

Op zoek naar de 'ware' neerslag en verdamping



## **Op zoek naar de 'ware' neerslag en verdamping**

**Toetsing van de met het STONE 2.1-instrumentarium berekende verdamping aan literatuurgegevens en aan regionale waterbalansen, en de gevoeligheid van het neerslagoverschot op de uitspoeling van nutriënten**

**H.Th.L. Massop**

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

**T. Kroon**

**J. G. Kroes**

**A. Tiktak**

**W. Werkman**

**Alterra-rapport 1158  
Reeks Milieu en Landelijk Gebied 28**

**Alterra, Wageningen, 2005**

## REFERAAT

Massop, H.Th.L., P.J.T. van Bakel, T. Kroon, J.G. Kroes, A. Tiktak & W. Werkman., 2005. *Op zoek naar de 'ware' neerslag en verdamping; Toetsing van de met het STONE 2.1-instrumentarium berekende verdamping aan literatuurgegevens en aan regionale waterbalansen, en de gevoeligheid van het neerslagoverschot op de uitspoeling van nutriënten*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1158. Reeks Milieu en Landelijk gebied 28. 108 blz.; 14 fig.; 30 tab.; 59 ref.

Het neerslagoverschot is van grote invloed op de door het STONE-instrumentarium berekende N- en P-belasting van grond- en oppervlaktewater. Naar de hiervoor meest bepalende processen neerslag en verdamping, zoals die voor STONE 2.1 als randvoorwaarden worden opgelegd of worden berekend, is een beperkte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Daaruit volgt dat het niveau van de potentiële verdamping van grasland systematisch te hoog wordt berekend. De vergelijking met de verdampingsreducties volgens de HELP-tabel indiceren een te geringe berekende reductie voor droogtegevoelige zandgronden. Ook is een vergelijking gemaakt met gegevens uit de literatuur en met de verdamping als restpost van de waterbalansen van een aantal gebieden. Voor het Holocene deel van Nederland is er een goede overeenkomst; voor het Pleistocene deel van Nederland is de verdamping als restpost van de waterbalans enigszins lager dan de door STONE 2.1 berekende verdamping. Door het gedateerd zijn van historische gegevens en door de onbetrouwbaarheid van de waterbalansen zijn dit geen harde conclusies.

Trefwoorden: lysimeteronderzoek, N- en P-belasting, neerslag, neerslagoverschot, verdamping, verdampingsreductie, waterbalans.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 25,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1158. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2005 Alterra  
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd 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

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Achtergronden	13
1.2 Probleem- en doelstelling	13
1.3 Definities	13
1.4 Opbouw van het rapport	15
2 Conceptualisering en parameterisering van neerslag en verdamping in STONE 2.1	17
2.1 Inleiding	17
2.1.1 Conceptualisering van de neerslag en verdamping	17
2.2 Discussie	18
3 Gevoeligheidsanalyse van het neerslagoverschot	21
3.1 Verkenning van het belang op de N- en P-vrachten	21
3.2 Verkenning van de effecten van beregening en vergelijking met de verdamping in de HELP-tabel	22
3.3 Verkenning van de invloed van beweiding bij grasland	23
3.4 Verkennen van alternatieve verdampingsreductiefuncties	24
3.5 Verkenning van een alternatief voor de overgebleven gewasfractie	26
3.6 Conclusies en aanbevelingen	29
4 Literatuuronderzoek	31
4.1 Neerslag	31
4.1.1 Historisch onderzoek	31
4.1.2 Conclusies, aanbevelingen en discussie	34
4.2 Ruimtelijke en temporele spreiding van de verdamping	35
4.2.1 Lysimeteronderzoek	36
4.2.2 Historische waterbalansen	38
4.2.3 Verdampingsfluxmetingen	43
4.2.4 Natuurlijke vegetaties	44
4.2.5 Overige metingen	45
4.2.6 Conclusies en discussie	45
5 Verdamping afgeleid uit regionale waterbalansen	47
5.1 Werkwijze	47
5.1.1 De waterbalans	47
5.1.2 De gebieden	49
5.1.3 De waterbalanstermen	51
5.2 Resultaten	54
5.2.1 Poldergebieden	54

5.2.2 Stroomgebieden	55
5.3 Samenvatting	56
6 Vergelijking met de verdamping van STONE 2.1	57
6.1 Vergelijking berekende verdamping met het literatuuronderzoek	57
6.2 Vergelijking berekende verdamping met regionale waterbalansen	58
6.3 Discussie	61
7 Conclusies en aanbevelingen	63
Literatuur	67
<b><i>Bijlagen</i></b>	
1 Neerslag en referentiegewasverdamping volgens Makkink, zoals in STONE 2.1 berekend	71
2 Tabellen bij de verkenning van het belang van het neerslagoverschot op de N- en P-vrachten	75
3 Tabellen bij literatuuronderzoek	81
4 Tabellen bij verdamping uit waterbalansen	97
5 Tabellen bij de vergelijking met de verdamping van STONE 2.1	99
6 Reeds verschenen in de reeks Milieu en landelijk gebied	107

## **Woord vooraf**

De heren T.A. Buishand en R. Jilderda van het KNMI en P. Warmerdam van de leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer (WUR) willen we bedanken voor hun mondelinge of schriftelijke reactie met betrekking tot correctie van de gemeten neerslag.

De heer F. Bosvelt van het KNMI willen we bedanken voor de speciaal uitgevoerde aanvullende analyses op de dataset van Cabauw.





## Samenvatting

Voor de berekeningen met het STONE 2.1-instrumentarium is Nederland opgedeeld in 6405 rekeneenheden (plots). Een plot is een verzameling van grids van 250 maal 250 m die binnen een regio op meerdere locaties kunnen voorkomen en die min of meer homogene hydrologische eigenschappen hebben. Per rekeneenheid is de hydrologie geschematiseerd en geparameteriseerd en is van randvoorwaarden voorzien om veeljarige perioden te kunnen doorrekenen. Het neerslagoverschot is van grote invloed op de berekende N- en P-belasting van grond- en oppervlaktewater. Belangrijke randvoorwaarden hiervoor zijn de neerslag en potentiële verdamping die voor een belangrijk deel het neerslagoverschot bepalen. Daarnaast is de reductie van de verdamping als gevolg van te droge of te natte omstandigheden in de wortelzone van invloed. Een probleem is dat de door STONE 2.1 berekende verdamping tot nu toe onvoldoende is getoetst. Er zijn aanwijzingen dat de verdamping op droogtegevoelige gronden door STONE 2.1 te hoog worden berekend (in ieder geval hoger dan volgens de zogenoemde HELP-tabel). Doel van het in dit rapport beschreven onderzoek is te komen tot een oordeel over het met STONE 2.1 berekend neerslagoverschot, door te vergelijken met literatuurgegevens en waterbalansmetingen. Aanleiding, probleem- en doelstelling en de belangrijkste definities worden in hoofdstuk 1 beschreven.

In hoofdstuk 2 wordt de conceptualisering en parameterisering van neerslag en verdamping in STONE 2.1 beschreven. Daarbij is gebruikt gemaakt van het standplaatsmodel SWAP. Een punt van aandacht is het in rekening brengen van beregening. Indien beregening plaatsvindt uit grondwater is dat voor een deel van het beregend oppervlak vertaald in een extra wegzijging; voor de nieuw toegevoegde oppervlakken ten opzichte van STONE 2.0 is dat niet aldus verrekend. De interceptieverdamping wordt door de wijze van parameteriseren met zo'n 20 mm per jaar overschat.

Uit uitgevoerde gevoeligheidsanalyses (hoofdstuk 3) blijkt duidelijk hoe belangrijk het neerslagoverschot is voor de berekende N- en P-belasting van grond- en oppervlaktewater. Voor een 12-tal plots is de verdamping met 20% gereduceerd met als gevolg een gemiddeld 18% hoger neerslagoverschot en een sterk wisselend effect op de afvoer. Dit resulteert gemiddeld in toename van de met SWAP-ANIMO berekende N-vracht en P-vracht naar het oppervlaktewater van 15% resp. 30%.

Verkennde berekeningen voor een paar voorbeeldplots (droogtegevoelige zandgronden) naar het effect van beregening laten zien dat beregening in STONE 2.1 tot een volledig opheffen van de verdampingsreductie leidt. In de praktijk is dat niet altijd het geval. Bij niet-beregenen is de reductie van de verdamping van deze plots duidelijk veel geringer vergeleken met die volgens de HELP-tabel. De oorzaken zijn niet nader geanalyseerd.

De schematisering van het verloop van de bodembedekking bij grasland (constant een Leaf Area Index (LAI) is 3,0) leidt tot een overschatting van de veeljarige gemiddelde grasverdamping van 38 mm vergeleken met een realistisch geacht

verloop van de LAI. De reductie van de verdamping als gevolg van te droge omstandigheden van de wortelzone is redelijk gevoelig voor de wijze van parameteriseren maar er zijn geen aanwijzingen dat de in STONE 2.1 gebruikte relaties herziening behoeven. In STONE 2.1 kan het gewas geen schade oplopen als gevolg van reductie van verdamping door te droge of te natte omstandigheden in de wortelzone. Dit is niet conform de werkelijkheid in met name extreem droge of extreem natte jaren. Uit een met het model MOZART uitgevoerde gevoeligheidsanalyse blijkt dat dit effect beperkt is tot maximaal 9% extra verdampingsreductie gemiddeld voor geheel Nederland (56% in plaats van 67%, in het extreem droge jaar 1976).

Hoofdstuk 4 geeft de bevindingen van literatuuronderzoek. Voor de neerslag blijkt hier o.a. uit dat de 'ware' neerslag hoger is dan de gemeten neerslag, als gevolg van het windeffect en interceptieverdamping van de regenmeter. De effecten zijn afhankelijk van de heersende windomstandigheden (derhalve is er een systematisch verschil tussen zomer en winter en tussen de kust en verder landinwaarts) en het type neerslagmeter. Gemiddeld is de werkelijke neerslag 4% hoger dan de neerslag die door de moderne standaardregenmeters wordt afgetapt. De effecten van ruimtelijke en temporele schematisering van neerslag en verdamping zijn in deze studie niet nader geanalyseerd. Wel kan worden vastgesteld dat de ruimtelijke en temporele variatie van met name de neerslag relatief groot is.

Op basis van lysimeteronderzoek is de 'ware' verdamping vastgesteld. Typische waarden voor de veeljarig gemiddelde jaarverdamping die voor STONE 2.1 van belang zijn: kale grond 250 mm, grasland 535 mm en akkerbouw 515 mm. In de literatuur gevonden overeenkomstige waarden van de verdamping als restpost van waterbalansen van polders of stroomgebieden variëren tussen 430 en 515 mm. Daarbij moet worden vermeld dat door de toegenomen landbouwopbrengsten een vergelijking van de door STONE 2.1 berekende verdamping met 'gedateerde' metingen van beperkte waarde is. Rechtstreekse meting van de verdamping in Cabauw geeft een gemiddelde waarde van 547 mm/jaar voor de recente periode 1987-1996.

In hoofdstuk 5 worden de resultaten beschreven van speciaal voor deze studie verzamelde waterbalansen van 4 polders en 13 stroomgebieden. De verdamping is daarbij als restpost van de waterbalans vastgesteld. De stroming via het verzadigd grondwatersysteem over de rand van het stroomgebied werd afgeleid uit de netto kwel of wegzijging zoals die in het kader van STONE voor geheel Nederland voor elk grid van 250 maal 250 m zijn berekend. Daarbij werden in een paar gevallen onwaarschijnlijke waarden gevonden die handmatig zijn gecorrigeerd. Voor poldergebieden varieerde de aldus gevonden veeljarig gemiddelde jaarverdamping tussen 464 en 572 mm; voor stroomgebieden in het vrij afwaterend deel van Nederland tussen 431 en 628 mm.

Om vergelijking met de STONE 2.1-resultaten mogelijk te maken is gecorrigeerd voor arealen open water en stedelijk gebied. De vergelijking van de in de literatuur gevonden waarden of via de opgestelde waterbalansen met de verdamping berekend door het STONE 2.1-instrumentarium (hoofdstuk 6) laat zien dat gemiddeld de met

STONE 2.1 berekende jaarverdamping enigszins hoger is. Meer specifiek: voor 3 polders in het Holocene deel van Nederland is het verschil gemiddeld -11 mm en voor de stroomgebieden in het Pleistocene deel 48 mm. Worden alleen de meest betrouwbaar geachte balansen genomen dan zijn de verschillen geringer (-12 resp. 18 mm). Uit een statistische analyse blijkt echter dat de verschillen tussen de verdamping uit STONE 2.1 en als restpost uit de opgestelde waterbalansen niet significant zijn.

In hoofdstuk 7 worden de conclusies en aanbevelingen puntsgewijs beschreven. De belangrijkste conclusies zijn:

- het neerslagoverschot heeft grote invloed op de berekende N- en P-belasting van grond- en oppervlaktewater;
- de gemeten neerslag is systematisch zo'n 4% lager dan de werkelijke neerslag;
- door STONE 2.1 berekende reductie van de verdamping voor grasland op droogtegevoelige niet-beregende zandgronden is duidelijk geringer vergeleken met de reducties in de HELP-tabel;
- door berekening wordt in STONE 2.1 de verdampingsreductie volledig opgeheven. In de praktijk is dat niet altijd het geval;
- de door STONE 2.1 berekende verdamping van grasland is systematisch hoger dan de werkelijke, als gevolg van het aangenomen verloop van de LAI en als gevolg van enigszins te hoog berekende interceptieverdamping;
- vergelijking met verdamping uit literatuuronderzoek of als restpost uit opgestelde waterbalansen laten een redelijke overeenkomst zien. De literatuurgegevens zijn echter gedateerd en de opgestelde waterbalansen zijn tamelijk onbetrouwbaar.

De hoofdconclusie is dat de door STONE 2.1 berekende verdamping van grasland op droogtegevoelige zandgronden naar te hoge waarden tendeert, als gevolg van een te hoog niveau van de potentiële verdamping, een te geringe reductie op droogtegevoelige niet-beregende gronden en het volledig opheffen van de verdampingsreductie bij berekening. Voor akkerbouw en kale grond zijn geen conclusies te trekken.

De volgende reparaties in het STONE-instrumentarium worden aanbevolen:

- voor grasland uit te gaan van een realistisch verloop van de LAI;
- de fout in de berekening van de interceptieverdamping te herstellen.

Verder wordt voorgesteld **geen** correctie uit te voeren voor de hoogte van de neerslag en **geen** aanpassingen door te voeren in de parameterisering van de verdampingsreductie. Wel dient de ruimtelijke schematisering van verdamping (6 meteorodistricten) en neerslag (15 weerdistricten) te worden heroverwogen en de temporele schematisering (neerschalen van decadewaarden) te worden vervangen door dagwaarden. Ook wordt een meer gedetailleerde analyse naar de oorzaken van de geringe reductie van verdamping van grasland op droogtegevoelige zandgronden aanbevolen. In het geval betere kwelcijfers beschikbaar komen verdient het overweging de waterbalansberekeningen opnieuw uit te voeren en de resultaten opnieuw te vergelijken met de door het STONE-instrumentarium berekende verdamping.



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergronden

Ten behoeve van berekeningen met het STONE-instrumentarium is Nederland opgedeeld in 6405 rekeneenheden (UC's) en is de hydrologie van elke plot geparameteriseerd met behulp van expertisetabellen, landsdekkende geografische bestanden en voorzien van randvoorwaarden met behulp van landsdekkende modellen en veeljarige meteorologische gegevens. In 2004 zijn activiteiten uitgevoerd om een oordeel uit te kunnen spreken over de plausibiliteit van de aldus geschematiseerde hydrologie (Van Bakel e.a., in voorbereiding). In de loop van 2004 ontstond een hernieuwde discussie over de hoogte van het berekende neerslagoverschot omdat de indruk bestond dat die voor grasland op droogtegevoelige gronden aanzienlijk konden afwijken van het neerslagoverschot zoals gehanteerd door de Werkgroep Onderbouwing Gebruiksnormen (WOG). Op voorhand werd gesteld dat deze mogelijke afwijking een gevolg is van verschillen in de berekende verdamping. Een gedegen analyse van de door STONE 2.1 berekende verdamping werd daarom noodzakelijk geacht. Daarbij werd een vergelijking met gemeten verdamping als de belangrijkste actie aangemerkt. In tweede instantie is ook de neerslag bij de analyse betrokken. Dit rapport is daarvan de verslaglegging.

## 1.2 Probleem- en doelstelling

De probleemstelling luidt: de met STONE 2.1 berekende verdamping en het direct daaraan gekoppelde neerslagoverschot voor de berekening van de N- en P-belasting op het oppervlaktewater is tot nu toe onvoldoende getoetst.

Doel van het project is tot een oordeel te komen over de met STONE 2.1 berekende verdamping, door deze te vergelijken met literatuurgegevens en waterbalansmetingen. Bovendien wordt het belang van het neerslagoverschot voor STONE aangetoond.

## 1.3 Definities

In dit rapport worden veel soorten verdamping genoemd. Daarom wordt eerst een overzicht gegeven van de in dit rapport gehanteerde definities, voor een deel ontleend aan de hydrologische woordenlijst (NHV, 2002).

Bruto neerslag (P): de massa waterdeeltjes, zowel vast als vloeibaar, dat het aardoppervlak (begroeid, onbegroeid, water, bebouwd) bereikt.

- Netto neerslag ( $P_n$ ): het verschil tussen de bruto neerslag en interceptieverdamping.
- Verdamping (E): De massa water die per eenheid van oppervlak per tijdseenheid verdampt.
- Open-waterverdamping ( $E_0$ ): verdamping van een oneindig uitgestrekt, ondiep, glad wateroppervlak.
- Totale verdamping ( $E_{tot}$ ): som van evaporatie van interceptiewater, bodmevaporatie en transpiratie van een begroeid oppervlak:  $E_{tot} = E_i + E_s + E_t$ . Ook wel aangeduid als evapotranspiratie (ET).
- Potentiële verdamping ( $E_p$ ): som van potentiële transpiratie, potentiële bodemverdamping en interceptieverdamping.
- Interceptieverdamping ( $E_i$ ): deel van de bruto neerslag dat door de vegetatie of andere structuren wordt onderschept en vervolgens verdampt.
- Potentiële gewasverdamping ( $E_{t,p}$ ): de theoretische transpiratie van planten die voldoende van water zijn voorzien, wanneer zij blootgesteld worden aan de heersende klimatologische omstandigheden.
- Werkelijke gewasverdamping ( $E_t$ ): de verdampingsflux via de huidmondjes en cuticula van planten.
- Potentiële bodemverdamping ( $E_{s,p}$ ): de theoretische bodemverdamping onder de heersende klimatologische omstandigheden wanneer deze bodem voldoende van water is voorzien.
- Werkelijke bodemverdamping ( $E_s$ ): de verdampingsflux vanuit de bodem.
- Referentiegewasverdamping ( $E_{ref}$ ): de verdamping van een uitgebreid uniform, van buiten droog grasoppervlak met een hoogte van 8-15 cm, dat voldoende van water is voorzien. Deze wordt thans met de formule van Makkink berekend.
- Referentieverdamping (internationaal): de verdampingsnelheid van een geïdealiseerd gras met een hoogte van 0,12 m, een albedo van 0,23 en een gewasweerstand van  $70 \text{ s m}^{-1}$ .
- Relatieve verdamping: de verhouding tussen de werkelijke verdamping en de potentiële verdamping.
- Neerslagoverschot : het verschil tussen de netto neerslag (inclusief berekening) en de verdamping.

Grondwateraanvulling: de netto aanvulling van het verzadigd grondwatersysteem. Bij optreden van oppervlakte- en oppervlakkige afvoer als gevolg van het overschrijden van infiltratiecapaciteit of als gevolg van het optreden van schijngrondwaterspiegels is de grondwateraanvulling kleiner dan het neerslagoverschot, bij bevoeiing of *runon* groter (onder de veronderstelling dat in de beschouwde periode genoemde 2 processen niet beide optreden).

#### **1.4 Opbouw van het rapport**

Om het doel van het project te realiseren zijn de volgende onderdelen uitgevoerd (en beschreven in de hoofdstukken 2 t/m 7 in dit rapport):

- analyse van de concepten en parameterisatie van het proces van verdamping;
- uitvoeren van gevoeligheidsanalyses van de berekende verdamping;
- uitvoeren van literatuuronderzoek naar neerslag en verdamping;
- opstellen van regionale waterbalansen met verdamping als restpost;
- vergelijken van de met STONE 2.1 berekende verdamping met literatuurgegevens en waterbalansmetingen;
- het trekken van conclusies en het doen van aanbevelingen.





## 2 Conceptualisering en parameterisering van neerslag en verdamping in STONE 2.1

### 2.1 Inleiding

Van de circa 775 mm neerslag die in Nederland gemiddeld per jaar valt, verdampt er zo'n 500 mm. Procesmatig is de neerslag een eenvoudig proces, in tegenstelling tot het proces van verdamping. Voor een goed begrip van dit rapport zal daarom in dit hoofdstuk de conceptualisering en parameterisering van het proces van neerslag en verdamping zoals gebruikt voor STONE 2.1 beknopt worden uitgewerkt.

Voor meer achtergrondinformatie over de manier waarop de meteorologische gegevens zijn verkregen en verwerkt tot invoer van het model SWAP wordt verwezen naar Van Bakel et al. (in voorbereiding). Door Kroes et al. (2003) is een uitgebreidere beschrijving gegeven van de methodiek die is gebruikt om het proces van neerslag en verdamping te modelleren.

#### 2.1.1 Conceptualisering van de neerslag en verdamping

In de SWAP-versie die is gebruikt in STONE 2.1 is het proces van neerslag en verdamping als volgt geschematiseerd.

##### *Neerslag*

De basis voor de neerslaggegevens in STONE 2.1 bestaat uit decadedcijfers voor de periode 1971-2000 van 15 weerdistricten, gepubliceerd door het KNMI. Op basis van dagcijfers van de dichtstbijzijnde KNMI-hoofdstations zijn deze decadewaarden voor districtswaarden neergeschaald naar dagwaarden. Doordat in SWAP ook de temperatuur wordt ingevoerd, kan het model zelf bijhouden of de neerslag in vloeibare vorm of vaste vorm (sneeuw) valt. Eventueel geaccumuleerde sneeuw kan bij temperatuursverandering weer smelten.

##### *Berekening*

In STONE 2.1 is het op circa 400.000 ha mogelijk om berekening toe te passen, gebaseerd op een inventarisatie van berekening door Hooogeveen et al. (2003). Dit areaal is recent uitgebreid en was in STONE 2.0 nog 275.000 ha. Van het beregende areaal wordt circa 2/3<sup>e</sup> deel beregend uit grondwater en 1/3<sup>e</sup> deel uit oppervlaktewater. De locaties waar beregend wordt is gebaseerd op de studie van Hooogeveen et al. (2003) en dient als invoer voor SWAP. Het model bepaalt vervolgens zelf, op basis van een aantal door de gebruiker te specificeren criteria, of berekening plaatsvindt. De gift op de betreffende dag wordt bij de neerslag opgeteld.

##### *Verdamping*

De referentiegewasverdamping in STONE 2.1 is berekend op basis van meteorologische waarnemingen in 5 hoofdstations. Voor de procesbeschrijving

wordt verwezen naar de Reference Manual SWAP version 3.0.3 en voor de parameterisering naar Kroes et al. (2003) en Van Bakel et al. (in voorbereiding). Voor de 4 verschillende hoofdklassen van gewassen in STONE (gras, akkerbouw, natuur en bos) wordt de potentiële verdamping afgeleid met behulp van de Leaf Area Index (LAI). Voor akkerbouw wordt de eigenschappen van het gewas aardappelen gehanteerd. Voor gras wordt opgemerkt dat gedurende het groeiseizoen een constante LAI van 3,0 is gehanteerd.

Een uitgebreide illustratie van de berekening van de verdamping in SWAP is in Bijlage 1 gegeven.

### *Interceptie*

Een deel van de bruto neerslag kan door de gewassen worden geïntercepteerd. In het modelconcept wordt aangenomen dat het water dat opgevangen wordt door interceptie nog dezelfde dag verdampt.

## **2.2 Discussie**

Er is veel discussie in de literatuur over de invloed van interceptieverdamping op de overige verdampingstermen. De gebruikte benadering is dat er geen verschil is in potentiële verdamping van een nat en een droog gewas. Ze zijn beide gelijk aan de referentiegewasverdamping maal een gewasfactor (die voor grasland 1,0 is). Bij de afleiding van de factoren in de formule van Makkink is de interceptieverdamping impliciet verdisconteerd zodat deze benadering niet leidt tot een systematische overschatting van de interceptieverdamping.

De gebruikte Swap-versie gaat er verder vanuit dat de geïntercepteerde neerslag altijd nog dezelfde dag verdampt. In de wintermaanden is dat niet altijd het geval omdat de potentiële verdamping lager is dan de hoeveelheid geïntercepteerde neerslag. Uit berekeningen is afgeleid dat dit leidt tot een overschatting van de berekende interceptieverdamping met zo'n 20 mm/jaar.

De formule van Makkink voor de berekening van de referentiegewasverdamping in de winterperiode (oktober-maart) is niet erg geschikt en is ook nooit door deskundigen aanbevolen (Feddes, 1987). De onzekerheid in de berekende verdamping is dan relatief groot. De gevolgen voor het neerslagoverschot zijn echter beperkt omdat de hoogte van de verdamping gedurende de winterperiode gering is (gemiddeld 80 mm per winterperiode).

Het aangenomen verloop van de bodembedekking c.q. Leaf Area Index (LAI) gedurende het jaar voor grasland (constant een LAI = 3,0) is niet conform de werkelijkheid. In hoofdstuk 3 (Gevoeligheidsanalyse) wordt hier eveneens nader op ingegaan.

De akkerbouwgewassen (open teelten) worden in STONE 2.1 gerepresenteerd door aardappelen. De vraag is of de verdamping van aardappelen inderdaad representatief

is. Daarover kan het volgende worden opgemerkt. De jaarlijkse verdamping van aardappelen en bieten is vergelijkbaar. Van het areaal open teelten is meer dan 50% aardappelen en bieten. Granen verdampen iets minder en ook het verloop gedurende het groeiseizoen is anders (vroeger in het seizoen hogere verdamping en vanaf half juli een sterke afname). Maar bij een nagewas zullen de verschillen in jaarverdamping gering zijn. Van akkerbouwmatige tuinbouw en vollegrondsgroenteteelt zijn geen geschikte meetgegevens beschikbaar, maar de grootste fout wordt veroorzaakt door het feit dat beide teeltvormen veel meer worden berekend dan aardappelen.

In de literatuur is uitgebreid gediscussieerd over de modellering van de wateropname door de wortels en hoe deze opname reageert op de hydrologische omstandigheden in de wortelzone. Voor de reductie onder invloed van droge omstandigheden kan worden opgemerkt dat dit proces een negatieve terugkoppeling heeft waardoor de gevoeligheid voor de keuze van de betreffende parameterwaarden relatief gering is. Dit geldt niet voor de parameterwaarden die bepalen wanneer de wortelopname reduceert onder invloed van natte omstandigheden. Akkerbouwgewassen op percelen met natte grondwatertrappen geven dan ook problemen bij de simulatie. Voor grasland zijn de parameterwaarden zodanig dat pas reductie optreedt als de wortels onder water zitten. In hoofdstuk 3 wordt hier nader op ingegaan.

In de schematisering van STONE 2.0 is de berekening in beperkte mate goed verwerkt in de waterbalans. Voor een goede implementatie van berekening in het huidige STONE-concept dienen de waterbalansen in het hydrologische grondwatermodel van de bovengrond (SWAP) te worden afgestemd met het model van de ondergrond (hier stationair NAGROM, maar idealiter niet-stationair). De berekening speelt hierin een rol, omdat zij een bijdrage levert aan de aanvulling van het grondwater (*recharge*), en bovendien voor ongeveer 2/3-deel wordt onttrokken uit het diepere grondwater (dus een onttrekking in het model van de ondergrond). In de STONE-schematisering is een aantal vereenvoudigingen toegepast, waardoor wellicht niet volledig correcte waterbalansen worden gecreëerd. Zo zijn de onttrekkingen niet in het diepe ondergrondmodel meegenomen, maar verdisconteerd als extra wegzijging van de extra grondwateraanvulling. Met name in de extra berekening van STONE 2.1 ten opzichte van STONE 2.0 worden in ieder geval te lage wegzijgingsfluxen gehanteerd, omdat voor deze gebieden helemaal geen terugkoppeling met het diepe grondwater is berekend.



### 3 Gevoeligheidsanalyse van het neerslagoverschot

#### 3.1 Verkenning van het belang op de N- en P-vrachten

Om het belang van het neerslagoverschot op de uitspoeling van nutriënten te onderzoeken zijn een aantal STONE-plots (UC's) geselecteerd. Totaal zijn twaalf plots gekozen uit de populatie van 6405 rekeneenheden die in STONE 2.1 zijn gehanteerd. Zie Bijlage 2, tabel B2.1. Omdat de interesse aanvankelijk vooral uitging naar de verdampingsreductie zijn vooral drogere Gt's geselecteerd.

Voor de 12 UC's zijn 2 varianten doorgerekend met STONE 2.1 met SWAP en daarna met Animo (om aldus de N- en P-belasting op het oppervlaktewater te berekenen):

1.  $E_{ref}$ : periode 1971 t/m 2000, waaraan een initialisatie van 3 jaar (1968 t/m 1970) is voorafgegaan. Kenmerken zijn gegeven in Bijlage 2, tabel B2.1.
2.  $E_{reduced}$ : als 1) maar dan met een reductie van  $E_{ref}$  met 20%.

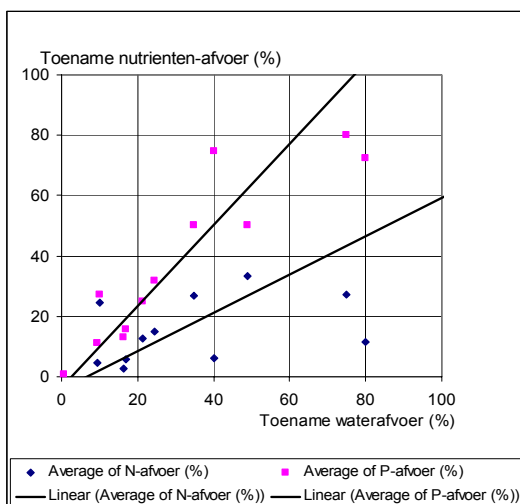
Voor de berekeningen is telkens gerekend met de meteogegevens van het KNMI district De Bilt (district nr 8). Voor deze analyse is, voor beide varianten, de berekening uitgezet, omdat het berekeningseffect op de verdamping de interpretatie te sterk zou beïnvloeden.

De resultaten staan in de tabellen B2.2 t/m B2.4 (Bijlage 2) als gemiddelden voor de klimaatreeks 1971-2000. De werkelijke (actuele) verdamping is de som van interceptie-, bodem-, en gewasverdamping. De waterafvoer is de som van afspoeling (runoff) en uitspoeling (drainafvoer naar maximaal 5 ontwateringsmiddelen). De N- en P-afvoer zijn eveneens de som van afspoeling en uitspoeling.

De resultaten voor de referentierun zien er aannemelijk uit. De combinaties met diepe grondwaterstanden zijn wegzijgingsprofielen. Eén combinatie (uc 3126) heeft geen of zeer weinig waterafvoer en dus ook weinig nutriëntenafvoer naar de plot zelf.

Uit de analyse blijkt het volgende:

- 1) De reductie van de verdamping met 20% blijkt gemiddeld genomen te resulteren in een reductie van de actuele verdamping met 18%. De gemiddelde wegzijging neemt iets toe (er is meer water beschikbaar) in een aantal plots waar als onderrandvoorwaarde een zogenaamde stijghoogte-relatie is opgelegd (de 'uitzakkers', zie van Bakel et al, in prep). De water-, N- en P-afvoer stijgen in alle combinaties (uc 3126 heeft vrijwel geen afvoer en de procentuele afname valt binnen de afrondingsmarge). De toename in water-, N- en P-afvoer is het grootst bij de nattere percelen.
- 2) Een verdampingsreductie van 20% resulteert in een gemiddelde toename van de N-afvoer met 15% en de P-afvoer met 30%. Daarmee is het effect van lagere verdamping op de P-afvoer tweemaal groter dan het effect op de N-afvoer (figuur 3.1).



Figuur 3.1 Toename (%) van N- en P-afvoer naar het oppervlaktewater als functie van toename (%) in waterafvoer

### 3.2 Verkenning van de effecten van berekening en vergelijking met de verdamping in de HELP-tabel

Om de effecten van berekening te onderzoeken zijn dezelfde 12 geselecteerde UC's doorgerekend voor een onberegende en beregende situatie voor zowel de gemiddelde klimaatreeks van 1971-2000 als voor het extreem droge jaar 1976.

In de situatie zonder berekening is de verdamping voor grasland met circa 45 mm (10%) gereduceerd voor de geselecteerde (droge) plots. In de HELP-tabellen worden grotere reducties in verdamping gegeven (Werkgroep HELP-tabel, 1987); zie tabel 3.1.

Tabel 3.1 Vergelijking van de met STONE 2.1 berekende veeljarig gemiddelde verdampingsreducties met de reducties volgens de HELP-tabel

Stone-plot	Grond-gebruik	Grond-watertrap	Verdampings-reductie volgens STONE 2.1 (mm)	Meest gelijkende HELP-eenheid	Verdampings-reductie volgens HELP-tabel (mm)
ipl 1420	gras	VII*	67 (12%)	Z1a (35)	134
ipl 3126	gras	VII*	25 (5%)	H1a (58)	116

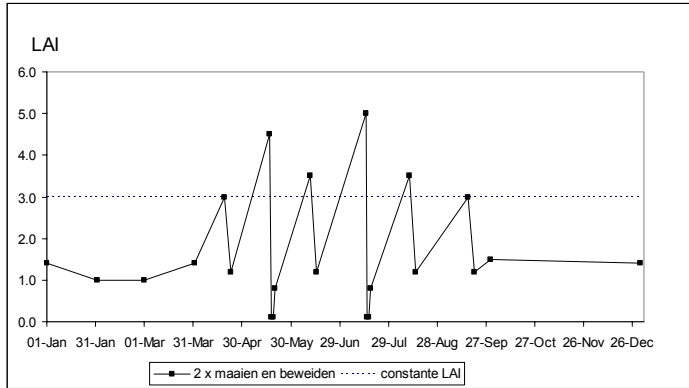
In het extreem droge jaar 1976 is de reductie in verdamping voor de 2 droge plots met grasland resp. 43% en 35% en is daarmee dus ongeveer 4 resp. 7 maal zo hoog als de veeljarig gemiddelde procentuele reductie.

Het effect van berekening voor de zeer droge Gt's (VII\*) is weergegeven in de tabellen B2.5 en B2.6 in Bijlage 2. Voor grasland op Gt VII\* wordt een optimale verdamping berekend als berekening wordt toegepast. In de praktijk wordt op droogtegevoelige gronden uitgegaan van een niet volledig opgeheven vochttekort bij toepassen van berekening.

### 3.3 Verkenning van de invloed van beweiding bij grasland

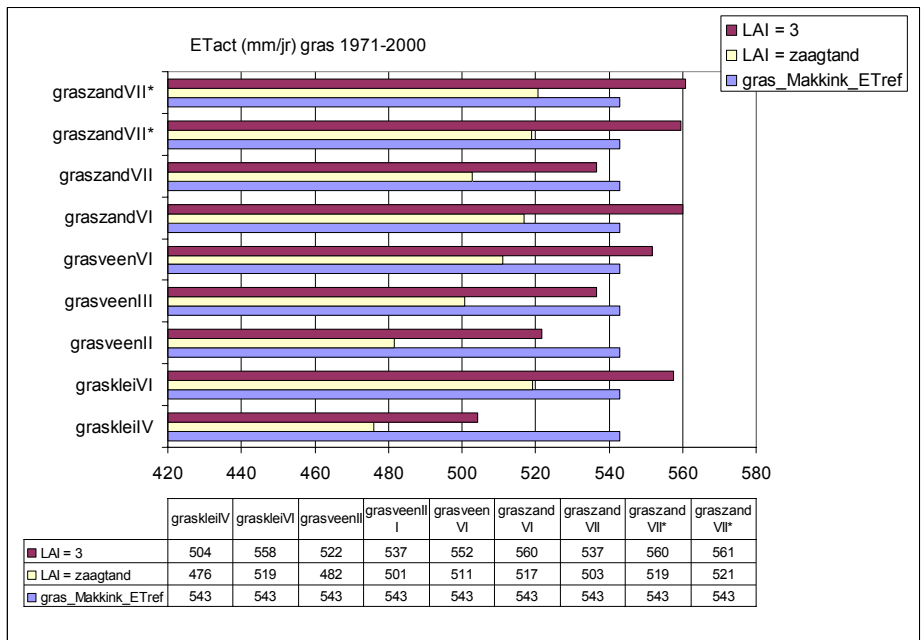
De groei van grasland is in SWAP nagebootst door een constant aanwezige graszode met een Leaf Area Index (LAI) van 3,0.

Een realistischer verloop is doorgerekend: een beweid grasland waarvan de LAI varieert tussen een minimum van 0,1 (net na het maaien), en een maximum van 5,0 (vlak voor het maaien van de 2<sup>e</sup> snede), zie figuur 3.2. De weergegeven waarden zijn afgeleid uit het Waterpas-project (De Vos et al., 2004).



Figuur 3.2 Het verloop van de LAI van een beweid en gemaaid grasland zoals gebruikt bij de gevoeligheidsanalyse

Met de LAI-waarden uit figuur 3.2 zijn de 9 graslandplots van de 12 geselecteerde plots doorgerekend. Dit resulteerde in een gemiddelde reductie van de veeljarig gemiddelde verdamping van 38 mm. Zie verder Bijlage 2, tabel B2.7 (-28 tot -43 mm) en figuur 3.3.



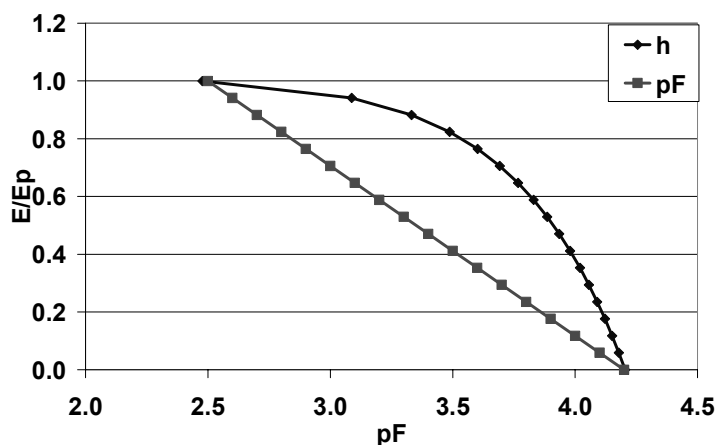
Figuur 3.3 De actuele verdamping (E in mm/jaar) van grasland bij LAI is 3,0 constant en LAI is zaagtandverloop volgens figuur 3.2

Voor het droge jaar 1976 is deze reductie gemiddeld 48 mm (Bijlage 2, tabel B2.8 (+56 tot -133 mm)).

### 3.4 Verkennen van alternatieve verdampingsreductiefuncties

Met het onverzadigde zone model MOZART (RWS-RIZA/WL, 1996) is een analyse uitgevoerd voor alternatieve benadering van de verdampingsreductiefunctie beschreven door Feddes et al. (1978) (de zogenoemde trapeziumfunctie), en de wijze waarop het aandeel overgebleven gewas na schade wordt geparаметeriseerd (overlevingsfractie van het gewas). Voor de analyse is als uitgangspunt de schematisering in MOZART gehanteerd voor een gemiddeld jaar (1967) en een extreem droog jaar (1976), op basis van voorlopige resultaten van de droogtestudie (RIZA, 2004).

De uitgangssituatie is gebaseerd op de reductiefunctie van Feddes waarbij de reductie van de verdamping uitgedrukt als fractie tov de potentiële verdamping aan de droge kant voorbij een zekere waarde lineair afneemt met de drukhoogte. Het alternatief is dat aan de droge kant van de functie de reductie lineair afhankelijk is van de pF-waarde in de wortelzone (zie figuur 3.4). Deze alternatieve methode is gebaseerd op de schematisering uit de PAWN-analyses. Bij deze methode zijn relatief minder droge omstandigheden nodig om tot (dezelfde) reductie te komen, ten opzichte van de benadering met lineaire afhankelijkheid van de drukhoogte.

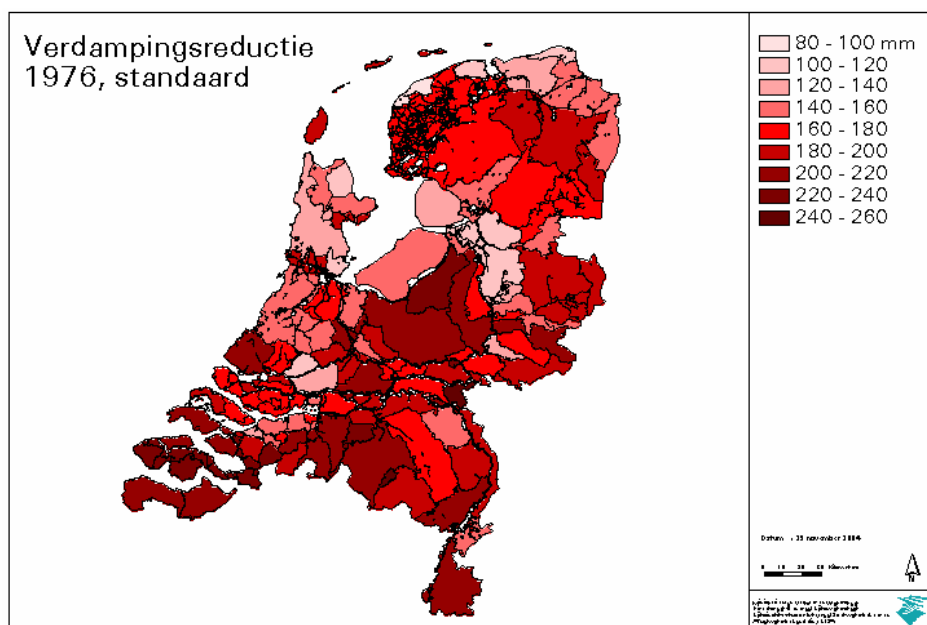


Figuur 3.4 Verschillende methoden voor benadering van de relatieve verdamping; lineaire afhankelijkheid van de pF (grijs) en lineaire afhankelijkheid van de drukhoogte (zwart).

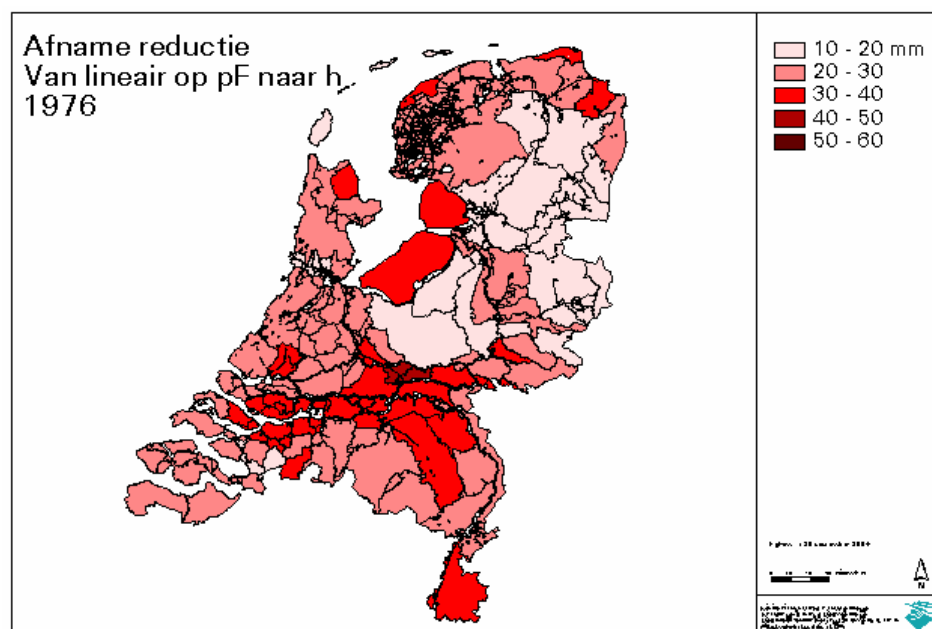
In figuur 3.5 is de verdampingsreductie in de uitgangssituatie berekend voor het jaar 1976, op basis van lineaire afhankelijkheid van de pF. De verdampingsreductie is uitgedrukt als het cumulatieve verschil tussen de potentiële verdamping en de actuele verdamping in het groeiseizoen. Bij de presentatie zijn de berekende waarden in gridcellen van 500 m met landgebruik landbouw of natuur gemiddeld over PAWN-districten. De reductie varieert ruimtelijk van 90 tot 250 mm/jaar, door een combinatie van eigenschappen van bodem en ondergrond en regionale spreiding van het neerslagtekort in het jaar 1976. Zeeland was bijvoorbeeld erg droog; het noordoosten van Nederland was relatief minder droog.



Het effect van aanpassingen van de reductiemethode naar lineaire afhankelijkheid van de drukhoogte is weergegeven in figuur 3.6. Voor het jaar 1976 wordt een gemiddelde toename van de jaarverdamping berekend van 25 mm. De spreiding is vooral afhankelijk van de bodemopbouw (retentiecurve) en de diepte van de grondwaterstand en varieert van ruim 10 mm in de oostelijke zandgebieden tot ruim 40 mm in het rivierkleigebied.



Figuur 3.5 Berekende verdampingsreductie (mm/jaar) in 1976, op basis van lineaire afhankelijkheid van de pF



Figuur 3.6 Effect van het veranderen van de reductiefunctie, voor de verdamping in het extreem droge jaar 1976

In tabel 3.2 is een overzicht gegeven van het effect van wijziging van de methode op de gemiddelde verdamping in Nederland voor het jaar 1967 en 1976.

Tabel 3.2 Berekende jaarlijkse verdamping bij verschillende methoden van verdampingsreductie

	Berekende verdamping	
	Gemiddeld jaar (1967)	Extreem droog jaar (1976)
Lineair op pF	460 mm	419 mm
Lineair op h	472 mm	444 mm

Om de berekende verdamping beter te kunnen beoordelen wordt de reductie van verdamping in het groeiseizoen beschouwd (tabel 3.3).

Tabel 3.3 Berekende relatieve verdamping (in procenten;  $100 * E/E_p$ ) in het groeiseizoen (1 april – 1 oktober) bij verschillende methoden van verdampingsreductie

	Berekende verdampingsreductie	
	Gemiddeld jaar (1967)	Extreem droog jaar (1976)
Lineair op pF	93%	67%
Lineair op h	96%	72%

Voor het gemiddelde jaar wordt op basis van deskundigenoordeel een verdampingsreductie van 5 à 10 procent verwacht. Voor het extreem droge jaar 1976 zijn opbrengstdepressies geschat voor de periode april t/m augustus van 20 à 30 procent in de poldergebieden en 40 à 50 procent in de zandgebieden (Van der Heijde, 1978).

Een duidelijke beoordeling welke methode beter is (na doorvertaling van verdampingsreductie in schade van gewassen met behulp van een agrohydrologisch model), is niet goed mogelijk. De berekende verdampingsreductie is te sterk afhankelijk van diverse invoerparameters in de uitgangssituatie, zoals de pF-grenswaarden waarbij verdampingsreductie begint op te treden en de gehanteerde bodemfysische eigenschappen. Bij de gehanteerde uitgangsschematisering in deze analyse, afkomstig uit de Droogtestudie, is gekozen voor een lineaire benadering op basis van de pF en zijn vervolgens onder meer genoemde parameters bijgesteld om te voldoen aan waterbalansen en grondwaterstanden.

### 3.5 Verkenning van een alternatief voor de overgebleven gewasfractie

In het model MOZART (RWS-RIZA/WL, 1996) is een optie om de potentiële verdamping van een tijdstap afhankelijk te maken van de opgebouwde schade in de voorgaande tijdstappen. Hiervoor wordt de overlevingsfractie (SF) bijgehouden in het model. Bij toepassing van deze optie wordt de actuele verdamping berekend op basis van de (droogte)schade in eerdere tijdstappen:

$$E = E_{ref} * \text{gewasfactor} * SF_{tm1} * f(pF)$$

waarin  $SF_{tm1}$  = overlevingsfractie ('survival fraction') van vorige tijdstap  
 $f(pF)$  = reductie als functie van pF-waarde in de wortelzone

In 1984 al werd hierover geadviseerd een dergelijke aanpassing niet door te voeren, op basis van veldstudies op de Sinderhoeve (Van der Giessen, 1984/1985). Wel werd aanbevolen om het reductiepunt in de Feddes-curve (zie figuur 3.4) afhankelijk te laten zijn van de potentiële verdamping. Dit laatste resulteerde in een kleine verbetering van de berekende actuele verdamping.

Ter analyse is het effect van implementeren van de overlevingsfractie beschouwd voor een gemiddeld jaar en een extreem droog jaar. De resultaten zijn samengevat in tabellen 3.4 en 3.5. Het invoeren van de overlevingsfractie voor droogte leidt tot een aanzienlijke reductie van de verdamping, zowel in het gemiddelde jaar als in het extreem droge jaar.

Tabel 3.4 Het effect van de overlevingsfractie op de berekende jaarlijkse verdamping

	Berekende actuele verdamping	
	Gemiddeld jaar (1967)	Extreem droog jaar (1976)
Uitgangssituatie zonder overlevingsfractie	460 mm	419 mm
Met overlevingsfractie	439 mm	343 mm

Tabel 3.5 Het effect van de overlevingsfractie op de berekende procentuele relatieve verdamping ( $100 \cdot E / E_p$ ) in het groeiseizoen (1 april – 1 oktober)

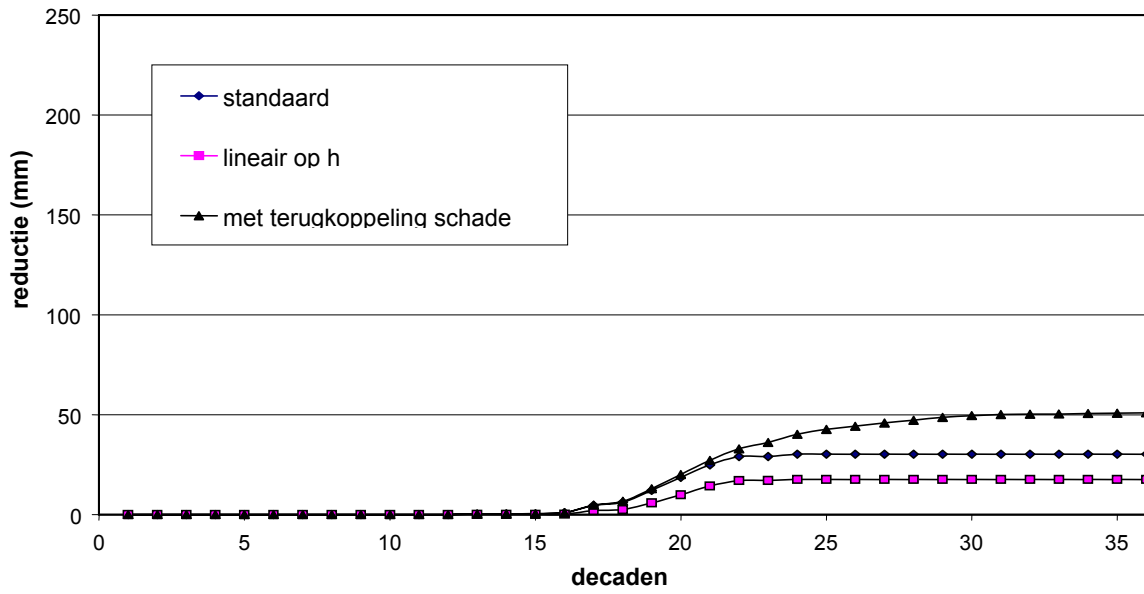
	Berekende verdampingsreductie	
	Gemiddeld jaar (1967)	Extreem droog jaar (1976)
Uitgangssituatie zonder overlevingsfractie	93%	67%
Met overlevingsfractie	89%	56%

In figuur 3.7 is de berekende verdampingreductie van de 2 methoden in de tijd uitgezet. Tevens is de methode met reductie op basis van lineaire afhankelijkheid van de drukhoogte uitgezet.

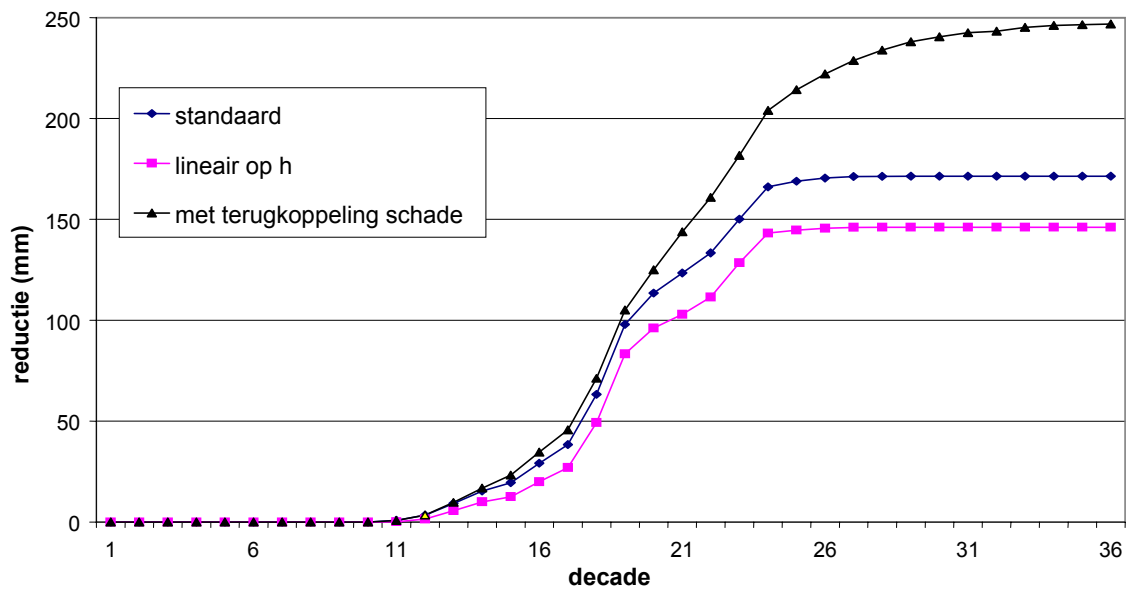
Duidelijk zichtbaar is dat de methode met overlevingsfractie zeer lang najlt, zelfs nog nadat de gewassen zijn geoogst. Dit betreft dan ook een sterke overdrijving van het effect van het laten meetellen van eerder opgetreden schade in de verdamping. De methode kan bruikbaar zijn; voorwaarde is dan wel dat de parameters worden herzien.

In de Droogtestudie Nederland is gekozen om het concept van overlevingsfractie **niet** mee te nemen omdat de resultaten, bij de in de literatuur genoemde parameterwaarden voor verdampingsreductie, tot onrealistisch hoge reductie van de verdamping zou leiden. In de uitgangssituatie, zonder overlevingsfractie, wordt voor Nederland een gemiddelde opbrengstdepressie berekend van ongeveer 35 procent voor het jaar 1976 ( met behulp van een agrohydrologisch model). Dit wordt realistisch geacht en ook vergelijkbaar met eerder genoemde waarden in de literatuur (Van der Heijde, 1978).

Verdampingsreductie 1967



Verdampingsreductie 1976



Figuur 3.7 Opbouw van de berekende verdampingsreductie ( $100 \cdot E/E_p$ , cumulatief) in de tijd voor verschillende benaderingen, voor een gemiddeld jaar (1967) en een extreem droog jaar (1976)

### 3.6 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk is het belang van de hoogte van het neerslagoverschot op de berekende N- en P-belasting op het oppervlaktewater en van een aantal processen en parameters die van invloed zijn op de hoogte van het neerslagoverschot nader geanalyseerd. De belangrijkste conclusies zijn:

- het neerslagoverschot heeft grote invloed op de door STONE 2.1 berekende N- en P-belasting van het oppervlaktewater;
- de reductie van de verdamping van droogtegevoelige eenheden ten gevolge van het uitschakelen van de berekening is duidelijk geringer in vergelijking met de reductie volgens de HELP-tabel;
- invoeren van een realistisch verloop van de bodembedekking bij grasland resulteert in een duidelijk lagere verdamping;
- wanneer de verdampingsreductie onder droge omstandigheden wordt benaderd door een lineaire relatie tussen de reductie en de pF, kan gemiddeld ongeveer 5 procent hogere reductie van de verdamping worden verwacht vergeleken met een lineaire relatie met de drukhoogte. Op basis van de uitgevoerde beknopte analyse kan niet één van beide methoden als beter worden beoordeeld;
- op basis van ervaringen in de Droogtestudie en eerdere aanbevelingen na de PAWN-analyse wordt doorwerken van eerder opgebouwde droogteschade door middel van een overlevingsfractie afgeraden, omdat dit tot te grote reductie van verdamping leidt. De analyse is beperkt tot in de literatuur gangbare waarden van droogteschadeparameters.



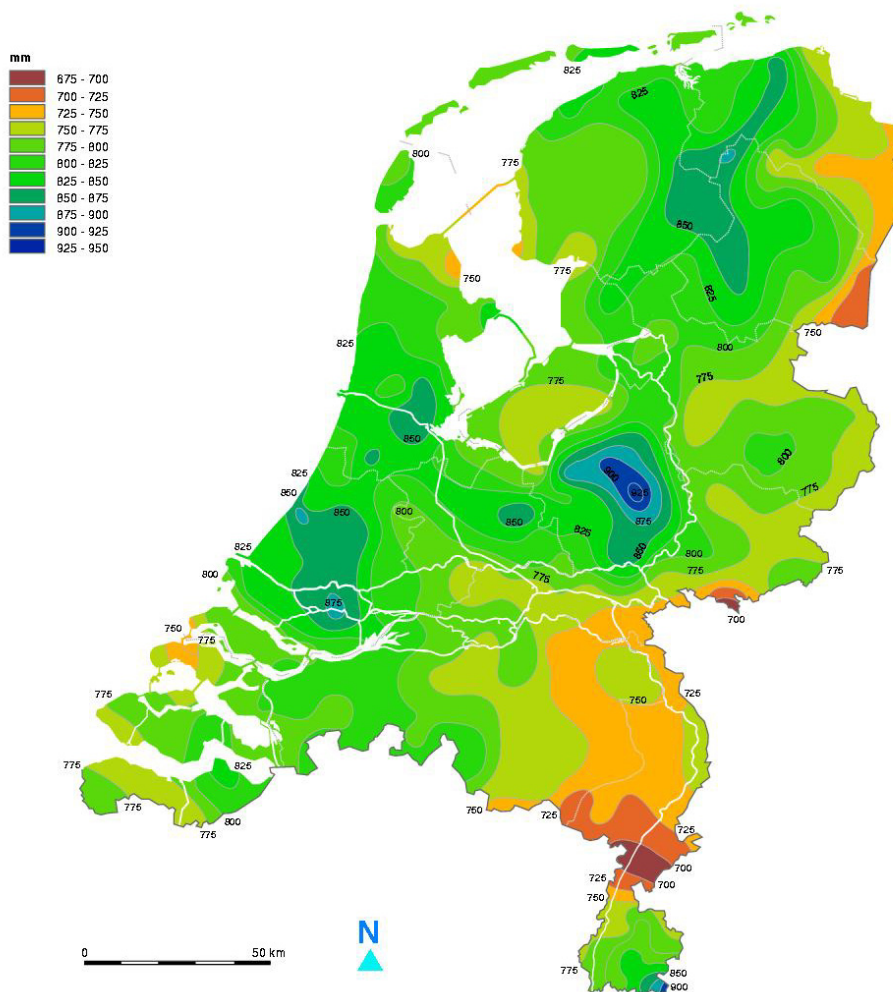
## 4 Literatuuronderzoek

### 4.1 Neerslag

#### 4.1.1 Historisch onderzoek

##### *Type regenmeter en windeffect*

De beschikbare hoeveelheid water voor (gewas)verdamping wordt voor een belangrijk deel bepaald door de neerslag. De ruimtelijk verdeling van de veeljarig gemiddelde jaarlijkse neerslag is weergegeven in figuur 4.1 (bron Klimaatatlas, Heijboer en Nellestijn, 2002).



*Figuur 4.1 Veeljarig gemiddelde jaarlijkse neerslag (Bron Heijboer en Nellestijn, 2002)*

Uit figuur 4.1 blijkt dat de veeljarig gemiddelde jaarlijkse neerslag varieert van 675-950 mm/jaar. Gemiddeld over Nederland bedraagt de neerslag 775 mm/jaar. Een aantal gebieden zijn duidelijk natter, o.a. Rijnland en de Veluwe. Ook zijn enkele gebieden duidelijk droger, o.a. oostelijk Noord-Brabant, en het zuidelijk deel van de

Achterhoek. Van de neerslag is bekend dat er in werkelijkheid meer regen valt dan wordt gemeten met de zogenaamde standaardregenmeter van het KNMI. De in de huidige praktijk toegepaste standaardregenmeter heeft een opvangtrechter van 200 cm<sup>2</sup> en een opstelhoogte van 0,40 m boven maaiveld. Deze standaardregenmeter heeft vanaf 1962 de oude standaardregenmeter geleidelijk vervangen (zie figuur B3.1, Bijlage 3.).

Voor het bepalen van de meetfout in de neerslag wordt ervan uitgegaan dat de metingen met een grondregenmeter een goede benadering geeft van de 'ware' neerslag. Om inzicht te krijgen in deze meetfout wordt puntsgewijs de beschikbare relevante literatuur beschreven en zijn de bevindingen eventueel aangevuld met interviews.

1. Colenbrander en Stol (Commissie ter bestudering van de Waterbehoefte van de Gelderse Landbouwgronden, 1970) hebben metingen van de neerslag met een standaardregenmeter en grondregenmeter onderling vergeleken in het Leerinkbeekgebied (Achterhoek). Dergelijke vergelijkingen waren door Braak reeds eerder in Nederland verricht, en in het buitenland zijn deze nog eerder uitgevoerd. Dit heeft o.a. geresulteerd in onderstaande tabel 4.1.

*Tabel 4.1 De jaarlijkse fluctuatie van het verschil tussen neerslaghoeveelbeden gemeten in de standaardregenmeter (Ps) en de grondregenmeter (Pg): Ps=100% (Commissie ter bestudering van de Waterbehoefte van de Gelderse Landbouwgronden)*

Maand	100(Pg-Ps)/ Ps
Januari	10,0
Februari	8,9
Maart	9,0
April	7,1
Mei	6,4
Juni	4,5
Juli	4,5
Augustus	4,1
September	5,8
Oktober	4,8
November	6,3
December	7,3

Uit tabel 4.1 blijkt een duidelijke seizoensinvloed. Die wordt toegeschreven aan een geringere windinvloed in de zomer door de te velde staande gewassen en het bladerdek van bomen en struiken. Volgens beide onderzoekers geven grondregenmeters een nauwkeuriger meting van de neerslag. De bij dit onderzoek gebruikte regenmeters hebben een opvangtrechter van 400 cm<sup>2</sup>. Deze opvangtrechter is afwijkend van de huidige toegepaste standaardregenmeter.

2. Volgens Warmerdam (1981) wordt gemiddeld door windinvloed een fout van 5 á 10 % gevonden in metingen met standaardregenmeters. Afhankelijk van beschutting en windsnelheid kan deze fout oplopen tot 80%. De standaardregenmeter heeft althans in Hupsel, een fout van 3,5%. In tabel 4.2 geeft Warmerdam de procentuele verhoudingen van de regenwaarnemingen met de



nieuwe standaardregenmeter 2 dm<sup>2</sup> (A2), de 2 dm<sup>2</sup> grondregenmeter (G2) en de Salland-opstelling (S2).

Tabel 4.2 Procentuele verhoudingen van de regenwaarnemingen met de nieuwe standaardregenmeter 2 dm<sup>2</sup> en 40 cm hoogte (A2), de 2 dm<sup>2</sup> grondregenmeter (G2) en de Salland-opstelling(S2). Periode 1972-1978.

Verhouding	Jaar	Winterperiode	Zomerperiode
A2/G2	96	96	97
A2/S2	95	94	96

3. Ook Buishand en Velds (1980) noemen verschillen tussen een regenmeter op 40 cm hoogte en een grondregenmeter .

Tabel 4.3 Verschillen tussen de neerslaghoeveelbeden gemeten met een grondregenmeter en een regenmeter op 0,40 m. Het verschil is uitgedrukt als percentage van de hoeveelheid in de meter op 0,40 m (Buishands en Velds, 1980)

Plaats	Tijdvak	Aantal maanden	Procentueel verschil			
			dec-feb	mrt-mei	jun-aug	sep-nov
Dirksland	1940-1944	41	10,6	9,5	6,6	6,7
Castricum	1941-1944	42	7,8	5,6	3,5	4,8
Leiduin	1941-1944	34	5,9	8,8	3,4	4,0
De Bilt	1943-1945	23	4,5	3,1	2,1	2,2
	1972-1975	43	7,6	6,1	3,2	4,8
Noordsleen	1973-1976	35	4,1	3,5	2,1	2,3
Eibergen	1972-1976	46	5,6	2,7	2,7	2,4

In de tabel is de verdeling over het jaar gegeven. In grote lijn is het windeffect het grootst in de winter en het laagst in de zomer. Bovendien blijkt uit de tabel dat er sprake is van een regionale spreiding; bij de kuststations is het verschil tussen de metingen groter dan in het binnenland. Een uitschieter vormt Dirksland, dit station was tijdens het onderzoek nauwelijks beschermd tegen de wind (gemiddeld 8,3%), in tegenstelling tot de kuststations Castricum en Leiduin die wel beschermd waren (resp. gemiddeld 5,4 en 5,5 %). Wel zijn de gemiddelden van Castricum en Leiduin hoger dan De Bilt, nl. 3% (periode 1943-1945). Recentere onderzoeken uit de periode 1972-1976 geven voor De Bilt, Noordsleen en Eibergen gemiddelde verschillen van resp. 5,4%, 3,0% en 3,3%. Volgens Buishand is het van belang of sprake is van een zogenaamde Engelse opstelling of van een standaardregenmeter buiten deze opstelling. Voor details wordt verwezen naar Bijlage 3.

4. Volgens Jilderda (KNMI) zijn er nooit regionale correctiefactoren bepaald. Hij verwees vooral naar de tabellen in Neerslag en Verdamping (Buishand en Velds, 1980) en de aanwezige kennis in Wageningen.
5. Volgens Warmerdam (WUR) is het zeer lastig om de neerslag te corrigeren. Hij raadde het af en adviseerde alleen te melden dat de gemeten neerslag lager is dan de werkelijke hoeveelheid.
6. Ook volgens Buishand is het lastig om de neerslag te corrigeren, maar wellicht beter om wel te corrigeren, dan niet te corrigeren. Wel dient rekening te worden

gehouden met de regionale spreiding, ook is duidelijk dat de winterafwijking hoger is dan zomerafwijking; 4% lijkt veilig, 8% is te hoog. Braak (1945) komt voor zijn 143 stations op een gemiddelde correctie van 5,5% uit (1,50 m t.o.v. 0 m). Ervan uitgaande dat de verschillen tussen 0,40 m en 0,0 m ongeveer de helft bedragen van die tussen 1,50 m en 0,0 m, dan zou 4% iets aan de hoge kant zijn.

7. De verkleining van de opvangtrechter van de standaardregenmeter heeft volgens Warmerdam geleid tot een grotere meetnauwkeurigheid van de neerslag. Echter in het algemeen geldt hoe groter de opvangopening des te nauwkeuriger de meting. Braak (1945) beschrijft een Frans onderzoek waaruit dit blijkt. Er zijn mogelijk andere factoren die tot verschillen kunnen leiden tussen de oude en de nieuwe standaardregenmeter. Het zijn echt twee verschillende typen regenmeters. Denkema (1980, 1981) geeft aan dat de nieuwe standaardregenmeter ongeveer 1% minder neerslag opvangt dan de oude standaardregenmeter. Dat is in feite tegengesteld aan wat Warmerdam vindt. De verschillen zijn niettemin klein.

#### *Interceptie van neerslag*

Niet alle neerslag die in de regenmeter terecht komt wordt ook geregistreerd. Een deel verdampt. Warmerdam noemt 3%, maar feitelijke achtergrondgegevens ontbreken nog. Warmerdam verwijst naar een stageverslag van Prak. Prak is hierover benaderd, maar het was door hem niet op korte termijn te achterhalen. Sevruk (1974) geeft voor de Hellmann regenmeter een *wetting loss* van ongeveer 3%. Buishand waarschuwt om voorzichtig te zijn met percentages; de *wetting loss* is wel afhankelijk van het type regenmeter.

### **4.1.2 Conclusies, aanbevelingen en discussie**

Uit het voorgaande kunnen de volgende conclusies worden afgeleid:

- het windeffect is duidelijk aangetoond;
- het effect is groter in de winter dan in de zomer;
- er is sprake van regionale spreiding, en toevallige spreiding (lokale eigenschappen regenmeters);
- het windeffect is groter bij de kuststations, zeker als deze onbeschermd zijn;
- naast het windeffect zijn er andere verliezen, zoals bevochtigingsverliezen die effect hebben op de meting van hoeveelheid neerslag.

Voor eventueel toekomstige correcties van neerslag wordt aanbevolen:

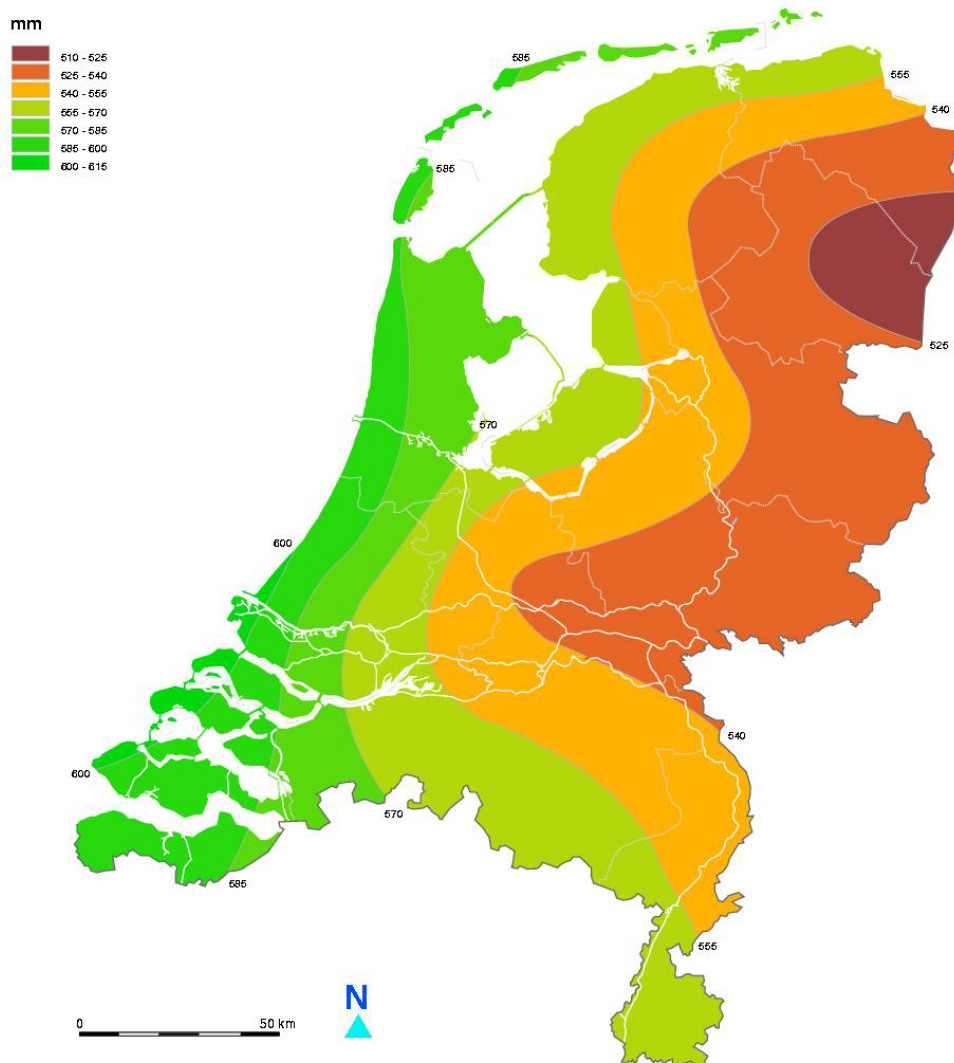
- correctie van de gemeten neerslag voor alle neerslagstations voor windeffect met 4% (Tabel 4.2, 4.3 en Bijlage 3, tabel B3.1);
- hierbij geen onderscheid te maken voor het seizoen;
- voor de kuststations een extra windeffect in rekening te brengen van 2%;
- geen correctie voor verdampingsverliezen in rekening te brengen.

De vraag kan worden gesteld of als je de neerslag gaat corrigeren, je dan ook nog de verdamping moet corrigeren. Bij de calibratie van de verdampingsparameters is in de meeste gevallen impliciet of expliciet gerekend met niet-gecorrigeerde neerslag. Het is

in ieder geval niet juist een model te kalibreren met gemeten neerslag en dit dan toe te passen met gecorrigeerde neerslag.

## 4.2 Ruimtelijke en temporele spreiding van de verdamping

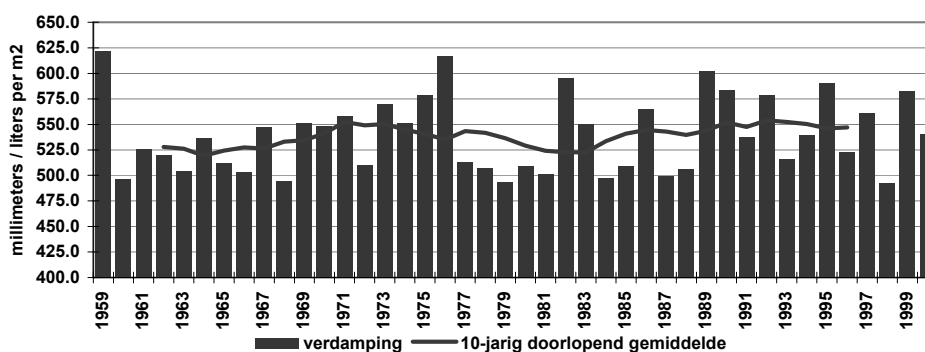
Sinds 1987 wordt de verdamping door het KNMI gepubliceerd als referentiegewasverdamping volgens Makkink. De veeljarig gemiddelde jaarlijkse referentiegewasverdamping is weergegeven in de Klimaatatlas voor de periode 1971-2000 (figuur 4.2). Gemiddeld over Nederland bedraagt de jaarlijkse referentiegewasverdamping 563 mm.



Figuur 4.2 Veeljarig gemiddelde jaarlijkse referentiegewasverdamping (Bron Heijboer en Nellestijn, 2002)

De verdamping is het hoogst langs de kust en neemt af in oostelijke richting. De laagste waarde worden gevonden nabij Ter Apel. Het verschil tussen de kust en Winterswijk bedraagt ca 80 mm. De gradiënt in de verdamping wordt vooral bepaald door de gradiënt in de globale straling, die eenzelfde verloop vertoont.

Jaarsommen van de referentiegwasverdamping volgens Makkink te De Bilt



Figuur 4.3 Jaarsommen volgens Makkink 1958-2000 (Bron Heijboer en Nellestijn, 2002)

In figuur 4.3 zijn de jaarsommen voor de referentiegwasverdamping weergegeven over de periode 1958-2000, deze reeks heeft de statistieken volgens tabel 4.4.

Tabel 4.4 Statistiek referentiegwasverdamping(Eref) voor De Bilt (Bron Heijboer en Nellestijn, 2002)

	Referentiegwasverdamping	jaar
Gemiddeld	538,4	
Maximaal	622,0	1959
Minimaal	492,2	1998
Maximaal (9-jaars voortschrijdend)	553,9	
Minimaal (9-jaars voortschrijdend)	519,2	

#### 4.2.1 Lysimeteronderzoek

Door Van der Molen (1975) zijn enkele resultaten van verdamping uit lysimeteronderzoek gegeven.

- Verdampingsmetingen te Castricum, 1956-1969:
  - onbegroeid duinzand 213 mm/jaar
  - natuurlijke duinvegetatie 481 mm/jaar
  - loofbos 518 mm/jaar
  - naaldbos 682 mm/jaar
- Lysimeters Wageningen (1952-1965):
  - gras op zand met constante grondwaterstand van 50 cm diepte (verdamping potentieel verondersteld): gemiddeld 560 mm/jaar.

Door De Gruyter (1957) zijn eveneens enkele resultaten van lysimeteronderzoek weergegeven (Bijlage 3, tabel B3.3 t/m B3.6). Uit tabel B3.3 blijkt dat de verdamping van gras bij natuurlijk waterverbruik in Rijnland in de periode 1942-1945 in de zomer (mei t/m oktober) gemiddeld 424 mm heeft bedragen.

In tabel B3.4 is de jaar- en zomerverdamping (1 april tot 1 oktober) voor kort gras weergegeven voor Rijnland. Voor de situatie zonder suppletie is de veeljarig gemiddelde verdamping resp. 522 en 380 mm. Deze getallen zijn echter niet gecorrigeerd voor veranderingen in de bodemvochtvoorraad. Voor Groningen zijn deze waarden 551 resp. 357 mm. De verschillen tussen de beide tabellen worden veroorzaakt door verschillen in tijdvak.

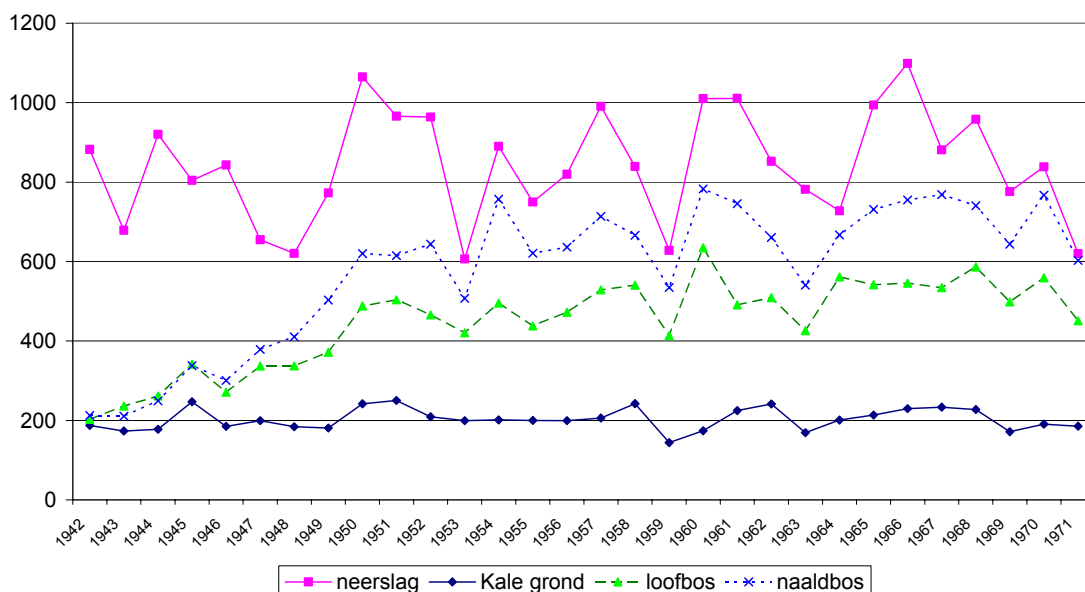
De gemiddelde winterverdamping voor lysimeters in Rijnland (november tot en met maart) bedraagt 60 mm (Bijlage 3, tabel B3.6).

De resultaten van begroeide lysimeters zonder grondwater over 18 jaar in Groningen geven voor begroeide lysimeters een verdamping van 514 mm en voor onbegroeide lysimeters 300 mm (Bijlage 3, tabel B3.5). De lysimeters zijn tot 1933 in vruchtwisseling bebouwd. In de jaren 1939 en 1940 met bieten, resp. kanariezaad en daarna met gras tot voorjaar 1946.

De Werkcommissie voor het verdampingsonderzoek (1972) meldt dat de verdamping voor het drainage-lysimeterveld in Groningen over de periode 1952-1962 voor de maanden april t/m oktober gemiddeld 416 mm bedraagt. Voor Wageningen, wordt voor met gras begroeide lysimeters over de periode 1952-1962, voor de maanden april t/m oktober, een gemiddelde van 422 mm gevonden.

Gedurende de jaren 1942 – 2000 is in Castricum de verdamping van natuurlijke vegetaties gemeten m.b.v. grote 25x25 m lysimeters. Neerslag en drainwaterafvoer zijn gemeten en de verdamping is als restterm bepaald. Er waren 4 lysimeters met de vegetaties: kale grond, duinstruweel, loofbos en naaldbos. Naast de al eerder gegeven cijfers door Van der Molen zijn door Van der Hoeven (1997-2003) de gegevens gedigitaliseerd. Pena (2003) heeft een eerste analyse op de gegevens van de eerste 30 jaar (1942-1971) uitgevoerd. De gemiddelde neerslag over de 20 jaren van 1952-1971 bedraagt 852 mm/jaar. Over die periode bedraagt de gemiddelde verdamping van kale grond, loofbos en naaldbos respectievelijk 205, 506 en 674 mm/jaar (zie Bijlage 3, tabel B3.8 en figuur 4.4 voor details).

### Neerslag en verdamping (mm/jaar)



Figuur 4.4 Gemiddelde jaarlijkse neerslag en verdamping van kale grond, loofbos en naaldbos in de lysimeters van Castricum.

### Conclusies

Lysimeteronderzoek is al relatief oud. De omstandigheden waaronder de proeven in het verleden zijn uitgevoerd zijn vaak niet goed gedocumenteerd zodat we hieraan geen al te harde conclusies kunnen ontleen. Voor Castricum is een lange aaneengesloten reeks beschikbaar. De metingen zijn wel onderhevig aan het kusteffect.

Enkele representatieve cijfers afgeleid uit lysimeteronderzoek zijn:

Kale grond	200 mm (300 mm: De Gruyter)
Natuurlijke duinvegetatie	480 mm
Loofbos	520 mm
Naaldbos	680 mm
Gras	535 mm
Akkerbouw	515 mm

### 4.2.2 Historische waterbalansen

Van der Molen (1975) geeft enkele waarden voor de verdamping van de volgende objecten:

### *Waterbalans meren*

Als restpost van de waterbalans (neerslag+aanvoer=verdamping+afvoer+peilstijging)

IJsselmeer:  $E_0=650$  mm/jaar

### *Waterbalans stroomgebieden*

Verdamping nagenoeg gelijk aan afvoertekort  $V=N-A$

Methode alleen bruikbaar voor langere perioden (ivm bergingsverschillen).

Rijn (>20 000 km <sup>2</sup> )	475 mm
Maas (>20 000 km <sup>2</sup> )	495 mm

Dommel 1953-1964	487 mm
De Oude IJssel 1954-1969	480 mm

Door Meinardi (1994) worden voor stroomgebieden/regio's de volgende waarden voor de jaarlijkse verdamping gegeven:

Drenthe 1931-1960	477 mm/jaar
Salland	430 mm/jaar
Regge	450 mm/jaar
Leerinkbeek 1952-1960	440 mm/jaar
Dommel	495 mm/jaar

### *Waterbalans polders*

Neerslag +kwel+inlaat=verdamping+uitgeslagen water + bergingsveranderingen.

Elink Sterk (1897) elimineerde de kwel door de balans van de Haarlemmermeer (met kwel) te vergelijken met die van Rijnland (nagenoeg geen kwel).

Haarlemmermeer (Elink Sterk, 1897)	481 mm
Haarlemmermeer (nieuwere gegevens)	495 mm
Rijnland	510 mm
Rottegatpolder (1956 t/m 1962)	455 mm
Wieringermeer (1948 t/m 1966)	484 mm

### *Rijnland*

Door De Gruyter (1957) zijn eveneens gegevens voor Rijnland verzameld. Voor de Haarlemmermeer is de kwel becijferd op 150 mm/jaar, en voor heel Rijnland 15 mm/jaar (Elink Sterk, 1897/1898). Door Elink Sterk en Van Everdingen (1922) is de gemiddelde maandelijkse verdamping voor het polderland van West-Nederland afgeleid (tabel 4.5).

Tabel 4.5 Gemiddelde maandelijkse verdamping voor polderland in West-Nederland (De Gruyter, 1957)

Periode	Verdamping
januari	4
februari	8
maart	16
april	38
mei	67
juni	102
juli	106
augustus	72
september	40
oktober	17
november	7
december	4
jaar	481

Op grond van latere onderzoeken en nieuwe cijfers heeft A.G. Bruggeman (1952) een verdamping van 510 mm voor Rijnland en 495 mm voor de Haarlemmermeer berekend.

#### *Rottegatspolder*

Voor de periode 1947-1971 zijn door de Werkcommissie Verdampingsonderzoek (1972) waterbalansen opgesteld voor de Rottegatspolder: een akkerland op klei, groot 83,1 ha. In het midden ligt het drainagelysimeterveld (4,6 ha). In Bijlage 3, tabel B3.11, is de waterbalans voor de polder gegeven. Gesommeerd over de periode 7 december 1956 t/m 1 februari 1971 (14 jaar) is op basis van de waterbalans van de polder 6534 mm verdampt. Dit komt overeen met een gemiddelde verdamping van 466,7 mm/jaar.

#### *Leerinkbeekgebied*

Door de Commissie ter bestudering van de Waterbehoefte van de Gelderse Landbouwgronden (1970) is waterbalansonderzoek verricht in het stroomgebied van de Leerinkbeek in Oost-Gelderland. Voor 4 deelgebieden zijn aan de hand van metingen waterbalansen opgesteld voor hydrologische jaren (1 april – 1 april). De resultaten zijn weergegeven in tabel 4.6 en in Bijlage 3, tabel B3.7. De jaren 1965 en 1966 waren nat. In het Leerinkbeek-rapport wordt aannemelijk gemaakt dat in de periode 1964-1967 de potentiële verdamping is gehaald.

Tabel 4.6 Verdampingstotalen voor vier deelgebieden (10, 12, 13 en 14) voor de periode 1964-1967 volgens waterbalansen toegepast in het Leerinkbeekgebied naar Commissie ter bestudering Waterbehoefte van de Gelderse Landbouwgronden (1970)

Gebied	E <sub>ref</sub>	E <sub>10</sub>	E <sub>12</sub>	E <sub>13</sub>	E <sub>14</sub>
1964/1965	497	511	452	509	501
1965-1966	418	384	436	445	471
1966-1967	412	483	523	518	491
1964-1967	442	460	470	491	488

De gemiddelde jaarlijkse verdamping over de periode 1964-1967 bedraagt 480 mm.



### Hupsel

De geohydrologische basis van het gebied wordt als redelijk dicht beschouwd, verder is de pakketdikte beperkt, zodat de laterale in/uitstroming kan worden verwaarloosd. Mede op grond van deze overwegingen is dit gebied als meetgebied gekozen. Door Stricker (1981) zijn waterbalansen gegeven voor Hupsel (tabel 4.7).

Tabel 4.7 Verdampingstotalen voor de periode 1976-1978 voor Hupsel, naar Stricker (1981)

jaar	E <sub>ref</sub>	N	Afvoer	E	E/E <sub>ref</sub>
1 maart - 31 dec. 1976	594,5	383,4	24,1	385	0,65
1977	513,4	801,1	229,1	421	0,82
1978	507	673,3	226,3	436,2	0,86
Mrt '76-'78	1614,9	1857,8	479,5	1242,2	0,77

Voor de periode 1984 -1993 is de werkelijke verdamping bepaald uit het verschil in neerslag en afvoer (Bijlage 3, tabel B3.12 en tabel 4.8). Deze bedraagt gemiddeld 515,2 mm.

Tabel 4.8 Verdampingstotalen afgeleid uit verschil tussen neerslag en afvoer voor de periode 1984-1993 voor Hupsel

jaar	Neerslag- Afvoer
1984	483,0
1985	509,0
1986	542,3
1987	490,3
1988	498,0
1989	487,3
1990	590,3
1991	468,0
1992	516,7
1993	567,3
Gemiddeld	515,2

De gemiddelde afvoer over de periode 1984-1993 bedraagt 325,2 mm, de neerslag minus afvoer is 515,2 mm. Dit is 97 % van de referentiegewasverdamping van 533,6 mm.

### De Oude IJssel

Door de Provincie Gelderland (1991) is een waterbalans opgesteld voor het stroomgebied van de Oude IJssel over de periode 1955-1989 (Bijlage 3, tabel B3.9). Het doel van het onderzoek was om na te gaan of er een stijgende trend was in de evapotranspiratie gedurende de voorgaande decennia. De conclusie was dat dit niet het geval is. Het stroomgebied heeft een oppervlak van 120 000 ha, waarvan 86 000 ha in Duitsland zijn gelegen. Voor bepaling van de neerslag zijn 3 Nederlandse neerslagstations gebruikt, waarbij Aalten voor 40%, Doetinchem voor 20% en Winterswijk voor 40% zijn meegewogen. Kwel en wegzijging, evenals instroming van grondwater en oppervlaktewater zijn op nul gesteld, wat voor een stroomgebied die aan de onderzijde wordt begrensd door een ondoorlatende basis is geoorloofd. Voor

uitstroming van grondwater is 72 mm/jaar in rekening gebracht, als gevolg van ondergrondse afvoer (18 mm/jaar) en schutwaterverlies en wegzijging uit het laagste 'kanaalpan' van de Oude IJssel 54 mm/jaar. Ter informatie, uit de kwelkaart van STONE volgt echter een gemiddelde jaarlijkse kwel van 35,8 mm (0,0981 mm/d). De afvoer is gemeten bij het stuwcomplex in Doesburg. Bergingsveranderingen in grond- oppervlaktewater zijn verwaarloosbaar.

De gevonden actuele verdamping uit de waterbalans:

$$E = N - A - 72$$

is weergegeven in Bijlage 3 (tabel B3.9), en bedraagt gemiddeld 401 mm/jaar, of 75% van de referentiegewasverdamping. Bij deze waarde kunnen de volgende opmerkingen worden geplaatst. Gezien de verhouding tussen het Nederlands deel en het Duitse deel van het stroomgebied is het de vraag of de gebruikte neerslag representatief is. Een globale neerslagkaart van Duitsland wekt de indruk dat de neerslag toeneemt in oostelijke richting. Een nadere analyse van de neerslag voor het Nederlandse deel van het stroomgebied geeft geen wezenlijk verschil met de neerslag volgens de Provincie. Wel is het bedrag voor ondergrondse verliezen relatief groot.

#### *Noordoostpolder*

Door De Wit (1991) zijn gegevens verzameld waarmee een waterbalans kan worden opgesteld voor de Noordoostpolder over de periode 1951-1980 (Bijlage 3, tabel B3.10). De Noordoostpolder heeft te maken met kwel vanuit de omgeving. Deze post is door De Wit vastgesteld op 438 mm/jaar voor de periode 1951-1957, en neemt door de inpoldering van Flevoland af tot 419,7 mm/jaar. Echter de hoogte van de kwel is nooit rechtstreeks gemeten maar afgeleid als restpost uit waterbalansmetingen. De kans op cirkelredeneringen is dan ook groot.

#### **4.2.2.1 Samenvatting**

In tabel 4.9 zijn de resultaten samengevat.

Met weglating van twee gemarkeerde onderzoeken varieert de veeljarig gemiddelde verdamping tussen 430 en 515 mm/jaar, en is gemiddeld 476 mm/jaar.

Tabel 4.9 Overzicht van de gemiddelde verdamping uit beschikbare literatuur.

Gebied	Type	Periode	Verdamping	bron
Dommel	vrij afwaterend	'53-'64	487	Van der Molen (1975)
Oude IJssel	vrij afwaterend	'54-'69	480	Van der Molen (1975)
Oude IJssel	vrij afwaterend	'55-'89	401	Provincie Gelderland (1991)
Drenthe	vrij afwaterend	'31-'60	477	Meinardi (1994)
Salland	vrij afwaterend		430	Meinardi (1994)
Regge	vrij afwaterend		450	Meinardi (1994)
Leerinkbeek	vrij afwaterend	'52-'60	440	Meinardi (1994)
Dommel	vrij afwaterend		495	Meinardi (1994)
Haarlemmermeer	polder		495	Van der Molen (1975)
Rijnland	polder		510	Van der Molen (1975)
Rottegatpolder	polder	'56-'62	455	Van der Molen (1975)
Rottegatpolder	polder	'47-'71	467	Werkcommissie verdampingsonderzoek (1971)
Wieringermeer	polder	'48-'66	484	Van der Molen (1975)
Leerinkbeekgebied	vrij afwaterend	'64-'67	480	Commissie waterbehoefte landbouwgronden (1970)
Hupsel	vrij afwaterend	'84-93	515	Stricker (1981)
Noord-Oostpolder	polder	'51-'80	590	De Wit (1991)

### 4.2.3 Verdampingsfluxmetingen

Het KNMI heeft diverse metingen verricht in en om de meetmast van Cabauw (<http://www.knmi.nl/onderzk/atmoond/cabauw/cabauw.html>). De omgeving van Cabauw bestaat hoofdzakelijk uit grasland. Gedurende de jaren 1986 – 1996 zijn gradiëntenmetingen uitgevoerd, daarna is men overgestapt op andere methoden (o.m. eddy-correlatie). Uit de reeks is een 10-jarige reeks (1987 t/m 1996) van verdampingsfluxen afgeleid door omzetting van de latente warmte flux (LE) op basis van de de 30 minuten gemiddelde meetwaarden (beschreven in Beljaars en Bosveld, 1997).

Dit resulteerde in een gemiddelde jaarlijkse verdamping van 547 mm voor de reeks 1987-1996, zie tabel 4.10. Ter vergelijking: de veeljarig gemiddelde referentiegewas-verdamping voor dezelfde periode 1987-1996 in De Bilt bedraagt 548 mm.

Tabel 4.10 Metingen (mm/jaar) in Cabauw: verdamping zonder temperatuurcorrectie ( $E_{noC}$ ), verdamping met temperatuurcorrectie ( $E$ ) en neerslag ( $P$ ) en referentie-gewasverdamping ( $E_{ref\_DeBilt}$ ) in De Bilt

Jaar	$E_{noC}$	$E$	$P$	$E_{ref\_DeBilt}$
1987	517	524	931	499
1988	512	519	1006	506
1989	551	560	711	603
1990	537	545	817	583
1991	517	524	691	538
1992	587	596	952	579
1993	539	547	979	517
1994	564	572	956	540
1995	567	576	714	590
1996	502	510	575	523
gemiddeld	547	539	833	548

### Discussie

Beljaars en Bosveld (1997) geven een discussie over de betrouwbaarheid van de verdampingsmetingen. Zij schatten dat de fout voor maandsommen  $10 \text{ W m}^{-2}$ , ofwel ca. 11 mm per maand. Door Bosveld (zie Bijlage B, notitie Annex A) is een schatting van de fout gemaakt, die uitkomt op 7% van de gemiddelde jaarlijkse verdamping (E). Bij een gemiddelde verdamping van 547 mm/jaar is dit een RMSE van 38 mm/jaar, waarmee het jaargemiddelde van de metingen vrijwel zeker ligt tussen 471 en 623 mm/jaar (95% betrouwbaarheidsinterval ofwel  $2 \times \text{RMSE}$ ).

## 4.2.4 Natuurlijke vegetaties

Door Spiexsma et al. (1995) wordt een overzicht gegeven van bestaande kennis over de verdamping van de in Nederland voorkomende natuurterreinen. Daaruit blijkt de verdamping sterk te variëren, afhankelijk van het vegetatietype en de lokale omstandigheden. Een ruwe schatting geeft een minimale spreiding van 491 – 654 mm/jaar aan (tabel 4.11).

Tabel 4.11 Gemiddelde jaarlijkse verdamping van natuurlijke vegetaties in Nederland

Vegetatietype	E (mm/jaar)
natte heide	500 - 520
vernat hoogveenrest	654
grasland op hoogveenrestant	491
hoogveen	506 - 654

Door Dolman et al. (2000) is het waterverbruik van Nederlandse bossen geïnventariseerd aan de hand van metingen en literatuurstudie. De verdamping van donker naaldhout is met 730 mm/jaar het hoogste en de verdamping van gemengd loofbos het laagst ( $555 \pm 20 \text{ mm/jaar}$ ) (tabel 4.12).

Tabel 4.12 Gemiddelde jaarlijkse verdamping van bossen in Nederland

Vegetatietype	E (mm/jaar)
donker naaldhout	730
licht naaldhout	$630 \pm 35$
beuk	558
gemengd loofbos	$555 \pm 20$
populier	$625 \pm 30$
lariks	$580 \pm 35$

De hoge verdamping van donker naaldhout komt goed overeen met waarden die Tiktak and Bouten (1994) hebben gevonden. Zij hebben voor de Garderen-locatie (Speulerbos) uitgebreid gekeken naar verdamping en de verschillende deelprocessen. Voor dit zeer dichte Douglasbos ( $\text{LAI}=10$ ) vinden zij dat bij een veeljarig gemiddelde neerslag van 834 mm/jaar een veeljarige totale evaporatie van 712 mm/jaar, onderverdeeld in 317 mm/jaar interceptie, 363 mm/jaar transpiratie en 32 mm/jaar bodemverdamping.

#### 4.2.5 Overige metingen

Bastiaanssen heeft een methode ontwikkeld (SEBAL) om aan de hand van thermische remote sensing metingen de actuele verdamping te schatten. Zie voor een toepassing bijv. Bastiaanssen en Roozkrans (2003). Hierbij gaat hij ervan uit dat de temperatuur van het aardoppervlak informatie geeft over de verdampingscondities van het oppervlak. Met dit algoritme gekoppeld aan de Penman-Monteith vergelijking kan een schatting van de verdamping worden gemaakt. In het kader van een STOWA-project is deze techniek toegepast. De gevonden afwijking tussen de Makkink referentiegewasverdamping en de met SEBAL berekende verdamping over de periode 1995 t/m 2002 (excl. 1997) is gemiddeld +94 mm/jaar ( $E_{ref} = 571$  mm en  $E_{Sebal} = 478$  mm), variërend tussen -200 en +300 mm/jaar.

Meinardi (1994) heeft op basis van interpretatie van tritiumdata de grondwateraanvulling bepaald. Op grond van deze analyse komt hij tot de conclusie dat op zandgronden de som van de verdampingsreductie en de beregeningsgift een orde-grootte heeft van 70 mm/jaar. Dit tekort komt overeen met het tekort volgens de HELP tabel.

#### 4.2.6 Conclusies en discussie

De resultaten van een beknopt literatuuronderzoek naar gemeten verdamping zijn in tabel 4.13 samengevat. Daarbij zijn alleen resultaten weergegeven van onderzoek waar meerdere jaren continue gemeten is. Het is een beperkt resultaat, waarbij het ontbreken van resultaten voor cultuurgewassen anders dan grasland opvalt.

Tabel 4.13 Samenvatting literatuuronderzoek naar verdamping

Landgebruik – Stone2.1	Vegatatie / gewas	ET act (mm/jaar)		Bron
		gemiddeld	min - max	
-	kale grond	206	144 – 250	30 jr Lysimeter Castricum (Bijlage 3 tabel B3.9)
Natuur	hoogveen	544	491 – 654	Tabel 4.10
Natuur	natte heide		500-520	Spieksma et al., 1995
Naaldbos	donker naaldbos	730		Dolman et al., 2000
Naaldbos	licht naaldbos	630		Dolman et al., 2000
Loofbos	gemengd loofbos	555		Dolman et al., 2000
Natuur - Naaldbos		674	507 – 784	30 jr Lysimeter castricum (Bijlage 3 tabel B3.9)
Natuur - Naaldbos	Douglas spar	712		Garderen (Tiktak en Bouten)
Natuur - Loofbos		506	414 – 635	30 jr Lysimeter Castricum (tabel 4.5)
Cultuur - grasland		547	510 – 596	Cabauw (tabel 4.9)
Cultuur - grasland		522/544	514-565 (Gron)	Lysimeters Groningen/Rijnland (De Gruyter)

Uit waterbalansonderzoek in polders en stroomgebieden blijkt dat de veeljarig gemiddelde verdamping varieert tussen 455 en 515 mm/jaar. Deze onderzoeken zijn

uitgevoerd in polders en stroomgebieden waarbij meerdere vormen van landgebruik naast elkaar voorkomen.

#### *Discussie*

De in dit hoofdstuk gepresenteerde literatuurgegevens betreffen veelal oudere gegevens. Het is bekend dat de landbouwkundige productie de afgelopen 40 jaar met zo'n 40% is toegenomen. Dat daardoor de verdamping is toegenomen staat buiten kijf. Een conservatieve schatting is een toename van 20% (Van Bakel en De Wit, 1995). Dat betekent dat de waarde van veel verdampingscijfers uit de literatuur voor de beoordeling van de plausibiliteit van de door het STONE 2.1-instrumentarium berekende verdamping beperkt is.

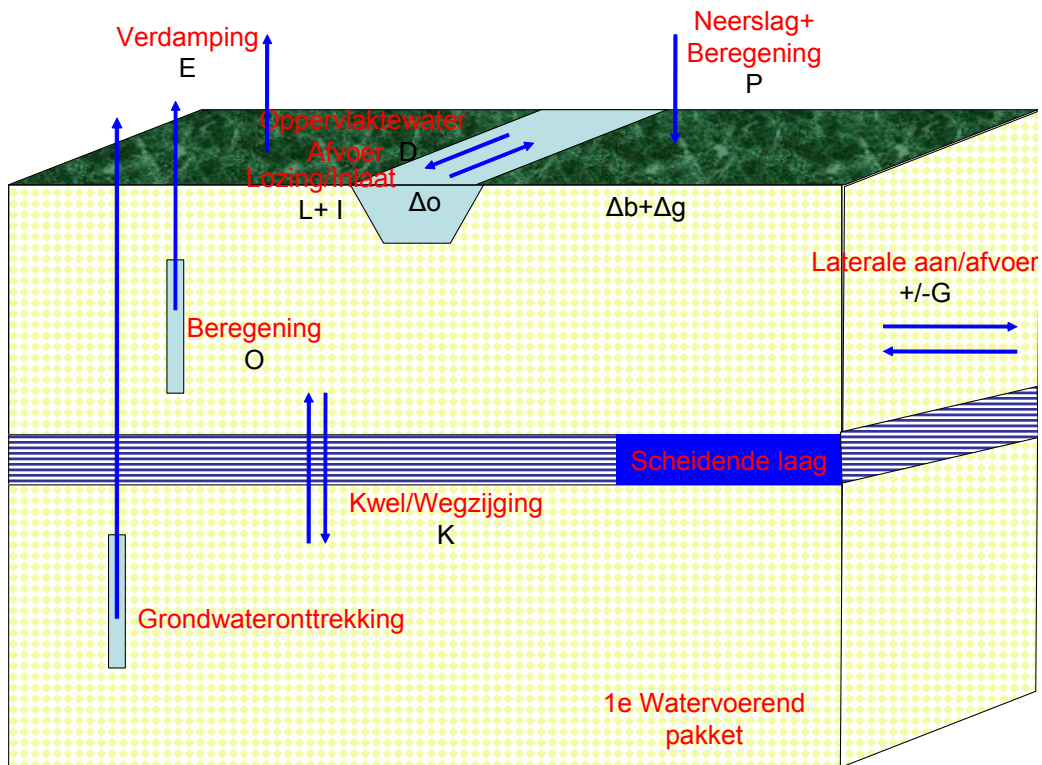
## 5 Verdamping afgeleid uit regionale waterbalansen

### 5.1 Werkwijze

Om de berekende verdamping uit STONE 2.1 te kunnen toetsen aan de praktijk zijn meetgegevens verzameld om waterbalansen op te kunnen stellen voor een zo groot mogelijk aantal waterstaatkundige eenheden, binnen de grenzen van tijd en budget. Om praktische redenen is de waterbalans zo veel mogelijk vereenvoudigd (zie volgende paragraaf).

#### 5.1.1 De waterbalans

In figuur 5.1 zijn de verschillende termen van de waterbalans weergegeven.



Figuur 5.1 De termen van de waterbalans van het topsysteem van een gebied

De waterbalans kan als volgt worden geformuleerd:

$$E=P+K -D+G+I-O+L-\Delta_o-\Delta_g-\Delta_b+R$$

waarin E = verdamping

P = neerslag incl. beregeningsgiften

O = onttrekkingen aan het grondwater boven scheidende laag

K = kwel (>0) of wegzijging (<0)

D = gebiedsafvoer (oppervlaktewater)

I = inlaat van oppervlaktewater

G = netto laterale grondwaterstroming

L = lozingen op oppervlaktewater (bijv. RWZI)

$\Delta_o$  = bergingsverandering in oppervlaktewater

$\Delta_g$  = bergingsverandering in grondwater

$\Delta_b$  = bergingsverandering in bodemvocht

R = restterm

Bergingsveranderingen zijn lastig te bepalen. Door echter uit te gaan van een hydrologisch jaar of een reeks van jaren kunnen de bergingsveranderingen bij benadering op nul worden gesteld. De waterbalans wordt hiermee sterk vereenvoudigd.

$$E=P+K -D+G+I-O+L$$

Bij het opstellen van waterbalansen kan verder onderscheid worden gemaakt in stroomgebieden en polders.

Voor grote stroomgebieden geldt dat de netto laterale grondwaterstroming bij benadering 0 mm is. Bovendien is inlaat van water veelal niet mogelijk of verwaarloosbaar. De verdamping is dan:

$$E=P- D - O + L$$

Als de onttrokken hoeveelheid binnen het gebied wordt geloosd (O=L) dan wordt de balans verder vereenvoudigd tot:

$$E=P- D$$

Voor polders geldt dat de laterale grondwaterstroming kan worden verwaarloosd. Diepe onttrekkingen zijn verdisconteerd in de kwel of wegzijging. De verdamping is dan:

$$E=P - D +I + K + L$$

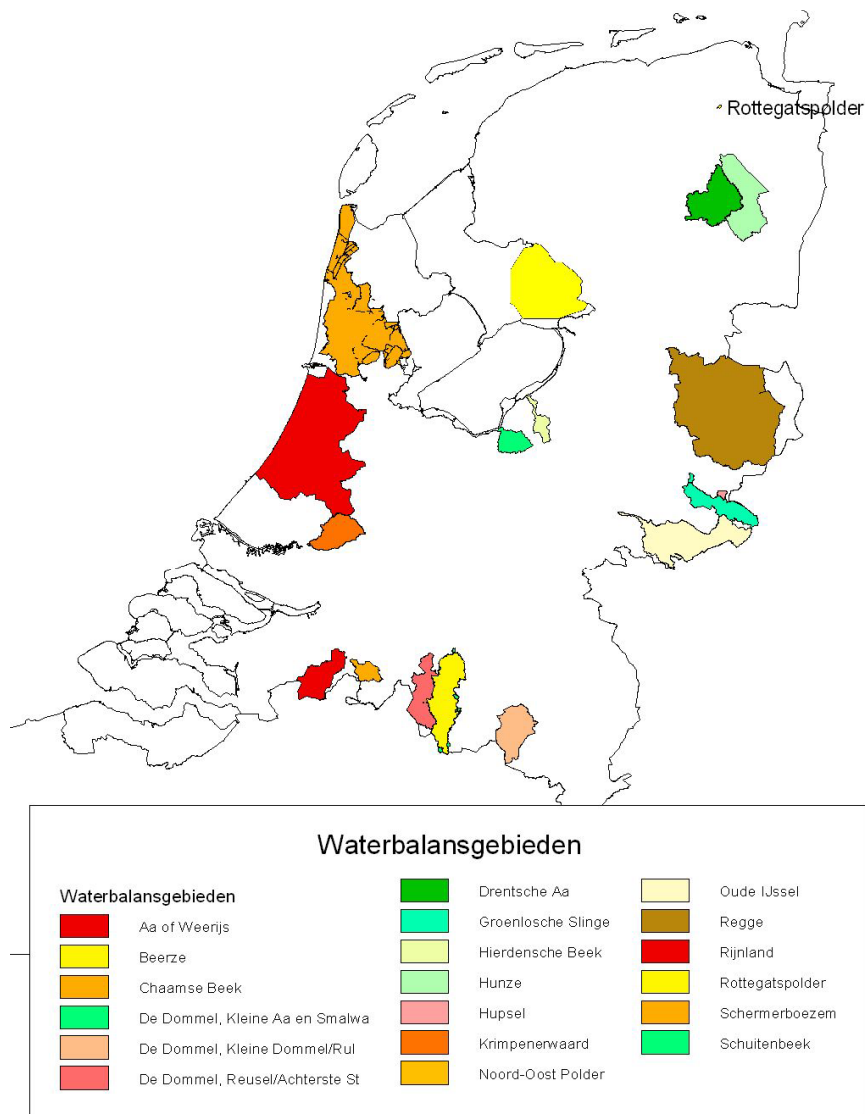


### 5.1.2 De gebieden

Om inzicht te krijgen in de grootte van de 'ware' verdamping zijn een aantal gebieden geïnventariseerd waarvoor afvoermetreeksen beschikbaar zijn. Op voorhand zijn selectiecriteria opgesteld, zoals:

- aaneengesloten reeks van minimaal 5 jaar;
- begindatum van de metingen bij voorkeur niet ouder dan 20 jaar;
- oppervlakte minimaal 5000 ha;
- afvoergegevens in digitale vorm beschikbaar;
- overwegend gras/of bouwland, dus beperkt areaal stedelijk gebied en natuur;
- duidelijk begrensd stroomgebied, gelegen binnen Nederland;
- grootte van de kwel/wegzijing redelijk bekend.

In figuur 5.2 zijn de geselecteerde gebieden weergegeven.



Figuur 5.2 Ligging van de geselecteerde balansgebieden

Er is onderscheid gemaakt in poldergebieden en stroomgebieden.

#### *Poldergebieden*

Voor 4 poldergebieden (tabel 5.1) zijn gegevens verzameld. Deze poldergebieden hebben een areaal, variërend van 13 600 tot 100 000 ha. De Krimpenerwaard is een echt veenweidegebied, omgeven door buitenwater (Hollandsche IJssel en Lek). Verder is de Noordoostpolder (reeds besproken in paragraaf 4.2.2) meegenomen. De overige twee gebieden zijn boezemgebieden, bestaande uit een bergboezem met polders die op de boezem lozen. Beide gebieden bestaan uit een combinatie van veenweidegebied en droogmakerijen. In Rijnland komt een aanzienlijk areaal aan akkerbouw voor, binnen de Schermerboezem is het areaal akkerbouw beperkt. Binnen de balansgebieden ligt soms een aanzienlijk areaal stedelijk gebied. Het areaal open water is in beide boezemgebieden relatief groot, terwijl het areaal bosgebied beperkt is.

*Tabel 5.1 Waterbalansgebieden in Laag-Nederland met landgebruik volgens LGN*

Balansgebied	Grondsoort	Areaal (ha)	Periode	% water	% stedelijk	% bos
Krimpenerwaard <sup>1</sup>	veen	13 679	1991-2003	0,5	12,2	0,9
Noordoostpolder	klei/zand	48 232	1951-1980	1,0	6,5	4,3
Schermerboezem <sup>1</sup>	klei/veen	71 000	1977-1997	3,4	18,8	1,0
Rijnland <sup>1</sup>	klei/veen	100 000	1991-2002	7,2	23,2	4,4

<sup>1</sup> Het areaal open water in veenweidegebieden is in werkelijkheid groter dan uit LGN kan worden afgeleid.

#### *Stroomgebieden*

Voor 13 stroomgebieden (tabel 5.2) zijn gegevens verzameld om de waterbalans op te stellen. De gebieden variëren in oppervlakte van 654 ha (Hupsel) tot 134 000 ha (Regge en Dinkel). De grondsoort is overwegend zand.

*Tabel 5.2 Waterbalansgebieden in Hoog-Nederland met landgebruik volgens LGN*

Balansgebied	Areaal (ha)	Periode	% water	% stedelijk	% bos	% naaldbos
Dommel, Reusel stuw Hondsberg	16 000	1980-1999	1,2	10,9	20,7	15,0
Dommel, Kleine Dommel/Rul	20 514	1980-1999	1,6	10,5	22,9	18,6
Dommel, Kleine Aa/Dommeltje Smalwater	23 739	1977-1997	0,7	8,1	23,5	17,1
Regge en Dinkel	134 620	1996-2000	1,1	14,1	11,6	6,1
Groenlosche Slinge	18 800	1997-2003	0,6	7,3	6,5	1,8
Hunze	25 005	1990-1994	0,6	5,7	12,8	7,3
Chaamse Beek	4989	1990-1999	0,3	7,3	32,7	25,1
Aa of Weerijis	14 820	1990-1999	0,6	7,7	10,5	5,5
Schuitenbeek	7406	1988-1994	0,4	10,6	33,6	21,2
Hierdense beek	4815	1990-1998	0,2	7,4	22,6	17,6
Beerze	24 674	1986-1998	0,8	8,0	23,4	17,1
Drenthse Aa	22 374	1993-2001	0,7	7,1	21,0	13,3
Hupsel	654	1984-1993	0,0	4,3	4,5	0,4

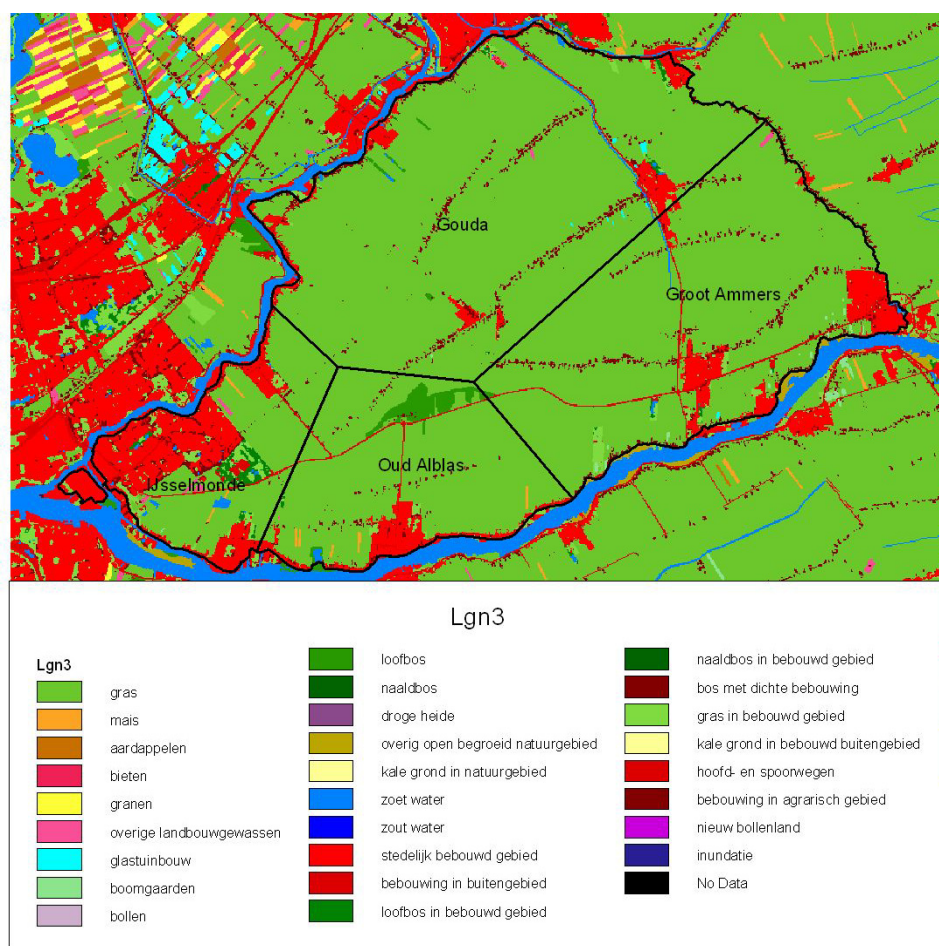
Het aandeel open water is volgens LGN gering; het stedelijke gebied varieert tussen 4,3 en 14,1%. Het areaal bos varieert sterk tussen de stroomgebieden: van 4,5 tot 33,6%, waarbij het totale areaal naaldbos kan variëren van 0,4% tot 25,1%. Vooral naaldbos heeft een hogere verdamping dan de andere landgebruiksvormen.

### 5.1.3 De waterbalanstermen

De balansen zijn opgesteld per kalenderjaar. Achtereenvolgens worden de verschillende posten van de waterbalans kort besproken.

#### *Neerslag*

Voor het berekenen van de gebiedsneerslag zijn voor de KNMI-neerslagstations Thiessen-polygonen bepaald. Vervolgens zijn deze Thiessen-polygonen geclipt voor elk balansgebied en is de fractie bepaald van de bijdrage van elk neerslagstation aan de gebiedsneerslag. Als voorbeeld is de werkwijze voor de Krimpererwaard weergegeven in figuur 5.2 en tabel 5.3.



*Figuur 5.3 Krimpererwaard met Thiessenpolygonen voor de gebruikte neerslagstations.*

Tabel 5.3 Fracties waarin de neerslagstations bijdragen aan de gebiedsneerslag van de Krimpenerwaard.

Neerslagstation	Fractie
Groot Ammers	0,30177
Gouda	0,40468
IJsselmonde	0,13060
Oud Alblas	0,16295

#### *Afvoer/Inlaat*

De afvoergegevens zijn afkomstig uit meerdere bronnen, nl. waterschappen/hoogheemraadschappen, literatuur of verzameld in het kader van andere onderzoeken. Er is geen controle op de kwaliteit van het meetpunt uitgevoerd. De gegevens zijn veelal geleverd in m<sup>3</sup> of m<sup>3</sup>/periode, en aan de hand van de gebiedsgrootte omgerekend naar mm. Naast afvoer wordt er in West-Nederland ook water ingelaten. Deze hoeveelheden zijn op dezelfde manier omgerekend naar mm. Gebieden met grote onbemeten inlaten (hevels) zoals Wieringermeer zijn afgevallen.

#### *Grondwateronttrekkingen*

Grondwateronttrekkingshoeveelheden zijn niet bekend of niet verzameld. Voor de stroomgebieden is de onderrand afgeleid uit de berekeningen met NAGROM/MOZART (Kroon et al., 2001). Hierin zijn de onttrekkingen verdisconteerd. Voor zover de onderrandflux afkomstig is uit andere studies in West-Nederland is deze verdisconteerd in de kwel/wegzijinging.

#### *Lozingen*

Lozingen op het oppervlaktewater vinden plaats door o.a. RWZI's, overstorten en gasbronnen. Voor een beperkt aantal gebieden zijn gegevens over lozingen van RWZI's bekend en meegenomen. Voor andere gebieden is de bijdrage geschat. Van overstorten zijn geen gegevens achterhaald. Extra lozingsbronnen zijn de gasbronnen in West-Nederland. De capaciteit is niet nauwkeurig bekend. Daarnaast is er vanwege de veelal grote belasting door zout en nutriënten een tendens om gasbronnen te sluiten. Voor zover mogelijk is getracht de bijdrage van de gasbronnen in te schatten.

#### *Kwel/wegzijinging*

Indien een onafhankelijke bron beschikbaar was waaruit de kwel kon worden afgeleid is hiervan bij voorkeur gebruik gemaakt. Voor de meeste gebieden was dit echter niet het geval en is uitgegaan van de onderrand zoals door NAGROM-MOZART berekend. In eerste instantie is gebruik gemaakt van de kwelkaart die is toegepast tbv de parameterisering voor STONE 2.0. Deze geldt voor 1985. Door RIZA zijn recent nieuwe berekeningen uitgevoerd waarbij, voor de periode 1970-2002, per jaar de kwel is berekend. Voor de waterbalansgebieden is hieruit de kwel geselecteerd over de periode waarop de waterbalans betrekking heeft. In Bijlage 4, tabel B4.1 zijn deze kwelcijfers naast elkaar gezet. De verschillen tussen de beide versies zijn soms aanzienlijk, van enkele mm's tot 135 mm bij de Hierdense beek.

De kwaliteit van de beschikbare gegevens verschilt per balansgebied. Om de resultaten te kunnen beoordelen zijn de verschillende balansgebieden ingedeeld in 4

categorieën (tabel 5.4) met categorie 1 als de meest betrouwbare, enz. De afwegingen hiervoor zijn opgenomen onder de kolom Opmerkingen.

Tabel 5.4 *Kwaliteitsbeoordeling balansgebieden*

Balansgebied	Categorie (1-4)	Opmerkingen Waterbalans
Krimpenerwaard	1	
Schermerboezem	2	gasbronnen
Rijnland	2	groot aandeel stedelijk gebied
Noordoostpolder	2	groot aandeel kwel
Dommel, Reusel stuw Hondenberg	2	15% naaldbos
Dommel, Kleine Dommel/Rul	3	19% naaldbos
Dommel, Kleine Aa/Dommeltje Smalwater	2	17% naaldbos
Regge en Dinkel	3	korte reeks
Groenlosche Slinge	3	kwel en lozingen slecht bekend
Hunze	4	korte reeks, veel onbekend
Chaamse Beek	4	korte reeks, veel bos
Aa of Weerij	4	korte reeks, veel bos
Schuitenbeek	4	korte reeks, bos, onderrand/kwel
Hierdense beek	4	korte reeks, bos, onderrand/kwel
Beerze	2	bos, onderrand
Drenthse Aa	2	bos, onderrand
Hupsel	1	gesloten onderrand

Het doel van het onderzoek is om de verdamping berekend met het STONE-instrumentarium te vergelijken met de verdamping afgeleid uit waterbalansen. De verdamping berekend met STONE 2.1 heeft betrekking op de landgebruiksvormen landbouw en natuur binnen het stroomgebied, exclusief stedelijk gebied en open water. De waterbalans is echter opgesteld voor het gehele gebied, dus inclusief stedelijk gebied en open water. Om de cijfers vergelijkbaar te maken dient de verdamping te worden gecorrigeerd voor het aandeel open water en stedelijk gebied. Voor open water gaan we ervan uit dat dit areaal als open water verdampt. De verdamping is hiervoor gelijk gesteld aan  $1,25 * E_{ref}$ . Verhard oppervlak verdampt veel minder dan niet-verhard oppervlak. Voor de bepaling van het areaal is uitgegaan van het LGN dat al redelijk is gefilterd op niet-verhard oppervlak binnen het stedelijk gebied. Aangenomen is dat van het areaal stedelijk gebied 50% verhard is en niet verdampt en dat de overige 50% evenveel verdampt als het omliggende landelijke gebied.

De verdamping voor een waterbalansgebied is dan als volgt opgebouwd:

$$E_{\text{stroomgebied}} = \text{fractie}_{L+N} * E_{L+N} + \text{fractie}_{St\_Geb} * E_{St\_geb} + \text{fractie}_{Op\_Wat} * E_O$$

Hierin is:  $E_{\text{stroomgebied}}$  = verdamping voor stroomgebied afgeleid uit waterbalans in mm  
 $E_{L+N}$  = verdamping landbouw en natuurgebieden in mm  
 $E_{\text{St}_\text{Geb}}$  = verdamping stedelijk gebied in mm  
 $E_{\text{O}}$  = verdamping open water in mm  
 $\text{fractie}_{L+N}$  = fractie totale areaal aan landbouw en natuurgebied  
 $\text{fractie}_{\text{St}_\text{Geb}}$  = fractie totale areaal aan stedelijk gebied  
 $\text{fractie}_{\text{Op}_\text{Wat}}$  = fractie totale areaal aan open water

Verder is:

$$\text{fractie}_{L+N} + \text{fractie}_{\text{St}_\text{Geb}} + \text{fractie}_{\text{Op}_\text{Wat}} = 1$$

$$E_{\text{O}} = 1,25 * E_{\text{ref}}$$

$E_{L+N}$  is de verdamping afgeleid uit de waterbalans, die kan worden vergeleken met de STONE 2.1-verdamping:

$$E_{L+N} = \frac{E_{\text{stroomgebied}} - \text{fractie}_{\text{Op}_\text{Wat}} * 1,25 * E_{\text{ref}}}{(\text{fractie}_{L+N} + 0,5 * \text{fractie}_{\text{St}_\text{Geb}})}$$

In Bijlage 4, tabel B4.2 zijn per balansgebied twee factoren bepaald, nl:

- correctiefactor voor openwaterverdamping ( $\text{fractie}_{\text{Op}_\text{Wat}} * 1,25 * E_{\text{ref}}$ )
- $\text{fractie}_{L+N} + 0,5 * \text{fractie}_{\text{St}_\text{Geb}}$

Met behulp van deze twee factoren is de berekende verdamping uit de waterbalans om te rekenen naar  $E_{L+N}$ .

## 5.2 Resultaten

### 5.2.1 Poldergebieden

De waterbalans voor de poldergebieden is weergegeven in tabel 5.5.

Tabel 5.5 Waterbalansen in Laag Nederland

Balansgebied	$E_{\text{ref}}$	N	Afvoer	kwel	RWZI	E	$E_a/E_{\text{ref}}$
Krimpenerwaard	557,0	880,8	365,4	11	11,5	537,2	0,97
Schermerboezem <sup>1</sup>	558,5	817,4	467,9	1,7	35,7	420,8	0,75
Rijnland <sup>2</sup>	588,2	916,8	524,3	-9,4	117,8	500,9	0,85
Noordoostpolder	522,5	795,7	629,6	424		590,1	1,13

<sup>1</sup> Voor Schermerboezem is verder rekening gehouden met een afnemende bijdrage vanuit gasbronnen. Deze bijdrage is in 1977 op 40,7 mm gesteld en neemt lineair af tot 25,9 mm in 1997.

<sup>2</sup> Voor Rijnland is de post RWZI incl. sluizen

In tabel 5.6 is de verdamping van grasland en natuur voor poldergebieden, rekening houdend met stedelijk gebied ( $E_{\text{corr}}$ ), weergegeven.

Tabel 5.6 Verdamping in Laag Nederland rekening houdend met stedelijk gebied

Balansgebied	$E_{ref}$	$E_{corr}$	$E_{corr}/E_{ref}$
Krimpenerwaard	557,0	572,1	1,03
Schermerboezem	558,5	464,5	0,83
Rijnland	588,2	566,6	0,96

Een belangrijke onbekende voor de Schermerboezem zijn de nog aanwezige gasbronnen (Van der Gaast, 1996). Dit aantal is door sanering in de loop der tijd steeds kleiner geworden. In de huidige situatie wordt het aantal bronnen nog op ca. 200 geschat.

## 5.2.2 Stroomgebieden

In tabel 5.7 is de verdamping voor stroomgebieden, afgeleid uit waterbalansen,  $E_{act}$  weergegeven. Voor een aantal gebieden is de bijdrage van RWZI's niet bekend. Omdat voor bekende gebieden de bijdrage ca. 20 mm bedraagt, is voor de gebieden waar deze cijfers ontbreken eveneens 20 mm aangehouden. Het aandeel stedelijk gebied is overwegend kleiner dan bij de poldergebieden en daarom is geen correctie toegepast.

Tabel 5.7 Verdamping van een aantal stroomgebieden in Hoog-Nederland

Balansgebied	$E_{ref}$	N	Afv	Kwel	RWZI	E	$E/E_{ref}$
Dommel, Reusel stuw Hondsborg	542.0	836.9	330.2	-50.8	27.9	483.8	0.89
Dommel, Kleine Dommel/Rul	541,0	759.5	291.2	-22.9	11.3	456.7	0.84
Dommel, Kleine Aa/Dommeltje							
Smalwater	537.1	775.7	236.9	-75.4	17.4	480.8	0.90
Regge en Dinkel		864	321.8	-30	21	533.2	
Groenlosche Slinge	565.1	887.1	426	-26.5	(20)	454.6	0.80
Chaamse Beek	570.5	776.8	192.6	-42.1	(20)	562.1	0.99
Aa of Weerij	570.5	845	335.6	-63.4	(20)	466.0	0.82
Schuitenbeek	552.1	945.1	175.3	-161.9	(20)	627.9	1.14
Hierdense beek	546.9	935.3	193.7	-330.5	(20)	431.1	0.79
Beerze	562.6	775	218.5	-68.7	(20)	507.8	0.90
Drenthse Aa	535.6	940.5	279.5	-86.8	(20)	594.2	1.11
Hupsel	539.8	840.4	325.2	-357.6	(20)	177.6	0.33
Hupsel aangepast	539.8	840.4	325.2			515.2	0.95

De waterbalansperiode voor het gebied De Hunze is erg kort en is mede daarom weggelaten. Bovendien geven de afvoercijfers en daarmee de resulterende verdamping weinig vertrouwen. Een verdere onbekende is de grondwaterstroming via de onder- en zijrand. Hiervoor is gebruik gemaakt van de kwelkaart van NAGROM. Voor Hupsel geeft de kwelkaart een gemiddelde jaarlijkse wegzijging van 285,7 mm. Dit komt niet overeen met de werkelijkheid en is daarom aangepast (0 mm). Voor grotere gebieden is de verwachting dat de kwelkaart beter bruikbaar is, maar afwijkingen blijven een rol spelen (zie Bijlage 4, tabel B4.1).

### 5.3 Samenvatting

Voor de Krimpenerwaard blijkt de berekende verdamping uit de waterbalans praktisch overeen te komen met de referentiegewasverdamping. Deze bevinding komt goed overeen met de verdampingsfluxmetingen van Cabauw, die representatief zijn voor een vergelijkbaar gebied. Voor de overige poldergebieden is de verdamping lager dan voor de Krimpenerwaard. De waterbalans is veelal minder nauwkeurig vast te stellen, vanwege onbekendheid met de grootte van kwel (NOP), aandeel gasbronnen (Schermerboezem) en areaal open water (veengebieden Rijnland en Schermerboezem). Daarnaast is het aandeel stedelijk gebied groot.

Voor stroomgebieden varieert de verdamping tussen 431,1 (Hierdense Beek) en 627,9 mm (Schuitenbeek). De verdamping wordt voor een aantal gebieden sterk beïnvloed door de grootte van de gebruikte kwel/wegzijging uit NAGROM. Dit geldt vooral voor de stroomgebieden op de Veluwe: Hierdensche beek en Schuitenbeek. De verdamping voor stroomgebieden is overwegend lager dan de referentiegewasverdamping.



## 6 Vergelijking met de verdamping van STONE 2.1

### 6.1 Vergelijking berekende verdamping met het literatuuronderzoek

Een eerste indruk van de waarde van de berekende verdamping in STONE 2.1 wordt verkregen door de berekende waarden te vergelijken met de in de literatuur gevonden waarden. Er kan slechts een globale indruk worden verkregen omdat de beschouwde periode en locaties niet zuiver vergelijkbaar zijn. De waarden die voortkomen uit het lysimeteronderzoek gelden voor specifieke locaties en beperkte periodes, terwijl voor de berekening in STONE 2.1 is gekeken naar het landelijke, veeljarige gemiddelde.

Tabel 6.1. *Vergelijking uitkomsten literatuuronderzoek met de berekende verdampingswaarden in STONE 2.1*

Gebied- /Landgebruik	Balansbere- keningen (mm)	Lysimeter- resultaten (mm)	Berekende verdamping (mm) in STONE 2.1 (1971-2000)		
			Totaal	onberegend	beregend
Nederland	455-515		530	528	544
Polders (Holoceen)	455-510		510	508	528
stroomgebieden in hoog-Nederland (Pleistoceen)	480-515		548	547	552
Cabauw	547				
gras		522 / 544		532 (524- Holoceen en 542- Pleistoceen)	569
mais				480	525
aardappels				479	485
loofbos		555	611		
naaldbos		630-730	672		
overige natuur		491-654	520		
kale grond - leemarm - overig		200-300	215 306		

Uit de vergelijking kan het volgende worden geconcludeerd:

- de berekende verdampingswaarden voor het Holoceen gebied lijken goed overeen te stemmen met resultaten van de waterbalans, de gevonden waarden zijn vergelijkbaar met de waarden gevonden bij lysimeteronderzoek;
- de berekende verdampingswaarden voor het Pleistocene gebied zijn te hoog in vergelijking met waterbalansgegevens;
- de berekende STONE-verdamping van loofbos is te hoog en van naaldbos is correct;
- de kale-grondverdamping komt goed overeen met de waarden in literatuur;

- voor overige natuur geldt dat de natuur in STONE een verzameling is van vele soorten vegetatie waardoor een vergelijking moeilijk is te maken.
- de veeljarig gemiddelde verdamping volgens in de literatuur vermelde balansberekeningen varieert tussen 455 en 515 mm per jaar. In het Holoceen varieert deze van 455 tot 510 mm; in het Pleistoceen van 480 tot 515 mm. De waarden voor Cabauw (gemiddeld 547 mm/jaar) -met een ‘voorland’ met polderkenmerken- ligt daar echter duidelijk boven. Voor de overige berekende waarden in poldergebieden komen redelijk overeen met de waarden gevonden in de literatuur.
- de berekende waarden in het Pleistoceen zijn duidelijk hoger dan de literatuurwaarden (30 tot 70 mm).

## 6.2 Vergelijking berekende verdamping met regionale waterbalansen

De in STONE 2.1 berekende verdamping zijn vergeleken met de voor open water en stedelijk gebied gecorrigeerde waarden uit de waterbalansen van de in hoofdstuk 5 beschreven gebieden. De uitgebreide tabellen met vergelijkingen tussen de berekende waarden en de uit de in waterbalansen afgeleide waarden zijn te vinden in Bijlage 5. In tabel 6.3 is een samenvatting van de resultaten gegeven. De waarden van de Hunze zijn uit de tabel gelaten, omdat ze te onbetrouwbaar worden geacht.

*Tabel 6.3 Vergelijking van berekende waarden van verdamping in STONE en gemiddelde waarden afgeleid van waterbalansen.*

Balansgebied	Areaal	Periode	E <sub>Stone</sub> (mm)	E <sub>Balans</sub> (mm)	E <sub>Balans</sub> / E <sub>Stone</sub>	Vershil (mm)	Cat
Krimpenerwaard	13 679	1991-2002	519	575	1,11	-56	1
Schermerboezem	71 000	1977-1997	538	456	0,85	81	2
Rijnland	100 000	1991-2002	500	560	1,12	-60	2
Hupsel (excl wegzijging 286 mm) Dommel, Reusel stuw	(669 ha)	1984-1993	500	527	1,05	-26	1
Hondsberg Dommel, Kleine Aa/Dommeltje	16 000	1980-1999	568	510	0,88	58	2
Smalwater	23 739	1977-1997	563	500	0,89	63	2
Drenthse Aa	22 374	1993-2001	552	603	1,09	-52	2
Beeze	24 674	1986-1998	574	526	0,92	48	2
Dommel, Kleine Dommel/Rul	20 514	1980-1999	570	478	0,84	92	3
Groenlosche Slinge	18 800	1997-2002	536	465	0,87	72	3
Chaamse Beek	4989	1996-2000	647	583	0,90	64	4
Aa of Weerijns	14 820	1996-2000	598	484	0,81	114	4
Schuitenbeek	7406	1988-1994	601	663	1,10	-62	4
Hierdense beek	4815	1994-1998	581	447	0,77	133	4
Regge en Dinkel	134 620	1996-2000	548	540	1,00	-1	3

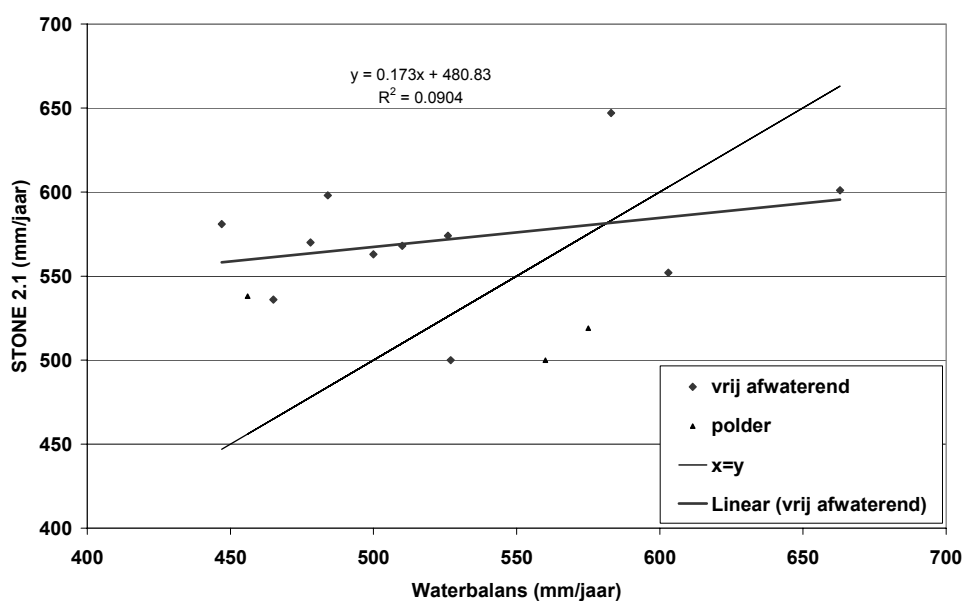
Op basis van tabel 6.3 zijn de volgende statistische eigenschappen af te leiden (tabel 6.4).

Tabel 6.4 Statistische kenmerken van de verdamping afgeleid uit waterbalansen en uit berekeningen met STONE 2.1

	Waterbalans	Stone	Vershil
Aantal*	15	15	15
Gemiddeld	528,4	559,7	31,3
Standaard deviatie	60,8	39,3	67,7

\* incl. Regge en Dinkel

Op basis van de verschillen is een t-waarde te berekenen van 1,73. Dit betekent dat onder aanname van een betrouwbaarheidsinterval van 0,95 er geen significant verschil is tussen beide verzamelingen. Bij een smaller betrouwbaarheidsinterval van 0,8 is er wel een significant verschil. In figuur 6.1 zijn de verdampingscijfers bepaald via waterbalansen en met STONE 2.1 tegen elkaar uitgezet. Hieruit blijkt eveneens dat de correlatie gering is.



Figuur 6.1 Vergelijking van verdamping afgeleid uit waterbalansen en berekend met STONE 2.1

Om tegemoet te komen aan onzuiverheden door verschillen in ruimtelijke en temporele schematisaties worden de berekende en afgeleide verdamping gemiddeld over het Holocene en Pleistocene gebied (tabel 6.4). Voor de Noordoostpolder is de eerst genoemde waarde gehanteerd.

Tabel 6.5 Samenvatting van berekende waarden van verdamping in STONE 2.1 en gemiddelde waarden afgeleid van waterbalansen, waarbij de waarden uit tabel 6.3 rekenkundig zijn gemiddeld over het Holocene en Pleistoocene gebied

Balansgebied	E <sub>Stone</sub> (mm)	E <sub>Balans</sub> (mm)
Totaal	560 (500 - 647)	528 (447 - 663)
Holoceen	519 (500 - 538)	530 (456 - 575)
Pleistoceen <sup>1</sup>	576 (536 - 647)	528 (447 - 663)

<sup>1)</sup> Excl. Regge en Dinkel

Gemiddeld over alle waterbalansgebieden is de berekende verdamping 32 mm hoger dan de verdamping afgeleid uit waterbalansen. Voor het Holoceen wordt gemiddeld een iets lagere verdamping berekend (-11 mm) en voor het Pleistoceen een hogere verdamping, nl. 48 mm.

Een beter beeld van de afwijkingen wordt verkregen wanneer ook de categorie wordt beschouwd die gebaseerd is op de betrouwbaarheid van de balans (zie hoofdstuk 4). Per categorie is de gemiddelde afwijking weergegeven van de verschillen tussen de verdamping afgeleid uit de waterbalans en de berekende verdamping volgens STONE 2.1. Categorie 1 en 2 zijn samengenomen, omdat categorie 1 slechts één gebied telt in het Holoceen en één in het Pleistoceen.

Tabel 6.6 Gemiddelde afwijking per categorie tussen de verdamping uit STONE en de verdamping uit de waterbalans, gecorrigeerd voor open-watervedamping en stedelijk gebied

Categorie	Aantal gebieden	Indicatie totale oppervlakte (100* ha)	Gemiddelde afwijking verdamping (mm)
Holoceen, 1+2	3	1847	12
Pleistoceen, 1+2	5	87	-18
Pleistoceen, 3	2	39	-82
Pleistoceen, 4	4	32	-62

Alleen voor categorie 1 en 2 zijn de berekende gemiddelde verschillen in verdamping klein en acceptabel. Bij de minder betrouwbaar geachte gebieden in het Pleistoceen is de STONE-verdamping duidelijk hoger dan de 'gemeten' verdamping. Voor het Pleistoceen kan worden opgemerkt dat de totale oppervlakte van de balansgebieden beperkt is en dat eigenlijk een groter gebied moet worden beschouwd voor een goede beoordeling. Bovendien zijn deelgebieden van de Dommel meerdere malen vertegenwoordigd en werken dus vaker door in de uitkomsten.

De vergelijking van verdamping afgeleid uit waterbalansen tendert naar een acceptabele overeenstemming in het Holocene gebied en enigszins te grote gemiddelde afwijkingen in Pleistocene gebieden.

Een belangrijke vraag is: hoe vergelijkbaar zijn de verdampingscijfers van beide methoden en hoe betrouwbaar zijn de verdampingscijfers afgeleid uit literatuurgegevens en waterbalansberekeningen van de geselecteerde gebieden.

Vergelijking van de STONE-verdamping met waarden uit het literatuuronderzoek heeft als nadeel dat plotwaarden (die dus niet aan één locatie zijn te relateren) worden

vergeleken met veelal puntwaarnemingen zoals lysimeters en verdampingsfluxmetingen. Dit veroorzaakt veel ruis maar leidt niet tot structurele afwijkingen. Voor de vergelijking met de regionale balansen geldt dit bezwaar minder (vooral bij grote gebieden). Een probleem hierbij is wel dat de balans van een stroomgebied de resultante is van de verdamping van diverse vormen van landgebruik. In hoofdstuk 5 is uitgebreid weergegeven hoe is gecorrigeerd voor de oppervlakten open water en stedelijk gebied.

Maar ondanks deze correctie moet bij de vergelijking nog steeds rekening worden gehouden met grote onzekerheden die maken dat de uit de regionale waterbalansen afgeleide verdamping minder betrouwbaar is:

- voor het opstellen van de waterbalansen is voor de neerslag meer gebiedsspecifieke informatie gebruikt dan voor de STONE-berekeningen. Op lokale schaal kunnen daardoor afwijkingen ontstaan in de orde van tientallen mm op jaarbasis. Deze afwijkingen zijn toevallig van aard;
- de waterbalansen zijn gebaseerd op afvoermetingen. Deze zijn lang niet altijd betrouwbaar. Er zijn geen aanwijzingen dat de fouten in de afvoermetingen leiden tot een systematische over- of onderschatting van de werkelijke afvoeren;
- in vele gebieden is de grootte van de kwel/wegzijging onzeker, want deze is afgeleid uit NAGROM/MOZART of als restpost van eerder opgestelde waterbalansen.

### **6.3 Discussie**

Bij de betrouwbaarheid en/of bruikbaarheid van de verdamping afgeleid uit literatuurgegevens of waterbalansen kunnen vraagtekens worden gezet, door o.a. gedateerdheid van gegevens en onzekerheid over een aantal balanstermen. Verwacht werd dat aan deze bezwaren redelijk tegemoet is te komen, door niet te kijken naar individuele gegevens maar naar groepen van waterbalansgebieden. De idee is dat door de wet van grote aantallen er wel trends zichtbaar zijn over de juistheid van de berekende verdamping in STONE. De resultaten bevestigen deze veronderstelling.



## 7 Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport is een aantal werkzaamheden beschreven die zijn uitgevoerd om te onderzoeken of de door het STONE 2.1-instrumentarium berekend neerslagoverschot plausibel is en of de berekende N- en P-belasting op het oppervlaktewater gevoelig is voor de hoogte van het berekende neerslagoverschot. Deze vraagstelling is vertaald in onderzoek naar concepten en parameterisering van neerslag en verdamping en naar het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses. Op grond hiervan zijn de volgende conclusies te trekken.

1. Het berekende neerslagoverschot heeft grote invloed op de berekende N- en P-belasting op het oppervlaktewater.
2. De gemeten neerslag is systematisch zo'n 4% lager dan de werkelijke neerslag, als gevolg van het windeffect en interceptieverdamping van de regenmeter.
3. De neerslag in STONE 2.1 is afkomstig van uit decadicijfers neergeschaalde dagwaarden van 15 weerstations.
4. De verdamping in STONE 2.1 is gebaseerd op 6 hoofstations.
5. In combinatie leidt dit tot niet-systematische afwijkingen tussen het werkelijke en het berekende neerslagoverschot.
6. De reducties van de verdamping van droogtegevoelige onberegende plots met grasland is bij de berekening met STONE 2.1 duidelijk geringer dan volgens de HELP-tabel.
7. Het in STONE 2.1 aangenomen verloop van de LAI bij grasland (constant 3,0) resulteert in een duidelijk hogere verdamping van gemiddeld 38 mm per jaar in vergelijking met een realistischer verloop.
8. De interceptieverdamping bij grasland wordt in STONE 2.1 enigszins overschat (ca. 20 mm per jaar)
9. De parameterisering van de reductie van de verdamping als gevolg van droge omstandigheden in de wortelzone (lineair met de drukhoogte in STONE 2.1) geeft minder verdampingsreductie vergeleken met een reductie lineair met de pF-waarde van de drukhoogte (3% resp. 5% minder reductie in een gemiddeld jaar resp. extreem droog jaar, gemiddeld over grasland in geheel Nederland).
10. In STONE 2.1 is de reductie in verdamping niet afhankelijk van de opgebouwde reductie (gewasschade) in de voorgaande tijdstappen. Dit leidt tot een systematische overschatting van de verdamping in vooral extreem droge en natte groeiseizoenen. Gevoeligheidsanalyses met MOZART laten zien dat de effecten aanzienlijk kunnen zijn (4% in een gemiddeld jaar en 11% in een extreem droog jaar, gemiddeld voor grasland in geheel Nederland).
11. Het literatuuronderzoek naar gemeten verdamping levert de volgende typische waarden voor de veeljarig gemiddelde verdamping:

- kale grond, duinzand	200 mm
- kale grond, overig	300 mm
- Natuurlijke duinvegetatie	480 mm
- Loofbos	520 mm
- Naaldbos	680 mm
- Gras	535 mm

- Akkerbouw 515 mm
  - Waterbalansgebieden tussen 430 en 515 mm
- Daarbij moet worden aangetekend dat er een behoorlijke gradiënt is in het niveau van de potentiële verdamping gaande van zuidwest naar noordoost.
12. De meeste gegevens uit de literatuur moet als verouderd worden beschouwd vanwege de toegenomen verdamping door toegenomen landbouwkundige gewasopbrengsten.
  13. Voor de gegevens van bosverdamping geldt dit niet. Er kan daarom worden geconcludeerd dat de door STONE 2.1 berekende verdamping van loofbos te hoog is en voor naaldbos correct is.
  14. De verdamping als restpost uit regionale waterbalansen is zeer onzeker door de volgende oorzaken:
    - Voor de kwel/wegzijging zijn weinig meetwaarden bekend en is grotendeels teruggevallen op modelberekeningen ((NAGROM-MOZART). Er zijn duidelijke gebieden aanwijsbaar waar niet realistische waarden voorkomen. Bovendien versterken de plotbenadering in STONE en onder meer de beperkte schematisatie van berekening de onzuiverheid van deze term;
    - een aantal andere posten van de waterbalans zijn niet nauwkeurig gemeten c.q. zijn niet goed te schatten;
    - niet alle lozingstermen, zoals rwzi's, gasbronnen zijn bekend.
  15. Om de door STONE 2.1 berekende verdamping te kunnen vergelijken met de verdamping als restpost van de regionale waterbalansen zijn correcties voor percentage bebouwd en open water doorgevoerd. Dit introduceert nieuwe onzekerheden.
  16. Door het samengestelde karakter van de verdamping als restpost uit de waterbalans zijn over de plausibiliteit van de berekende verdamping van onderscheiden vormen van landgebruik in gebieden met een sterk heterogeen landgebruik beperkt van waarde.
  17. De met STONE 2.1 berekende verdamping is overwegend hoger dan die uit de waterbalansberekeningen. Uit statistische analyse blijkt echter dat de verschillen bij een betrouwbaarheidsinterval van 0,95 niet significant zijn, bij een betrouwbaarheidsinterval van 0,8 zijn de verschillen daarentegen wel significant.
  18. De redenen voor de hogere verdamping in STONE 2.1 kunnen zijn een te hoog niveau van de potentiële verdamping voor grasland (LAI is constant 3,0), een te geringe reductie van de verdamping van grasland op droogtegevoelige niet-beregende zandgronden en het berekenen van volledige opheffing van de verdampingsreductie bij beregende gronden. Ook het geen rekening houden met het afsterven van het gewas bij nat- of droogteschade leidt tot een te hoge berekende verdamping.

Dit leidt tot de volgende aanbevelingen voor aanpassing van de conceptualisering en parameterisering van de verdamping in het STONE-instrumentarium:

1. Geen correctie toe te passen op de parameterisering van de neerslag (dus geen correctie voor het windeffect en de interceptieverdamping).
2. Voor grasland uit te gaan van een realistisch verloop van de LAI.
3. De fout in de berekening van de interceptieverdamping te herstellen.
4. Geen aanpassing te doen in de parameterisering van de verdampingsreductie.



5. Geen aanpassing te doen in de manier waarop een plant reageert op reducties in verdamping in voorgaande tijdstappen.
6. Voor de plots waarbij een groot verschil is geconstateerd met de HELP-tabel een nadere analyse uit te voeren naar de oorzaken ervan, waarbij vooral de verschillen in bodemfysische eigenschappen moeten worden onderzocht.
7. De met NAGROM/MOZART berekende kwel of wegzijging opnieuw te berekenen (met verbeterde schematisering van de ondergrond, herberekening van de lekweerstand en actualisatie van de beregeningsomvang), vervolgens een grondige analyse uit te voeren naar de kwaliteit ervan en zonodig de balansen van de gebieden opnieuw op te stellen.

### *Discussie*

De belangrijkste leermomenten van de studie zijn dat de door STONE 2.1 berekende verdamping zowel in toevallige als in systematische zin behoorlijk kan afwijken van de werkelijkheid maar dat de kennis van de actuele werkelijkheid, op basis van regionale waterbalansen, beperkt is. Een extra handicap is dat met name over droogtegevoelige gronden in het zandgebied (die voor de N-belasting van groot belang zijn en waarvoor de grootste discrepanties worden gevonden tussen STONE-resultaten en de HELP-tabel), geen specifieke data beschikbaar zijn.

In dit rapport is geen aandacht geschonken aan het proces van oppervlakte-afvoer als gevolg van overschrijden van de infiltratiecapaciteit en oppervlakkige afvoer als gevolg van het optreden van schijngrondwaterspiegels, omdat beide processen als gevolg van de ruimtelijke en temporele schematisering naar inschatting niet of onvoldoende in STONE 2.1-simulaties optreden. Dit betekent dat de grondwateraanvulling in STONE 2.1 groter is dan in de veronderstelde werkelijkheid. Voor de probleemgronden 'droogtegevoelige zandgronden' is deze afwijking echter naar inschatting gering. Een nadere analyse is echter gewenst.



## Literatuur

- Ad Hoc groep Verdamping, 1984. *Herziening van de berekening van de gasverdamping in het hydrologisch model Gelgam*. Provincie Gelderland. Arnhem.
- Bastiaanssen, W.G.M. en J.N. Roozkrans, 2003. *Vlakdekkende actuele verdamping van Nederland operationeel beschikbaar*. *Stromingen* 9(2003)4.
- Bakel P.J.T. van, T. Kroon, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors, H.Th.L. Massop en D.J.J. Walvoort (in voorber.). *Reparatie Hydrologie voor STONE 2.1*. Alterra/RIVM/RIZA.
- Bakel, P.J.T. van en P.A.J.W. de Wit, 1995. *Is de toegenomen verdamping één van de oorzaken van de verdroging?* *H<sub>2</sub>O* (25): 770-773.
- Beljaars, A.C.M. and F.C Bosveld (1997). *Cabauw data for the validation of land surface parametrization schemes*. In: *Journal of Climate*, 10, 1172-1193.
- Braak, C., 1945. *Invloed van den wind op regenwaarnemingen*. Mededeelingen en Verhandelingen 48, KNMI Publicatie 102, De Bilt.
- Bruggeman, A.G., 1952. *Kwel en verdamping in de Haarlemmermeerpolder*. *De Ingenieur* 1952, no. 13.
- Buishand, T.A. en C.A. Velds, 1980. *Neerslag en verdamping. Klimaat van Nederland 1*. KNMI, De Bilt.
- Commissie ter bestudering van de Waterbehoefte van de Gelderse Landbouwgronden, 1970. *Hydrologisch Onderzoek in het Leerinkbeekgebied*. Tweede interimrapport werkgroep I. Provincie Gelderland. Wageningen.
- Denkema, A., 1980. *Resultaten van vergelijkende metingen met diverse typen regenmeters in het tijdvak 1971 – januari 1975 te De Bilt*, Verslagen V – 342, KNMI, De Bilt.
- Denkema, A., 1981. *Resultaten van vergelijkende neerslagmetingen in de Foppenpolder (gemeente Maasland)*, Memorandum KD-81-2, KNMI, De Bilt.
- Dolman, H., E. Moors, J. Elbers, W. Sniijders en Ph. Hamaker, 2000. *Brochure 'Het waterverbruik van bossen in Nederland'*. Alterra, Wageningen.
- Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny, 1978. *Simulation of field water use and crop yield*, Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen.

Feddes, R.A., 1987. *Crop factors in relation to Makink's reference crop evapotranspiration*. In Hooghart J.C, 1987. *Evaporation and weather*. Proceedings and information no. 39. CHO-TNO, Den Haag.

Gaast, J.W.J. van der en J.M.P.M. Peerboom, 1996. *Effecten van de sanering van gasbronnen in Noord-Holland benoorden het IJ op de nutriënten- en chloridebelasting van het oppervlaktewater*. SC-DLO rapport 411. Wageningen.

Giessen A. van der, 1984/1985; *Evaluatie van het verdampings- en droogteschadeconcept van DEMGEN; deel 1 en 2*. Rijkswaterstaat

Gruyter, P. de, 1957. *Rijnlands boezem*. Deel 1.

Harrison, L.P., 1963. *Fundamental concepts and definitions relating to humidity*. In 'Humidity and moisture', A. Wexler (Ed.), Vol. 3, Reinhold Publishing Company, New York.

Heijboer D. en J. Nellestijn, 2002. *Klimaatatlas van Nederland. De normaalperiode 1971-2000*. KNMI. De Bilt.

Heijde, P.K..M. van der, 1978. *Een samenvatting en overzicht van de over de droogte van 1976 verschenen literatuur*. Rapporten en nota's 3. CHO-TNO, Den Haag.

Hoeven, P. C. T., 1997. *Lysimeters Castricum*.

Hoeven, P. C. T. van der, 1998a. *Regenmetervergelijking: Castricum 1941-1971*.

Hoeven, P. C. T. van der, 1998b. *Regenmeting in de bossen: Castricum 1941-1971*.

Hoeven, P. C. T. van der, 1998c. *Meteo-waarnemingen: Castricum 1941-1971*.

Hoeven, P. C. T. van der, 1999a. *Lysimeter-waarnemingen: Castricum 1941-1971*.

Hoeven, P. C. T. van der, 1999b. *Gegevens waterbalans: Castricum 1941-1971*.

Hoeven, P. C. T. van der, 2001a. *Lysimeters Castricum: Castricum 1941-1997*.

Hoeven, P. C. T. van der, 2001b. *Waterbalans lysimeter-1: Castricum 1941-1971*.

Hoeven, P. C. T. van der, 2003a. *Voorbewerking waterbalans: Castricum 1967-1971*.

Hoeven, P. C. T. van der, 2003b. *Voorbewerking neutronensonde: Castricum 1967-1971*.

Hoeven, P. C. T. van der, 2003c. *Lysimeters Castricum*.

Hoogeveen M.W., K.H.M. van Bommel en G. Cotteleer, 2003. *Berekening in land- en tuinbouw; rapport voor de Droogtestudie Nederland*. LEI, Den Haag.

- Keulen, H. van en F. W.T. de Vries, 1993. *Watervoorziening en gasproductie*. Agrobiologische Thema's 8. CABO-DLO, Wageningen.
- KNMI, 2000 etc. *Jaaroverzicht neerslag en verdamping in Nederland, jaar 2000, 2001 en 2002*.
- Kroon, T., P. Finke, I. Peereboom en A. Beusen, 2001. *Redesign Stone. De nieuwe schematisatie voor Stone; de ruimtelijke indeling en toekenning van de hydrologische en bodemchemische parameters*. Lelystad, RIZA-rapport 2001.017.
- Kroes, J.G., P.J.T. van Bakel, J. Huygen, T. Kroon en R. Pastoors, 2001. *Actualisatie van de hydrologie van STONE 2.0*. Wageningen, Alterra-rapport 298.
- Kroes, J.G., J.C. van Dam, J. Huygen and R.W. Vervoort, 2003. *User's Guide of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment*. Wageningen, Alterra-rapport 610.
- Kroes, J.G. & J.C. van Dam, 2003. *Reference Manual SWAP version 3.0.3*. Wageningen, Alterra-rapport 773.
- Massop, H.Th.L., T. Kroon, P.J.T van Bakel, W.J. de Lange, M.J.H. Pastoors en J. Huygen, 2000. *Hydrologie voor Stone; Schematisatie en parametrisatie*. Wageningen, ALTEIRA, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Miliehygiëne. Alterra-rapport 038. Reeks Milieuplanbureau 9.
- Meinardi, C.R., 1994. *Groundwater recharge and travel times in the sandy regions of the Netherlands*. Bilthoven.
- Molen van der W.H., 1975. *Agrohydrologie*. Collegedictaat, Wageningen.
- Nederlandse Hydrologische Vereniging (NHV), 2002. *Hydrologische woordenlijst*.
- Ontwikkelingsteam NAGROM-MOZART-DEMNAT-AGRICOM, 1997. *Water onder land tussen regen en plant*. RIZA nota 97.062.
- Peña, Ana García, 2003. *Castricum 30 years of lysimeter data: Sensitivity analysis and calibration with the SWAP model*. Thesis Hogeschool Zeeland.
- Provincie Gelderland, 1991. *Verloop van de evapotranspiratie in Oostelijk Gelderland*. Arnhem.
- RIZA, 2004. *Tussenrapportage droogtestudie fase 2A; Aard, ernst en omvang van droogte, resultaten informatiespoor*.
- Romein, E., 1985. *Valkuilen bij het bepalen van de potentiële verdamping van grasland door middel van  $f$ -factoren*. H<sub>2</sub>O(18) 1985, nr. 12.

RWS-RIZA/WL, 1996. MOZART, *Model voor de Onverzadigde Zone voor Landelijke en Regionale Toepassingen. Gebruikershandleiding, Functioneel detailontwerp en Technisch detailontwerp*. Lelystad, 1996.

Segeren, T., 2002. *Modellerings stroomgebied Regge*. Fase 1 gegevens. WL, Delft.

Someren, M.H. van, 2001. *De kwel en infiltratiekaart van Noord-Holland Noord*. Wijk aan Zee.

Spieksma, J.F.M., A.J. Dolman en J.M. Schouwenaars, 1995. *De parameterisatie van de verdamping van natuurterreinen in hydrologische modellen*. Vakgroep Fysische geografie Rijksuniversiteit Groningen, DLO-Staringcentrum, Wageningen. Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging. NOV-rapport 4-2, RIZA, Lelystad. [http://www.verdroging.nl/05\\_publicaties/5.3.1.1\\_meernov.html](http://www.verdroging.nl/05_publicaties/5.3.1.1_meernov.html)

Stricker, J.N.M., 1981. *Methods of estimating evaporation from meteorological data and their applicability in hydrology*. In *Evaporation in relation to Hydrology*. Verslagen en mededelingen No 28. Commissie voor hydrologisch Onderzoek TNO.

Tiktak, A. and W. Bouten (1994). *Soil water dynamics and long-term water balances of a Douglas fir stand in the Netherlands*. J. of Hydrology, 156, 265-283.

Vos, J.A. de, I.E. Hoving, P.J.T.van Bakel, J.Wolf, J.G. Conijn en G. Holshof, 2004. *Effecten van peilbeheer in de polders Zegveld en Oud-Kamerik op de nat- en droogteschade in de landbouw*. Wageningen, Alterra-rapport 987.

Warmerdam, P.M.M., 1981. *De invloed van de wind op regenwaarnemingen; een vergelijkend regenmeteronderzoek*. In H20, 1981, nr1.

Werkgroep HELP-tabel, 1987. *De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie*. LD-mededeling 176.

Werkgroep Noord-Holland, 1982. *Grond- en oppervlaktewater Noord-Holland benoorden het IJ*. Regionale studies 16. ICW, Wageningen.

Werkcommissie voor het verdampingsonderzoek, 1972. *Verdampingsonderzoek in Nederland 1942-1971*. Eindverslag.

Wit, P.A.J.W. de, 1991. *Het effect van toegenomen gewasopbrengsten in de landbouw op de grondwaterstanden. De analyse van de periode 1955-1987 met consumptie-aardappelen*. Interne mededeling 159. SC-DLO, Wageningen.

## Bijlage 1 Neerslag en referentiegewasverdamping volgens Makkink, zoals in STONE 2.1 berekend

Er wordt uitgegaan van een meteo-set bestaande uit:

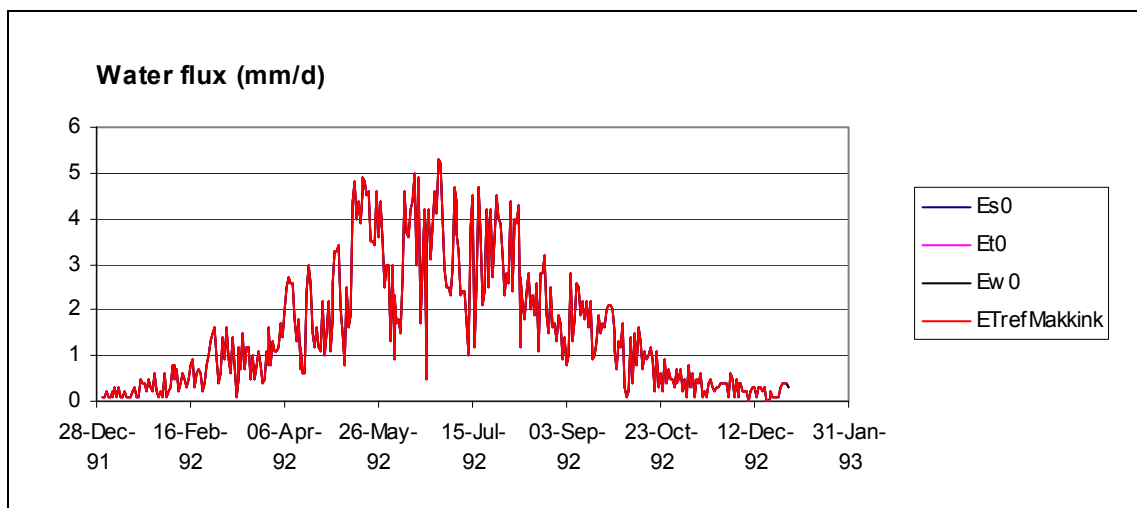
- neerslag en
- referentie (gewas) verdamping volgens Makkink ( $E_{ref}$ ).

Met een voorbeeld wordt een en ander geïllustreerd.

Data van Cranendonck, grasland, meteo van 1992.

Neerslag in 1992: 679,2 mm

De potentiële verdamping berekend van i) nat gedekt gewas, ii) droog gedekt gewas en iii) natte kale grond. Deze zijn bij de optie met Makkink gelijk aan elkaar (figuur B1.1)

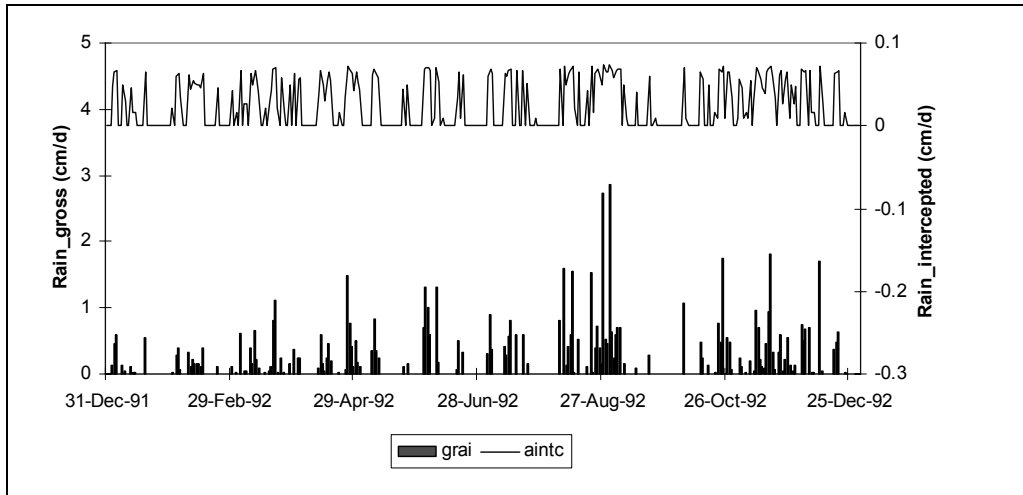


Figuur B1.1  $E_{ref}$  en  $E_{w0}$ ,  $E_{p0}$  en  $E_{p0}$ , (cm/d): voorbeeld voor grasland - Cranendonck

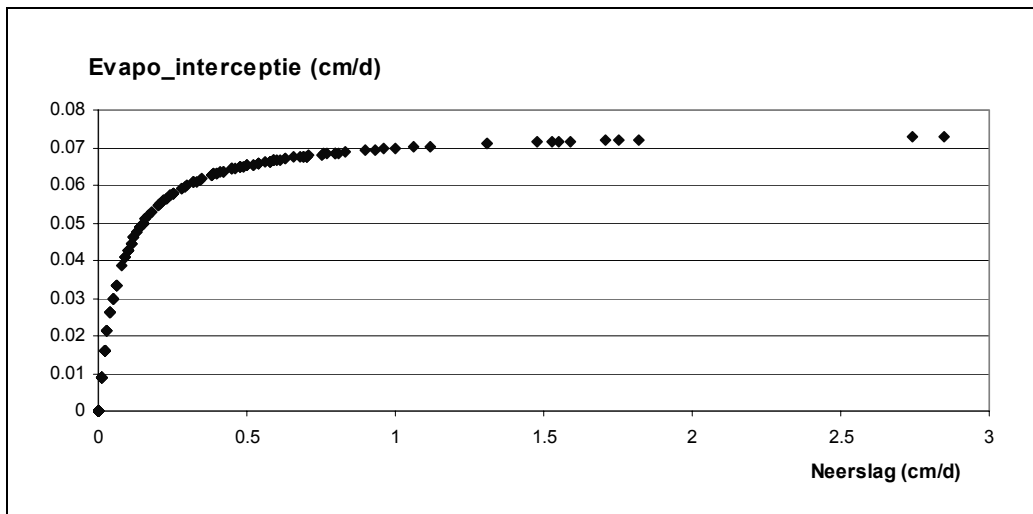
*Interceptieverdamping:*

Een deel van de neerslag blijft op blad achter als interceptie (figuur B1.2 en B1.3, equation 3.4, p.39 van Reference manual). Er wordt aangenomen dat dit deel direct verdampt.

Verdamping door interceptie in 1992: 8,4 mm



*Figuur B1.2 Neerslag en interceptie (cm/d): voorbeeld voor grasland - Cranendonck*

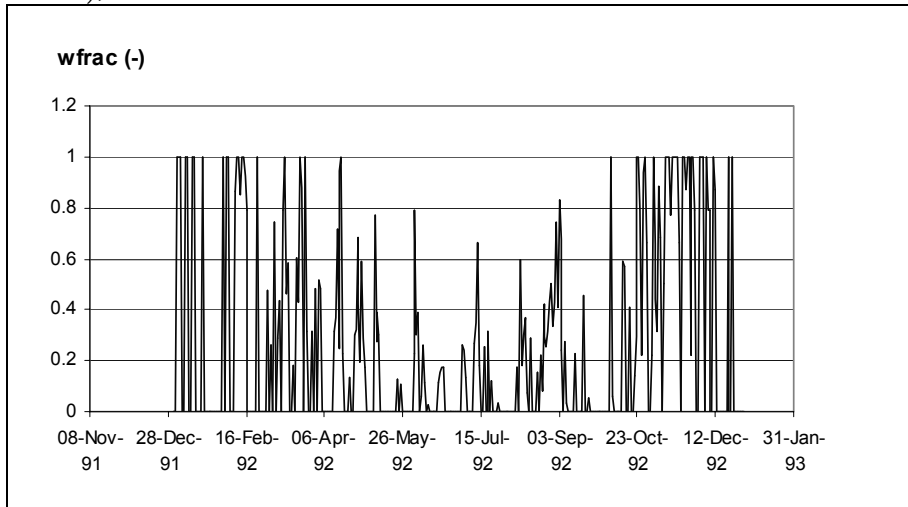


*Figuur B1.3 Interceptie-verdamping (cm/d): voorbeeld voor grasland - Cranendonck*



### Potentiële verdamping

Een deel van de dag is het gewas nat ( $wfrac$ , zie figuur B1.4, eq. 3.39, p.49, maximum = 1.0);

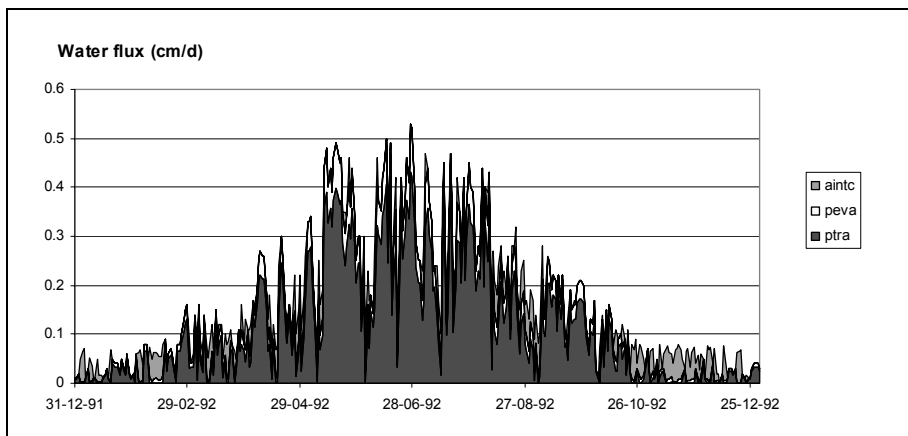


Figuur B1.4 Fractie van de dag dat het gewas nat is ( $wfrac$ ). Voorbeeld grasland - Cranendonck

De potentiële bodemverdamping ( $E_{s,p}$ ) is berekend volgens Goudriaan (zie eq. 3.37, p.49).

De potentiële gewasverdamping ( $E_{t,p}$ ) is berekend volgens eq. 3.40, p.50.

De potentiële verdamping ( $E_p$ ) is de som van interceptieverdamping ( $E_i$ ) en  $E_p$  en  $T_p$  (figuur B1.5).



Figuur B1.5  $E_p$ ,  $T_p$ ,  $E_i$  (cm/d): voorbeeld voor grasland - Cranendonck

Totale potentiële verdamping (mm/jaar):

$E_i$	85,4
$E_s$	105,7
$E_{t,p}$	397,7
$E_p$	588,8

Referentiegewasverdamping volgens Makkink is 571,3 mm.



## Bijlage 2 Tabellen bij de verkenning van het belang van het neerslagoverschot op de N- en P-vrachten

Tabel B2.1 Selectiecriteria en belangrijkste kenmerken van geselecteerde UC's

Omschrijving StonePlot	Selectie criterium			Gegevens conform Stone2.1				
	Gewas	Bodem- soort	HELP eenheid	Bodem- fysische eenheid	Grond- -water- trap	Ook bere- ge- nen	UC nr	Areaal (ha)
bouwlandklei VI	bouwland	kleigrond	Kz1b (16)	18	VI		1746	850
bouwlandzand dVII*	bouwland	podzol	H1a (58)	11	VII*	x	758	562
graskleiIV	gras	Kleigrond	Kz 1b (16)	18	IV		4371	875
graskleiVI	gras	Kleigrond	Kk 5h (30)	18	VI	x	287	1781
grasveenII	gras	Veengrond Moerige	V (1)	1	II		3320	5912
grasveenIII	gras	grond	vW (9)	6	III		3748	1093
grasveenVI	gras	Veengrond	V (1)	1	VI		818	1006
graszandVI	gras	Podzol	H1a (58) EEZ 1a	11	VI	x	315	1706
graszandVII	gras	Eerdgrond	(51)	12	VII		2566	1106
graszandVII*	gras	Zandgrond	Z 11	8	VII*	x	1420	275
graszandVII*	gras	Podzol	H1a (58)	11	VII*	x	3126	1668
snijmais sand VII	snijmais	podzol	H1a (58)	9	VII		5321	1881

Tabel B2.2 De berekende actuele verdamping ( $ET_{act}$ ), water- en nutriëntenafvoeren bij de varianten  $ET_{reference}$  en  $ET_{reduced}$

Variant	Omschrijving StonePlot	UC nr	Gemiddelde $ET_{act\_ref}$ (mm)	Gemiddelde wegzijging (mm) (neg, is kwel)	Gemiddelde waterafvoer (mm)	Gemiddelde N-afvoer (kg/ha N)	Gemiddelde P-afvoer (kg/ha P)
$ET_{reference}$	bouwlandkleiVI	1746	439	-13	406	19,8	1,8
	bouwlandzandVII*	758	482	462	12	1,3	0,0
	graskleiIV	4371	503	-56	387	41,8	2,5
	graskleiVI	287	557	-40	449	25,5	1,9
	grasveenII	3320	521	24	467	40,3	4,0
	grasveenIII	3748	536	-39	358	29,3	2,4
	grasveenVI	818	551	154	131	7,3	0,5
	graszandVI	315	559	207	139	8,8	0,2
	graszandVII	2566	536	186	109	19,4	0,2
	graszandVII*	1420	559	412	12	2,7	0,0
	graszandVII*	3126	560	426	0	0,0	0,0
snijmaisvandVII	5321	493	203	134	30,5	2,9	
	gemiddeld		525	161	217	18,9	1,4

$ET_{reduced}$	bouwlandkleiVI	1746	365	-5	471	20,4	2,1
	bouwlandzandVII*	758	397	493	16	1,6	0,1
	graskleiIV	4371	437	-56	453	44,2	2,9
	graskleiVI	287	456	-40	491	26,7	2,1
	grasveenII	3320	420	24	514	50,1	5,1
	grasveenIII	3748	449	-39	434	33,1	3,0
	grasveenVI	818	457	185	195	9,8	0,7
	graszandVI	315	458	207	195	9,3	0,3
	graszandVII	2566	454	186	191	24,7	0,3
	graszandVII*	1420	457	412	37	6,4	0,1
	graszandVII*	3126	458	462	0	0,0	0,0
snijmaisvandVII	5321	386	203	242	34,0	5,0	
	gemiddeld		433	169	270	21,7	1,8

Tabel B2.3 De absolute verschillen tussen in actuele verdamping (E), water- en nutriëntenafvoeren bij de varianten  $E_{ref}$  en  $E_{reduced}$  (verschil =  $ET_{reduced} - E_{ref}$ )

Omschrijving StonePlot	UC nr	Veeljarig gemiddelde E (mm)	Gemiddelde wegzijging (mm)	Gemiddelde waterafvoer (mm)	Gemiddelde N-afvoer (kg/ha N)	Gemiddelde P-afvoer (kg/ha P)
bouwlandkleiVI	1746	-74	8	66	1	0
bouwlandzandVII*	758	-85	31	4	0	0
graskleiIV	4371	-67	0	66	2	0
graskleiVI	287	-101	0	42	1	0
grasveenII	3320	-101	0	47	10	1
grasveenIII	3748	-87	0	77	4	1
grasveenVI	818	-94	31	64	2	0
graszandVI	315	-101	0	56	1	0
graszandVII	2566	-82	0	82	5	0
graszandVII*	1420	-102	0	25	4	0
graszandVII*	3126	-102	37	0	0	0
snijmaiszandVII	5321	-107	0	108	4	2
	gemiddeld	-92	9	53	3	0

Tabel B2.4 De procentuele verschillen tussen in actuele verdamping (E), water- en nutriëntenafvoeren bij de varianten  $E_{ref}$  en  $E_{reduced}$  (%overschil =  $(E_{reduced} - E_{ref}) / E_{ref}$ )

Omschrijving StonePlot	UC nr	Gemiddelde (%)	Gemiddelde wegzijging (%)	Gemiddelde waterafvoer (%)	Gemiddelde N-afvoer (%)	Gemiddelde P-afvoer (%)
bouwlandkleiVI	1746	-17	-60	16	2,8	13,0
bouwlandzandVII*	758	-18	7	35	26,7	50,3
graskleiIV	4371	-13	0	17	5,9	15,5
graskleiVI	287	-18	0	9	4,7	11,3
grasveenII	3320	-19	0	10	24,5	27,3
grasveenIII	3748	-16	0	21	12,8	25,0
grasveenVI	818	-17	20	49	33,4	50,3
graszandVI	315	-18	0	40	6,2	74,7
graszandVII	2566	-15	0	75	27,1	80,1
graszandVII*	1420	-18	0	200	141,0	281,7
graszandVII*	3126	-18	9	0	-0,2	0,7
snijmaiszandVII	5321	-22	0	80	11,7	72,4
	gemiddeld	-18	6	24	14,9	31,7

Tabel B2.5 Effect van berekening gemiddeld voor de klimaatreeks 1971-2000

Omschrijving StonePlot	Onberegend					Beregend		
	$E_{ref}$ (DeBilt) 1971-2000 (mm)	Ipl (-)	Gemid- delde E (mm)	$E/E_{ref}$ (%)	$E_{ref}-E$ (mm)	Som $E_{irr}$ (mm)	$E_{irr}/$ $E_{ref}$ (%)	$E_{ref}-E_{irr}$ (mm)
bouwlandzandVII*	543	758	474	87	69	484	89	59
graszandVII*	543	1420	476	88	67	560	103	-17
graszandVII*	543	3126	518	95	26	561	103	-18
gemiddeld	543		489	90	54	535	99	8

Tabel B2.6 Effect van berekening gemiddeld voor het droge jaar 1976

Omschrijving StonePlot	Onberegend					Beregend		
	$E_{ref}$ DeBilt 1976 (mm)	Ipl (-)	Gemid- delde E (mm)	$E/E_{ref}$ (%)	$ET_{makk-}$ $ET_{act}$ (mm)	Som $E_{irr}$ (mm)	$E_{irr}/$ $E_{ref}$ (%)	$E_{ref}-E_{irr}$ (mm)
bouwlandzandVII*	617	758	392	64	225	528	86	89
graszandVII*	617	1420	349	57	268	628	102	-11
graszandVII*	617	3126	400	65	217	628	102	-11
gemiddeld	617		380	62	237	595	96	22

Tabel B2.7 Langjarig gemiddeld effect van constante en variabele LAI op de berekende actuele verdamping

Omschrijving StonePlot	$E_{ref}$ DeBilt 1971-2000 (mm)	Ipl (-)	LAI volgens beweiden en maaien			LAI constant (=3)			Verschil in E bij LAI1 – LAI2 (mm)
			E (mm)	$E/E_{ref}$ (%)	$E_{ref}-E$ (mm)	E (mm)	$E/E_{ref}$ (%)	$E-E_t$ (mm)	
graskleiIV	543	4371	476	88	67	504	93	39	-28
graskleiVI	543	287	519	96	24	558	103	-15	-39
grasveenII	543	3320	482	89	61	522	96	21	-40
grasveenIII	543	3748	501	92	42	537	99	6	-36
grasveenVI	543	818	511	94	32	552	102	-9	-40
graszandVI	543	315	517	95	26	560	103	-17	-43
graszandVII	543	2566	503	93	40	537	99	6	-34
graszandVII*	543	1420	519	96	24	560	103	-17	-41
graszandVII*	543	3126	521	96	22	561	103	-18	-40
Gemiddeld	543		505	93	38	543	100	0	-38

Opmerking: de beregende UC's zijn: graskleiVI, graszandVI en graszandVII\*.

Tabel B2.8 Effect van constante en variabele LAI op de berekende actuele verdamping voor het droge jaar 1976

Omschrijving StonePlot	E <sub>ref</sub> DeBilt 1976 (mm)	ipl (-)	LAI volgens beweiden en maaien			LAI constant (=3)			Verschil in E bij LAI1 – LAI2 (mm)
			E (mm)	E/ E <sub>ref</sub> (%)	E <sub>ref</sub> -E (mm)	E (mm)	E/ E <sub>ref</sub> (%)	E <sub>ref</sub> -E (mm)	
graskleiIV	617	4371	476	77	141	420	68	197	56
graskleiVI	617	287	519	84	98	625	101	-8	-106
grasveenII	617	3320	482	78	135	615	100	2	-133
grasveenIII	617	3748	501	81	116	476	77	141	25
grasveenVI	617	818	511	83	106	523	85	94	-12
graszandVI	617	315	517	84	100	622	101	-5	-105
graszandVII	617	2566	503	82	114	447	72	170	56
graszandVII*	617	1420	519	84	98	628	102	-11	-109
graszandVII*	617	3126	521	84	96	628	102	-11	-107
gemiddeld	617		505	82	112	554	90	63	-48

Opmerking: de beregende UC's zijn: graskleiVI, graszandVI en graszandVII\*.





### Bijlage 3 Tabellen bij literatuuronderzoek

Tabel B3.1 Bijzonderheden over 24 geselecteerde stations met langjarige neerslagwaarnemingen. De factor *f* geeft de door Braak aanbevolen correctie aan om de gemiddelde neerslagsommen voor het tijdvak 1891-1930 te corrigeren voor het windeffect (Buishands en Velds, 1980)

Station	Datum verlaging 1,50 naar 0,40 m	<i>f</i>	Percentage aangevulde waarden		
			CODE2X tape	REGEN tape (1951-1979)	
				Ontbrekend	Meerdaagse som
Den Helder/ De Kooy	feb 1946	1,09	3,9	0,0	0,0
West-Terschelling	aug 1953*	1,05	7,3	0,4	3,0
Lemmer	apr 1946	1,04	8,2	0,1	0,1
Leeuwarden	feb 1950	1,04	1,6	0,0	0,0
Groningen	jan 1946	1,05	0,2	0,1	1,0
Ter Apel	jan 1946	1,05	2,3	0,3	1,8
Hoorn	nov 1946	1,06	1,0	0,0	0,0
Dwingeloo	feb 1946	—	1,9	0,7	4,3
Heerde	jan 1946	1,03	4,0	0,2	2,8
Denekamp	mei 1948	1,03	4,9	1,5	6,7
Hoofddorp	mrt 1947	1,05	2,7	0,1	1,0
Scheveningen	jan 1946	1,09	0,8	0,0	0,1
Utrecht	apr 1948	1,07	0,8	2,5	2,9
Arnhem	jan 1946	1,04	2,8	0,2	1,0
Putten	apr 1950	1,03	3,3	1,3	3,1
Winterswijk	jan 1946	1,04	2,4	0,0	0,1
Vlissingen	okt 1947	1,08	0,8	0,0	0,0
Kerkwerpe	jul 1946	1,12	3,7	0,2	0,4
Axel	mrt 1951*	1,04	0,0	0,0	0,3
Heusden	—	1,04	2,5	—	—
Oudenbosch	okt 1945	1,04	0,2	0,1	0,4
Helmond	mei 1947	1,04	2,1	0,5	0,6
Roermond	jun 1947	1,03	4,9	0,7	5,4
Maastricht	jul 1951	1,03	0,1	0,1	0,0

\* Verlaging is in twee fasen geschied (zie beschrijvingen per station).

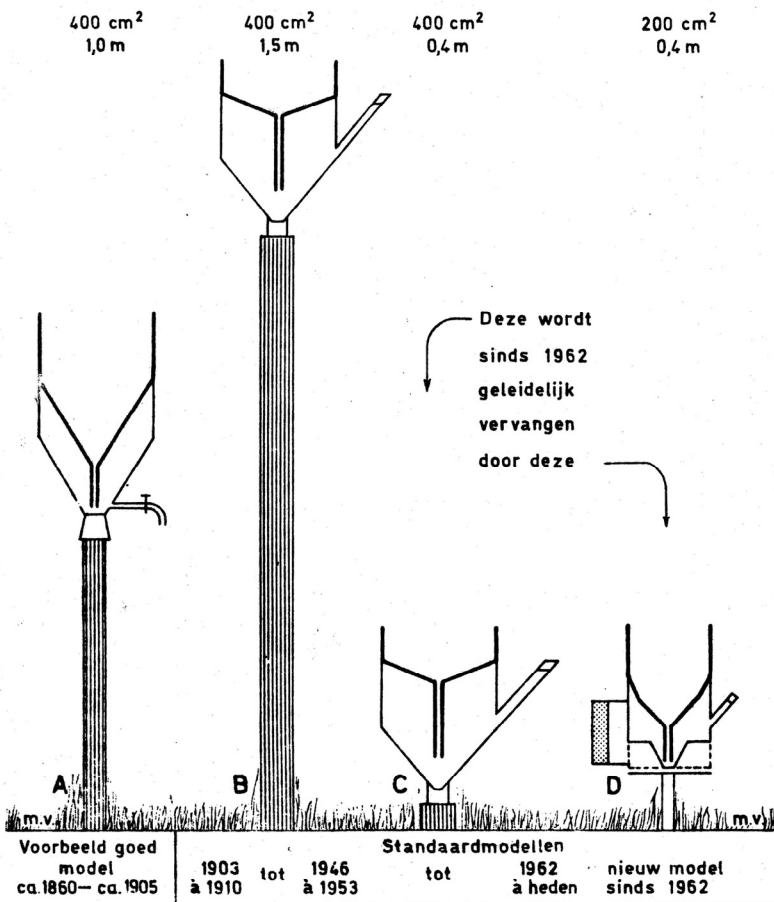
Tabel B3.2 Verschillen tussen de neerslaghoeveelheden gemeten met een regenmeter op 0,40 m en een regenmeter op 1,50 m. Het verschil is uitgedrukt als percentage van de hoeveelheid in de meter op 0,40 m (Buisbands en Velds, 1980)

Plaats	Tijdvak	Aantal maanden	Procentueel verschil			
			dec-feb	mrt-mei	jun-aug	sep-nov
Dirksland	1940-1944	41	13,6	9,4	8,6	10,3
Castricum	1941-1944	42	1,7	0,7	1,4	1,5
Leiduin	1941-1944	34	6,5	2,5	4,2	4,0
De Bilt	1943-1945	23	2,4	2,0	1,2	1,4

Bij de verlaging van de standaardregenmeter van 1,50 naar 0,40 is het effect op de meting onderzocht; dit geeft de volgende tabel met regionale correctiefactoren (Bijlage 3, tabel B3.1). Het effect van een verlaging is in feite onderzocht voordat men ertoe overging. Vanaf de jaren dertig van de vorige eeuw heeft Braak regelmatig regenstations geïnspecteerd. In de Tweede Wereldoorlog heeft hij op een aantal plaatsen regenmeteropstellingen vergeleken. De belangrijkste resultaten zijn in Bijlage 3, tabel B3.2 en Hoofdstuk 4 tabel 4.3 samengevat. Het hele onderzoek wordt beschreven door Braak (1945). Op grond van zijn onderzoek en zijn inspectiebezoeken heeft Braak voor 143 stations in Nederland (en dus niet alleen van de 24 stations in tabel B3.1) een correctie van de gemiddelde jaarsom voor het windeffect gegeven. Die factor  $f$  in tabel B3.1 heeft eigenlijk betrekking op een verandering van de meethoogte van 1,50 m naar grondniveau. Er moet rekening mee worden gehouden dat het gemiddelde regenstation in Nederland mogelijk wat meer beschut is dan de veldjes waarop regenmeteropstellingen vergeleken zijn. Op grond van het onderzoek van Braak is besloten de opstellingshoogte te verlagen van 1,50 m naar 0,40 m. Braak (1945) heeft daarnaast aanbevolen op zeer winderige plaatsen de regenmeter te omgeven door een aarden wal, de zogenaamde Engelse opstelling. Voorzover bij Buisbands bekend, is dit toentertijd slechts op een beperkt aantal stations gedaan. Tegenwoordig echter beschikken de klimatologische hoofdstations over een automatische regenmeter in een Engelse opstelling. Daarnaast hebben deze stations een standaardregenmeter die buiten de Engelse opstelling staat (soms op ruim 1 km). De van 8 tot 8 uur waargenomen dagsommen hebben altijd betrekking op die standaardregenmeter. Er is ook een Maandoverzicht van het Weer dat uitgaat van de van 0 tot 0 uur gemeten dagsommen van de automatische regenmeter en de jaargemiddelden van deze regenmeter kunnen vrij sterk verschillen met die van de standaardregenmeter. De hoogste correctiewaarden worden gevonden voor de kuststations waar de windsnelheid het grootst is.

regenmeters:

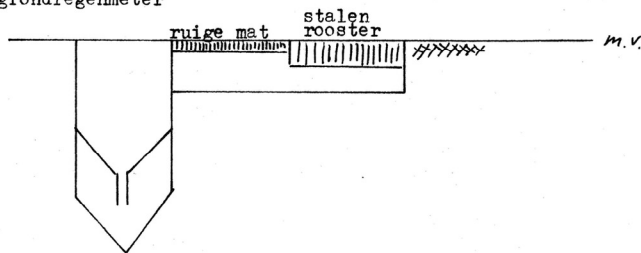
- normale regenmeters



N - 169

Fig. II-1 Regenmeters in Nederland

- grondregenmeter



Figuur B.3.1. Typen regenmeters

Tabel B3.3 Waterverbruik grasland in groeitijd in mm naar De Gruyter (1957)

Maand	Optimaal waterverbruik					Natuurlijk verbruik		
	Rijnland lysimeters O. W. 1876—1890	Rijnland lysimeter 3 O. W. 1942—1955	de Bilt lysimeter 1859—1863	Groningen Zijlstra 1934—1935	Groningen Maschhaupt lysimeters 1941—1946	Rijnland lysimeter 4 O. W. 1942—1945	Miller, Londen	
	1	2	3	4	5	6	kort gras	lang gras
mei .....	114	91	65	83	53	42	85	144
juni .....	131	108	89	120	48	54	95	173
juli .....	131	106	75	94	66	82	113	206
augustus .....	111	97	79	89	98	85	90	184
september .....	71	68	80	61	58	90	73	160
oktober .....	28	31	48	22	76	71	23	112
Totaal .....	586	501	436	469	399	424	479	979

N.B. Kolommen 1, 2 en 5 geven de schijnbare verdampingscijfers.

Kolom 5: De cijfers zijn de gemiddelde van de 8 aanwezige lysimeters. Wel is na 1936 de stand van het grondwater bij de lysimeters 1 t/m 4 geregeld en bij de anderen niet, doch de verschillen in de uitkomsten zijn zó gering, dat het geen zin heeft de groepen te onderscheiden. (Zie ook L.O. 370a).

Tabel B3.4 Waterverbruik grasland in zomer en jaar in mm naar De Gruyter (1957)

	Ware verdamping E'		Toelichting
	zomer 1 apr.-1 okt.	jaar	
Lysimeter 4 Rijnland 1942/45 — kort gras	380 + G	522 + G	geen suppletie met aanvulling v. grondwater
" 3 " 1942/45 — " "	508 + G	590 + G	
beide bij een neerslag van 386 (zo) en 786 (jaar)			
Lysimeter 3 Rijnland 1942/54 — kort gras	524 + G	606 + G	idem met begieting
Oude lysimeter " 1876/90 — " "	619	718	
Lysimeter de Bilt 1859—1863 .....	421	666	
Onderzoek Miller, Engeland — kort gras	516	604	
Idem — lang gras	977	1257	
Lysimeters Groningen 1941/46 — gras ...	} 357 + G 1)	544	m. grondwater zonder " met begieting
Idem ...		551	
Proeven v. Zijlstra - mei t/m okt. — gras	452	—	
Makkink — juni, juli, augustus en september — gras .....	391	—	onbekend

G= Vochtvoorraad bodem

Tabel B3.5 Gemiddelde jaaruitkomsten lysimeters in Groningen in mm naar De Gruyter (1957)

	Jaren	R	L	E	L % R
1. Begroeide lysimeters zonder grondwater .....	aug. '18—dec. '33 jan. '39—dec. '41	718	204	514	28.4
2. Onbegroeide lysimeters zonder grondwater .....	jan. '34—dec. '38	760	460	300	60.7
3. Onbegroeide lysimeters met grondwater .....	sep. '36—dec. '38	658	363	295	55.1
4. Begroeide lysimeters met grondwater .....	jan. '39—dec. '46	765	199	566	26

De uitkomsten van de begroeide lysimeters zonder grondwater, over ruim 18 jaren, hebben wij zo goed mogelijk herleid op de regenval R' in Rijnland en komen dan tot de gemiddelde L en E waarden voor akkerbouwland zoals op bijlage 85 (kolommen 9 t/m 12) aangegeven.

Tabel B3.6 Verdamping in de wintermaanden in mm naar De Gruyter (1957)

	Verdampend oppervlak	Specificatie der waarnemingen	Tijdvakken							
			nov.	dec.	jan.	febr.	mrt.	dec. + jan. + febr.	dec. t/m mrt.	nov. t/m mrt.
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	water .....	Bijlage 87. Gem. kolommen 1, 7, 9 en 10 .....	137	106	107	139	33	352	68	82
2		Lysimeters Groningen, 1934—'39 .....	139	34	05	17	146	56	202	341
3	Onbegroeide grond .....	Lysimeters Rijnland, gem. 1 + 2 .....	20	156	12	92	124	368	492	692
4		Oude lysimeters Oudewetering, zwarte aarde ...	113	69	66	94	231	229	46	573
5		Volgens Zuur, regenverdamping .....	17	16	1	4	16	21	37	54
6		Lysimeters Rothamstead .....	16	9	7	12	22	28	50	66
7		Lysimeters Groningen, herleid .....	40	17	7	14	22	38	60	100
8	Begroeid .....	Lysimeters Rijnland, gras, oude .....	153	84	89	121	263	294	56	71
9		" " " nieuwe .....	167	73	23	62	175	158	333	50
10	Min. waarde...	Regels 3, 4, 5, 8 en 9 .....	11	7	1	4	12	16	33	50
11	Gem. waarde .	id. (zie § 673) .....		10.6	6.1	8.2		25.2		
12	Max. waarde .	id. ....	17	16	9	12	26	29	56	71

Tabel B3.7 Verdampingstotalen voor de periode 1964-1967 volgens verschillende methoden toegepast in het Leerinkbeekgebied naar Commissie ter bestudering Waterbehoefte van de Gelderse Landbouwgronden (1970)

Periode	Verdamping (mm) volgens:								
	Pen- man $E_o$	Mak- kink $E_\pi$	Bloemen		waterbalans				
			$gE_o^*$	$E_w^*$	$E_{Fc}$	$E_{10}$	$E_{12}$	$E_{13}$	$E_{14}$
1964/1965									
(1)	325	228	199	174	210	210	210	215	220
(2)	280	218	240	139	184	198	177	195	184
(1) + (2)	605	446	439	313	394	408	387	410	404
(3)	48	19	39	38	64	55	37	40	66
(4)	63	32	48	48	32	48	28	59	31
(3) + (4)	111	51	87	86	96	103	65	99	97
(1 t/m 4)	716	497	526	399	490	511	452	509	501
1965/1966									
(1)	253	187	165	163	195	171	172	174	195
(2)	236	186	189	189	208	159	197	181	180
(1) + (2)	489	373	354	352	403	330	369	355	375
(3)	57	27	40	40	35	30	63	53	70
(4)	55	18	52	52	25	24	4	37	26
(3) + (4)	112	45	92	92	60	54	67	90	96
(1 t/m 4)	601	418	446	444	463	384	436	445	471
1966/1967									
(1)	297	201	170	157		214	261	236	241
(2)	236	160	201	198		172	153	172	153
(1) + (2)	533	361	371	355		386	414	408	394
(3)	41	24	44	44		42	46	47	43
(4)	53	27	53	53		55	63	63	54
(3) + (4)	94	51	97	97		97	109	110	97
(1 t/m 4)	627	412	468	452		483	523	518	491
1964/1967									
zomer gem. summer mean	542	393	388	340		375	390	391	391
winter gem. winter mean	106	49	93	93		85	80	100	97
jaar gem. yearly mean	648	442	481	433		460	470	491	488
	$E_o$ Pen- man	$E_\pi$ Mak- kink	$gE_o^*$ Bloemen	$E_w^*$	$E_{Fc}$	$E_{10}$	$E_{12}$	$E_{13}$	$E_{14}$
					water balance				
Period	Evaporation (mm) according to:								
(1) april, mei en juni <i>April, May and June</i>					(2) juli, augustus en september <i>July, August and September</i>				
(3) oktober, november en december <i>October, November and December</i>					(4) januari, februari en maart <i>January, February and March</i>				

Tabel B3.8 Gemiddelde jaarlijkse neerslag en verdamping van natuurlijke vegetaties in de lysimeters van *Castricum*

jaar	neerslag	Kale grond	duinstruweel	loofbos	naaldbos
1942	882	187		203	213
1943	679	173		236	210
1944	921	178		261	249
1945	804	247		342	338
1946	843	185		271	300
1947	655	199		337	379
1948	621	184		337	410
1949	773	181		372	503
1950	1065	242		488	620
1951	966	250		504	615
1952	964	209		466	644
1953	607	199		421	507
1954	890	201		495	757
1955	750	200		438	621
1956	820	200		473	636
1957	991	206		529	714
1958	839	242		540	666
1959	628	144		414	535
1960	1010	174		635	783
1961	1011	224		491	746
1962	852	241		509	661
1963	782	169		426	540
1964	728	201		561	667
1965	994	213		542	732
1966	1099	229		545	755
1967	882	233		534	769
1968	958	227		586	741
1969	929	217		498	644
1970	935	218		559	767
1971	940	219		451	603

Tabel B3.9 Waterbalans Oude IJssel

Periode	Data-Provincie Gelderland				N-gewogen	E <sub>ref</sub>	E/ E <sub>ref</sub>
	Neerslag	Afvoer	Konstante	Evapo- transpiratie(E)			
'55-'56	681	241	72	368			
'56-'57	910	417	72	421			
'57-'58	824	72	72	371			
'58-'59	787	316	72	399			
'59-'60	475	118	72	285			
'60-'61	1081	493	72	516			
'61-'62	965	488	72	405			
'62-'63	665	267	72	326			
'63-'64	687	254	72	361			
'64-'65	686	205	72	409			
'65-'66	1148	559	72	517			
'66-'67	1094	550	72	472			
'67-'68	788	336	72	380			
'68-'69	789	344	72	373			
'69-'70	735	282	72	381			
'70-'71	744	318	72	354	726,7	548,6	0,65
'71-'72	519	129	72	318	520,1	568,5	0,56
'72-'73	740	235	72	433	723,6	504,3	0,86
'73-'74	706	236	72	398	677,2	574,9	0,69
'74-'75	884	351	72	461	876,4	544,5	0,85
'75-'76	635	201	72	362	612,9	581,4	0,62
'76-'77	497	115	72	310	490,8	620,2	0,50
'77-'78	774	256	72	446	778,9	504,4	0,88
'78-'79	662	278	72	312	637,8	503,3	0,62
'79-'80	715	301	72	342	680,6	491,9	0,70
'80-'81	886	359	72	435	830,8	507,8	0,86
'81-'82	709	321	72	316	693,3	518,3	0,61
'82-'83	722	233	72	417	706,6	587,8	0,71
'83-'84	824	320	72	432	786,9	550,5	0,78
'84-'85	743	278	72	393	702,8	494,8	0,79
'85-'86	906	297	72	537	855,4	512	1,05
'86-'87	823	308	72	443	780,0	560,6	0,79
'87-'88	1039	443	72	524	996,4	495,2	1,06
'88-'89	763	306	72	385	726,4	521,7	0,74
Gemiddeld '70-89	752,2	278,2	72,0	400,9	726,5	536,4	0,75



Tabel B3.10 Waterbalans Noordoostpolder in mm

Jaar	Neerslag N	Afvoer A	Inlaat I	Kwel K	$E_{act}=N+I+K-A$	$0,8*E_0$	$E_{ref}$	$\frac{E_{act}}{(0,8*E_0)}$	$\frac{E_{act}}{E_{ref}}$
1951	842,1	820,5	89,8	438	549,4	540,8		1,02	
1952	728,2	739,5	92,4	438	519,1	543,2		0,96	
1953	567,3	613,9	91,5	438	482,9	557,6		0,87	
1954	987,1	854,9	89,4	438	659,6	542,4		1,22	
1955	608,8	645,6	112,4	438	513,6	559		0,92	
1956	813,2	837,1	107,6	438	521,7	496,8		1,05	
1957	833,5	876	149	438	544,5	560,8		0,97	
1958	814,7	830,9	172,6	419,7	576,1	516,8		1,11	
1959	566,5	686,9	232,2	419,7	531,5	553,6		0,96	
1960	1067,7	983,2	165,8	419,7	670	535,2		1,25	
1961	931	954,8	161,5	419,7	557,4	482,4		1,16	
1962	692,6	761	176,4	419,7	527,7	455,2		1,16	
1963	679,9	713,9	160,9	419,7	546,6	468,8		1,17	
1964	683,1	670	192,8	419,7	625,6	528		1,18	
1965	1000,4	936	152,2	419,7	636,3	473,6		1,34	
1966	998,1	1012,8	165,5	419,7	570,5	487,8		1,17	
1967	907	854,6	177	419,7	649,1	527,2		1,23	
1968	930,2	897,8	194,7	419,7	646,8	492,8		1,31	
1969	867,6	821	199,3	419,7	665,6	548,8		1,21	
1970	903	781,1	184	419,7	725,6	532	548,3	1,36	1,32
1971	559,4	620,2	182,8	419,7	541,7	556	557,7	0,97	0,97
1972	767,2	683	149,5	419,7	653,4	520	510	1,26	1,28
1973	827,6	754,5	152,3	419,7	645,1	552,8	570	1,17	1,13
1974	903,2	775,9	131,3	419,7	678,3	535,2	551,4	1,27	1,23
1975	746,1	676,7	140,4	419,7	629,5	577,6	579,1	1,09	1,09
1976	491	553,8	190,8	419,7	547,7	519,2	616,5	1,05	0,89
1977	740,9	699,2	139,7	419,7	601,1	517,6	513,4	1,16	1,17
1978	739,4	690,7	136,4	419,7	604,8	491,2	507	1,23	1,19
1979	869,2	863,3	116	419,7	541,6	491,2	493,3	1,10	1,10
1980	805,4	817,8	133	419,7	540,3	510,4	508,8	1,06	1,06
gemiddeld	795,7	780,9	151,3	424,0	590,1	522,5	501,4	1,13	1,18

Tabel B3.11 Waterbalans Rottegeatspolder

Ver- slag num- mer	Periode van	Periode tot	Aantal dagen	P Neer- slag (mm)	I Inge- laten water (mm)	L Ge- loosd water (mm)	AVg	Vs Veran- dering hoeveel- heid bodem- water (mm)	V Verdam- ping (mm)	Vqem gemiddelde verdamping (mm/dag)
1	01/08/47	30/9	61	108	21	0	-	-3	135	2,21
2	1/10	05/01/48	65*	107	0	70	46	-2	-8	*
2	6/1	31/3	57**	74	0	72	-11	-3	15	**
2	1/4	30/6	91	201	0	15	-40	1	227	2,49
2	1/7	4/10	96	261	0	12	19	3	228	2,38
3	5/10	09/01/49	97	115	0	44	41	-1	31	0,32
3	10/1	30/3	80	102	0	70	-25	1	56	0,7
3	31/3	29/6	91	171	0	22	-44	-1	193	2,12
3	30/6	3/10	96	156	15	1	-72	-2	206	2,15
4	4/10	2/1/50	91	301	4	146	82	7	69	0,76
4	3/1	18/5	136	267	0	151	-66	-1	183	1,35
4	19/5	3/7	46	97	0	2	-37	-3	136	2,96
4	4/7	1/10	90	347	2	89	39	3	216	2,4
5	2/10	18/4/1951	199							
5	19/4	9/7	82	139	0	21	-58	-2	178	2,17
5	10/7	3/10	86	139	16	0	-24	-2	181	2,1
6	4/10	14/1/1952	103	271	0	121	101	5	44	0,43
6	15/1	9/4	86	131	0	107	-1	-4	29	0,34
6	10/4	6/8	119	250	12	2	-70	2	328	2,76
6	7/8	3/1 1	89	222	0	35	66	-1	122	1,37
7	4/1 1	04/02/53	93	213	0	183	10	0	20	0,22
7	5/2	5/5	90	147	0	109	-33	-1	72	0,8
7	6/5	6/8	93	218	5	6	-39	-1	257	2,76
7	7/8	26/10	81	220	0	61	40	3	116	1,43
8	27/10	04/05/54	190	225	0	150	-24	-3	102	0,54
8	5/5	4/1	92	264	4	22	22	5	219	2,38
8	5/8	2/11	90	306	0	137	41	-3	131	1,46
9	3/1 1	02/05/55	181	346	0	301	-40	0	85	0,47
9	3/5	1/9	122	260	11	33	-82	-2	322	2,64
9	2/9	30/11	89	235	0	72	93	0	70	0,79
10	1/12	29/5/56	181	329	0	249	-26	0	106	0,59
10	30/5	11/9	105	431	0	43	33	1	264	2,51
10	12/9	6/12	86	161	0	89	7	1	64	0,74
11	7/12	08/03/57	92	171	0	144	-2	-4	33	0,36
11	9/1	5/6	89	113	4	33	-56	0	140	1,57
11	6/6	4/9	91	288	0	11	2	1	253	2,78
11	5/9	5/12	92	248	0	151	10	-1	88	0,96
12	6/12	06/03/58	91	199	0	181	29	10	-21	-0,2
12	7/3	5/6	91	122	0	30	-46	-9	147	1,62
12	6/6	4/9	91	233	0	17		-1	223	2,45
12	5/9	4/12	91	208	0	89	44	0	75	0,82

Ver- slag num- mer	Periode van	Periode tot	Aantal dagen	P Neer- slag (mm)	I Inge- laten water (mm)	L Ge- loosd water (mm)	AVg	Vs Veran- dering hoeveel- heid bodem- water (mm)	V Verdam- ping (mm)	Vqem gemiddelde verdamping (mm/dag)
13	5/12	04/03/59	90	189	3	210	-6	-2	-10	-0,11
13	5/3	4/6	92	106	0	26	-92	-1	173	1,88
13	5/6	2/9	90	184	12		-53	-1	249	2,77
13	3/9	3/12	92	107	15	5	57	1	59	0,64
14	4/12	3/3/60	91	160	0	92	62	2	4	0,04
14	4/3	2/6	91	68	0	14	-75	-2	131	1,44
14	3/6	8/9	98	403	0	68	100	2	233	2,38
14	9/9	7/12	90	312	0	230	34	0	48	0,53
15	8/12	7/3/61	90	198	0	198	-10	-2	12	0,13
15	8/3	6/6	91	142	0	32	-41	2	153	1,68
15	7/6	6/9	92	293	0	20	26	2	245	2,66
15	7/9	6/12	91	251	0	151	17	-1	84	0,92
15	7/12	9/3/62	93	184	0	188	-27	-2	25	2,27
15	10/3	7/6	90	167	0	52	26	1	88	0,98
15	8/6	5/9	90	208	0	0	-18	-2	228	2,53
15	6/9	6/12	92	158	0	34	27	1	96	1,04
16	7/12	7/3/63	91	96	0	52	22	23	-1	-0,01
16	8/3	7/6	92	170	0	112	-45	-21	124	1,35
16	8/6	4/9	89	312	0	43	49	1	219	2,46
16	5/9	4/12	91	195	0	105	0,3	3	90	0,99
16	5/12	4/3/64	91	80	0	74	-18	0	24	0,26
16	5/3	3/6	91	168	0	46	-21	1	142	1,56
16	4/6	3/9	92	158	9	0	-77	-5	249	2,71
16	4/9	2/12	90	190	0	9	98	2	81	0,9
16/17	3/12	4/3/65	92	193	0	176	-5	1	21	0,23
17	5/3	6/7	124	399	0	172	-7	4	230	1,85
17	7/7	7/9	63	202	0	41	-53	-2	216	3,43
17	8/9	8/12	92	154	0	72	8	2	72	0,78
17	9/12	2/3/66	84	225	0	261	-1	-4	-31	-0,37
17	3/3	7/6	97	170	0	70	-43	0	143	1,47
17	8/6	7/9	92	259	0	0	16	-2	245	2,66
17	8/9	7/12	91	231	0	98	41	3	89	0,98
17/18	8/12	6/3/67	89	329	0	215	-2	-3	18	0,2
18	7/3	5/6	91	209	0	59	-31	7	174	1,91
18	6/6	5/9	92	179	0	0	-38	-6	224	2,43
18	6/9	6/12	92	275	0	128	60	0	87	0,95
18	7/12	4/3/68	89	164	0	184	5	-1	-24	-0,27
18	5/3	4/6	92	165	0	36	-17	3	142	1,54
18	5/6	2/9	90	245	0	17	-11	-1	240	2,67
18	3/9	9/12	98	337	0	236	51	-3	53	0,54
18/19	10/12	4/3/69	85	119	0	98	-14	13	22	0,26
19	5/3	2/6	90	178	0	65	10	-7	109	1,21
19	3/6	1/9	91	280	9	60	2	0	227	2,49

Ver- slag num- mer	Periode van	Periode tot	Aantal dagen	P Neer- slag (mm)	I Inge- laten water (mm)	L Ge- loosd water (mm)	AVg	Vs Veran- dering hoeveel- heid bodem- water (mm)	V Verdam- ping (mm)	Vqem gemiddelde verdamping (mm/dag)
19	2/9	1/12	91	180	0	72	7	-2	116	1,27
19	2/12	02/03/70	91	164	0	149	13	1	2	0,02
19	3/3	1/6	91	164	0	93	-34	1	104	1,14
19	2/6	8/9	99	206	11	6	-60	-2	274	2,77
19	9/9	8/12	91	297	0	127	84	1	85	0,93
19	9/12	1/2/71	65	84	0	77	-4	-1	12	0,18

\* excl,1/11/1947— 2/12/47

\*\*excl,6/1/1948— 2/ 2/48

geen gegevens beschikbaar

Verslag nummer	Periode	Periode	Rottegatpolder				Wage- ningen	IJssel- meer		
			Waterbalans		Verticaal damp transport KNMIveld	Bereken- de ver- damping			Lysime- ters (gras)	Open bak (drijvend)
			Polder	Drainage- lysime- terveld						
11	07/12/56	3-Aug-57	33	45	—*	32	12	—		
11	9/3	5/6	140	100	70	118	194	—		
11	6/6	4/9	253	257	212	259	221	358		
11	5/9	5/12	88	111	67	99	—	—		
12	6/12	06/03/58	-21	31	—	34	—	—		
12	7/3	5/6	147	123	—	116	150	—		
12	6/6	4/9	223	243	232	232	218	311		
12	5/9	4/12	75	96	73	93	74	108		
13	5/12	04/03/59	-10	39	—	36	36	—		
13	5/3	4/6	173	145	—	108	183	—		
13	5/6	2/9	249	226	249	238	263	394		
13	3/9	3/12	59	74	76	75	63	—		
14	4/12	03/03/60	4	33	—	15	25	—		
14	4/3	2/6	131	133	—	146	180	217		
14	3/6	8/9	233	272	228	247	221	360		
14	9/9	7/12	48	53	69	63	154	99		
15	8/12	07/03/61	12	10	—	16	22	—		
15	8/3	6/6	153	142	—	153	168	193		
15	7/6	6/9	245	220	185	202	198	320		
15	7/9	6/12	84	78	—	85	—	107		
15	7/12	09/03/62	25	21	—	26	21	—		
15	10/3	7/6	88	71	—	145	140	—		
15	8/6	5/9	228	158	160	199	220	325		
15	6/9	6/12	96	87	—	139	54	—		
16	7/12	7/3/63	-1	22	20	—	—	—		
16	8/3	7/6	124	111	—	205	—	—		
16	8/6	4/9	219	212	—	244	329	—		
16	5/9	4/12	90	41	64	63	—	—		

Verslag nummer	Periode	Periode	Rottegatpolder				Wageningen	IJsselmeer
			Waterbalans		Verticaal damp transport KNMIveld	Berekende verdamping		
			Polder	Drainage-lysimeterveld				
16	5/12	04/03/64	24	0	—	-5	—	
16	5/3	3/6	142	106		194	—	
16	4/6	3/9	249	223	—	241	374	
16	4/9	2/12	81	69	56	60	116	
16/17	3/12	4/3/65	21	7	—	—	—	
17	5/3	6/7	230	166	—		322	
17	7/7	7/9	216	135	95		217	
17	8/9	8/12	72	62			81	
17	9/12	2/3/66	-31	-6			—	
17	3/3	7/6+	143	106			223	
17	8/6	7/9	245	239			336	
17	8/9	7/12	89	63			99	
17/18	8/12	6/3/67	18	15			—	
18	7/3	5/6	174	134			229	
18	6/6	5/9	224	192			340	
18	6/9	+	87	55			97	
18	7/12	4/3/68	-24	22			—	
18	5/3	4/6	142	148			—	
18	5/6	2/9	240	211			301	
18	3/9	9/12	53	68			108	
18/19	10/12	4/3/69	22	3			—	
19	5/3	2/6	109	111			—	
19	3/6	1/9	227	222			345	
19	2/9	1/12	116	93			129	
19	2/12	2/3/70	2	18			—	
19	3/3	1/6	104	109			179	
19	2/6	8/9	274	233			396	
19	9/9	8/12	85	62			97	
19	9/12	1/2/71	12	20			—	

Tabel B3.12 Waterbalans Hupsel

Jaar	Neerslag				Verdamping		Afvoer 10A	N-A	N-A/ E <sub>Hupsel</sub>	E <sub>ref</sub> De Bilt	N-A /E <sub>ref</sub> De Bilt
	HB007	HB008	HB017	N <sub>gem</sub>	E <sub>ref</sub> De Bilt	E <sub>Hupsel</sub>					
1983	871	836	901	869,3	550	550					
1984	937	884	969	930,0	498	500	447	483,0	0,97	497,5	0,97
1985	828	763	851	814,0	509	504	305	509,0	1,01	509	1,00
1986	831	775	858	821,3	565	547	279	542,3	0,99	565,1	0,96
1987	955	916	986	952,3	499	485	462	490,3	1,01	499,2	0,98
1988	885	853	917	885,0	506	494	387	498,0	1,01	505,9	0,98
1989	673	653	694	673,3	603	581	186	487,3	0,84	602,8	0,81
1990	861	829	888	859,3	584	572	269	590,3	1,03	583,4	1,01
1991	683	659	710	684,0	538	542	216	468,0	0,86	537,6	0,87
1992	775	753	799	775,7	579	582	259	516,7	0,89	579,2	0,89
1993	1012	986	1030	1009,3	517	529	442	567,3	1,07	516,5	1,10
1994	681	660	698	679,7	539	557				539,5	
1995											
Gemiddeld	844	807,1	870,2	840,4	539,8	533,6	325,2	515,27	0,97	539,6	0,96

**Annex A. Accuracy of evapo-transpiration in the Cabauw 11 year time series 1986-1996, Fred Bosveld (KNMI), 17-sep-2004**

Three observational methods are used to estimate the evapo-transpiration at the grassland site Cabauw. They are (1) the energy balance method with sensible heat flux estimated with the aerodynamic profile technique, (2) the energy balance Bowen ratio method and 3) the aerodynamic profile method. The first method is used for the final time series.

Method 1 and 2 are not independent insofar that they both use the observed available energy (net radiation minus soil heat flux) as an input. Method 2 and 3 are independent since the vertical differences in dry- and wet-bulb temperatures are measured over a different height intervals. Method 1 and 3 might be a bit dependent since the vertical difference in dry-bulb temperature is used in both the derivation of sensible heat flux of (1) and the latent heat flux of (3).

The challenge now is to come up with an estimate of the error in the 11 year mean value. As a disclaimer let me first state that this is impossible to do in a rigorous way (see below for an argument). However, to get an impression of the accuracy of the observed evapotranspiration fluxes, the three methods are compared. Comparison is done at a monthly mean basis and on a yearly mean basis. In the table biases and standard deviations around the biases are given for the three possible combinations, both for monthly means and for yearly means. Here only half hour values are used when all three observations are available.

	<b>Pr – Bal</b>		<b>Bow - Bal</b>		<b>Prof – Bow</b>	
<i>W/m2</i>	<i>bias</i>	<i>sigma</i>	<i>bias</i>	<i>sigma</i>	<i>bias</i>	<i>sigma</i>
Month	1	11	4	6	-3	6
<b>Year</b>	1	5	4	3	-3	5

The systematic bias is typical 3 W/m<sup>2</sup>. This number does not get smaller when going to longer time series. Standard deviation around the bias is reduced by a factor of two when going from monthly to yearly averages. This factor of 2 is smaller than one would expect when the errors in monthly means were completely independent. Given that the number of month in a year and the number of years in the complete time series are approximately equal we can make a best guess for the random error in the 11 year being 3 W/m<sup>2</sup>, again a factor of 2 of the value for **Prof-Bal**. The latter combination is chosen because they are the most independent. The total root mean squared error in the 11 year mean is then typically 4 W/m<sup>2</sup>, which is 7% of the total evapo-transpiration.

As long as we have not solved the issue of surface energy balance closure when using eddy-correlation technique this kind of error consideration are of limited value. Had we include eddy covariance observations as an independent estimate of evapo-transpiration we probably would have found much larger biases between the methods. These biases would not decrease when going to longer time averages.





## Bijlage 4 Tabellen bij verdamping uit waterbalansen

Tabel B4.1 Kwel uit NAGROM

Gebied	Periode		Kwel (water-balansperiode)	Kwelkaart 1985
Poldergebieden				
Krimpenerwaard	1991-2003	1	-109,3	-88,7
Schermerboezem	1977-1997	2	46,6	29,4
Rijnland	1991-2002	2	-4,2	-9,4
Noordoostpolder	1951-1980	2	243,0	172,3
Stroomgebieden				
Hupsel	1984-1993	1	-357,6	-285,7
De Dommel, Reusel/Achterste Stroom	1980-1999	2	-50,8	-59
Beerze	1986-1998	2	-68,7	-103,4
Drentsche Aa	1993-2001	2	-86,8	-98,6
De Dommel, Kleine Aa en Smalwater	1977-1997	2	-75,4	-108
De Dommel, Kleine Dommel/Rul	1980-1999	3	-22,9	-66
Groenlosche Slinge	1997-2003	3	-26,5	-47,7
Regge en Dinkel	1996-2000	3	-11,3	-9,8
Oude IJssel	1955-1989	4	-6,3	35,8
Hunze	1990-1994	4	61,3	71,2
Chaamse Beek	1990-1999	4	-42,1	-87,7
Aa of Weerijns	1990-1999	4	-63,4	-106,1
Schuitenbeek	1988-1994	4	-161,9	-181,0
Hierdensche Beek	1990-1998	4	-330,5	-195,9

Tabel B4.2 Correctiefactoren ten behoeve van de vergelijking van de actuele verdamping uit STONE 2.1 en uit waterbalansen voor open-water en stedelijk gebied

Balansgebied	Percentage van totale areaal			Fractie <sub>L+N</sub> + 0,5 * Fractie <sub>St_Geb</sub>	Fractie <sub>Op_Wat</sub> *1,25*E <sub>ref</sub>
	Water	Stedelijk Gebied	Landbouw +Natuur		
Krimpenerwaard	10,0	12,0	78,0	0,84	67,3 <sup>1</sup>
Schermerboezem	3,4	18,8	77,8	0,872	22,9
Rijnland	7,2	23,2	69,6	0,812	48,5
Noord-Oostpolder	1,0	6,5	92,5	0,9575	6,5
Dommel, Reusel stuw Hondsborg	1,2	10,9	87,9	0,9335	8,1
Dommel, Kleine Dommel/Rul	1,6	10,5	87,9	0,9315	10,8
Dommel, Kleine Aa/Dommeltje					
Smalwater	0,7	8,1	91,2	0,9525	4,7
Regge en Dinkel	1,1	14,1	84,8	0,9185	7
Groenlosche Slinge	0,6	7,3	92,1	0,9575	4,0
Hunze	0,6	5,7	93,7	0,9655	4,0
Chaamse Beek	0,3	7,3	92,4	0,9605	2,0
Aa of Weerijns	0,6	7,7	91,7	0,9555	4,0
Schuitenbeek	0,4	10,6	89,0	0,9430	2,7
Hierdense beek	0,2	7,4	92,4	0,9610	1,3
Beerze	0,8	8,0	91,2	0,9520	5,4
Drenthe Aa	0,7	7,1	92,2	0,9575	4,7
Hupsel	0,0	4,3	95,7	0,9785	0,0

<sup>1</sup>Het areaal open water is voor Krimpenerwaard hoger ingeschat

## Bijlage 5 Tabellen bij de vergelijking met de verdamping van STONE 2.1

### *Krimpenervwaard*

jaar	$E_{\text{Stone}}$	$E_{\text{watbal}}$	$E_{\text{L+N}}$	$E_{\text{ref}}$	$E_{\text{L+N}}/E_{\text{Stone}}$
1991	509,3	513,6	559,9	537,6	1,10
1992	550,3	570,3	609,4	579,2	1,11
1993	497,1	520,3	534,8	516,5	1,08
1994	518,7	547,6	562,1	539,5	1,08
1995	566,7	625,0	622,5	590,2	1,10
1996	496,5	495,0	542,0	522,6	1,09
1997	541,0	543,0	587,9	561,1	1,09
1998	472,2	524,5	505,8	492,2	1,07
1999	567,3	547,4	613,3	582,5	1,08
2000	525,1	533,9	563,3	540,5	1,07
2001	533,9	512,5	599,9	571,2	1,12
2002	450,3	486,0	602,7	573,6	1,34
Gemiddeld	519,0	534,9	575,3	550,6	1,11

### *Rijnland*

jaar	$E_{\text{Stone}}$	$E_{\text{watbal}}$	$E_{\text{L+N}}$	$E_{\text{ref}}$	$E_{\text{L+N}}/E_{\text{Stone}}$
1991	476,9	464,5	512,3	570,6	1,07
1992	533,5	553,0	621,3	604,3	1,16
1993	480,3	529,0	591,7	573,7	1,23
1994	503,7	481,9	533,8	584,8	1,06
1995	534,8	500,8	557,0	634,7	1,04
1996	448,7	467,6	516,1	563,9	1,15
1997	516,6	478,2	529,1	604,6	1,02
1998	471,8	538,0	602,9	541,9	1,28
1999	546,6	532,1	595,6	616,3	1,09
2000	524,1	461,8	509,0	568,7	0,97
2001	509,4	501,9	558,3	604,4	1,10
2002	448,5	526,0	588,1	590,4	1,31
Gemiddeld	499,6	502,9	559,6	588,2	1,12

*Schermerboezem*

jaar	E <sub>Stone</sub>	E <sub>watbal</sub>	E <sub>L+N</sub>	E <sub>ref</sub>	E <sub>L+N</sub> /E <sub>Stone</sub>
1977	515,5	327,6	349,4	530,4	0,68
1978	521,0	421,2	456,8	531,0	0,88
1979	494,6	323,2	344,3	515,8	0,70
1980	525,7	358,3	384,6	537,4	0,73
1981	531,8	383,6	413,7	535,0	0,78
1982	552,7	439,4	477,6	601,5	0,86
1983	521,7	409,4	443,2	565,3	0,85
1984	517,1	398,6	430,9	522,6	0,83
1985	494,1	394,1	425,6	526,0	0,86
1986	554,7	508,7	557,1	589,3	1,00
1987	512,3	432,9	470,2	527,9	0,92
1988	533,3	473,2	516,4	528,3	0,97
1989	591,7	506,4	554,5	620,5	0,94
1990	579,4	513,3	562,4	605,0	0,97
1991	522,5	434,7	472,2	554,1	0,90
1992	581,0	498,7	545,6	600,1	0,94
1993	543,1	406,1	439,4	545,7	0,81
1994	549,4	350,4	375,5	559,6	0,68
1995	578,8	405,3	438,5	611,6	0,76
1996	501,2	398,0	430,1	540,3	0,86
1997	567,8	454,2	494,6	581,8	0,87
Gemiddeld	537,6	420,8	456,3	558,5	0,85

*Regge*

jaar	E <sub>Stone</sub>	E <sub>watbal</sub>	E <sub>L+N</sub>	E <sub>ref</sub>	E <sub>L+N</sub> /E <sub>Stone</sub>
1996	495,7	425	455,1		0,92
1997	575,6	564	606,4		1,05
1998	514,2	487	522,6		1,02
1999	595,5	549	590,1		0,99
2000	560,0	531	570,5		1,02
Gemiddeld	548,2	511,2	548,9		1,00

*Noordoostpolder (Kwel Stone)*

jaar	E <sub>Stone</sub>	E <sub>watbal</sub>	E <sub>L+N</sub>	E <sub>ref</sub>	E <sub>L+N</sub> /E <sub>Stone</sub>
1971	501,7	366,2	375,7	557,7	0,75
1972	467,5	474,6	488,9	510	1,05
1973	530,3	468,1	482,1	570	0,91
1974	515,2	501,7	517,2	551,4	1,00
1975	546,3	452,9	466,2	579,1	0,85
1976	525,1	374,7	384,6	616,5	0,73
1977	484,9	423,0	435,0	513,4	0,90
1978	495,2	426,7	438,9	507	0,89
1979	463,7	362,8	372,1	493,3	0,80
1980	488,7	366,2	375,7	508,8	0,77
Gemiddeld	501,9	421,7	433,6	540,7	0,86

*Noordoostpolder (Kwel Lit)*

jaar	$E_{\text{Stone}}$	$E_{\text{watbal}}$	$E_{\text{L+N}}$	$E_{\text{ref}}$	$E_{\text{L+N}}/E_{\text{Stone}}$
1971	501,7	541,7	559,0	557,7	1,11
1972	467,5	653,4	675,6	510	1,45
1973	530,3	645,1	666,9	570	1,26
1974	515,2	678,3	701,6	551,4	1,36
1975	546,3	629,5	650,7	579,1	1,19
1976	525,1	547,7	565,2	616,5	1,08
1977	484,9	601,1	621,0	513,4	1,28
1978	495,2	604,8	624,9	507	1,26
1979	463,7	541,6	558,9	493,3	1,21
1980	488,7	540,3	557,5	508,8	1,14
Gemiddeld	501,9	598,4	618,1	540,7	1,23

*Oude IJssel*

jaar	$E_{\text{Stone}}$	$E_{\text{watbal}}$	$E_{\text{L+N}}$	$E_{\text{ref}}$	$E_{\text{L+N}}/E_{\text{Stone}}$
1971	542,8	373,9		568,5	
1972	504,2	495,9		504,3	
1973	563,1	460,9		574,9	
1974	570,7	531,9		544,5	
1975	575,2	417,9		581,4	
1976	538,3	367,8		620,2	
1977	524,9	512,9		504,4	
1978	508,2	374,5		503,3	
1979	489,4	406,3		491,9	
1980	501,6	521,9		507,8	
1981	503,4	387,6		518,3	
1982	577,6	476,6		587,8	
1983	555,0	503,6		550,5	
1984	510,1	466,1		494,8	
1985	492,0	602,4		512	
1986	546,2	512,1		560,6	
1987	469,0	597,8		495,2	
1988	509,7	457,4		521,7	
Gemiddeld	526,8	470,4		535,7	

*Groenlosche Slinge*

jaar	E <sub>Stone</sub>	E <sub>watbal</sub>	E <sub>L+N</sub>	E <sub>ref</sub>	E <sub>L+N</sub> /E <sub>Stone</sub>
1997	568,3	442,6	458,0	561,1	0,81
1998	496,2	407,4	421,3	492,2	0,85
1999	590,8	501,8	519,9	582,5	0,88
2000	548,1	451,3	467,1	540,5	0,85
2001	543,0	470,2	486,9	571,2	0,90
2002	470,6	419,2	433,6	573,6	0,92
Gemiddeld	536,1	448,7	464,5	634,9	0,87

*De Dommel SO2*

jaar	E <sub>Stone</sub>	E <sub>watbal</sub>	E <sub>L+N</sub>	E <sub>ref</sub>	E <sub>L+N</sub> /E <sub>Stone</sub>
1980	519,4	489,4	513,8	508,8	0,99
1981	545,9	495,6	520,4	501,4	0,95
1982	594,9	422,8	442,3	595,3	0,74
1983	593,7	465,5	488,1	550,5	0,82
1984	555,9	470,4	493,4	497,5	0,89
1985	533,9	413,6	432,4	509	0,81
1986	585,9	484,1	508,2	565,1	0,87
1987	528,8	405,0	423,2	499,2	0,80
1988	578,1	477,7	501,2	505,9	0,87
1989	597,3	412,4	431,1	602,8	0,72
1990	579,1	482,5	506,4	583,4	0,87
1991	525,2	407,1	425,5	537,6	0,81
1992	601,8	522,2	549,0	579,2	0,91
1993	565,6	509,1	535,0	516,5	0,95
1994	604,4	399,9	417,8	539,5	0,69
1995	600,8	382,1	398,6	590,2	0,66
1996	516,0	486,8	511,1	522,6	0,99
1997	600,4			561,1	
1998	561,7	543,6	572,0	492,2	1,02
1999	640,7	399,5	417,3	582,5	0,65
Gemiddeld	569,9	456,3	478,2	541,0	0,84

*De Dommel SO1*

jaar	E <sub>Stone</sub>	E <sub>watbal</sub>	E <sub>L+N</sub>	E <sub>ref</sub>	E <sub>L+N</sub> /E <sub>Stone</sub>
1980	513,7	435,9	458,2	508,8	0,89
1981	539,4	535,6	565,0	501,4	1,05
1982	595,0	447,1	470,3	595,3	0,79
1983	590,8	419,7	441,0	550,5	0,75
1984	547,3	488,0	514,1	497,5	0,94
1985	528,5	435,4	457,8	509	0,87
1986	583,4	497,1	523,8	565,1	0,90
1987	519,6	424,5	446,0	499,2	0,86
1988	567,1	469,0	493,7	505,9	0,87
1989	598,7	431,1	453,2	602,8	0,76
1990	579,2	510,0	537,6	583,4	0,93
1991	527,6	486,3	512,2	537,6	0,97
1992	596,5	561,2	592,5	579,2	0,88
1993	563,1	557,2	588,2	516,5	0,88
1994	600,4	535,0	564,4	539,5	0,87
1995	600,1	386,2	405,1	590,2	0,87
1996	516,1	478,9	504,3	522,6	0,88
1997	599,6	469,9	494,7	561,1	0,88
1998	552,9	579,6	612,2	492,2	0,88
1999	637,3	526,9	555,7	582,5	0,88
Gemiddeld	567,8	483,7	509,5	542,0	0,88

*De Dommel P07+P09*

jaar	E <sub>Stone</sub>	E <sub>watbal</sub>	E <sub>L+N</sub>	E <sub>ref</sub>	E <sub>L+N</sub> /E <sub>Stone</sub>
1977	551,7	558,7	581,6	513,4	1,05
1978	522,8	436,7	453,5	507	0,87
1979	518,4	481,7	500,8	493,3	0,97
1980	518,1	455,2	473,0	508,8	0,91
1981	544,1	542,2	564,3	501,4	1,04
1982	598,9	470,4	488,9	595,3	0,82
1983	593,1	482,1	501,2	550,5	0,85
1984	550,6	524,4	545,6	497,5	0,99
1985	533,8	465,9	484,2	509	0,91
1986	585,9	501,6	521,7	565,1	0,89
1987	524,3	469,1	487,6	499,2	0,93
1988	571,9	496,9	516,8	505,9	0,90
1989	599,8	402,0	417,1	602,8	0,70
1990	582,8	496,1	515,9	583,4	0,89
1991	532,4	454,0	471,7	537,6	0,89
1992	601,1	539,7	561,6	579,2	0,93
1993	568,9	534,7	556,4	516,5	0,98
1994	602,2	464,7	482,9	539,5	0,80
1995	600,6	409,3	424,8	590,2	0,71
1996	517,8	452,0	469,6	522,6	0,91
1997	603,8	461,3	479,4	561,1	0,79
Gemiddeld	563,0	480,9	499,9	537,1	0,89

*Drenthse Aa*

jaar	E <sub>Stone</sub>	E <sub>watbal</sub>	E <sub>L+N</sub>	E <sub>ref</sub>	E <sub>L+N</sub> /E <sub>Stone</sub>
1993	531,4	597,3	618,9	498	1,16
1994	572,3	731,5	759,1	539,2	1,33
1995	588,9	475,7	491,9	576,5	0,84
1996	480,1	408,4	421,6	508,1	0,88
1997	575,0	476,3	492,6	557,9	0,86
1998	533,4	756,2	784,8	488,6	1,47
1999	595,9	534,2	553,0	581,2	0,93
2000	559,3	581,0	601,9	519	1,08
2001	528,7	680,6	705,9	552	1,34
Gemiddeld	551,7	582,4	603,3	535,6	1,09

*Aa of Weerijis*

jaar	E <sub>Stone</sub>	E <sub>watbal</sub>	E <sub>L+N</sub>	E <sub>ref</sub>	E <sub>L+N</sub> /Stone
1990	617,5	410,0	424,9	595,6	0,69
1991	552,9	442,8	459,2	560,0	0,83
1992	607,0	536,2	557,0	571,0	0,92
1993	584,2	510,9	530,5	536,3	0,91
1994	614,7	458,9	476,1	577,2	0,77
1995	628,7	409,1	423,9	604,3	0,67
1996	538,8	433,3	449,3	538,8	0,83
1997	609,0	499,0	518,0	596,6	0,85
1998	581,3	515,2	535,0	517,5	0,92
1999	642,8	444,8	461,3	607,7	0,72
Gemiddeld	597,7	466,0	483,5	570,5	0,81

*Beerze*

jaar	E <sub>Stone</sub>	E <sub>watbal</sub>	E <sub>L+N</sub>	E <sub>ref</sub>	E <sub>L+N</sub> /E <sub>Stone</sub>
1986	586,8	524,8	545,6	564,3	0,93
1987	525,6	495,2	514,5	502,9	0,98
1988	573,2	526,0	546,8	519,8	0,95
1989	600,4	416,1	431,4	629,8	0,72
1990	583,5	511,1	531,2	595,6	0,91
1991	533,2	468,0	485,9	560	0,91
1992	602,2	561,5	584,1	571	0,97
1993	569,8	560,9	583,5	536,3	1,02
1994	603,2	493,2	512,4	577,2	0,85
1995	601,3	428,6	444,5	604,3	0,74
1996	518,7	463,0	480,7	538,8	0,93
1997	605,0	470,2	488,2	596,6	0,81
1998	559,1	666,6	694,5	517,5	1,24
Gemiddeld	574,0	506,6	526,4	562,6	0,92



*Hunze*

jaar	E <sub>Stone</sub>	E <sub>watbal</sub>	E <sub>L+N</sub>	E <sub>ref</sub>	E <sub>L+N</sub> /E <sub>Stone</sub>
1990	524,9	816,7	841,7	541,9	1,60
1991	483,8	668,0	687,7	538,2	1,42
1992	542,5	825,8	851,1	577,4	1,57
1993	483,3	958,4	988,5	498	2,05
1994	530,5	806,1	830,7	539,2	1,57
Gemiddeld	513,0	815,0	839,9	538,9	1,64

*Schuitenbeek*

jaar	E <sub>Stone</sub>	E <sub>watbal</sub>	E <sub>L+N</sub>	E <sub>ref</sub>	E <sub>L+N</sub> /E <sub>Stone</sub>
1988	589,0	583,8	616,2	505,9	1,05
1989	619,4	590,3	623,1	602,8	1,01
1990	621,9	654,9	691,6	583,4	1,11
1991	555,2	540,2	570,0	537,6	1,03
1992	633,0	711,9	752,0	579,2	1,19
1993	582,8	642,9	678,9	516,5	1,16
1994	603,1	671,2	708,9	539,5	1,18
Gemiddeld	600,6	627,9	663,0	552,1	1,10

*Chaamse Beek*

jaar	E <sub>Stone</sub>	E <sub>watbal</sub>	E <sub>L+N</sub>	E <sub>ref</sub>	E <sub>L+N</sub> /E <sub>Stone</sub>
1990	659,3	569,7	591,0	595,6	0,90
1991	602,0	562,4	583,4	560	0,97
1992	666,4	576,5	598,1	571	0,90
1993	632,7	561,0	582,0	536,3	0,92
1994	665,2	574,3	595,8	577,2	0,90
1995	666,3	470,9	488,2	604,3	0,73
1996	567,6	494,2	512,5	538,8	0,90
1997	659,4	546,3	566,7	596,6	0,86
1998	652,5	667,1	692,4	517,5	1,06
1999	702,2	597,7	620,2	607,7	0,88
Gemiddeld	647,3	562,0	583,0	570,5	0,90

*Hierdense Beek*

jaar	E <sub>Stone</sub>	E <sub>watbal</sub>	E <sub>L+N</sub>	E <sub>ref</sub>	E <sub>L+N</sub> /E <sub>Stone</sub>
1990	608,1	439,5	456,0	583,4	0,75
1991	538,8	371,4	385,2	537,6	0,71
1992	622,6	513,7	533,1	579,2	0,86
1993	575,4	506,9	526,1	516,5	0,91
1994	591,9	381,0	395,1	539,5	0,67
1995	599,4	267,7	277,2	590,2	0,46
1996	492,4	378,0	392,0	522,6	0,80
1997	605,6	457,2	474,4	561,1	0,78
1998	590,9	564,8	586,3	492,2	0,99
Gemiddeld	580,6	431,1	447,3	546,9	0,77

*Hupsel*

jaar	E <sub>Stone</sub>	E <sub>watbal</sub>	E <sub>L+N</sub>	E <sub>ref</sub>	E <sub>L+N</sub> /E <sub>Stone</sub>
1984	494,0	483,0	493,6	500,0	1,00
1985	492,9	509,0	520,2	504,0	1,06
1986	501,3	542,3	554,2	547,0	1,11
1987	467,5	490,3	501,1	485,0	1,07
1988	491,3	498,0	508,9	494,0	1,04
1989	514,4	487,3	498,0	581,0	0,97
1990	522,4	590,3	603,3	572,0	1,15
1991	477,9	468,0	478,3	542,0	1,00
1992	535,1	516,7	528,0	582,0	0,99
1993	507,2	567,3	579,8	529,0	1,14
Gemiddeld	500,4	515,2	526,6	533,6	1,05

## Bijlage 6 Reeds verschenen in de reeks Milieu en landelijk gebied

### *Reeks Milieuplanbureau*

- 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 (€ 10,-).
- 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 (€ 10,-).
- 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 (€ 10,-).
- 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 (€ 10,-).
- 5 Leistra, M., 1998. Extent of photochemical transformation of pesticides on soil and plant surfaces. DLO-Staring Centrum, Wageningen (€ 10,-).
- 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, (€ 10,-).
- 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 (€ 10,-).
- 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 (€ 30,-)
- 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 (€ 15,-).
- 11 Hoogeveen, M.W., 2000. Graslandgebruikssystemen in Nederland. Landbouw-Economisch Instituut, Den Haag.
- 12 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. (€ 18,-).
- 13 Hoogeveen, M.W. en H. Leneman. 2001. Protocol berekening landelijk mestoverschot 2003. Landbouwkundig Economisch Instituut.
- 14 Kros, J. en J.P. Mol, Historische pH en stikstofbeschikbaarheden in bossen en natuurterreinen (€ 14,-)

- 15 Staalduinen, L.C. van, H. van Zeijts, M.W. Hoogeveen, H.H. Luesink, T.C. van Leeuwen, H. Prins & J.G. Groenwold. Het landelijk mestoverschot 2003. Methodiek en berekening.
- 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. (€ 18,-).
- 17 Beusen, A.H.W., P. Boers, J.J.M. van Grinsven, O. Oenema & R. Rötter. 2001. De status van het rekeninstrumentarium STONE versie 2.0. Alterra, Wageningen. (€ 15,-).
- 18 Staalduinen, L.C. van, M.W. Hoogeveen, H.H. Luesink, G. Cotteleer, H. van Zeijts, P.H.M. Dekker & C.J.A.M. de Bont, 2002. Actualisering landelijk mestoverschot 2003. Landbouw-Economisch Instituut, Den Haag
- 19 Spiertz, J.H.J. en J.W.H. van der Kolk, 2002. Quick Scan Transitie Duurzame Landbouw. Wageningen, Departement Plantenwetenschappen, Wageningen Universiteit, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen (€ 19).
- 20 Luesink, H.H., 2002. Acceptatie van dierlijke mest per gewasgroep in 1996, 1997, 1998 en 1999. (LEI).
- 21 Berentsen, P.B.M. (WU-ABE) en H.G. van der Meer (PRI), 2002. Loze contracten in de melkveehouderij; oorzaken en mogelijke oplossingen (€ 13,-).

***Reeks Milieu en Landelijk Gebied***

- 22 Oenema, O. and J.W.H. van der Kolk, 2003. Milieu en landelijk gebied; Verkenning regiefunctie programma 385 voor milieuonderzoek in LNV-programma's (€ 18,-).
- 23 Mol, R.M. de, 2004. Evaluatie van de lijst van aanbevelingen in Steenvoorden et al. (1999).
- 24 Verdouw, C., D. Boels, 2004. Milieumonitoring in het landelijk gebied: kan het beter? (€ 18,-).
- 25 Tamminga, S., F. Aarts, A. Bannink, O. Oenema & G.J. Monteny. Actualiseren van geschatte N en P excreties voor rundvee (€ 18,-)
- 26 Commissie van Deskundigen Meststoffenwet. Protocol en uitgangspunten voor berekening landelijk mestoverschot onder een stelsel van gebruiksnormen (€ 13,-)
- 27 Bosch, G.F. van den, B. J. Cino en I.G.A.M. Noij, H.T. Massop, P.C. Jansen, J. Kros & F. Brouwer, 2004. Toepassing integrale milieubenadering; Casestudie Veldbeek (€ 24,-)
- 28 Massop, H.Th.L., P.J.T. van Bakel, T. Kroon, J.G. Kroes, A. Tiktak en W. Werkman, 2005. Op zoek naar de 'ware' neerslag en verdamping; Toetsing van de met het STONE 2.1-instrumentarium berekende verdamping aan literatuurgegevens en aan regionale waterbalansen, en de gevoeligheid van het neerslagoverschot op de uitspoeling van nutriënten. (€ 25,-).