

# Zijn de toegenomen landbouwopbrengsten een der oorzaken van de verdroging in Nederland?

## 1. Inleiding

De verdroging van Nederland is nu een belangrijk milieuthema. Om tot een effectieve bestrijding te komen is het noodzakelijk de oorzaken te kennen. In de rapportage van de Intergroep Verdroging (zie o.a. [Rolf, 1989]) wordt hier uitvoerig aandacht aan besteed. Hieruit blijkt dat de effecten van de verbetering in de landbouwwaterhuishouding door landinrichtingsprojecten en A2-werken op de grondwaterstand (globaal 35 cm daling) moeilijk te kwantificeren zijn.



DR. IR. P. J. T. VAN BAKEL, ten tijde van het onderzoek werkzaam bij het Staring Centrum, thans werkzaam bij Taww Civiel en Bouw, Deventer



IR. P. A. J. W. DE WIT, in 1991 afgestudeerd aan de Landbouwuniversiteit, thans werkzoekend

Nog problematischer is de verklaring van de daling van de grondwaterstanden (globaal 20 cm) buiten gebieden waar landinrichtingsprojecten zijn uitgevoerd. In speculatieve zin is de toename van de gewasverdamping door de toegenomen opbrengsten van landbouwgewassen als één van de veroorzakers aangemerkt. Het probleem is namelijk dat de verdamping op regionale schaal nooit rechtstreeks is gemeten en dat homogene reeksen van waterbalansgegevens van stroomgebieden (op de verdampingsterm na) moeilijk zijn te vinden.

Om meer inzicht te krijgen in de effecten van toegenomen landbouwopbrengsten zijn indicatieve berekeningen uitgevoerd met het gewas aardappelen. Daarbij zijn de veranderingen in productie en verdamping in een periode van 32 jaar (1955-1987) en de daarmee gepaard gaande veranderingen in de grondwaterstand op verschillende manieren berekend.

Ter verificatie zijn de berekende veranderingen vergeleken met de veranderingen afgeleid uit de waterbalans van de Noord-oostpolder (NOP) in de periode 1951-1984 [De Wit, 1991].

## 2. Werkwijze

Als referentie is genomen het gewas consumptie aardappelen, groeiend op gedraineerde fijnzandige podzolgrond met lichte wegzijging (Hn23, grondwatertrap VI). De produktiemogelijkheden van

## Samenvatting

De toegenomen landbouwproductie wordt soms genoemd als één van de oorzaken van de zogenoemde achtergrondverdroging. De achterliggende gedachte daarbij is dat een toename van de gewasopbrengst gepaard gaat met een toename in de gewasverdamping en bijgevolg een verlaging van de grondwaterstand. Om de geldigheid van deze redenering te toetsen is voor het gewas aardappelen, met behulp van het model SWACROP, de in de periode 1955-1987 opgetreden produktiestijging van 40% vertaald in toegenomen gewasverdamping en verlaging van de grondwaterstand. Daarbij zijn drie verschillende benaderingswijzen toegepast:

- het inverteren van de relatie tussen gewasverdamping en de droge-stofproductie (de *inverse-methode*)
- het zodanig verminderen van de oppervlakte groene bladeren dat de productie met 40% wordt gereduceerd (de *LAI-methode*)
- de in de praktijk opgetreden verlenging van het groeiseizoen en de toegenomen stikstofgift in model brengen (de *expert-methode*).

De berekende toename in de langjarig gemiddelde jaarevapotranspiratie anno 1987 ten opzichte van anno 1955, bedraagt volgens de drie methoden respectievelijk 22% (76 mm), 23% (74 mm) en 13% (43 mm) (uitgedrukt t.o.v. 1987). Met de twee laatstgenoemde methoden zijn de bijbehorende verlagingen in de langjarig gemiddelde grondwaterstand en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) berekend voor een podzolgrond met grondwatertrap VI. Deze bedragen 9 respectievelijk 24 cm volgens de *LAI-methode* en 5 respectievelijk 13 cm bij de *expert-methode*. Uit de waterbalansgegevens van de Noordoostpolder is een verschil in jaarlijkse evapotranspiratie tussen de situatie anno 1951 en de situatie anno 1984 afgeleid van circa 69 mm (20% t.o.v. 1984). De uitkomsten van de berekeningen met SWACROP worden daarmee ondersteund.

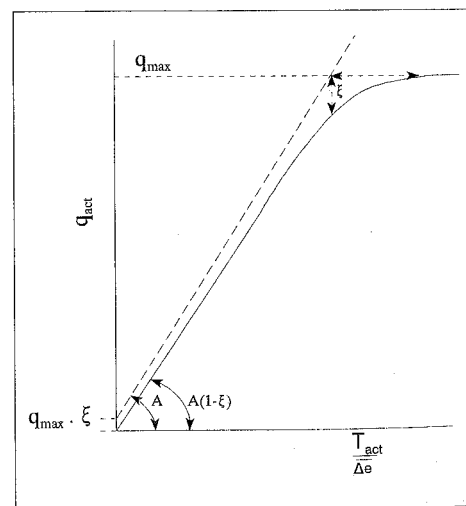
het gewas komen overeen met de situatie anno 1987.

Volgens CBS-gegevens is de productie van consumptie aardappelen toegenomen van 25 ton/ha in 1955 tot 42 ton/ha in 1987, overeenkomend met een stijging van circa 40% t.o.v. 1987. De eventueel daarmee gepaard gaande stijging in gewasverdamping is te berekenen als de relatie tussen gewasverdamping (transpiratie) en knolproductie bekend is. Volgens de theorie zoals toegepast in het gewasgroeigedeelte van het model SWACROP [Feddes *et al.*, 1978] is de relatie tussen de droge-stofproductie en de transpiratie te schrijven als (zie ook afb. 1):

$$q_{act} = 0,5 \cdot [A \cdot \frac{T_{act}}{\Delta e} + q_{max} - \sqrt{(q_{max} + A \cdot \frac{T_{act}}{\Delta e})^2 - 4 \cdot q_{max} \cdot A \cdot \frac{T_{act}}{\Delta e} \cdot (1 - \xi)}] \quad (1)$$

- waarin:
- $q_{act}$  = de actuele produktiesnelheid (kg droge stof  $\cdot$  ha<sup>-1</sup>  $\cdot$  dag<sup>-1</sup>)
  - $A$  = de watergebruiksefficiëntie (kg droge stof  $\cdot$  ha<sup>-1</sup>  $\cdot$  cm<sup>-1</sup>  $\cdot$  mbar<sup>-1</sup>)
  - $T_{act}$  = de actuele transpiratie (cm  $\cdot$  dag<sup>-1</sup>)
  - $q_{max}$  = de maximale produktiesnelheid (kg droge stof  $\cdot$  ha<sup>-1</sup>  $\cdot$  dag<sup>-1</sup>)
  - $\xi$  = de flexibiliteitsconstante
  - $\Delta e$  = gemiddelde waterdampdruktekort van de lucht (mbar)

De relatie tussen transpiratie en droge-stofproductie volgens (1) is eenduidig en



Afb. 1 - Schematische weergave van de relatie tussen het quotiënt van actuele transpiratie ( $T_{act}$ ) en dampdruk tekort ( $\Delta e$ ), en de produktiesnelheid van droge stof ( $q_{act}$ ) (ontleend aan [Feddes *et al.*, 1978]).

omkeerbaar. Aangezien de productie van oogstbare delen een vaste fractie is van de droge-stofproductie, is de relatie tussen gewasverdamping en knolproductie ook te beschouwen als eenduidig en omkeerbaar. Hiervan is op drie manieren gebruik gemaakt.

- Inverteren van (1), de zogenoemde *inverse-methode*.  $T_{act}$  is te schrijven als functie van  $q_{act}$ . De reductie in de gewasverdamping kan worden bepaald door voor een groot aantal jaren allereerst de gewasverdam-

ping en -productie te berekenen voor de situatie anno 1987. Vervolgens wordt een reductie van 40% aangebracht op de gewasproductie en wordt met de inverse vergelijking de gewasverdamping uitgerekend.

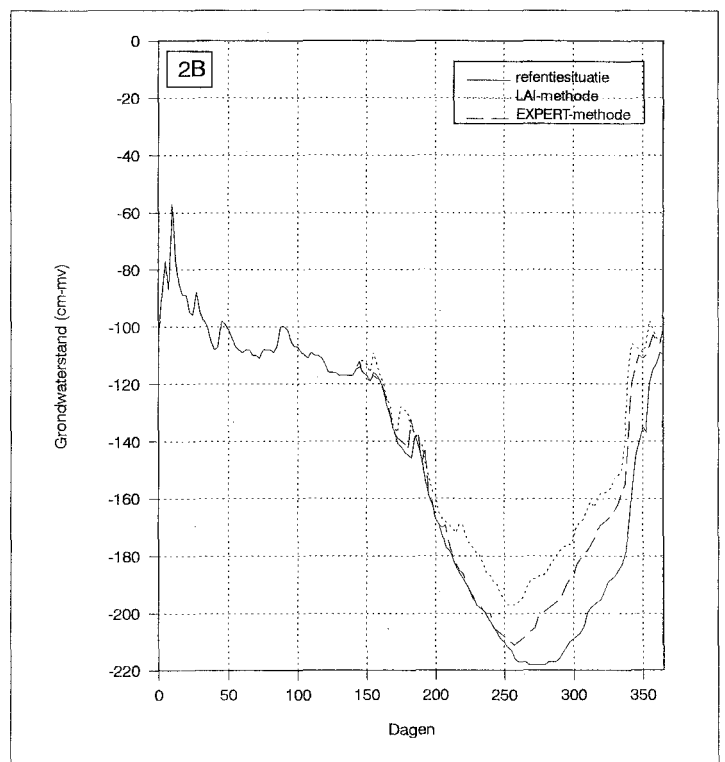
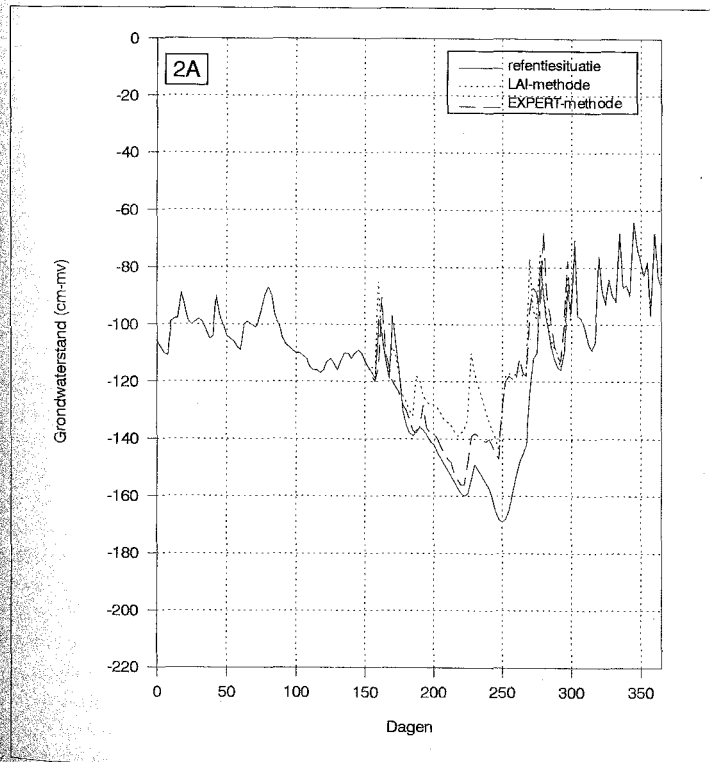
b. Aanpassen van de productiecapaciteit van de plant, de zogenoemde *LAI-methode*. Het productie-apparaat van de plant (de hoeveelheid groene bladeren per eenheid van grondoppervlakte, uitgedrukt als de Leaf Area Index: LAI) kan qua omvang zodanig worden gereduceerd dat langjarig gemiddeld een afname van 40% in de gewasproductie wordt berekend. Hierbij worden ook de veranderingen in de grondwaterstanden berekend.

c. Kwantificeren van de opgetreden veranderingen in de teelt van het gewas, de zogenoemde *expert-methode*.

De toegenomen opbrengsten bij aardappels zijn volgens C. D. van Loon (werkzaam bij het Proefstation voor de Akkerbouw en Groenteteelt in de Vollegrond (PAGV)), hoofdzakelijk toe te schrijven aan een verhoogde stikstofgift, verlenging van het groeiseizoen door een betere pootgoedbehandeling en een betere bestrijding van de aardappelziekte *Phytophthora*. Hierdoor is het gewas anno 1987 eerder gesloten en langer groen in vergelijking met de situatie anno 1955.

Om de berekende resultaten van de

Afb. 2 - Met SWACROP gesimuleerde grondwaterstandverlopen in een nat jaar (1974; 2A) en een zeer droog jaar (1976; 2B) voor de referentiesituatie (1987) en de situatie anno 1955, berekend met twee verschillende methoden.



TABEL I - Met SWACROP gesimuleerde 15-jarig gemiddelde actuele transpiratie ( $T_{act}$ ) en actuele evapotranspiratie ( $ET_{act}$ ) voor de situatie anno 1987 (referentiesituatie) en de veranderingen hierin voor de situatie anno 1955, berekend met drie verschillende methoden.

	$T_{act}$ (mm)	$\Delta T_{act}$ (mm)	$ET_{act}$ (%)	$\Delta ET_{act}$ (mm)	(mm)	(%)
Referentie situatie	185	-	-	341	-	-
Inverse-methode	109	76	41	246	95	28
LAI-methode	110	74	40	265	77	22
Expert-methode	142	43	25	297	45	13

verschillende methoden onafhankelijk te maken van de meteorologische omstandigheden, is elk alternatief doorgerekend met 15 verschillende meteorologische jaren (1971 t/m 1985). Hierbij zijn de verschillen in 15-jarig gemiddelde productie, verdamping en grondwaterstanden tussen de situaties anno 1955 en anno 1987 met SWACROP berekend.

### 3. Resultaten

#### Verdamping

Het gewasgroeigedeelte van het model SWACROP rekent op dagbasis. Voor de vraag of de toegenomen gewasproductie één van de oorzaken is van de achtergrondverdroging zijn echter alleen de langjarig gemiddelde veranderingen (en

eventueel de variatie hierin tussen droge en natte jaren) in de totale transpiratie per groeiseizoen (seizoenstranspiratie) en de totale verdamping per jaar (jaarevapotranspiratie) van belang (zie tabel I).

Met de eerste twee methoden wordt een reductie in transpiratie berekend die vrijwel gelijk is aan de reductie in drogestofproductie. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de relatie tussen gewasverdamping en productie bij de gekozen parameterwaarden in het model SWACROP, als lineair kan worden beschouwd.

De kale-grondverdamping wordt door de opgelegde veranderingen niet of nauwelijks beïnvloed. Dit resulteert in een

TABEL II - Met SWACROP gesimuleerde 15-jarig gemiddelde grondwaterstand (G) en Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) voor de situatie anno 1987 (referentiesituatie) en de veranderingen hierin voor de situatie anno 1955, berekend met twee verschillende methoden.

	G(cm-mv)	$\Delta G$ (cm)	GLG(cm-mv)	$\Delta GLG$ (cm)
Referentiesituatie	126,9	-	188,2	-
LAI-methode	118	8,9	164,5	23,7
Expert-methode	122,3	4,6	175,2	13,0

reductie in jaarevapotranspiratie die circa de helft bedraagt van de reductie in seizoentranspiratie.

#### Grondwaterstanden

Met de *LAI-methode* en de *expert-methode* zijn de veranderingen in de grondwaterstanden berekend (tabel II en afb. 2). De *expert-methode* is daarbij als meest realistisch aan te merken.

De berekende veranderingen in grondwaterstand zijn aanzienlijk, vooral die in de GLG. Het effect van toegenomen gewasverdamping is zoals verwacht: de afwijking wordt groter naarmate het groeiseizoen vordert, is maximaal aan het einde ervan en de stijging in het najaar begint later doordat het profiel verder is uitgedroogd. In de loop van de winter worden de verschillen genivelleerd, althans bij de hier gekozen hydrologische situatie waarbij het neerslagoverschot voor het grootste gedeelte via de drains wordt afgevoerd.

#### 4. Verificatie met waterbalansgegevens van de Noordoostpolder

Sinds 1950 worden van de Noordoostpolder (NOP) de uitgemalen en ingelaten hoeveelheden oppervlaktewater gemeten. Deze reeks lijkt zeer geschikt voor een tijdreeksanalyse van opgetreden veranderingen in de actuele jaarevapotranspiratie

omdat de hydrologische randvoorwaarden (stijghoogten op de rand en onttrekkingen) redelijk constant zijn gebleven respectievelijk goed zijn te kwantificeren. De waterbalans van de jaarwaarden (in mm) van de NOP is te schrijven als:

$$N + I + K = ET + U + \Delta B \quad (2)$$

Waarin N de bruto neerslag is (neerslagstation Emmeloord), I de ingelaten hoeveelheid water gecorrigeerd voor interne lozings, K de kwel (de opgetreden verandering hierin als gevolg van de inpoldering van Oostelijk Flevoland in 1958 is analytisch berekend op 19 mm/jaar), ET is de evapotranspiratie, U de uitgemalen hoeveelheid water en  $-\Delta B$  de bergingsverandering. Met het bekend zijn van de termen N, I, K en U is de ET als onbekende uit de waterbalans te berekenen waarbij de bergingsveranderingen van jaar tot jaar worden verwaarloosd.

De meteorologisch bepaalde ET van de NOP is berekend met de vergelijking  $0,7 \cdot E_0$  (open-watervedamping volgens Penman). Beide reeksen zijn opgesteld voor de periode 1951 t/m 1984 (met uitzondering van de extreem droge jaren 1959 en 1976) en cumulatief tegen elkaar uitgezet (afb. 3).

De uitgezette waarden zouden, wanneer de jaarlijkse ET niet zou zijn veranderd,

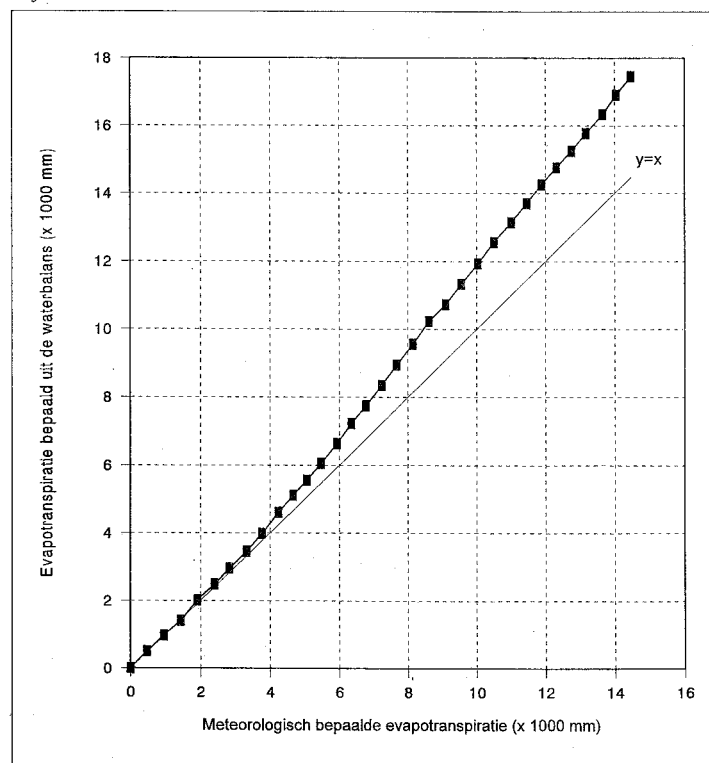
op een rechte lijn moeten liggen (bijvoorbeeld de  $y=x$ -lijn). Duidelijk is te zien dat de grafiek aanvankelijk de  $y=x$ -lijn volgt maar daar na 1954 trendmatig van af gaat wijken. De cumulatieve evapotranspiratie, berekend als restpost van de waterbalans, is sinds 1954 groter dan de cumulatieve verdamping berekend uit meteorologische gegevens.

De in afbeelding 3 opgetreden trend zou veroorzaakt zijn door een geleidelijke toename van de transpiratie sinds 1951. Daar transpiratie (en een eventuele toename ervan) niet kan optreden in de wintermaanden, zou bij een soortgelijke analyse van de verdampingscijfers van een wintermaand geen trend aanwezig mogen zijn.

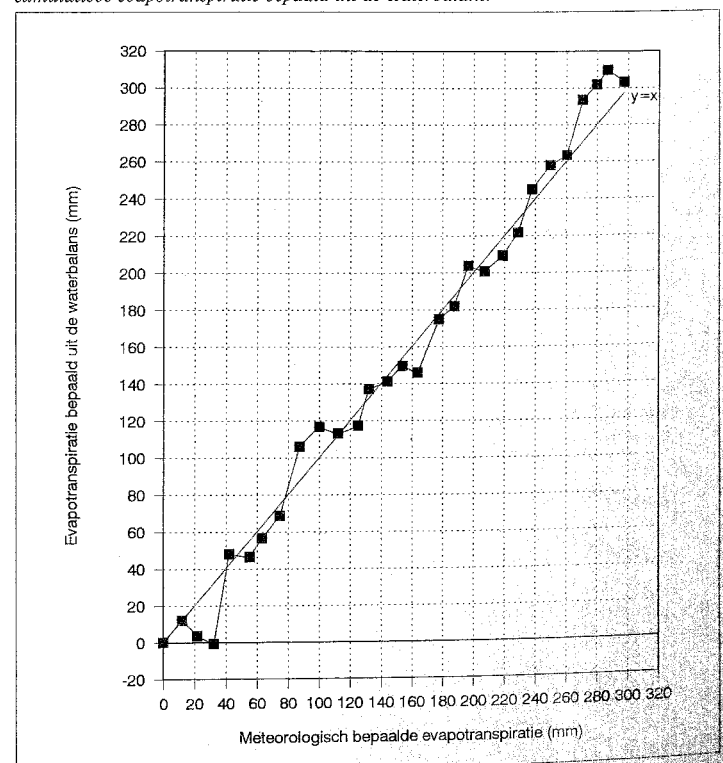
Wanneer de februari verdampingswaarden (berekend uit de waterbalans) cumulatief worden uitgezet tegen de meteorologisch bepaalde verdampingswaarden, dan liggen de uitgezette waarden rondom de  $y=x$ -lijn en vertoont de grafiek geen trend (afb. 4).

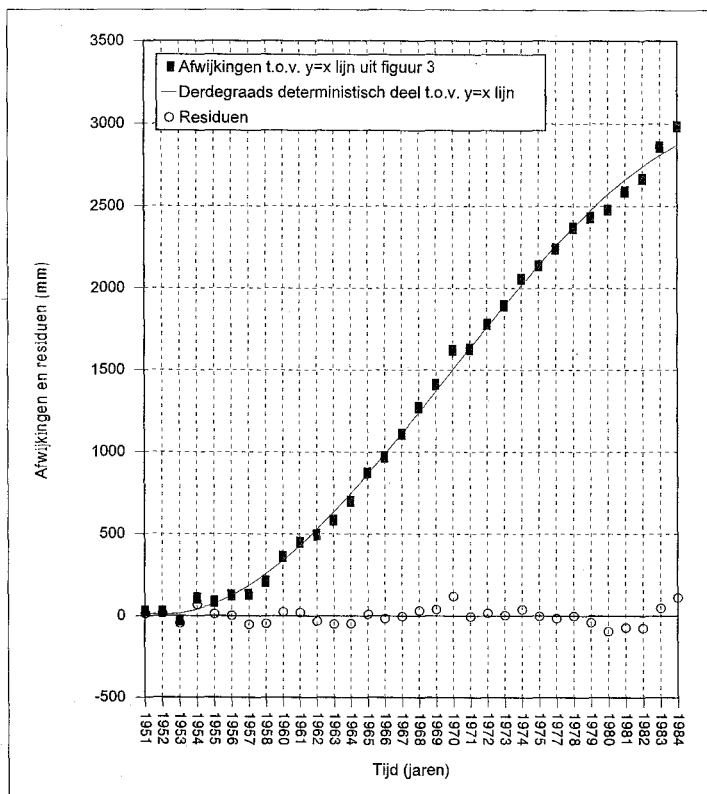
Hiermee is het aannemelijk gemaakt dat de opgetreden trend in afbeelding 3 is veroorzaakt door een geleidelijke toename van de gewasverdamping. De resultaten met het model SWACROP lijken met de uitgevoerde praktijkanalyse bevestigd te worden.

Afb. 3 - Vergelijking van de cumulatieve, meteorologisch bepaalde, evapotranspiratie van de NOP met de cumulatieve evapotranspiratie bepaald uit de waterbalans voor de jaren 1951 t/m 1984.



Afb. 4 - Vergelijking van de cumulatieve meteorologisch bepaalde evapotranspiratie van de februari maandwaarden van de jaren 1951 t/m 1980 van de NOP met de cumulatieve evapotranspiratie bepaald uit de waterbalans.





Afb. 5 – Weergave van de afwijkingen van de  $y=x$ -lijn uit afbeelding 3 (werkelijk en als gefitte derde-gradskromme) en de residuen t.o.v. deze kromme, als functie van de tijd.

De afwijkingen van de grafiek uit afbeelding 3 met de  $y=x$ -lijn zijn aan een tijdreeksanalyse onderworpen, waarbij de afwijkingen zijn gesplitst in een deterministisch en stochastisch deel (afb. 5). Daarbij is het deterministische deel zodanig aangepast dat het stochastische deel overeenkomt met zogenoemde witte ruis, waarvan de waarden per definitie geen onderlinge samenhang meer vertonen. De opgetreden trend is volledig met de deterministische term beschreven. Uit de derdegraads deterministische component van de tijdreeks is af te leiden dat in de periode 1951-1984 de langjarig gemiddelde jaarevapotranspiratie met 69,5 mm (circa 20% t.o.v. 1984) is toegenomen. Deze waarde is in overeenstemming met de resultaten berekend volgens de methoden uit paragraaf 3 (tabel I).

##### 5. Discussie

De vraag is in hoeverre aan de resultaten een meer algemene betekenis kan worden toegekend. Hierover is het volgende op te merken:

– Door de keuze van een gewas met relatief een grote produktiestijging in vergelijking met andere akkerbouwgewassen, een profiel met goede capillaire opstijgingsmogelijkheden en een lichte wegzijging wordt een maximaal effect berekend. Voor het meest voorkomende gewas gras bedraagt de produktietoename in de periode 1960-1985 naar schatting (op basis van veedichtheid) 28% (t.o.v. 1985).

Deze toename is vergelijkbaar met die van aardappelen. De daarmee gepaard gaande verhoging in de verdamping is voor gras veel minder eenduidig door met name sterk verbeterde methoden van ruwvoerwinning;

– Door het gekozen vaste verloop van de stijghoogten in de diepe ondergrond en de weerstand van de scheidende laag ( $c=1000$  d) is er een compensatie in de modelberekeningen in de vorm van een afname van de wegzijging bij verlaging van de grondwaterstand. Dit effect bedraagt volgens een eerste orde benadering circa 30%. Het is echter te verwachten dat de stijghoogten van het grondwater in de diepere ondergrond ook zullen dalen als op regionale schaal de gewasverdamping toeneemt. De met SWACROP berekende effecten op de grondwaterstand zijn dus, voor de gekozen hydrologische situatie en gegeven de toename in gewasverdamping, geringer dan in werkelijkheid.

– De opgetreden produktieverhoging is gedeeltelijk veroorzaakt door betere oogsten en bewaarmethoden en een effectievere onkruidbestrijding. Deze verhogingen gaan echter niet gepaard met een hogere transpiratie.

De conclusie is derhalve dat de berekende veranderingen in gewasverdamping en grondwaterstand, zoals beschreven in dit artikel, een redelijke schatting zijn van de opgetreden vermindering van de grond-

wateraanvulling en verlaging van de grondwaterstanden op regionale schaal, door de toegenomen gewasopbrengsten in de landbouw. Daarmee is aannemelijk gemaakt dat laatstgenoemd fenomeen één van de oorzaken is van de zogenoemde achtergrondsverdroging. Beleidsmatig is dit een belangrijke conclusie omdat:

- de oorzaak moeilijk te bestrijden is en
- door de nu in gang zijnde extensivering van het bodemgebruik (vooral door de superheffing en de beperkingen in de bemesting) de oorzaak als het ware vanzelf (gedeeltelijk) wordt opgeheven.

##### Literatuur

Feddes, R. A., Kowalik, P. J. and Zaradny, H. (1978). *Simulation of field water use and crop yield. Simulation Monographs Series*. Pudoc, Wageningen.  
 Rolf, H. L. M. (1989). *Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland. Analyse periode 1950-1986*. Dienst Grondwater Verkenning TNO.  
 Wit, P. A. J. W. de (1991). *Het effect van toegenomen gewasopbrengsten in de landbouw op de grondwaterstanden, een analyse van de periode 1955-1987 met consumptie-aardappelen*. Landbouw Universiteit Wageningen, Vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica.

### Cursus 'Toepassing van Membranen bij Milieuproblemen' 22-23 februari 1996

Het doel van de cursus is een introductie te geven van de mogelijkheden van membraan-technologie bij milieuproblemen. De eerste dag wordt de cursist ingewijd in de membraan-technologie en de verschillende toepassingen in het milieuveld. Tevens wordt een 'case' uitgewerkt op het gebied van drinkwaterbereiding en biogasopwerking. De tweede dag worden 6 voorbeelden uit de praktijk gepresenteerd door een aantal experts.

De cursus richt zich op ingenieurs, chemici, technici, managers en beleidsmakers die betrokken zijn bij de milieuproblematiek. De cursus wordt georganiseerd door EMI Twente en de vakgroep Membraan-technologie van de Universiteit Twente. De prijs is f 1500,- inclusief 1 overnachting. Voor verdere informatie kunt u terecht bij dr. ir. G. H. Koops, telefoon 053-489 41 85.

### Ontwerp NEN-EN 12176 ter kritiek gepubliceerd

Het Nederlands Normalisatie-instituut heeft ter kritiek het ontwerp NEN-EN 12176 'Karakterisering van slib. Bepaling van de pH-waarde' gepubliceerd. Kritiek op het ontwerp NEN-EN 12176 wordt verwacht vóór 1 maart 1996. Exemplaren van het ontwerp NEN-EN 12176 zijn tegen vergoeding verkrijgbaar bij het Nederlands Normalisatie-instituut, Postbus 5059, 2600 GB Delft, telefoon 015-269 03 90.