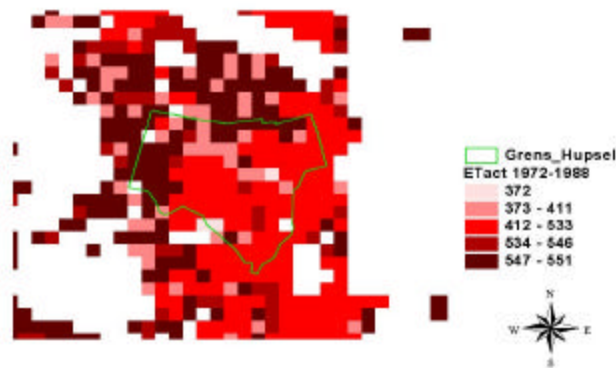


Fig 5.4 De actuele evapotranspiratie ( $ET_{act}$  in  $mm\ jr^{-1}$ ) gemiddeld over de periode 1972-1988 van plots die in en rondom het stroomgebied De Hupsel liggen. De begrenzing van het stroomgebied De Hupsel en de gridcellen ( $250 \times 250\ m$ ) waaruit plots zijn opgebouwd zijn in de figuur opgenomen.

Tabel 5.4 Vergelijking van gemeten en berekende periodegemiddelde jaarlijkse neerslag en verdamping ( $mm\ jr^{-1}$ ) in 2 perioden, van het stroomgebied van Hupsel.

Periode	Balansterm	Gemeten	Berekend
1972-1988	Neerslag	770	777
	Verdamping	481	481
1985-1993	Neerslag	843	836
	Verdamping	515	494

De overeenkomst tussen berekende en gemeten actuele verdamping is zeer goed te noemen. Op grond hiervan luidt de conclusie dat de berekende actuele verdamping van gras een plausibele waarde heeft.

### 5.2.2.2 Rottegatpolder

De Rottegatpolder is een polder van 83,1 ha in Groningen. Het landgebruik ten tijde van de waterbalansmetingen was uitsluitend akkerbouw. Door RWS zijn in de periode 1948-1971 alle posten van de waterbalans en de grondwaterstanden intensief bemeaten (Werkgroep Verdampingsonderzoek, 1985). De meetperiode heeft nauwelijks overlap met de reeks van STONE. Daarom is een directe vergelijking niet mogelijk.

De veeljarig gemiddelde neerslag (gemeten met een grondregenmeter) en actuele verdamping gemiddeld over de meetperiode bedroeg resp. 805 en 473 mm. Indien rekening wordt gehouden met een toename van de verdamping als gevolg van een toename van de gewasproductie van ca. 10% (Van Bakel en De Wit, 1995), dan kan de actuele verdamping van bouwland in de periode 1971-1999 worden geschat op 500 mm plus of min 50 mm. Dit is duidelijk hoger dan de 380 mm uit tabel 5.3. De conclusie is dat de verdamping van bouwland zoals berekend met STONE 2.0 geen plausibele waarden oplevert. Waarschijnlijk moet de oorzaak worden gezocht in de

parametrisatie van de (bodem)verdamping, welk in toekomstige berekeningen via nader onderzoek verbeterd moet worden.

### 5.2.3 Vergelijking met NLOAD

Er is een vergelijking gemaakt met de neerslagoverschotten van de HELP-studie gebruikt in het model NLOAD (Van Drecht en Scheper, 1998). Voor een deel is dat een voorbeeld van de lamme en de blinde (modeluitkomsten met modeluitkomsten vergelijken), en van appels met peren vergelijken: ten behoeve van de onderbouwing van de HELP-tabel is de berekening van de actuele verdamping uitgevoerd met het quasi-stationaire model LAMOS (Werkgroep HELP-tabel, 1987) en de gebruikte invoergegevens van de bodemfysische eigenschappen zijn afgeleid van de bekende Rijtema-curves (Rijtema, 1969). Ook de berekening van de potentiële verdamping is anders en verder is er geen berekening toegepast.

In tabel 5.5 en figuur 5.5 zijn de verschillen weergegeven tussen het 30 gemiddelde neerslagoverschot van NLOAD, een 15-jarig gemiddeld neerslagoverschot van STONE 1.3 en het 30-jarig gemiddeld neerslagoverschot van STONE 2.0.

Het blijkt dat, vergeleken met STONE 1.3 waar de verdamping onder zandgronden overschat werd (Overbeek e.a., 2001), de verschillen in het neerslagoverschot tussen STONE en de HELP-studie voor een groot deel verdwenen zijn.

*Tabel 5.5 Verschil in neerslagoverschotten STONE 1.3 (15-jarig gemiddelde), STONE 2.0 (30-jarig gemiddelde) en NLOAD (30-jarig gemiddelde) (mm jr<sup>-1</sup>)*

		NLOAD	STONE 1.3	STONE 2.0	STONE2.0 opp.gewogen	verschil 1.3	verschil 2.0	verschil 2.0 opp.gewogen
Mediaan	NL	306	249	291	313	57	15	-8
Gemidd.	NL	303	259	314	293	44	-11	10
Mediaan	Landbouw op zand	323	231	336	303	92	-13	20
Gemidd.	Landbouw op zand	320	252	324	313	68	-4	7

De conclusie is dat er geen systematisch verschil is in de resultaten van de berekening van het neerslagoverschot.

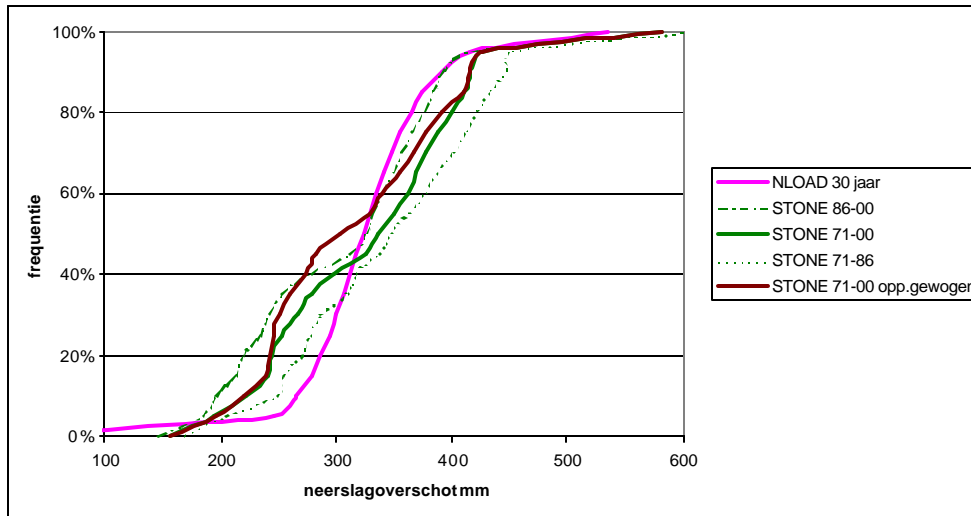


Fig 5.5 Cumulatieve frequentieverdeling van het neerslagoverschot, bepaald volgens STONE/SWAP (15-jarig gemiddelde en 30-jarig gemiddelde) en volgens NLOAD (30-jarig gemiddelde) voor de zandgronden onder landbouw

### 5.3 Berekening

Een deel van de plots wordt berekend (figuur 5.6). Het belang van het kennen van locatie en omvang van de berekening is groot omdat door berekening de waterbalans en het grondwaterstandsverloop ter plaatse behoorlijk wordt beïnvloed. In Kroon et al (2001) staat beschreven welke uitgangspunten zijn gehanteerd om berekening bij de STONE-berekeningen in rekening te brengen. Deze uitgangspunten zijn voor een deel verouderd omdat m.n. het beregende areaal is gebaseerd op LEI-cijfers van 1985 en 1986. Sindsdien is het beregende areaal in het m.n. het zuidelijk zandgebied fors toegenomen. In de Veenkoloniën is de berekening recent sterk afgenomen vanwege problemen met natrot. Een belangrijke andere tekortkoming is dat bekend verondersteld dat het beregeningswater als het ware uit de lucht komt vallen terwijl bekend is dat in het vrij afwaterende deel van Nederland het grootste deel afkomstig is uit grondwater. De daaruit voortvloeiende toenemende extra verlaging van de grondwaterstand tijdens het groeiseizoen wordt met deze foute veronderstelling juist omgezet in een stijging (c.q. minder sterke daling vergeleken met de situatie zonder berekening). Een -in dit opzicht- correcte berekening van het grondwaterstandsverloop is echter met de gekozen plot-benadering moeilijk in rekening te brengen.

De omvang en effect van de berekening op basis van kennis uit de literatuur (o.a. Hoogeveen e.a., 1996) is globaal als volgt: de gemiddelde jaarlijkse omvang van de berekening is ca. 100 miljoen m<sup>3</sup> en in een zeer droog jaar ca. 300 miljoen m<sup>3</sup>. Dit komt overeen met ca. 40 resp. 120 mm per ha beregenbare grond. Ongeveer de helft

daarvan wordt gebruikt voor de verhoging van de actuele verdamping. Berekening vindt voornamelijk uit grondwater plaats.

Door SWAP worden de volgende resultaten berekend:

- in een gemiddeld jaar zoals 1985 wordt vrijwel geen berekening berekend. Dit is niet in overeenstemming met de 'metingen';
- in 1976 is de som van berekening en natuurlijke neerslag op de beregende arealen 686.2 mm en op de onberegende arealen 536.0 mm. Dit verschil komt overeen met ruim 400 miljoen m<sup>3</sup> (= 276013 ha maal 10 maal 150 mm). Dit komt redelijk overeen met de 'gemeten' waarde van 300 miljoen m<sup>3</sup>;
- de berekening van snijmaïs en overig bouwland is gering en wordt waarschijnlijk onderschat (zie aanhangsel 4).

De plausibiliteit van de beregeningsomvang en de effecten daarvan op de grondwaterstand kunnen op grond van bovenstaande vooral in het zuidelijk zandgebied als matig worden gekwalificeerd. Een belangrijke verbetering is mogelijk door actualisatie van de beregeningscijfers en door bij de berekening van de onderrand reële aannames te doen over de locatie en tijdsverloop van de grondwateronttrekkingen ten behoeve van beregening.

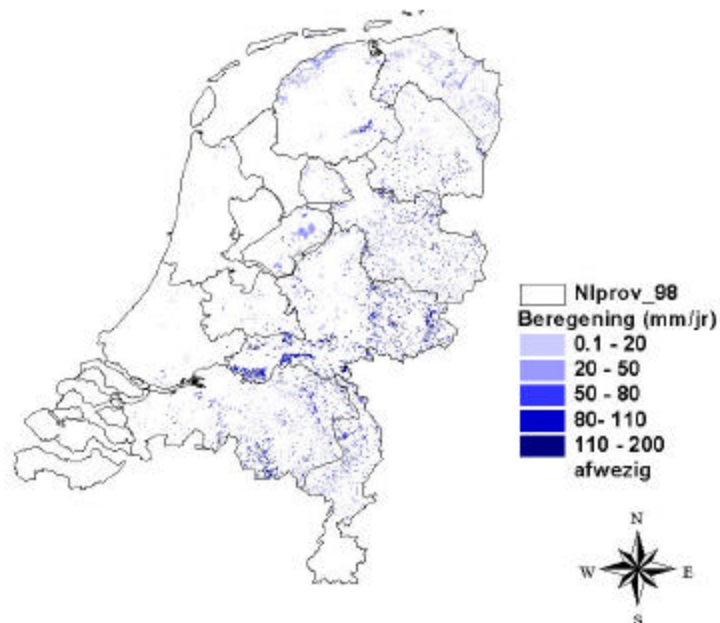


Fig 5.6 De ruimtelijke verdeling van de veeljarig gemiddelde beregening (mm jr<sup>-1</sup>)

## 5.4 Buisdrainage

De aanwezigheid van buisdrainage is van zeer grote invloed op de water- en nutriëntenhuishouding doordat de grondwaterstand in m.n. de winterperiode

drastisch kan worden verlaagd en doordat de verblijftijdspreiding van de drainagewater een totaal andere verdeling kan krijgen. Het is daarom van het grootste belang de omvang van de buisdrainage goed te kennen. Helaas ontbreekt het in Nederland aan landsdekkende bestanden waarop de aanwezigheid van buisdrainage is aangegeven. In Kroon e.a. (2001) zijn daarom expertregels beschreven op grond waarvan de omvang van de buisdrainage is vastgesteld. Het daaruit opgebouwde beeld van de aanwezigheid van buisdrainage is plausibel. Figuur 5.6 geeft een ruimtelijk beeld van de berekende drainbuisafvoer. Voor een goed onderbouwde toetsing van de berekende drainbuisafvoeren ontbreken vooralsnog gemeten waarden.

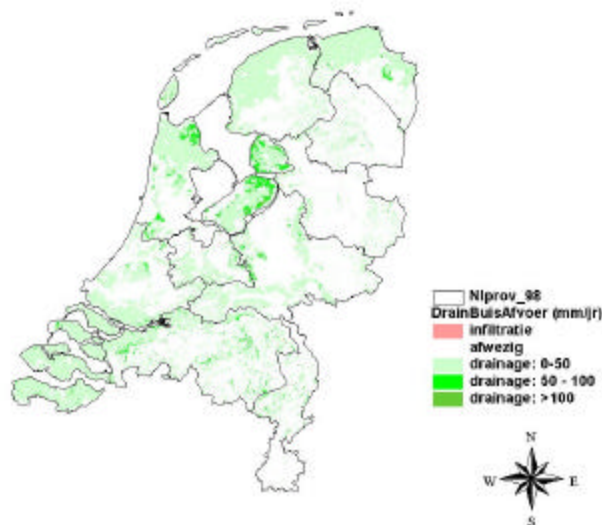


Fig. 5.7 Ruimtelijk beeld van de veeljarig gemiddelde afvoer via buisdrainage ( $\text{mm jr}^{-1}$ )

## 5.5 Maaiveldsdrainage en oppervlakte-afvoer

In STONE is een proces geïntroduceerd: maaiveldsdrainage. De reden voor deze introductie is het belang van dit proces voor de afspoeling van nutriënten en voor de verblijftijdspreiding op met name de natte gronden groot kan zijn. Het is dus van groot belang dit proces adequaat te modelleren. In paragraaf 3.4.2 is beschreven hoe dat is uitgevoerd. Figuur 5.8 geeft een ruimtelijk beeld van de daaruit voortvloeiende veeljarig gemiddelde maaiveldsdrainage. De plausibiliteit hiervan is moeilijk te geven maar het feit dat de veenweidegebieden hoog scoren komt overeen met de verwachting. In de beekdalen wordt nauwelijks maaiveldsdrainage berekend terwijl dit van nature veel zou moeten optreden. De verbetering van de ontwatering heeft echter juist in deze gebieden gezorgd voor diepere grondwaterstanden waardoor maaiveldsdrainage in de praktijk veel minder frequent voor zal komen. De conclusie is dat het beeld van maaiveldsdrainage redelijk lijkt maar dat de onderbouwing van de waarden van de relevante parameters slecht is.



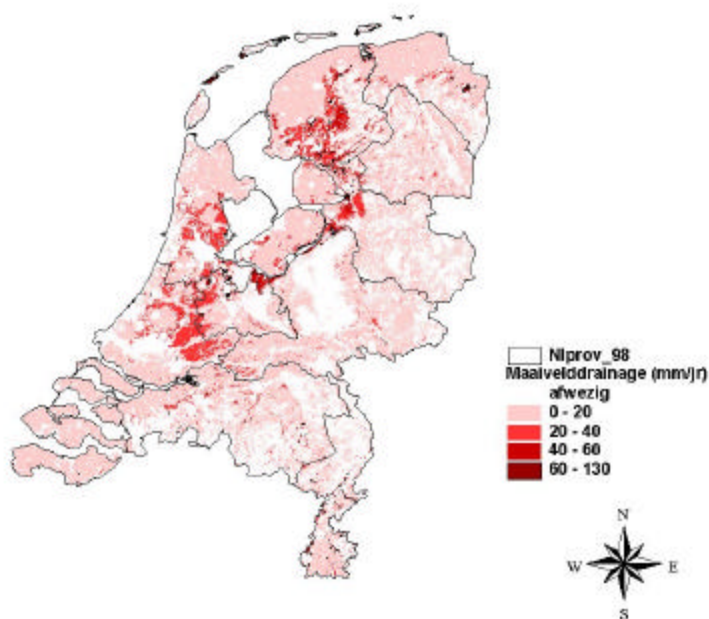


Fig. 5.8 Ruimtelijk beeld van de veeljarig gemiddelde afvoer via maaiveldsdrainage ( $\text{mm jr}^{-1}$ )

## 5.6 De berekende Gt's

Evenals bij eerdere studies is ook nu een vergelijking gemaakt met een landelijke steekproef die voor een aantal kaartvlakken van de Gt kaart is uitgevoerd in het pleistocene gebied om de actualiteit van deze kaart te toetsen (Van der Loo, 1997 en 1998, Visschers, 1997 en 1998). Het betreft in totaal 780 puntmetingen binnen de Gt vlakken II, III, V en VI. Voor elk punt is een vergelijking gemaakt tussen de, met SWAP, berekende Gt en de Gt uit de landelijke steekproef. De resultaten van deze vergelijking zijn weergegeven in tabel 5.6 en figuur 5.9 weergegeven op basis van de reeks 1971-1999. In Tabel 5.6 zijn tevens de resultaten opgenomen van een vergelijking tussen de Gt uit de bodemkaart, de Gt uit een vorige berekening (resp. Bodemkaart en Swap\_Stone1.3, zie ook Kroes e.a., 1999) en de landelijke steekproef.

Tabel 5.6 Drie Gt-verdeling (% van de LSK-Gt) vergeleken met de Gt van de landelijke steekproef kaarteenheden (LSK-Gt)

LSK_Gt	Bodemkaart	Swap_Stone1.3	Swap_Stone2.0
I	33	0	25
II	45	32	17
III	30	12	28
IV	20	2	6
V	22	15	16
VI	41	40	29
VII	86	36	41

Uit tabel 5.6 blijkt dat de huidige Gt (SWAP\_STONE2.0) een verbetering is t.o.v. de vorige berekening (SWAP\_STONE1.3) voor de Gt's I, III, IV, V en VII. Voor Gt's II en VI is een minder goed overeenkomst met de landelijke steekproef aangetroffen. De algemene conclusie die hieruit wordt getrokken is dat de gesimuleerde grondwatertrappen weliswaar in een groot areaal afwijken van de grondwatertrappen-kaart, maar dat er voldoende vertrouwen is dat de modelsimulaties de werkelijkheid redelijk goed benaderen.

In aanhangsel 6 zijn de berekende Gt's weergegeven in ha (tabel 1) en als % van totaal (tabel 2), landgebruik (tabel 3) en bodem-Gt combinatie (tabel 4). Uit deze tabellen blijkt 20% van het totale areaal is berekend als natte Gt's I, II, III, III\*, 13% van het areaal behoort tot de Gt's IV, V en V\*, en 67 % van het areaal behoort tot de droge Gt's VI, VII en VII\*.

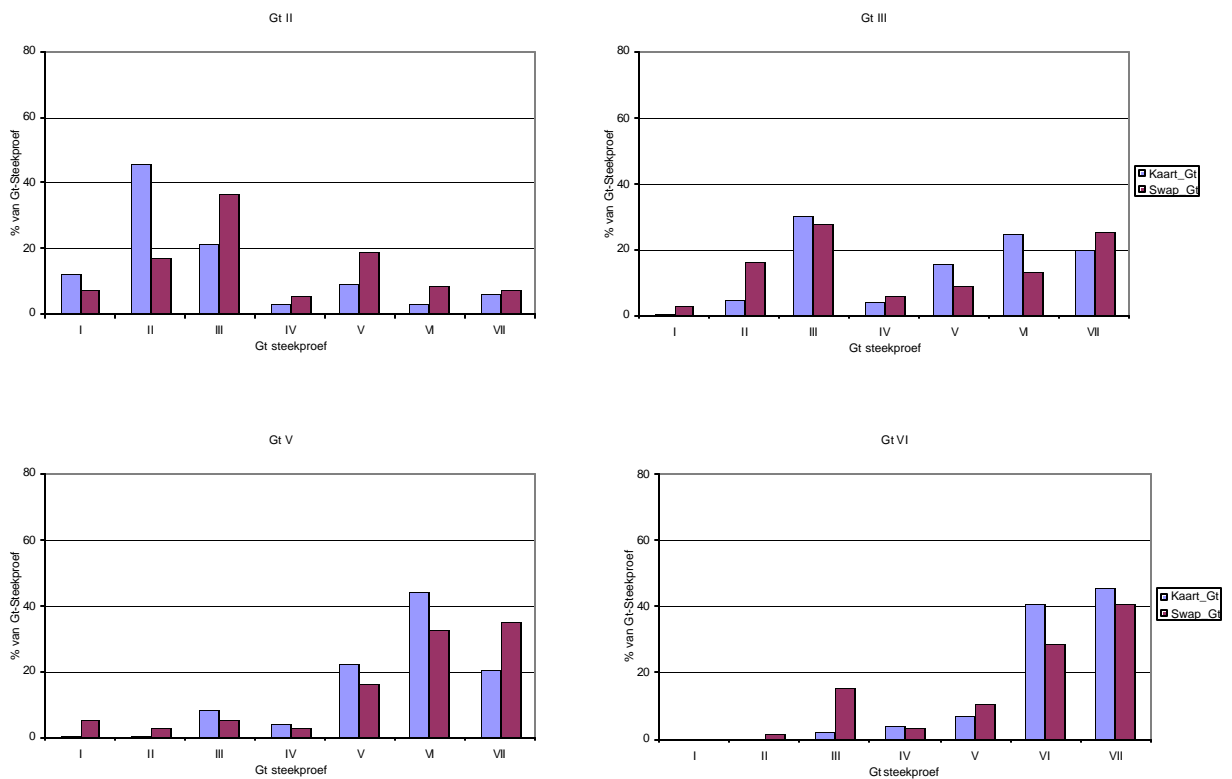


Fig. 5.9 De Gt-verdeling voor het SWAP model (Swap\_Gt) en de bodemkaart over de verschillende Gt's, zoals ze zijn bepaald bij de 4 gekarteerde Gt's van de landelijke steekproef. Weergegeven is de verdeling van het aantal (procentueel) als functie van de aangetroffen Gt

## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

Dit rapport heeft 2 hoofddoelen nl. a) vastleggen van de schematisatie en parametrisatie ten behoeve van de berekeningen met het model SWAP voor STONE 2.0 en b) een beoordeling van plausibiliteit van de rekenresultaten van het model SWAP.

Ten aanzien van eerstgenoemde punt is de algemene conclusie dat de vernieuwde verticale schematisatie (m.n. de verfijning en verlenging) het model in principe beter geschikt maakt voor berekeningen van de nitraatconcentraties. Dit is echter onvoldoende uitgezocht. Ook het probleem van de 'uitzakkers' (grondwaterstand beneden onderkant profiel) is door de profielverlenging weliswaar verminderd maar niet geheel opgelost.

Het toekennen van de parameters aan de onderscheiden plots is inhoudelijk en operationeel redelijk uitgekristalliseerd. Op onderdelen is nog wel verbetering mogelijk (zie aanbevelingen).

De conclusies ten aanzien van de plausibiliteit zijn minder eenduidig. De bevindingen uit de vorige hoofdstukken bezien tegen het licht van de vraag: zijn de rekenresultaten voor de hydrologie in STONE 2.0 plausibel?, worden hier puntsgewijs samengevat.

#### *Verdamping*

- de berekeningswijze m.b.t. potentiële en actuele verdamping van bodem, gewas en geïntercepteerd water is *state of the art*;
- de veeljarig en landelijk gemiddelde berekende actuele verdamping resp. het neerslagoverschot van grasland is als zeer plausibel beoordeeld;
- de veeljarig en landelijk gemiddelde berekende actuele verdamping van bouwland is in de orde van 50-100 mm jr<sup>-1</sup> te laag. Deze conclusie is gebaseerd op de vergelijking met de verdampingscijfers van de Rottegatpolder. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk de parameterkeuze voor de bodemverdamping;

#### *Drainage*

- de berekening van de fluxen naar de verschillende drainagesystemen is tamelijk geavanceerd, mede door de verbeterde modellering van de maaiveldsdrainage;
- de kennis van parameterwaarden voor laatstgenoemd proces is zeer beperkt maar de resultaten leveren een redelijk landelijk beeld op;
- De voor de modellering van de drainagefluxen benodigde parameterwaarden zijn voor het oppervlaktewatersysteem redelijk geavanceerd berekend op basis van karteerbare kenmerken en expertise;
- Kennis over de aanwezigheid van buisdrainage is van groot belang, maar dit gegeven is niet eenduidig vast te stellen. De kaart die op grond van expertise is opgesteld lijkt redelijk te kloppen met veldwaarnemingen;

- de plausibiliteit van de berekende waarden van de verschillende drainagefluxen kon niet goed worden beoordeeld maar is als redelijk beoordeeld;

#### *Grondwatertrappen*

- de berekende grondwatertrappen zijn gemiddeld droger vergeleken met de grondwatertrappen volgens de bodemkaart. Echter de grondwatertrappenkaart is deels verouderd en hoort bij een inrichting van het ontwaterings- en afwateringsstelsel die niet past bij de huidige situatie (die dus is ingevoerd). Daardoor is een verschuiving richting drogere grondwatertrappen ook te verwachten. De verschuivingen zijn ook goed in overeenstemming met de landelijke steekproef. Daarom zijn de berekende grondwatertrappen als redelijk beoordeeld. Zie verder Massop e.a., 2000 en Kroon e.a., 2001.

## **6.2 Aanbevelingen**

De aanbevelingen zijn op te splitsen in betrekking hebbend op resp. de inhoud en de schematisatie.

### ***Inhoudelijk***

De berekende neerslagoverschotten zijn voor grasland als goed en voor bouwland als te hoog beoordeeld op grond van slechts een enkele waterbalans. Een meer uitgebreide validatie van het berekende neerslagoverschot aan de hand van bijv. al beschikbare metingen van chloride en zwaar water zijn absoluut noodzakelijk. Daarbij moet ook de parametrisatie van de bodemverdamping in SWAP kritisch worden beoordeeld.

De gebruikte cijfers voor berekening en buisdrainage (omvang en verbreiding) zijn niet actueel en behoeven actualisatie. Daarbij dient ook onderscheid te worden gemaakt in berekening uit oppervlaktewater en uit grondwater. Laatstgenoemde proces kan echter niet met de huidige versie van SWAP worden berekend maar kan alleen via de onderrandvoorwaarde in rekening worden gebracht. Dit vereist een extra iteratieslag met NAGROM/LGM. Een gekoppelde aanpak is hiervoor een veel beter alternatief.

In SWAP is het proces van maaiveldsdrainage geïntroduceerd. Zowel de conceptualisering als ook de parameterwaarden behoeven nadere onderbouwing en verdere regionalisatie.

Het gebruik van een andere onderrandvoorwaarde (Cauchy, stijghoogte gecombineerd met weerstand) bij profielen met diepe grondwaterstanden is een veel betere beveiliging tegen 'uitzakken'. Dit dient daarom te worden geïmplementeerd.

De losgekoppelde aanpak kent de nodige beperkingen. Het verdient aanbeveling de praktische mogelijkheid en noodzaak voor gekoppeld rekenen (topstelsel - regionale grondwaterstroming) in enkele proefgebieden te onderzoeken.

Momenteel lopen diverse projecten voor actualisatie van de grondwatertrappen. Het is gewenst voor die delen van Nederland waar de actualisatie is afgerond de berekende Gt-kaart te vergelijken met de geactualiseerde Gt-kaart.

De geactualiseerde Gt-kaart biedt ook een goede basis om de toepassing van SWAP-PEST (verbeterde calibratie-methode, zie Massop e.a., 2000) een herkansing te geven. Daarbij hoeft niet meer te worden gecalibreerd op de grondwatertrap, maar op de werkelijke waarden van GHG en GLG.

### ***Schematisatie***

De verlenging van het profiel met 6 meter (tot 13 meter) heeft verblijftijden van grondwater beïnvloed. Het effect daarvan op de omzettingsprocessen van de stikstofkringloop zal van indirecte invloed zijn op de uitspoeling van stoffen als nitraat naar oppervlaktewater en diepere grondwater. Het effect van profielverlenging op de nutriëntenuitspoeling dient middels een gevoeligheidsanalyse gekwantificeerd te worden. Gezien de onzekerheden en aannames bij het thans gehanteerde concept van verblijftijdspreiding kan met een beperkte gevoeligheidsanalyse worden volstaan.

De huidige clustering van SWAP-resultaten op dagbasis tot decade-resultaten leidt tot gegevensverlies. De hydrologische berekeningen worden op kleinere tijdschaal uitgevoerd (minuten – uren i.v.m. numerieke stabiliteit) dan de nutriëntenberekeningen binnen STONE (decades). Het hydrologische model SWAP heeft de dagbasis als standaard voor invoer (meteo) en uitvoer. Het verdient aanbeveling om het effect na te gaan van nutriëntenberekeningen op dagbasis.

Het landgebruik dient verder gedifferentieerd te worden; dit geldt met name voor natuur dat thans een vergaarbak is van alle niet-landbouw landgebruik. Minimaal dient een onderscheid gemaakt te worden tussen bos en overige natuur.



## Referenties

- Bakel, P.J.T. van en P.A.J.W. de Wit, 1995. *Is de toegenomen verdamping één van de oorzaken van de verdroging?* H2O (25): 770-773.
- Beusen, A.W., H.L. Boogaard, P.A. Finke, B. Gehrels, P. Groenendijk, J.A. van Jaarsveld, O.M. Knol, 1998. *Gebruikershandleiding STONE 1.0*. Projectdocument STONE, RIVM, maart 1998.
- Black, T.A., W.R. Gardner and G.W. Thurtell, 1969. *The prediction of evaporation, drainage and soil water storage for a bare soil*. Soil Sci. Soc. Am. J., 33, 655-660.
- Boers, P.C.M.(red.), H.L. Boogaard, J. Hoogeveen, J.G. Kroes, I.G.A.M. Noij (red.), C.W.J. Roest, E.F.W. Ruijgh, J.A.P.H. Vermulst, 1997. *Watersysteemverkenningen 1996. Huidige en toekomstige belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfaat vanuit de landbouw*. RIZA rapport 97.013, Lelystad, SC-DLO rapport 532, Wageningen. ISBN 9036950619.
- Boogaard, H.L. and J.G. Kroes, 1997. *GONAT; Geographical Orientated National simulations with ANIMO 3.5 of nutrients*. Technical Document 41, DLO Winand Staring Centre, Wageningen
- CHO-TNO, 1988. *Van Penman naar Makkink; een nieuwe berekeningswijze voor de klimatologische verdampingsgetallen*. Eindrapport van de project- en begeleidingsgroep verdampingsberekeningen. Rapporten en Nota's No.19. Den Haag.
- Cultuurtechnische vereniging, 1988. *Cultuurtechnisch Vademecum*
- De Vries, F. en D. Van Wallenburg, 1990. *Met de nieuwe grondwatertrappenindeling meer zicht op het grondwater*. Landinrichting 1990/30 1, 31:36.
- Drecht, G. van en E. Scheper, 1998. *Actualisering van model NLOAD voor de nitraatuitspoeling van landbouwgronden, beschrijving van model en GIS-omgeving*. RIVM rapportnr 711501002, Bilthoven.
- Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny, 1978. *Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monographs*. Pudoc. Wageningen. pp 189.
- Groenendijk, P. and J.G. Kroes, 1999. *Modelling the nitrogen and phosphorus leaching to groundwater and surface water; ANIMO 3.5*. . ALTERRA (former: DLO-Winand Staring Centre). Report 144, Wageningen,
- Hoogeveen, M.W., V.C. Bouwman en J. Dijk, 1996. *Herstelmaatregelen voor verdroging. Actualisatie van landbouw-economische gegevens*. NOV-rapport 12-1/LEI-DLO.
- Hijmans, R.J., I.M. Guiking-Lens and C.A. van Diepen, 1994. *User's guide for the WOFOST 6.0 crop growth simulation model*. Technical Document 12, Alterra Green World Research, Wageningen, 144 p.
- Huinink, J.Th.M., 1998. *Neerslag, verdamping en neerslagoverschotten; Regionale verschillen binnen Nederland*, IKC-Landbouw, Ede, sept 1998
- Kroes, J.G., J.C. van Dam, J. Huygen, R.W. Vervoort, 1999a. *SWAP 2.0: User's Guide, Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment*. Technical Document 53. DLO Winand Staring Centre, Wageningen. Report 81, Department Water Resources, Wageningen Agricultural University, Wageningen
- Kroes, J.G., P. Groenendijk en J.Huygen, 1999b. *Hydrologie voor STONE: berekeningen*

- met SWAP 2.0*. Technical Document 57. ALTERRA, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen
- Kroon, Timo, Peter Finke, Ivar Peereboom, en Arthur Beusen, 2001. *Redesign STONE. De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters*. RIZA rapport 2001.017. RIZA, Lelystad.
- Loo, H. van der, 1997 en 1998. *Steekproef voor de bodemeigenschappen en grondwatertrappen van de Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000. Kaarteenheden met Gt II en kaarteenheden met Gt V*. Rapport 483.2 en 483.3, SC-DLO (overgegaan in Alterra), Wageningen
- Massop, H.T.H.L., T. Kroon, P.J.T. van Bakel, W.J. de Lange, A. van der Giessen, M.J.H. Pastoors, J. Huygen, 2000. *Hydrologie voor STONE; schematisering en parametrisering*. Alterra rapport nummer 38, Reeks Milieu Planbureau 6. Alterra, Wageningen.
- Overbeek, G.B.J., J.J.M. van Grinsven, J. Roelsma, P. Groenendijk, P.M. van Egmond en A.H.W. Beusen, 2001. *Achtergronden bij de berekening van vermessing van bodem en grondwater voor de 5 Milieuverkenning met het model STONE*. RIVM rapportnr 408129020, Bilthoven.
- Rijtema, P.E., 1969. *Soil moisture forecasting* Nota 513. ICW, Wageningen.
- Van Dam, J.C., 2000. *Field-scale water flow and solute transport. SWAP model concepts, parameter estimation, and case studies*. PhD-thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 167 p., English and Dutch summaries
- Van Dam, J.C., J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk, C.A. van Diepen, 1997. *SWAP version 2.0, Theory. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment*. Technical Document 45, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, 1997. Report 71, Department Water Resources, Wageningen Agricultural University, 1997.
- Visschers, R., 1997 en 1998. *Steekproef voor de bodemeigenschappen en grondwatertrappen van de Bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000. Kaarteenheden met Gt III en kaarteenheden met Gt IV*. Rapport 483.1 en 483.4, SC-DLO (overgegaan in Alterra), Wageningen
- Werkcommissie voor het Verdampingsonderzoek, 1985. *Verdampingsonderzoek in Nederland 1942-1971*. Eindverslag.
- Werkgroep HELP-tabel, 1987. *De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie*. Mededelingen Landinrichtingsdienst 176.
- Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988. *Cultuurtechnisch Vademecum*. Utrecht, Cultuurtechnische Vereniging.
- Wesseling, J.G., J.G. Kroes and K. Metselaar, 1998. *A global sensitivity analysis of the model SWAP*. Report 160, DLO Staring Centrum, Wageningen.
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de Bodemkaart van Nederland, 1 : 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie*. Rapport 2055. Stiboka, Wageningen.



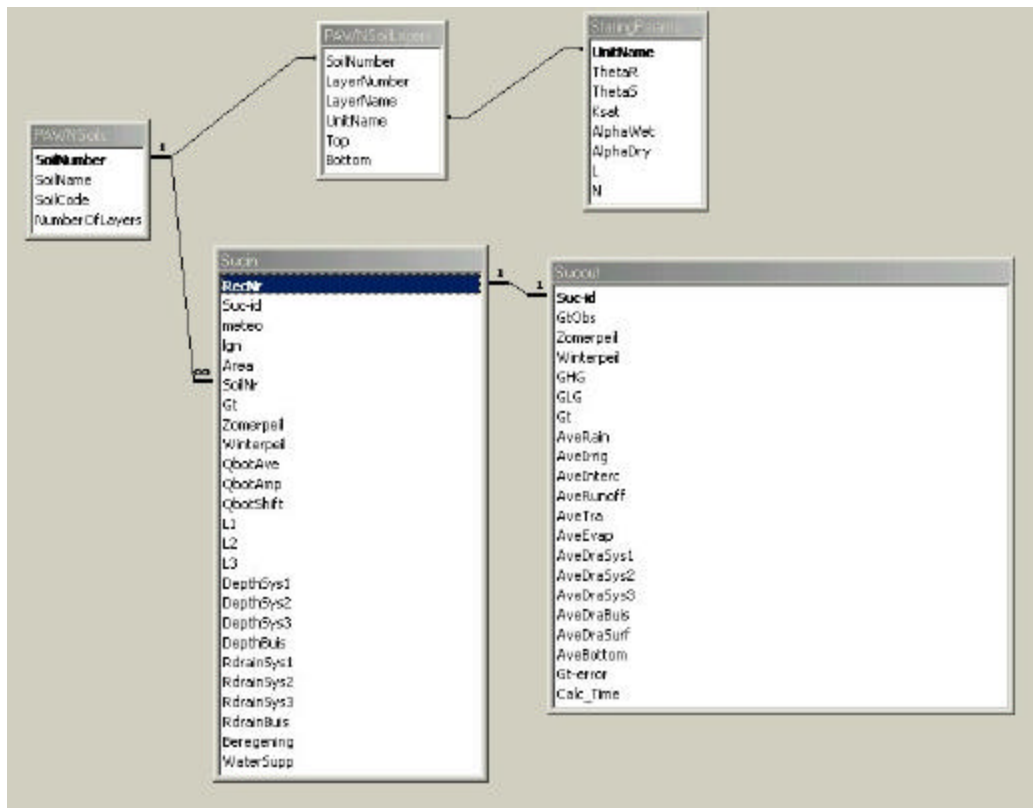
## Aanhangsel 1 Vertikale schematisering modelbodemprofiel

compartmenten en bodemlagen van SWAP en compartimenten in ANIMO/STONE  
(de wijzigingen t.o.v. Kroes e.a., 1999 zijn weergegeven in **bold\_italië**)

Compartimenten in SWAP				Horizonten (bodemlagen) en Compartimenten in ANIMO/STONE				
Comp	dikte	Diepte	Diepte	Hori- zont	comp	dikte	Diepte	Diepte
nr. (-)	(m)	bovenr. (m-mv.)	onderr. (m-mv.)	Nr. (-)	Nr. (-)	(m)	Bovenr. (m-mv.)	onderr. (m-mv.)
1	0.010	0.000	0.010					
2	0.010	0.010	0.020					
3	0.010	0.020	0.030					
4	0.010	0.030	0.040					
5	0.010	0.040	0.050					
6	0.025	0.050	0.075					
7	0.025	0.075	0.100					
8	0.025	0.100	0.125	1	1	0.05	0.00	0.05
9	0.025	0.125	0.150	2	2	0.10	0.05	0.15
10	0.050	0.150	0.200	3	3	0.05	0.15	0.20
11	0.050	0.200	0.250	4	4	0.05	0.20	0.25
12	0.050	0.250	0.300	5	5	0.10	0.25	0.35
13	0.050	0.300	0.350	6	6	0.15	0.35	0.50
14	0.050	0.350	0.400	7	7	0.10	0.50	0.60
15	0.100	0.400	0.500	8	8	0.15	0.60	0.75
16	0.100	0.500	0.600	9	9	0.25	0.75	1.00
17	0.150	0.600	0.750	10	10	<b>0.20</b>	1.00	1.20
18	0.100	0.750	0.850	10	11	<b>0.20</b>	1.20	1.40
19	0.150	0.850	1.000	10	12	<b>0.30</b>	1.40	1.70
20	<b>0.100</b>	1.000	1.100	10	13	<b>0.30</b>	1.70	2.00
21	<b>0.100</b>	1.100	1.200	11	14	<b>0.30</b>	2.00	2.30
22	<b>0.100</b>	1.200	1.300	11	15	<b>0.30</b>	2.30	2.60
23	<b>0.100</b>	1.300	1.400	11	16	<b>0.40</b>	2.60	3.00
24	<b>0.100</b>	1.400	1.500	11	17	<b>0.50</b>	3.00	3.50
25	<b>0.100</b>	1.500	1.600	11	18	<b>0.50</b>	3.50	4.00
26	<b>0.100</b>	1.600	1.700	12	19	<b>1.00</b>	4.00	5.00
27	<b>0.100</b>	1.700	1.800	12	20	<b>2.00</b>	5.00	7.00
28	<b>0.200</b>	1.800	2.000	12	21	<b>3.00</b>	7.00	10.00
29	<b>0.300</b>	2.000	2.300	12	22	<b>3.00</b>	10.00	13.00
30	<b>0.300</b>	2.300	2.600					
31	<b>0.400</b>	2.600	3.000					
32	<b>0.500</b>	3.000	3.500					
33	<b>0.500</b>	3.500	4.000					
34	<b>0.500</b>	4.000	4.500					
35	<b>0.500</b>	4.500	5.000					
36	<b>1.000</b>	5.000	6.000					
37	<b>1.000</b>	6.000	7.000					
38	<b>2.000</b>	7.000	9.000					
39	<b>2.000</b>	9.000	11.000					
40	<b>2.000</b>	11.000	13.000					



## Aanhangsel 2 De database UCBase: datamodel en inhoud van bestand SUCIN



Aanhangsel 2 Fig 1. Datamodel database UCBase

Aanhangsel 2 Tabel 1 Beschrijving van bestand SucIn

Veldnaam	Omschrijving	Eenheid	Toelichting	Voorbeeld (UC nr 1)
RecNr	Record nummer	-		1
Suc-id	STONE UC nummer	-		1
meteo	ID van meteo-district	-		3
lgn	Landgebruik	-		4
Area	Oppervlakte	m <sup>2</sup>		14187500
SoilNr	BodemNummer			7
Gt	Gt op bodemkaart			7
Zomerpeil		cm-mv		165
Winterpeil		cm-mv		195
QbotAve	Onderrandflux_gemiddeld	10 <sup>-6</sup> m d <sup>-1</sup>		2426
QbotAmp	Onderrandflux_amplitude	10 <sup>-6</sup> m d <sup>-1</sup>		0
QbotShift	Onderrandflux_faseversch uiving	dagnr (v.a. 1 jan.)		90
L1	AfstandDrainSys1	m		5155
L2	AfstandDrainSys2	m		3067
L3	AfstandDrainSys3	m		50000
DepthSys1	DiepteDrainSys1	cm-mv		215
DepthSys2	DiepteDrainSys2	cm-mv		110
DepthSys3	DiepteDrainSys3	cm-mv		75
DepthBuis	DiepteDrainSys4(Buis)	cm-mv	>0 indien BuisDrain aanwezig	0
RdrainSys1	WeerstandDrainSys1	d		38879
RdrainSys2	WeerstandDrainSys2	d		18108
RdrainSys3	WeerstandDrainSys3	d		49437
RdrainBuis	WeerstandDrainSys4(Buis)	d	>0 indien BuisDrain aanwezig	0
Beregening	AanwezigheidBeregening	-	1=aan,0=uit	0
WaterSupp	Wateraanvoer	Cm d <sup>-1</sup>		0

### Aanhangsel 3 De gemiddelde waterbalans voor Nederland over de periode 1971-1999

Yr	PGross	Infil1	Infil2	Infil3	Infil4	Infil5	BotUp	Einterc	Esoil	Etransp	Runoff	Drain1	Drain2	Drain3	Drain4	Drain5	BotDown	DeltaSt	DeltaPn	EsPot	EtrPot
1971	591.6	12.4	9.0	0.3	2.1	0.2	92.8	-63.0	-109.4	-310.6	-0.4	-37.8	-32.9	-12.7	-82.5	-21.2	-125.1	87.2	0.0	182.0	329.0
1972	700.5	10.4	3.9	0.1	0.6	0.2	92.9	-66.5	-112.9	-278.0	-0.6	-40.3	-39.4	-15.6	-109.7	-37.7	-125.4	17.4	0.0	173.8	293.0
1973	749.3	12.1	7.6	0.3	1.8	0.2	92.6	-69.9	-115.4	-297.2	-0.7	-40.8	-41.9	-16.4	-113.4	-45.7	-125.1	2.7	0.0	179.1	323.1
1974	878.4	11.3	7.6	0.3	1.6	0.2	92.6	-79.1	-119.3	-288.9	-2.5	-49.1	-54.2	-24.1	-148.1	-68.2	-125.0	-33.4	0.0	185.1	309.7
1975	679.1	11.2	8.6	0.3	2.1	0.2	92.8	-67.9	-117.0	-312.1	-0.7	-41.7	-43.3	-18.7	-101.8	-34.2	-125.1	68.3	0.0	179.7	339.1
1976	550.8	20.4	13.7	0.5	3.4	0.4	93.0	-61.0	-99.3	-303.8	-0.1	-28.6	-25.5	-9.0	-62.5	-24.3	-125.4	57.4	0.0	208.6	377.6
1977	789.8	12.1	7.1	0.3	1.4	0.2	92.6	-73.8	-111.9	-278.9	-3.0	-41.0	-42.6	-16.9	-119.5	-54.3	-125.1	-36.4	0.0	177.5	297.7
1978	689.3	10.5	6.9	0.3	1.5	0.2	92.7	-73.1	-105.2	-266.1	-0.8	-42.0	-41.7	-16.6	-106.9	-41.1	-125.1	17.4	0.0	163.9	281.6
1979	841.1	7.4	5.0	0.2	1.1	0.2	92.5	-74.0	-115.7	-271.1	-1.8	-47.5	-54.1	-22.9	-151.2	-70.4	-125.1	-13.6	0.1	164.4	285.1
1980	792.0	8.3	6.7	0.2	1.3	0.2	92.8	-76.8	-108.2	-274.4	-0.9	-51.1	-53.2	-22.7	-138.0	-59.1	-125.4	8.0	0.0	176.2	296.3
1981	893.1	7.9	6.9	0.3	1.4	0.2	92.3	-78.2	-109.5	-276.0	-3.7	-53.9	-61.3	-29.2	-156.6	-84.8	-125.0	-23.9	0.0	168.3	289.8
1982	709.3	11.7	8.8	0.3	2.2	0.2	92.7	-66.2	-113.6	-301.1	-0.9	-41.8	-42.4	-16.7	-110.5	-42.2	-125.1	35.2	0.0	182.8	327.5
1983	847.1	8.9	7.4	0.3	1.9	0.2	92.5	-71.1	-117.4	-294.0	-5.0	-45.8	-53.9	-25.2	-142.5	-72.7	-125.0	-5.8	0.0	179.2	324.4
1984	887.0	7.0	5.6	0.2	1.2	0.2	92.6	-70.6	-104.6	-261.0	-3.2	-56.0	-62.9	-29.7	-161.7	-84.8	-125.3	-34.2	0.0	158.7	276.4
1985	812.6	4.6	3.0	0.1	0.5	0.2	92.6	-71.5	-112.4	-264.6	-3.9	-54.5	-56.8	-23.8	-145.1	-62.5	-125.1	6.5	0.0	161.6	282.1
1986	809.3	10.0	7.5	0.3	1.7	0.2	92.5	-61.3	-111.5	-299.0	-4.7	-46.8	-48.8	-22.1	-126.4	-67.2	-125.0	-7.6	1.2	179.0	318.7
1987	870.5	4.4	3.1	0.1	0.5	0.2	92.4	-75.9	-114.7	-258.8	-3.4	-60.3	-65.6	-30.2	-163.9	-78.9	-125.0	4.4	0.0	166.7	277.4
1988	941.4	5.2	5.8	0.2	1.2	0.2	92.7	-79.1	-110.7	-269.0	-2.3	-63.8	-75.9	-39.7	-185.8	-97.6	-125.3	2.5	0.0	171.1	287.5
1989	671.8	11.9	9.4	0.3	2.2	0.3	92.7	-63.3	-119.0	-327.3	-0.1	-39.2	-38.2	-15.7	-92.1	-34.6	-125.1	65.9	0.0	200.4	351.2
1990	789.8	12.7	8.3	0.3	2.1	0.2	92.6	-68.7	-119.7	-313.0	-0.7	-41.4	-41.6	-16.0	-116.0	-50.1	-125.1	-13.7	0.0	196.5	339.0
1991	647.9	13.4	8.9	0.3	2.3	0.2	92.7	-58.7	-114.4	-300.4	-0.8	-35.9	-33.8	-13.4	-91.5	-37.9	-125.1	46.2	0.0	177.4	330.5
1992	847.3	10.9	6.7	0.3	1.2	0.2	92.7	-74.7	-119.9	-305.8	-2.9	-44.1	-48.1	-20.3	-141.4	-63.5	-125.4	-13.2	0.0	190.7	329.5
1993	939.1	8.1	5.7	0.2	1.2	0.2	92.3	-70.8	-112.4	-274.9	-7.8	-56.3	-62.5	-30.8	-156.4	-94.7	-125.0	-54.5	0.9	181.1	298.3
1994	970.8	6.3	6.3	0.2	1.7	0.2	92.3	-77.4	-119.0	-298.5	-5.9	-58.8	-70.0	-36.3	-172.9	-99.1	-125.0	-15.6	0.1	181.1	321.6
1995	798.6	8.7	8.2	0.3	2.2	0.2	92.5	-67.2	-124.1	-329.6	-1.3	-50.1	-58.8	-32.2	-133.8	-68.3	-125.0	79.6	0.0	193.7	357.6
1996	640.3	17.9	9.7	0.4	2.0	0.2	93.0	-56.4	-103.4	-291.2	-1.0	-32.8	-30.9	-11.6	-89.5	-34.4	-125.4	13.0	0.0	175.3	317.0
1997	696.8	11.8	6.9	0.2	1.5	0.2	92.7	-62.5	-123.2	-328.4	-0.4	-36.5	-33.3	-13.3	-86.0	-32.3	-125.1	31.0	0.0	186.8	345.7
1998	1118.2	5.9	3.7	0.1	0.7	0.2	92.0	-86.8	-120.2	-261.1	-13.3	-60.9	-77.9	-39.1	-207.6	-142.5	-124.9	-86.6	0.0	168.2	279.5
1999	893.2	8.5	7.3	0.3	1.6	0.2	92.5	-77.9	-125.8	-328.5	-3.5	-49.6	-56.1	-25.5	-147.6	-73.6	-125.0	9.6	0.0	195.6	347.1

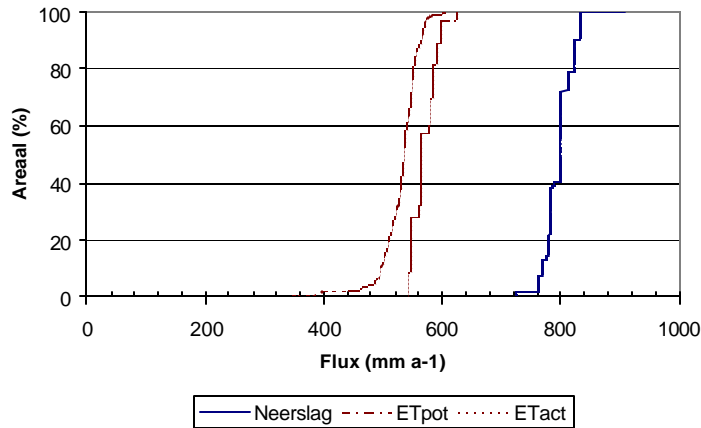


## Aanhangsel 4 Neerslag, beregening, potentiële en actuele verdamping voor 3 grondgebruiksvormen grasland, snijmais en overig bouwland

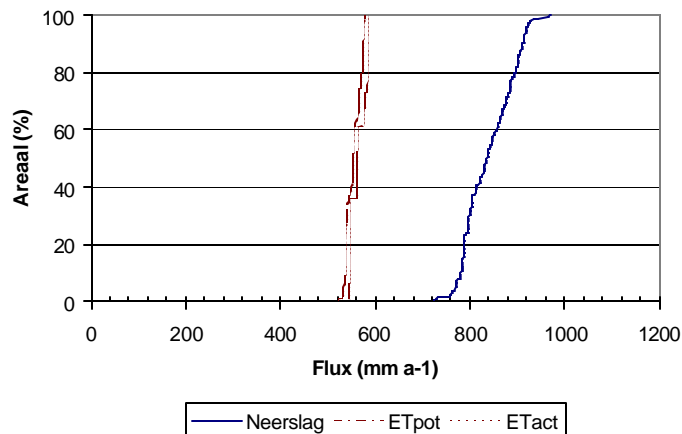
Aanhangsel 4 Tabel 1. Voor de onberegende en de beregende landgebruiksvormen: neerslag (N), potentiële evapotranspiratie (ET<sub>pot</sub>), actuele evapotranspiratie (ET<sub>act</sub>) en neerslagoverschot (N-ET<sub>act</sub>); gemiddelde waarden over de periode 1971-1999, uitgedrukt in mm jr<sup>-1</sup>.

landgebruik	Beregening	Neerslag+beregening (N)	ET_pot	ET_act	N-ET_act
snijmais	aan	794	590	408	386
	uit	778	589	405	372
overig bouwland	aan	812	534	367	445
	uit	789	557	382	407
grasland	aan	840	563	554	286
	uit	795	568	528	267

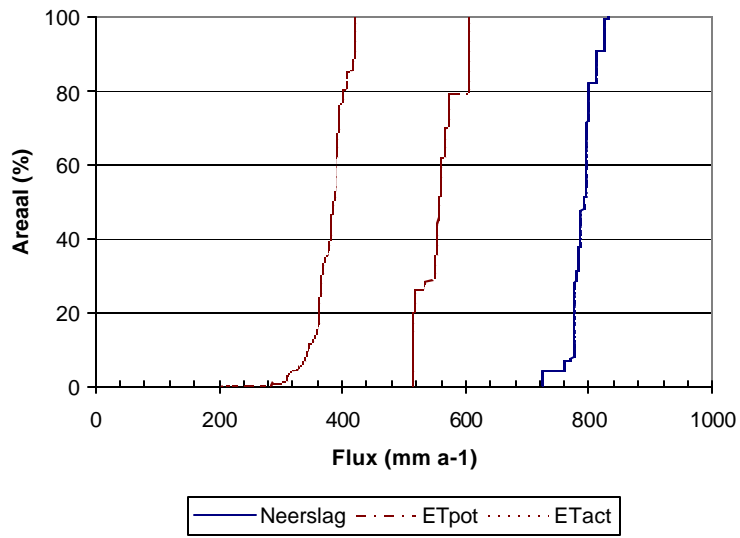
Grasland onberegend



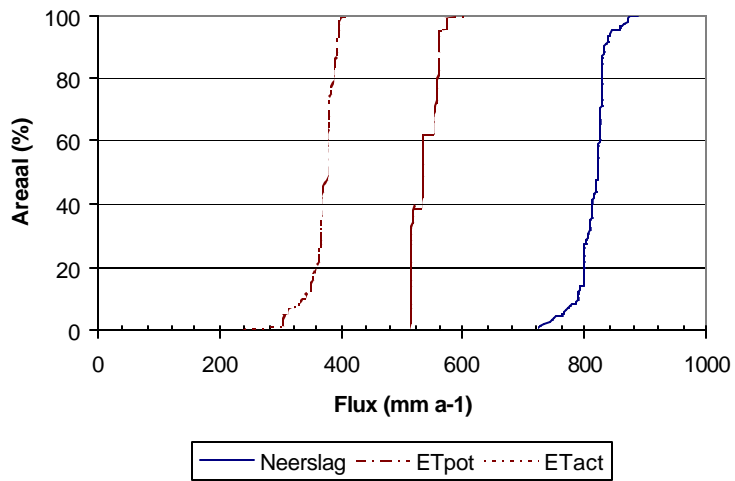
Grasland beregend



### Bouwland onberegend

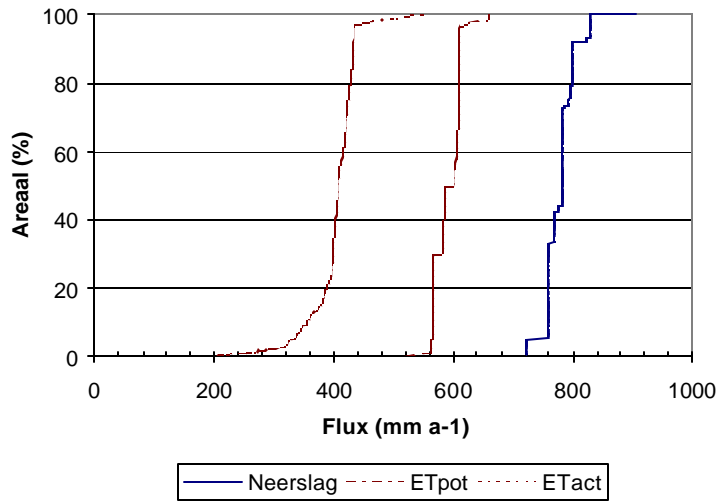


### Bouwland beregend

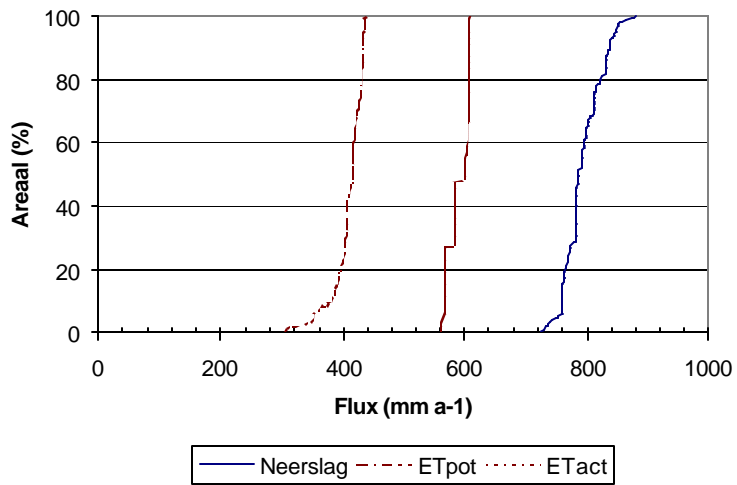




### Mais onberegend



### Mais beregend





## **Aanhangsel 5 Plotnummers waar de grondwaterstand onder profiel uitzakte**

Nummers van de 289 plots waar de grondwaterstand onder het profiel uitzakte:

69, 111, 189, 414, 502, 572, 598, 605, 637, 650, 664, 750, 756, 757, 758, 774, 818, 847, 849, 867, 899, 901, 940, 947, 972, 983, 984, 985, 1015, 1021, 1030, 1036, 1042, 1057, 1121, 1175, 1205, 1230, 1232, 1234, 1235, 1238, 1240, 1261, 1265, 1289, 1322, 1326, 1330, 1339, 1350, 1356, 1398, 1407, 1411, 1443, 1447, 1470, 1478, 1480, 1483, 1484, 1517, 1523, 1524, 1528, 1537, 1565, 1572, 1591, 1595, 1618, 1645, 1662, 1702, 1715, 1784, 1899, 1906, 1928, 1937, 1944, 1948, 1976, 1995, 1996, 2011, 2023, 2052, 2054, 2059, 2213, 2238, 2239, 2256, 2260, 2297, 2319, 2410, 2411, 2420, 2422, 2451, 2479, 2482, 2486, 2524, 2553, 2558, 2639, 2719, 2735, 2755, 2774, 2857, 2865, 2879, 2886, 2887, 2889, 2904, 2910, 2911, 2941, 2943, 2953, 2956, 2966, 2993, 3000, 3011, 3013, 3021, 3043, 3087, 3118, 3126, 3144, 3157, 3171, 3172, 3187, 3206, 3263, 3290, 3318, 3348, 3355, 3360, 3392, 3466, 3603, 3662, 3676, 3755, 3842, 3874, 3901, 3932, 3940, 3956, 3993, 3996, 4002, 4058, 4067, 4102, 4112, 4116, 4117, 4118, 4120, 4123, 4125, 4126, 4131, 4138, 4139, 4140, 4146, 4150, 4154, 4155, 4169, 4184, 4243, 4247, 4279, 4301, 4303, 4335, 4337, 4368, 4369, 4383, 4384, 4388, 4533, 4537, 4541, 4559, 4560, 4570, 4580, 4587, 4591, 4594, 4606, 4611, 4612, 4630, 4650, 4689, 4696, 4705, 4706, 4728, 4775, 4784, 4789, 4806, 4847, 4875, 4880, 4892, 4904, 4941, 4960, 4967, 4970, 4983, 4993, 4994, 4995, 5012, 5031, 5074, 5098, 5109, 5110, 5198, 5213, 5248, 5393, 5421, 5431, 5439, 5461, 5505, 5514, 5519, 5555, 5582, 5650, 5665, 5720, 5777, 5782, 5783, 5813, 5853, 5920, 5939, 5987, 6125, 6132, 6177, 6186, 6187, 6191, 6195, 6198, 6199, 6201, 6207, 6223, 6228, 6246, 6258, 6311, 6316, 6380, 6381, 6382, 6384, 6385, 6389, 6399, 6401



## Aanhangsel 6 Berekende arealen per Gt, bodemsoort en landgebruik

*Aanhangsel 6 Tabel 1. Arealen (ha) per Gt, bodemsoort, landgebruik*

Som van Area (ha)		landgebruik				Eindtotaal
Bodem	Gt	bouwland	grasland	natuur	snijmais	
klei	I	750	1738	3600		6088
	II	1700	14700	10875	1169	28444
	III	6275	35056	20319	6050	67700
	III*		2606	331	194	3131
	IV	44719	24994	16025	2681	88419
	V	9575	26094	30631	6075	72375
	V*	469	2075	981	419	3944
	VI	383056	187363	76169	13888	660475
	VII	22513	33206	24625	5738	86081
	VII*	21838	29169	26450	7081	84538
Totaal klei		490894	357000	210006	43294	1101194
veen	I	2738	39375	2888	2288	47288
	II	11388	129781	32656	3994	177819
	III	23838	46450	43956	8463	122706
	III*		194			194
	IV	15456	1694	12594	675	30419
	V	3925	9081	9994	900	23900
	V*			169	125	294
	VI	11244	5913	10606	2325	30088
	VII	15094	1925	14119	988	32125
	VII*	3594	4425	11919	2150	22088
Totaal veen		87275	238838	138900	21906	486919
zand	I	469	169	4400		5038
	II	1731	8100	3694	1431	14956
	III	5956	40594	23013	11550	81113
	III*	1363	244	838	206	2650
	IV	25231	54706	15606	12675	108219
	V	2938	15481	7913	6288	32619
	V*		1031	256	125	1413
	VI	26119	94650	72231	44900	237900
	VII	58594	83025	80975	35538	258131
	VII*	45781	90500	297606	43506	477394
Totaal zand		168181	388500	506531	156219	1219431
Eindtotaal		746350	984338	855438	221419	2807544

Aanhangsel 6 Tabel 2. Berekende arealen (% van totaal) per Gt, bodemsoort, landgebruik

Som van Area (%)		Landgebruik				Eindtotaal	
Bodem	Gt	bouwland	grasland	natuur	snijmais		
klei	I	0.03	0.06	0.13	0.00	0.22	
	II	0.06	0.52	0.39	0.04	1.01	
	III	0.22	1.25	0.72	0.22	2.41	
	III*	0.00	0.09	0.01	0.01	0.11	
	IV	1.59	0.89	0.57	0.10	3.15	
	V	0.34	0.93	1.09	0.22	2.58	
	V*	0.02	0.07	0.03	0.01	0.14	
	VI	13.64	6.67	2.71	0.49	23.53	
Totaal klei	VII	0.80	1.18	0.88	0.20	3.07	
	VII*	0.78	1.04	0.94	0.25	3.01	
		17.48	12.72	7.48	1.54	39.22	
	veen	I	0.10	1.40	0.10	0.08	1.68
		II	0.41	4.62	1.16	0.14	6.33
		III	0.85	1.65	1.57	0.30	4.37
		III*	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
		IV	0.55	0.06	0.45	0.02	1.08
V		0.14	0.32	0.36	0.03	0.85	
V*		0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	
VI		0.40	0.21	0.38	0.08	1.07	
Totaal veen	VII	0.54	0.07	0.50	0.04	1.14	
	VII*	0.13	0.16	0.42	0.08	0.79	
		3.11	8.51	4.95	0.78	17.34	
	zand	I	0.02	0.01	0.16	0.00	0.18
		II	0.06	0.29	0.13	0.05	0.53
		III	0.21	1.45	0.82	0.41	2.89
		III*	0.05	0.01	0.03	0.01	0.09
		IV	0.90	1.95	0.56	0.45	3.85
V		0.10	0.55	0.28	0.22	1.16	
V*		0.00	0.04	0.01	0.00	0.05	
VI		0.93	3.37	2.57	1.60	8.47	
Totaal zand	VII	2.09	2.96	2.88	1.27	9.19	
	VII*	1.63	3.22	10.60	1.55	17.00	
		5.99	13.84	18.04	5.56	43.43	
	Eindtotaal		26.58	35.06	30.47	7.89	100.00

Aanhangsel 6 Tabel 3. Berekende arealen (% van landgebruik) per Gt, bodemsoort, landgebruik

Som van Area (%)		Landgebruik				Eindtotaal	
Bodem	Gt	bouwland	grasland	natuur	snijmais		
klei	I	0.10	0.18	0.42	0.00	0.22	
	II	0.23	1.49	1.27	0.53	1.01	
	III	0.84	3.56	2.38	2.73	2.41	
	III*	0.00	0.26	0.04	0.09	0.11	
	IV	5.99	2.54	1.87	1.21	3.15	
	V	1.28	2.65	3.58	2.74	2.58	
	V*	0.06	0.21	0.11	0.19	0.14	
	VI	51.32	19.03	8.90	6.27	23.53	
Totaal klei	VII	3.02	3.37	2.88	2.59	3.07	
	VII*	2.93	2.96	3.09	3.20	3.01	
		65.77	36.27	24.55	19.55	39.22	
	veen	I	0.37	4.00	0.34	1.03	1.68
		II	1.53	13.18	3.82	1.80	6.33
		III	3.19	4.72	5.14	3.82	4.37
		III*	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
		IV	2.07	0.17	1.47	0.30	1.08
V		0.53	0.92	1.17	0.41	0.85	
V*		0.00	0.00	0.02	0.06	0.01	
VI		1.51	0.60	1.24	1.05	1.07	
Totaal veen	VII	2.02	0.20	1.65	0.45	1.14	
	VII*	0.48	0.45	1.39	0.97	0.79	
		11.69	24.26	16.24	9.89	17.34	
	zand	I	0.06	0.02	0.51	0.00	0.18
		II	0.23	0.82	0.43	0.65	0.53
		III	0.80	4.12	2.69	5.22	2.89
		III*	0.18	0.02	0.10	0.09	0.09
		IV	3.38	5.56	1.82	5.72	3.85
V		0.39	1.57	0.92	2.84	1.16	
V*		0.00	0.10	0.03	0.06	0.05	
VI		3.50	9.62	8.44	20.28	8.47	
Totaal zand	VII	7.85	8.43	9.47	16.05	9.19	
	VII*	6.13	9.19	34.79	19.65	17.00	
		22.53	39.47	59.21	70.55	43.43	
	Eindtotaal		100.00	100.00	100.00	100.00	

Aanhangsel 6 Tabel 4. Berekende arealen (% van bodemtype en Gt) per Gt, bodemsoort, landgebruik

Som van Area (%)		landgebruik				Eindtotaal	
Bodem	Gt	bouwland	grasland	natuur	snijmais		
klei	I	12.32	28.54	59.14	0.00	100.00	
	II	5.98	51.68	38.23	4.11	100.00	
	III	9.27	51.78	30.01	8.94	100.00	
	III*	0.00	83.23	10.58	6.19	100.00	
	IV	50.58	28.27	18.12	3.03	100.00	
	V	13.23	36.05	42.32	8.39	100.00	
	V*	11.89	52.61	24.88	10.62	100.00	
	VI	58.00	28.37	11.53	2.10	100.00	
Totaal klei	VII	26.15	38.58	28.61	6.67	100.00	
	VII*	25.83	34.50	31.29	8.38	100.00	
		44.58	32.42	19.07	3.93	100.00	
	veen	I	5.79	83.27	6.11	4.84	100.00
		II	6.40	72.99	18.36	2.25	100.00
		III	19.43	37.85	35.82	6.90	100.00
		III*	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
		IV	50.81	5.57	41.40	2.22	100.00
V		16.42	38.00	41.81	3.77	100.00	
V*		0.00	0.00	57.45	42.55	100.00	
VI		37.37	19.65	35.25	7.73	100.00	
Totaal veen	VII	46.98	5.99	43.95	3.07	100.00	
	VII*	16.27	20.03	53.96	9.73	100.00	
		17.92	49.05	28.53	4.50	100.00	
	zand	I	9.31	3.35	87.34	0.00	100.00
		II	11.58	54.16	24.70	9.57	100.00
		III	7.34	50.05	28.37	14.24	100.00
		III*	51.42	9.20	31.60	7.78	100.00
		IV	23.32	50.55	14.42	11.71	100.00
V		9.01	47.46	24.26	19.28	100.00	
V*		0.00	73.01	18.14	8.85	100.00	
VI		10.98	39.79	30.36	18.87	100.00	
Totaal zand	VII	22.70	32.16	31.37	13.77	100.00	
	VII*	9.59	18.96	62.34	9.11	100.00	
		13.79	31.86	41.54	12.81	100.00	
	Eindtotaal		26.58	35.06	30.47	7.89	100.00



## **Aanhangsel 7 Lijst van verschenen rapporten in de Reeks Milieu- planbureau**

*De in de lijst vermelde rapporten zijn verkrijgbaar bij het uitgevende instituut*

- 1 Kruijne, R. en R.C.M. Merkelbach, 1977. Ontwikkeling van het prototype instrumentarium PEGASUS. Pesticide Emission to Groundwater And Surface WaterS. DLO-Staring Centrum, Wageningen (f 25,-).
- 2 Smit, A.A.M.F.R., F. van den Berg en M. Leistra, 1997. Estimation method for the volatilization of pesticides from fallow soil. DLO-Staring Centrum, Wageningen (f 25,-).
- 3 Kros, J., 1998 De modellering van de effecten van verzuring, vermisting en verdroging voor bossen en natuurterreinen ten behoeve van de milieubalans, milieuverkenning en natuurverkenning. DLO-Staring Centrum, Wageningen (f 25,-).
- 4 Smit, A.A.M.F.R. M. Leistra en F. van den Berg, 1998. Estimation method for the volatilization of pesticides from plants. DLO-Staring Centrum, Wageningen (f 25,-).
- 5 Leistra, M., 1998. Extent of photochemical transformation of pesticides on soil and plant surfaces. DLO-Staring Centrum, Wageningen (f 25,-).
- 6 Steenvoorden, J.H.A.M., W.J. Bruins, M.M. van Eerdt, M.W. Hoogeveen, N. Hoogervorst, J.F.M. Huijsmans, H. Leneman, H.G. van der Meer, G.J. Monteny en F.J. de Ruijter, 1999. Monitoring van nationale ammoniakemissies uit de landbouw, op weg naar een verbeterde rekenmethodiek. Dlo Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands, (f 25,-).
- 7 Leneman, H., J.P.P.J. Welten en B.W. Zaalmink, 1999. Milieukosten gewasbescherming voor de land- en tuinbouw. Landbouw-Economisch Instituut, Den Haag (f 22,-).
- 9 Massop, H.Th.L., P.J.T. van Bakel, W.J. de Lange, A. van der Giessen, M.J.H. Pastoors en J. Huygen, 2000. Hydrologie voor Stone; Schematische en Parametrisatie. Alterra, Wageningen (f 67,50).
- 10 Steenvoorden, J.H.A.M., J.J. Neeteson, J.G.A.M. Noij, C. van Bruchem en G.J. Monteny, 1999. Een doorkijk van het Nationaal Milieubeleidsplan 3 op het LNV-werkterrein. DLO-Staring Centrum, Wageningen (f 35,-).
- 11 Hoogeveen, M.W., 2000. Graslandgebruikssystemen in Nederland. Landbouw-Economisch Instituut, Den Haag.
  - R.A. Smidt, M.F.R. Smit, F. van den Berg, J. Denneboom, J.C. van de Zande, H.J. Holterman en J.F.M. Huijsmans., 2000. Beschrijving van de emissie van bestrijdingsmiddelen naar de lucht bij bespuiting van bodem of gewas in ISBEST 3.0. (f 40,-).
- 13 Hoogeveen, M.W. en H. Leneman. 2001. Protocol berekening landelijk mestoverschot 2003. Landbouwkundig Economisch Instituut. (f ???).
- 14 Kros, J. en J.P. Mol, Historische pH en stikstofbeschikbaarheden in bossen en natuurterreinen (f32,-)

- 15 Stalduinen, L.C. van, H. van Zeijts, M.W. Hoogeveen, H.H. Luesink, T.C. van Leeuwen, H. Prins & J.G. Groenwold. In druk. Het landelijk mestoverschot 2003. Methodiek en berekening. (f ?)
- 16 Kroes, J.G., P.J.T. van Bakel, J. Huygen, T. Kroon, R. Pastoors, 2001. Actualisatie van de hydrologie voor STONE 2.0. Wageningen. Alterra. (f 40,-, €18,-).