

32/446(590)  
2<sup>e</sup> ex.

**Effect van de teelt van verschillende voedergewassen zonder berekening op de regionale waterhuishouding in het Beerze-Reusel gebied**

**J. Stolte  
M.J.D. Hack- ten Broeke  
A.A. Veldhuizen**

BIBLIOTHEEK "DE HAAFF"  
Droevendaalsesteeg 3a  
6708 PB Wageningen

**Rapport 590**

**DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1998**

LSn 957133



## REFERAAT

Stolte, J., M.J.D. Hack-ten Broeke en A.A. Veldhuizen. Effect van de teelt van verschillende voedergewassen zonder beregening op de regionale waterhuishouding in het Beerze-Reuselgebied, 1998. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 590. 40 blz. 19 fig.; 6 tab.; 12 ref.; 1 aanh.

Het doel van dit onderzoek is effecten van de teelt van verschillende voedergewassen op de regionale waterhuishouding voor het gebied Beerze-Reusel te kwantificeren. Het model SIMGRO is in dit gebied toegepast voor een zestal landgebruikscenario's. Over een periode van 30 jaar zijn de grondwaterstand, kwel en gewasverdamping berekend. In potentie is voor delen van het studiegebied een verschil in grondwaterstand van meer dan 50 cm te bereiken door verschil in teelt van voedergewas (mais versus gras). Het verschil is niet voor het hele gebied gelijk en ligt voor een groot deel tussen 0 en 10 cm. Het gebruik van een hoog-consumptief gewas (gras) resulteert in een lagere gebiedsafvoer ten opzichte van een laag-consumptief gewas (mais).

Trefwoorden: regionale hydrologie, grondwaterstand, gewasverdamping, kwel

ISSN 0927-4499

© 1998 DLO Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO),  
Postbus 125, NL-6700 AC Wageningen.  
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

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

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Projectnummer 7393

[Rapport 590.IS./09-98]

## **Inhoud**

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Beschrijving onderzoeksgebied	11
2.1 Hydrologische beschrijving	11
2.2 Landgebruik en bodemkundige beschrijving	12
3 Model SIMGRO	15
4 Modelinvoer, kalibratie en validatie	17
4.1 Regionale studie	17
4.1.1 Bodemfysische karakteristieken	17
4.1.3 Kalibratie	20
4.2 Economische studie	22
5 Scenario's	25
5.1 Verantwoording	25
5.2 Scenario's 1 en 2	25
5.3 Scenario 3	25
5.4 Scenario 4 en 5	25
5.5 Scenario 6	26
6 Resultaten	27
6.1 Gebiedsgemiddelde	27
6.2 Resultaten per knooppunt	28
6.3 Gebiedsafvoer	33
7 Conclusies	35
Literatuur	37
<b>Aanhangsel</b>	
Berekende Ta/Tp verhouding en bijbehorende gemeten drukhoogten voor de jaren 1994 en 1995 voor verschillende gewassen en twee bodemtypen (Leende is enkeerd- en Gastel is veldpodzolgrond)	39

## Samenvatting

Om een verdere daling van het grondwaterpeil van de Zuid-Nederlandse zandgronden te voorkomen worden beperkingen gesteld aan het gebruik van water voor beregeningsdoeleinden. Omdat de droogtegevoelige zandgronden vooral worden gebruikt voor de voederverzorging van melkvee, betreft dit beleid vooral de melkveehouderij. Bij de keuze en teelt van voedergewassen wordt nog nauwelijks rekening gehouden met verschil in vochtbehoefte. Vandaar dat in 1993 een onderzoek gestart is met als doel (i) het aangeven hoe melkveebedrijven op droogtegevoelige zandgronden de gevolgen van beperking van kunstmatige beregening zo goed mogelijk kunnen ondervangen, door aanpassing in de keuze en teelt van voedergewassen en (ii) het verkennen van de effecten van beleidsopties ten aanzien van kunstmatige beregening op regionale schaal. Dit onderzoek is uitgevoerd door het Praktijkonderzoek Akkerbouw en Vollegrondsgroenten (PAV); Praktijkonderzoek Rundveehouderij, schapen en paarden (PR); DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO); en DLO-Staring Centrum, instituut voor onderzoek van het landelijk gebied (SC-DLO).

SC-DLO heeft vooral onderzoek gedaan naar de effecten van de teelt van verschillende voedergewassen op de regionale waterhuishouding voor het gebied Beerze-Reusel. Het regionaal hydrologisch model SIMGRO is in dit gebied toegepast voor een zestal landgebruikscenario's.

Het studiegebied omvat het volledige stroomgebied van de Beerze en de Reusel (Van der Bolt et al., 1996). De stroomgebieden liggen in een zwak golvend Brabants dekzandgebied. Het studiegebied is gelegen binnen een veel groter regionaal grondwaterstromingssysteem. De hooggelegen Kempen fungeren als intrekgebied. De grondwaterscheiding valt samen met de topografische waterscheiding. SIMGRO (Veldhuizen et al., 1998) is een regionaal niet-stationair grondwaterstromingsmodel waarin behalve de grondwaterstroming ook de bodemvochtbeweging in de onverzadigde zone en de interactie met het oppervlaktewatersysteem wordt berekend.

Voor de scenario's is een keuze gemaakt uit scenario's die volgens verwachting een maximaal effect hebben op de regionale waterhuishouding en scenario's die door de landbouwpraktijk daadwerkelijk geïmplementeerd kunnen worden. Deze laatste scenario's zijn getoetst aan vertegenwoordigers van het landbouwbedrijfsleven tijdens een bijeenkomst van de klankbordgroep. De eerste groep scenario's is gebaseerd op resultaten van kasproeven zoals die in het kader van dit project zijn uitgevoerd. Daarnaast is een scenario gedefinieerd dat tot stand is gekomen naar aanleiding van de economische studie en is in bedrijfseconomisch opzicht de meest optimale bedrijfsvoering bij geen beregening. Specifieke gewasgegevens nodig voor de berekening zijn gehaald uit de kasproeven en berekende verdampingcijfers zijn getoetst aan gemeten verdamping uit de kasproeven en veldproeven. Over een periode van 30 jaar zijn de grondwaterstand, kwel en gewasverdamping berekend voor de verschillende scenario's.

In potentie is voor delen van het studiegebied een verschil in grondwaterstand van meer dan 50 cm te bereiken door verschil in teelt van voedergewas (maïs versus gras). Het verschil is niet voor het hele gebied gelijk en ligt voor een groot deel tussen 0 en 10 cm. Door het telen van verschillende voedergewassen kunnen er regionale verschillen optreden in de grondwaterstand. Deze verschillen zijn relatief gering (0-10 cm) wanneer scenario's van een combinatie van gras en akkerbouwmatige gewassen in beschouwing worden genomen. Lokaal kunnen de effecten van belang zijn, afhankelijk van de functie van het gebied (natuurgebied of landbouwgebied). De verschillen kunnen van jaar tot jaar variëren als gevolg van weerverschillen. Het gebruik van een hoog-consumptief gewas (gras) resulteert in een lagere gebiedsafvoer ten opzichte van een laag-consumptief gewas (maïs).

## 1 Inleiding

Om een verdere daling van het grondwaterpeil van de Zuid-Nederlandse zandgronden te voorkomen worden beperkingen gesteld aan het gebruik van water voor beregeningsdoeleinden. Omdat de droogtegevoelige zandgronden vooral worden gebruikt voor de voederverzorging van melkvee, betreft dit beleid vooral de melkveehouderij. Bij de keuze en teelt van voedergewassen wordt nog nauwelijks rekening gehouden met verschil in vochtbehoefte. Bij een geheel of beperkt beregeningsverbod is het van belang de gewaskeuze ook te laten afhangen van de productiviteit en opbrengstzekerheid van de verschillende voedergewassen bij een beperkte vochtvoorziening. Vandaar dat in 1993 een onderzoek gestart is met als doel (i) het aangeven hoe melkveebedrijven op droogtegevoelige zandgronden de gevolgen van beperking van kunstmatige beregening zo goed mogelijk kunnen ondervangen, door aanpassing in de keuze en teelt van voedergewassen en (ii) het verkennen van de effecten van beleidsopties ten aanzien van kunstmatige beregening op regionale schaal.

Dit onderzoek is uitgevoerd door het Praktijkonderzoek Akkerbouw en Vollegrondsgroenten (PAV); Praktijkonderzoek Rundveehouderij, schapen en paarden (PR); DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO); DLO-Staring Centrum, instituut voor onderzoek van het landelijk gebied (SC-DLO). Het onderzoek is opgebouwd uit een vijftal deelactiviteiten:

- I. Experimenteel onderzoek naar droogtetolerantie van zes voedergewassen onder geconditioneerde omstandigheden.
- II. Experimenteel onderzoek naar de droogtetolerantie van zes voedergewassen op proefvelden op droogtegevoelige gronden.
- III. Ontwikkeling van een eenvoudig gewasgroeimodel om de productie onder droge omstandigheden te voorspellen.
- IV. Modelstudies om de gevolgen van de introductie van alternatieve voedergewassen op bedrijfsniveau economisch te kwantificeren.
- V. Regionale modelstudie om de effecten van gewaskeuze op de regionale waterhuishouding te kwantificeren.

Dit rapport beschrijft de resultaten van deelactiviteit V. Het SC-DLO heeft onderzoek gedaan naar de effecten van de teelt van verschillende voedergewassen op de regionale waterhuishouding voor het gebied Beerze-Reusel. Het regionaal hydrologisch model SIMGRO is toegepast voor een zestal landgebruikscenario's.

Het tweede hoofdstuk beschrijft het studiegebied en verantwoordt de keuze van het studiegebied. In het derde hoofdstuk wordt het model SIMGRO beschreven, waarna in het vierde hoofdstuk ingegaan wordt op de invoerparameters. Hierin is ook opgenomen de keuzes van invoer voor de bedrijfseconomische studie, uitgevoerd door het PR. Het vijfde hoofdstuk beschrijft de verschillende scenario's, waarvan in het zesde hoofdstuk de resultaten gepresenteerd worden. In het laatste hoofdstuk volgen de conclusies en discussie.

## **2 Beschrijving onderzoeksgebied**

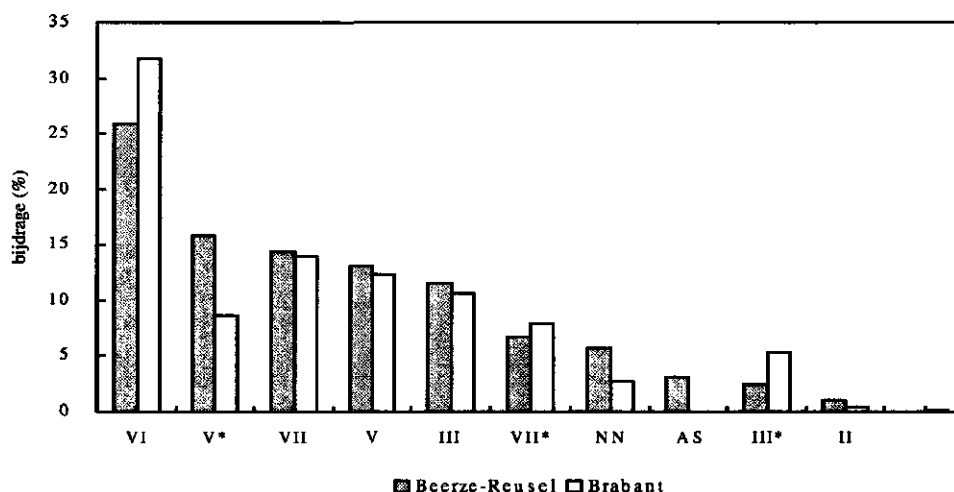
### **2.1 Hydrologische beschrijving**

Voor de regionale hydrologische studie wordt het gebied Beerze-Reusel in Noord-Brabant gebruikt (v.d. Bolt et al., 1996). Er wordt aangenomen dat dit gebied representatief is wat betreft bodem en grondwater voor de zandgebieden van Noord-Brabant. Het gebied omvat het volledige stroomgebied van de Beerze en de Reusel. De stroomgebieden liggen in een zwak golvend Brabants dekzandgebied. Het gebied helt van het zuiden (de Kempen) naar het noorden (rivierengebied) af. Het hoogste punt van de zuidelijke waterscheiding ligt op 44 m + NAP. Waar de Beerze en de Essche stroom samenvloeien (uitstroompunt van het proefgebied) is de hoogte 6 m + NAP. Het verval bedraagt ongeveer 1 m per kilometer. Het studiegebied is gelegen binnen een veel groter regionaal grondwaterstromingssysteem. De hooggelegen Kempen fungeren als intrekgebied. De grondwaterscheiding valt samen met de topografische waterscheiding. De stroming verloopt noordwaarts om later af te buigen naar noordwestelijke richting.

Het geohydrologisch profiel verandert bij de geologische breuken (Feldbiss en Riel). Ten noorden van deze breuken, in de Centrale Slenk, zijn meer watervoerende pakketten aanwezig waarvan de ondersten worden gevoed door de regionale grondwaterstroming uit de Kempen. Bij de breuken kan kwel optreden waarbij water van diepe pakketten het toppakket bereikt.

Naast het regionale systeem worden enkele subregionale en lokale systemen onderscheiden. Deze zijn van belang voor de voeding van de bovenste watervoerende pakketten. De inrijgebieden van de subregionale systemen worden gevormd door relatief hoog gelegen dekzandruggen en dekzandplateaus. Binnen het studiegebied liggen twee subregionale systemen: de Kampina en de Midden Brabantse dekzandrug. De kleine infiltratiesystemen, bestaande uit geïsoleerde dekzandruggen, en de hoger gelegen gebieden tussen de beekdalen hebben alleen zichtbare invloed op de stroomlijnen van het eerste watervoerend pakket en worden daarom lokaal genoemd. Ook deze stroming zal ten gevolge van de regionale gradiënt overwegend naar het noorden gericht zijn.

De intrekgebieden worden in het algemeen gekenmerkt door diepe grondwaterstanden (Gt VI en VII). De kwelzones worden gekarakteriseerd door ondiepe grondwaterstanden (Gt II en III). In figuur 1 staat de procentuele bijdrage van de verschillende Gt's afgezet tegen de verhouding voor heel Brabant. Dit verantwoordt de keuze voor het gebied Beerze-Reusel als studiegebied.



Gt	Gem. hoogste wintergrondwaterstand (GHG, cm - mv)	Gem. laagste zomergrondwaterstand (GLG, cm - mv)
VI	40 - 80	>120
V*	25 - 40	>120
VII	80 - 140	>120
V	< 40	>120
III	< 40	80 - 120
VII*	> 140	> 160
III*	25 - 40	80 - 120
II	0 - 30	50 - 80
NN	niet bekend	
AS	associatie	

Fig. 1 Procentuele bijdrage van de GT's in het studiegebied Beerze-Reusel vergeleken met die in Noord-Brabant

## 2.2 Landgebruik en bodemkundige beschrijving

De hydrologische gesteldheid heeft grote invloed gehad op de ontwikkeling van het landschap (Bolt, v.d. et al., 1996). De bewoners vestigden zich op plaatsen met relatief droge gronden, geschikt voor bouwland, met in de nabijheid vochtige weidegronden en hooiland.

Door mest uit potstallen (mest vermengd met heideplaggen en/of bosstrooisel) op de bouwlanden te brengen zijn de cultuurgronden met een humushoudende bovengrond ontstaan. Door ontbossen en het steken van heideplaggen zijn plaatselijk (op leemarme, hooggelegen droge gronden) stuifzanden ontstaan. Aan het eind van de negentiende eeuw is het landschap sterk veranderd door ontginningen en bebossing van de heidevelden. De nieuwe ontginningsgronden hebben een dunner humeus dek. Het landschapsbeeld is ten gevolge van deze landbouwkundige ontwikkelingen sterk afwisselend. De beekdalgronden bestaan overwegend uit grasland met plaatselijk

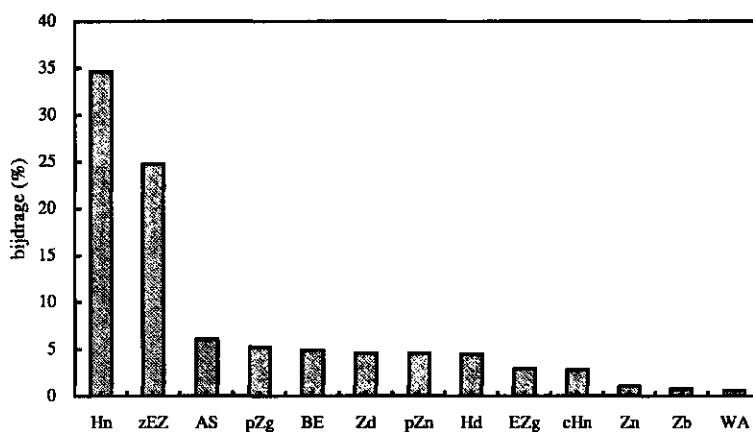


moerasbosjes. De jonge ontginningsgronden worden ook gebruikt als grasland, met hier en daar een beplanting met naaldbos. De stuifzanden zijn begroeid met naaldbos, met plaatselijk nog restanten van de heidevelden. De oude cultuurgronden (rond de oude woonkernen) zijn als bouwland gebruikt. Later zijn veel van deze percelen door de uitbreiding van de melkveehouderij omgezet in grasland of bebouwd met maïs. Door de introductie van beregening is ook grasland op hoger gelegen gronden mogelijk geworden. In de gedraineerde beekdalen is grasland gedeeltelijk gescheurd en omgezet in bouwland of maïsland. Het landgebruik in het gebied staat vermeld in tabel 1.

*Tabel 1 Oppervlaktes van de onderscheiden grondgebruiksvormen in het proefgebied Beerze-Reusel. De gegevens zijn afkomstig uit de Landelijke Grondgebruiksclassificatie Nederland, opname 1990 (Thunnissen, 1993)*

Grondgebruiksvorm	Oppervlak (ha)	Oppervlak (%)
Gras	12582	29
Maïs	10440	24
overige bouwland	2990	7
Loofbos	3099	7
Naaldbos	7916	18
overig natuurgebied	2548	6
Bebouwing	4319	10

Uit het aan het oppervlak liggende dekzand hebben zich onder antropogene invloed en afhankelijk van de hoogteligging een aantal verschillende bodems ontwikkeld. De stuifzandgronden zijn overwegend geïnclassificeerd als duinvaaggronden. De oude cultuurgronden zijn matig diep tot diep humushoudende enkeerdgronden en de jonge cultuurgronden zijn ondiep humushoudend. Zij worden geïnclassificeerd als laarpodzol-, veldpodzol- of gooreerdgronden. De beekdalgronden komen voor op lemig fijn zand en hebben een dikke of matig dikke humeuze bovengrond en worden geïnclassificeerd als beekerd-, gooreerd- of broekerdgronden. In figuur 2 staat de procentuele bijdrage van de verschillende bodemtypen weergegeven.



*Fig. 2 Procentuele bijdrage van de verschillende bodemtypen in het gebied Beerze-Reusel. Hn = veldpodzol; zEZ = hoge enkeerd; AS = associatie stuifzand; pZg = beekerd; BE = bebouwing; Zd = duinvaag; pZn = gooreerd; Hd = haarpodzol; EZg = lage enkeerd; cHn = laarpodzol; Zn = vlakvaag; Zb = vorstvaag; WA = water*

### 3 Model SIMGRO

SIMGRO (Veldhuizen et al., 1998) is een regionaal niet-stationair grondwaterstromingsmodel waarin behalve de grondwaterstroming ook de bodemvochtbeweging in de onverzadigde zone en de interactie met het oppervlaktewatersysteem wordt berekend. Daartoe beschrijft het de hydrologische processen in een deelgebied volgens figuur 3.

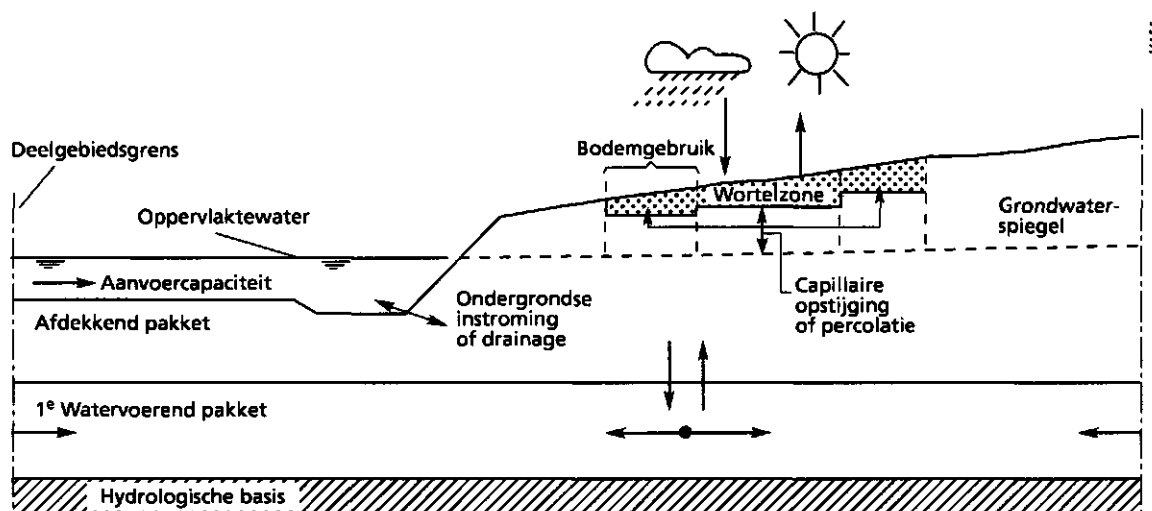


Fig. 3 Schematisering van de waterhuishouding in een deelgebied volgens SIMGRO (Querner en Aarnink 1997)

De stroming in de verzadigde zone wordt berekend met de eindige elementenmethode. Daartoe wordt het gebied horizontaal verdeeld in een aantal elementen waarvan de hoekpunten knooppunten vormen. De verzadigde zone is verticaal geschematiseerd in watervoerende (aquifers) pakketten en weerstandsbiedende (aquitards) lagen. In de aquifers is de stroming horizontaal, in de aquitards wordt alleen verticale stroming verondersteld. De stijghoogtes en de fluxen worden per knooppunt berekend met behulp van lineaire interpolatiefuncties. De randvoorwaarden voor het netwerk van elementen bestaan uit opgelegde potentialen of fluxen. Onttrekkingen kunnen per knooppunt worden opgelegd.

De onverzadigde zone is onderverdeeld in twee reservoirs; de wortelzone en de onverzadigde ondergrond. De (verticale) stroming van water in de onverzadigde zone wordt pseudo-stationair berekend. De waterbalans van de wortelzone wordt per tijdstap opgesteld waarbij processen als neerslag, verdamping, gewasopname, capillaire opstijging en wegzijging worden meegenomen. Wanneer een zeker evenwichtsvochtgehalte wordt overschreden percoleert het overschot naar de onverzadigde ondergrond; wanneer het vochtgehalte in de wortelzone kleiner is dan het evenwichtsvochtgehalte kan er een capillaire flux vanuit de verzadigde zone optreden. Met behulp van de waterbalans van de ondergrond en een bergingscoëfficiënt wordt de grondwaterstandsverandering berekend. De waterbalans van de onverzadigde zone wordt per landgebruiksvorm voor een knooppunt berekend. De

bodemfysische eigenschappen en de hydrologische processen in een knooppuntsgebied worden verondersteld homogeen te zijn. Daarom is de schematisering in knooppunten erg belangrijk. De binnen een knooppunt onderscheiden bodemgebruiksvormen worden niet ruimtelijk gedefinieerd, maar worden gegeven als een fractie van het oppervlak van het totale knooppunt. De randvoorwaarden voor dit systeem worden gevormd door de aan het bodemoppervlak in de wortelzone optredende hydrologische processen.

Het oppervlaktewatersysteem wordt gemodelleerd per deelgebied, middels een reservoir met een overstort aan het eind. Een deelgebied wordt gevormd door een aantal knooppunten uit het elementennetwerk. Alle instroming, uitstroming en onttrekking gebeuren naar en vanuit dit reservoir. De processen die worden beschreven zijn water aan- of afvoer, drainage of infiltratie, oppervlakkige afstroming en onttrekking voor beregening. Het peilbeheer kan worden gesimuleerd met streefpeilen en stuurpeilen, gevarieerd in de tijd. Voor de winterperiode moet een stuwpeil worden gegeven, voor de zomerperiode een streefpeil. Voor deze studie is gebruik gemaakt van stuwpeilen zowel voor de zomer- als voor de winterperiode. Bij waterafvoer kan het water boven het stuwpeil worden opgestuwd volgens een afvoerrelatie. Bij infiltratie en/of beregening kan bij onvoldoende wateraanvoer de waterspiegel tot onder het stuwpeil zakken. De ontwatering kan worden beschreven met een drainagefunctie (Ernst, 1978) die de afvoer relateert aan de grondwaterstand en aan de hoogte van de open waterspiegel. De waterlopen worden gekarakteriseerd door opgegeven drainageweerstand en hun dichtheid (de totale lengte per oppervlakte-eenheid). Daarbij wordt verondersteld dat deze waterlopen homogeen over het oppervlak in een knooppunt verdeeld zijn. Omdat de reactietijd van het oppervlaktewater kleiner is dan die van het grondwater wordt gerekend met kleinere tijdstappen voor het open water. Tussen twee tijdstappen van het grondwatersysteem is de grondwaterstand constant. Watertransport tussen deelgebieden via het oppervlaktewater wordt in deze studie niet in beschouwing genomen.

## **4 Modelinvoer, kalibratie en validatie**

### **4.1 Regionale studie**

Voor deze studie is gebruik gemaakt van de invoergegevens van het operationele model voor het Beerze-Reusel gebied (Van der Bolt et al., 1996). Gerekend is met versie 3.0 van het SIMGRO model (Veldhuizen et al., 1998). De invoer is met name voor gewaskarakteristieken en bodemfysische gegevens kritisch bekeken en zonodig aangepast. Ook is de verdampingsmodule in SIMGRO aangepast volgens de theorie van Feddes et al. (1988). Er is gerekend voor de periode 1961 – 1996. Voor de meteodata is gebruik gemaakt van de meetset van KNMI station Eindhoven, aangevuld met neerslaggegevens van station Cranendonck.

#### **4.1.1 Bodemfysische karakteristieken**

Berekeningen voor de onverzadigde zone met het regionale model SIMGRO vereisen gegevens van de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek van de verschillende bodemlagen. Door gebruik te maken van textuurklassen wordt aan elke bodemkaartenheid een fysisch profiel gekoppeld. Voor een fysisch profiel wordt aan elke horizont van het bodemprofiel een fysische bouwsteen gekoppeld. Een fysische bouwsteen is een beschrijving van de waterretentie- en doorlatendheidskarakteristiek voor een bodemlaag aan de hand van parameters die vergelijkingen voor deze twee karakteristieken oplossen (de zogenaamde Mualem-van Genuchten vergelijkingen). De fysische bouwstenen staan beschreven in de Staringreeks (Wösten et al., 1994). In Brabant worden 23 fysische profielen onderscheiden (Wösten et al., 1988). In figuur 4 staan de fysische profielen van het studiegebied weergegeven, samen met de profielen van heel Brabant. Het verschil tussen Beerze-Reusel en Brabant wordt vooral veroorzaakt door de klei- en veengronden, die in Brabant wel voorkomen maar in het studiegebied niet. De veldpodzolgronden en enkeerdgronden vallen bijna allemaal in de fysische profielen 9 en 12.

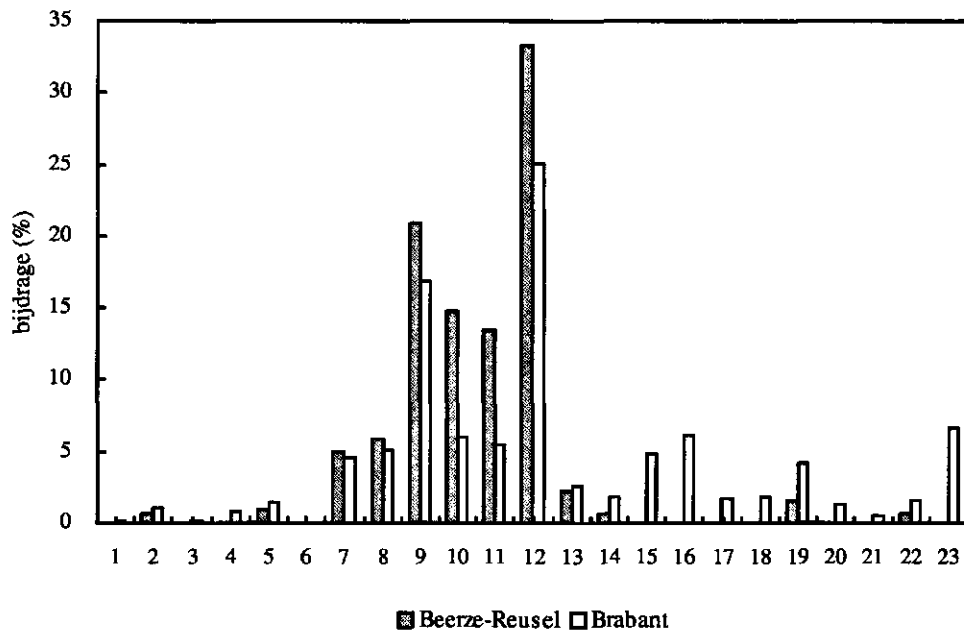


Fig. 4 Bijdrage van de fysische profielen in het gebied Beerze Reusel en in Brabant

#### 4.1.2 Gewaskarakteristieken

Het model SIMGRO gaat uit van gewasgroeistress bij een bepaalde energietoestand in de wortelzone, uitgedrukt als drukhoogte. Als de drukhoogte in de wortelzone lager wordt dan een gedefinieerde waarde zal de gewasverdamping afnemen. Deze stressfactoren zijn beschreven in Feddes et al. (1988) volgens figuur 5.

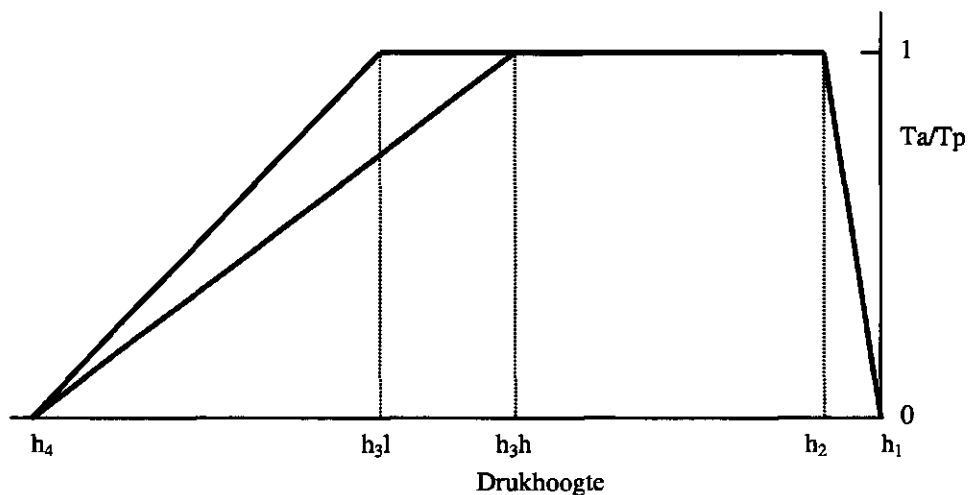


Fig. 5 Verdampingsreductie als gevolg van drukhoogte in de wortelzone (naar Feddes et al., 1988).  $T_a/T_p$  is transpiratie coëfficiënt

Hierbij is  $h_1$  de situatie bij verzadiging,  $h_2$  het punt waar voldoende zuurstof in de wortelzone zit om een optimale verdamping te bewerkstelligen,  $h_3$  het punt waar nog net voldoende vocht in de bodem zit voor optimale verdamping, en  $h_4$  het punt waar geen verdamping meer optreedt door vochtgebrek. Het punt  $h_3$  is opgesplitst in  $h_{3l}$  en  $h_{3h}$ . Het onderscheid zit in de hoogte van de potentiële gewasverdamping: bij 5 mm/d geldt  $h_{3h}$  en bij 1 mm/d  $h_{3l}$ . Voor deze studie is een proef in kassen uitgevoerd, waar verschillende gewasparameters zijn onderzocht (Smid et al., 1998). Door het installeren van een automatische unit voor meten van de drukhoogte en het dagelijks bijhouden van het watergehalte is de verhouding tussen de actuele en potentiële transpiratie ( $T_a/T_p$ ) met bijbehorende drukhoogte uit te rekenen. Dat is voor een aantal gewassen uitgevoerd. Een voorbeeld van een meetset is gegeven in figuur 6. Uit de figuur zijn de beide  $h_3$  en de  $h_4$  waarden te destilleren. Een overzicht voor alle gewassen is gegeven in het aanhangsel. Uit het aanhangsel blijkt dat voor de gewassen bieten, maïs en luzerne een goede schatting van de twee  $h_3$  en de  $h_4$  waarden is te geven en dat de  $h_1$  en  $h_2$  waarden niet te destilleren zijn uit de figuren. Dat is te verklaren doordat de proefbakken tijdens de proeven op een bepaald vochtgehalte zijn gehouden, en bijna nooit te nat zijn geworden. Voor gras zijn te weinig meetwaarden beschikbaar om een verantwoorde schatting van de waarden te maken, en voor triticale zijn helemaal geen meetwaarden. Voor deze gewassen is gebruik gemaakt van literatuurgegevens, net als voor de  $h_1$  en  $h_2$  waarden voor alle gewassen. Voor triticale en luzerne zijn geen literatuurgegevens beschikbaar. Voor triticale zijn voor alle punten de literatuurgegevens van granen gebruikt, en voor luzerne de gegevens van maïs voor de  $h_1$  en  $h_2$  waarden. Dit laatste is gedaan op basis van de meetset zoals die in het aanhangsel is weergegeven. Daaruit blijkt dat in het 'droge' stuk van de grafiek luzerne een gelijke trend vertoont als maïs. Resumerend heeft bovenstaande geresulteerd in groeistresswaarden zoals die staan weergegeven in tabel 2.

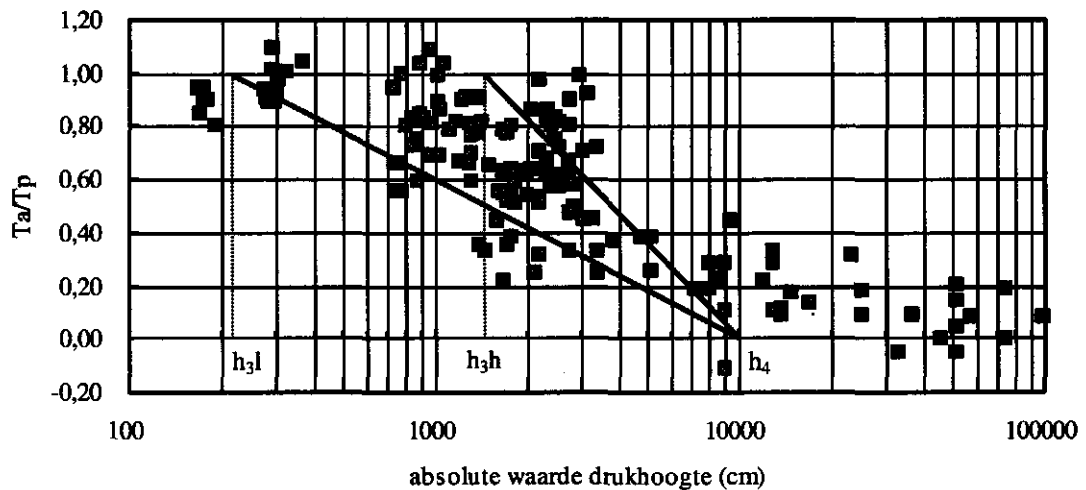


Fig. 6 Gemeten drukhoogte en bijbehorende  $T_a/T_p$  voor maïs in de kas op droogtegevoelige grond in 1995

Tabel 2 Groeistresswaarden gebruikt in de regionale simulatie studie

	$h_1$	$h_2$	$h_3h$	$h_3l$	$h_4$
Gras	-10	-25	-200	-800	-8 000
Maïs	-15	-30	-200	-2 500	-10 000
Triticale	0	-1	-500	-900	-16 000
Luzerne	-15	-30	-100	-1 000	-10 000
Voederbieten	-10	-25	-300	-2 000	-20 000

#### 4.1.3 Kalibratie

Voor de gewassen bieten, maïs en luzerne (gewassen waar 'nieuwe' groeistresswaarden voor vastgesteld zijn) hebben we een vergelijking gemaakt tussen de gemeten en berekende verdamping in de proefbakken. De verdamping is berekend met het model SWAP (Dam, van et al., 1997). Omdat de situatie in de kas afwijkt van de veldsituatie is de gewasfactor op basis van de referentie-gewasverdamping (Makkink) als kalibratiefactor gebruikt, waarbij de berekende drukhoogte moet corresponderen met de gemeten drukhoogte. Het resultaat van deze berekening is te zien in figuur 7.

Verdamping (mm)

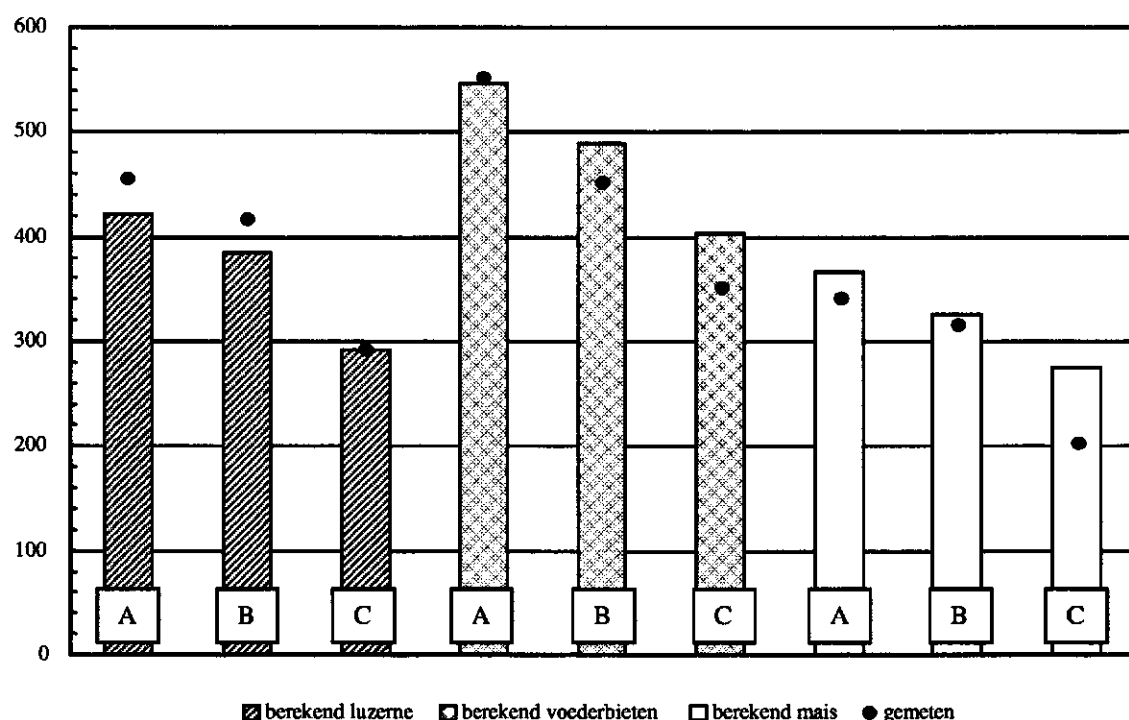


Fig. 7 Gemeten en berekende verdamping, gemiddelde per gewas van alle bakken in de bakkenproef. A is droogte behandeling 1, B is behandeling 2 en C behandeling 3 (zie Smid et al., 1998)

Uit figuur 7 blijkt dat de gemeten verdamping goed wordt voorspeld door gebruik te maken van de nieuwe groeistresswaarden.

#### 4.1.4 Validatie

De validatie van de groeistresswaarden is gedaan aan de hand van veldproeven uitgevoerd door het PAV in het kader van dit project. Het PAV heeft op een drietal locaties (Leende, Gastel en Heino) verschillende proefvelden aangelegd met als doel reacties van gewassen op droogte en de bijbehorende gewasparameters te bepalen. Van de verschillende proefvelden is de gewasverdamping bepaald door het vochtgehalte van de bodem en de neerslag te meten op verschillende tijdstippen waarbij de actuele gewasverdamping berekend wordt volgens:

$$E_a = N - \Delta V$$

waarbij  $E_a$  = actuele verdamping,  $N$  = neerslag en  $\Delta V$  = verschil in bodemvochtgehalte (Van der Schans et al., 1998). Bij deze berekening wordt aangenomen dat er geen wegzijging optreedt.

De vastgestelde groeistresswaarden zijn in SIMGRO ingevoerd, en er zijn berekeningen gedaan voor het studiegebied Beerze-Reusel voor 1995 en 1996 voor een inrichting van het landbouwgebied met volledig Engels raaigras en volledig maïs. Hierbij zijn de groeiperioden ingevoerd zoals die op de proefvelden zijn bepaald. Uit deze resultaten is de gemiddelde verdamping voor het studiegebied per gewas berekend. Deze waarden zijn vergeleken met de proefveldwaarden van de gewasverdamping. Het resultaat hiervan is weergegeven in figuur 8.

Uit Figuur 8 blijkt dat de resultaten voor berekende en gemeten gewasverdamping redelijk overeenkomen. Verschillen kunnen worden verklaard door (i) de aanname dat er geen wegzijging optreedt in de berekening van de proefveldverdamping en (ii) dat een gemiddelde van een groot gebied wordt vergeleken met twee proefvelden.



## Gewasverdamping (mm)

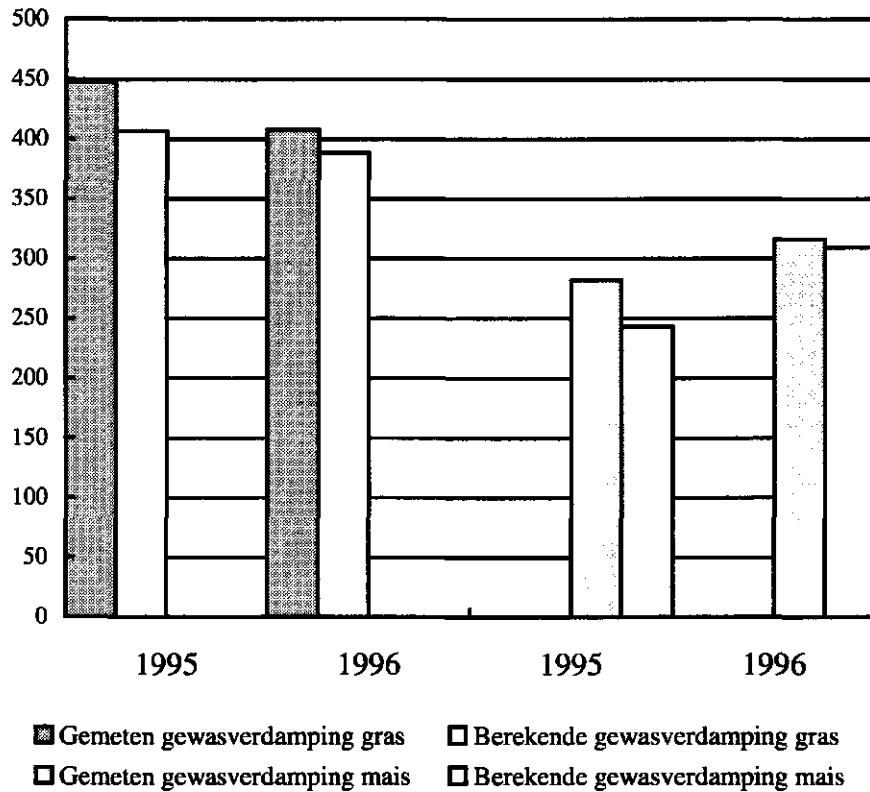


Fig. 8 Gemeten en berekende gewasverdamping voor maïs en Engels raaigras voor 1995 en 1996

## 4.2 Economische studie

Voor de economische studie is een beperking van de hoeveelheid bodemkundige gegevens nodig om het aantal door te rekenen scenario's te reduceren. Uit Figuur 2 blijkt dat het gebied Beerze-Reusel voor bijna 60% bodemkundig beschreven kan worden door twee bodemtypen: veldpodzolgrond en enkeerdgrond. Daarbij komen wel verschillende Gt's voor en de verdeling van de Gt's over de twee bodemtypen staat weergegeven in Figuur 9. Uit Figuur 9 blijkt dat bij de veldpodzolgronden een keuze voor Gt V (nat) en VI (relatief droog) verantwoord is. Voor de enkeerdgrond kan worden volstaan met een Gt VI. Verder zijn voor de studie de bodemfysische karakteristieken per bodemlaag van belang. Uit figuur 4 blijkt dat het studiegebied voor een groot deel ( $\pm 55\%$ ) beschreven kan worden met de fysische profielen 9 en 12. De opbouw van deze profielen is te zien in tabel 3.

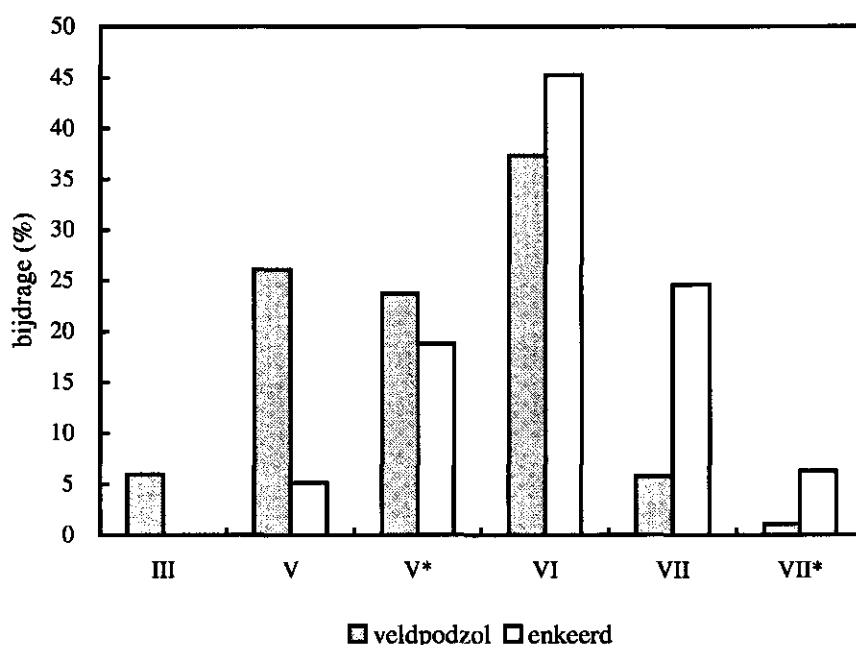


Fig. 9 Verdeling grondwatertrappen voor twee bodemeenheden in het gebied Beerze-Reusel

Tabel 3 Opbouw van de fysische profielen 9 en 12 met bouwstenen uit de Staringreeks

Fysisch profiel	Dikte laag	Bouwsteen
9	0 – 50	B2
	> 50	O2
12	0 – 90	B2
	> 90	O2

Uit tabel 3 blijkt dat het verschil tussen de fysische profielen alleen de dikte van de bovengrond is.

Samenvattend levert bovenstaande een drietal bodemkundige situaties op die een goede weergave van het studiegebied geven voor het berekenen van de verschillende bedrijfseconomische scenario's. Dit is samengevat in tabel 4, waarbij de Gt beschreven is met een Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG) en een Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG).

Tabel 4 Bodemkundige situaties nodig voor bedrijfseconomische scenarioberekeningen

Fysisch profiel	GHG (cm – mv)	GLG (cm – mv)	Bewortelbare diepte (cm – mv)
9	60	160	40
9	20	135	60
12	60	230	90

## **5 Scenario's**

### **5.1 Verantwoording**

Voor de scenario's is een keuze gemaakt tussen scenario's die volgens verwachting een maximaal effect hebben op de regionale waterhuishouding en scenario's die door de landbouwpraktijk daadwerkelijk geïmplementeerd kunnen worden. Deze laatste scenario's (scenario's 4 en 5, zie 5.4) zijn getoetst aan vertegenwoordigers van het landbouwbedrijfsleven tijdens een bijeenkomst van de klankbordgroep. De eerste groep (scenario's 1, 2 en 3) zijn gebaseerd op resultaten van bakkenproeven zoals die in het kader van dit project zijn uitgevoerd (Smid et al., 1998). Scenario 6 is een scenario dat is tot stand gekomen naar aanleiding van de economische studie en is in bedrijfseconomisch opzicht het meest optimale bedrijfsvoering zonder berekening (Nijssen en Schreuder, 1998). Er is bij de scenario's vanuit gegaan dat er bij de akkerbouwmatige gewassen na de oogst geen groenbemester wordt ingezaaid, behalve bij het economisch scenario. In tabel 5 wordt een samenvatting van de scenario's gepresenteerd.

### **5.2 Scenario's 1 en 2**

Scenario's 1 en 2 zijn de scenario's waarvan wordt verondersteld dat dit het meest consumptief is wat betreft waterverbruik. Het volledige landbouwareaal bestaat in deze scenario's uit gras. Het verschil tussen de scenario's is het gebruikte grasras. Scenario 1 bestaat uit Engels raaigras (ER) en scenario 2 uit rietzwenkgras. Onderscheid tussen deze rassen is gemaakt omdat rietzwenkgras dieper wortelt (en dus in potentie meer water verbruikt) dan Engels raaigras. Er is aangenomen dat rietzwenkgras 10 cm dieper wortelt dan engels raaigras.

### **5.3 Scenario 3**

In scenario 3 bestaat het volledige landbouwareaal uit het gewas wat over een groeiseizoen gezien het zuinigst met water omgaat. Tijdens de proeven, uitgevoerd in een kas (Smid, 1997) is van verschillende gewassen de verdamping gemeten (zie fig 7). Hieruit blijkt dat maïs het zuinigst met water omgaat, doordat maïs een relatief kort groeiseizoen heeft.

### **5.4 Scenario 4 en 5**

In de scenario's 4 en 5 wordt rekening gehouden met de praktijk van de rundveehouderijbedrijven. In deze scenario's worden zowel gras als akkerbouwmatige gewassen geteeld. Onderscheid wordt gemaakt naar nattere en drogere delen binnen het studiegebied. Onder droog worden de gebieden verstaan met

een GHG dieper dan 40 cm-mv. Scenario 4 bestaat voor het droge gebiedsdeel uit 40% gras (ER) en 60% maïs en voor het natte gebiedsdeel uit 60% gras (ER) en 40% maïs. Scenario 4 benadert de huidige landbouwpraktijk. Voor scenario 5 geldt hetzelfde, alleen wordt hier voor het droge gebiedsdeel 40% maïs en 20% triticale geteeld. Van deze scenario's wordt verwacht dat ze in de praktijkvoering kunnen worden ingepast.

## 5.5 Scenario 6

Scenario 6 is het scenario dat in de economische studie een gunstig resultaat voor de bedrijfsvoering oplevert. Dit scenario is vergelijkbaar met de scenario's 4 en 5 en bestaat in de droge gebiedsdelen voor 40% uit gras, 30% maïs en 30% triticale. Het natte gebiedsdeel bevat 60% gras, 20% maïs en 20% triticale. Voor de triticale geldt dat er een nagewas gras geteeld wordt. Het resultaat van dit scenario op de regionale waterhuishouding wordt vergeleken met scenario 4 (wat de huidige praktijk het dichtst benadert).

*Tabel 5 Overzicht van landinrichtingsscenario's gebruikt om de effecten te berekenen op de regionale waterhuishouding.*

Scenario	Naam	Omschrijving
1	Engels raaigras	100% Engels raaigras
2	Rietzwenkgras	100% Rietzwenkgras
3	Maïs	100% Maïs
4	Engels raaigras/maïs	Droge gebiedsdeel: 40% Engels raaigras + 60% maïs Natte gebiedsdeel: 60% Engels raaigras + 40% maïs
5	Engels raaigras/maïs/triticale	Droge gebiedsdeel: 40% Engels raaigras + 40% maïs + 20% triticale Natte gebiedsdeel: 60% Engels raaigras + 40% maïs
6	Economisch scenario	Droge gebiedsdeel: 40% Engels raaigras + 30% maïs + 30% triticale + nagewas gras Natte gebiedsdeel: 60% Engels raaigras + 20% maïs + 20% triticale + nagewas gras

## 6 Resultaten

### 6.1 Gebiedsgemiddelde

Over een periode van 30 jaar is de regionale hydrologie doorgerekend en resultaten daarvan zijn o.a. verloop van grondwaterstand voor de verschillende scenario's. De gemiddelde grondwaterstand van het studiegebied is voor 15 jaar weergegeven in figuur 10. Hierin staat zowel de grondwaterstand voor het Engels raaigrasscenario als voor het maïsscenario weergegeven. Uit de figuur wordt duidelijk dat het maïs scenario zowel in de winter als zomerperioden een lagere grondwaterstand oplevert, maar dat de verschillen niet erg groot zijn.

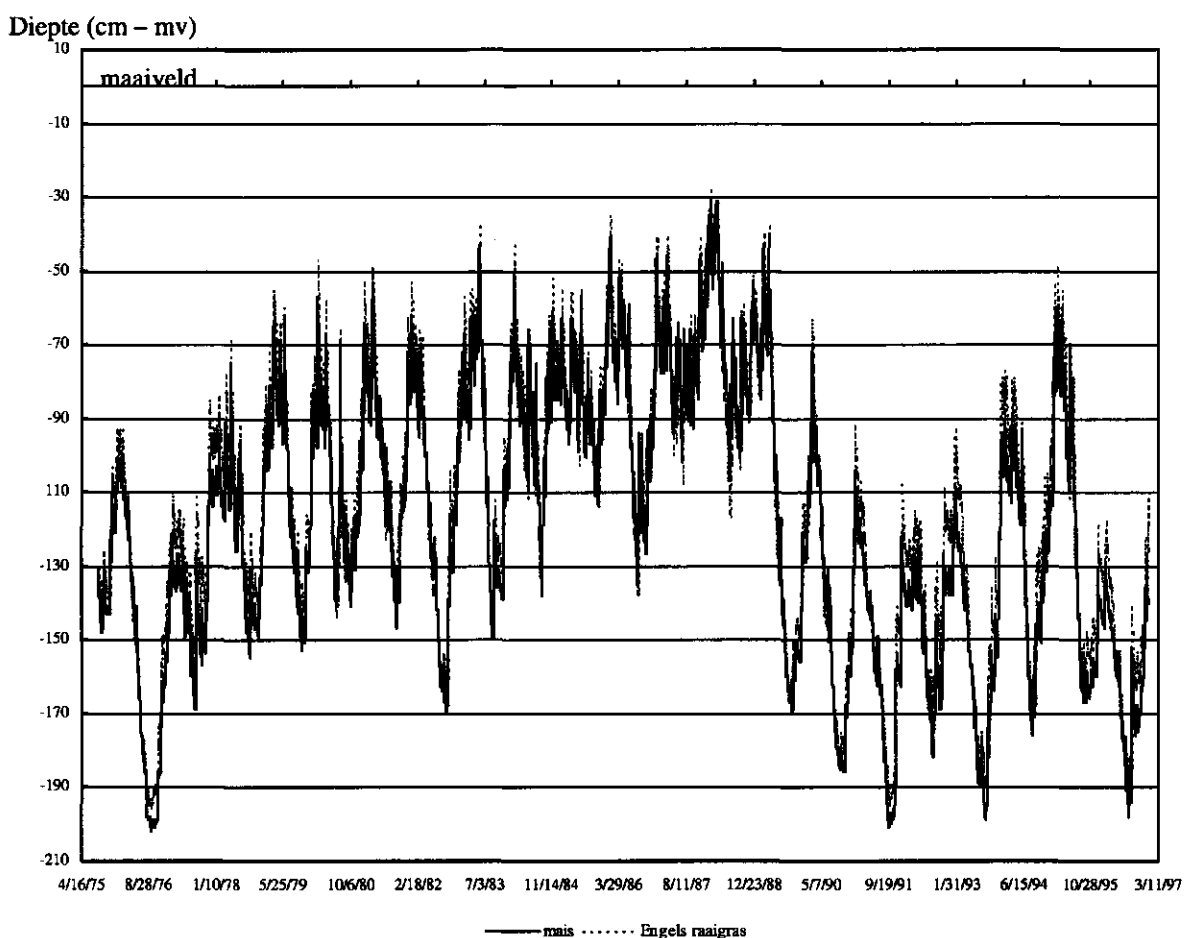


Fig. 10 Verloop van de grondwaterstand voor een deel van de rekenperiode (gemiddelde van het studiegebied Beerze-Reusel) voor de scenario's Engels raaigras en maïs

## 6.2 Resultaten per knooppunt

Een ander beeld wordt verkregen wanneer er naar de ruimtelijke effecten van de verschillen in grondwaterstand gekeken wordt. In figuur 11 staan de grondwaterstanden van het Engels raaigras- en maïsscenario weergegeven en in figuur 12 staat het verschil in grondwaterstand tussen deze twee scenario's. In de droge deelgebieden kan het verschil oplopen tot meer dan 50 cm diepere grondwaterstand bij het maïsscenario, terwijl in de nattere deelgebieden juist het Engels raaigrasscenario diepere grondwaterstanden kan opleveren (tot meer dan 20 cm). In Tabel 6 staat de procentuele verdeling van de voorkomende verschillen in grondwaterstand weergegeven. Uit de tabel blijkt dat ruim 60% van de verschillen ligt tussen -10 en 10 cm, en dat ruim 30% van de verschillen groter is dan 10 cm (diepere grondwaterstand voor het Engels raaigras scenario).

Tabel 6 Procentuele bijdrage van de grondwaterstandverschillen tussen het Engels raaigras- en maïsscenario

Verskil in grondwaterstand (cm), negatief is diepere grondwaterstand voor maïsscenario	Procentuele bijdrage
>50	1,4
40-50	1,7
30-40	4,9
20-30	8,1
10-20	15,0
0-10	35,7
-10-0	2,4
-20-10	8,4
<-20	0,3

De oorzaak van de verschillen moet worden gezocht in het verschil in waterverbruik per gewas per regio, wat zich uit in verschil in gewasverdamping. Het verschil in gewasverdamping tussen beide scenario's is te zien in figuur 13. Uit deze figuur blijkt dat over het algemeen de gewasverdamping voor het Engels raaigrasscenario hoger is dan voor het maïsscenario (volgens verwachting), maar dat er ook gebieden zijn waar de gewasverdamping van maïs hoger is. Dit is te verklaren door het verschil in kwel (fig. 14). In figuur 14 zijn gebieden te zien waar een hogere kwel bij het maïsscenario optreedt. Dit wordt verklaard doordat op de hogere delen van het gebied maïs minder water verbruikt dan gras, waardoor er op de lagere delen meer water omhoog kan komen (communicerende vaten). Als nu het gras niet optimaal kan verdampen door vochtgebrek, en maïs wel door z'n diepere beworteling en hogere kwel, ontstaat de situatie dat maïs een hogere verdamping vertoont. Dit leidt tot een diepere grondwaterstand voor maïs in het betreffende deelgebied. Dat is te zien in figuur 12 in de natte deelgebieden (waar vooral kwel een rol speelt).

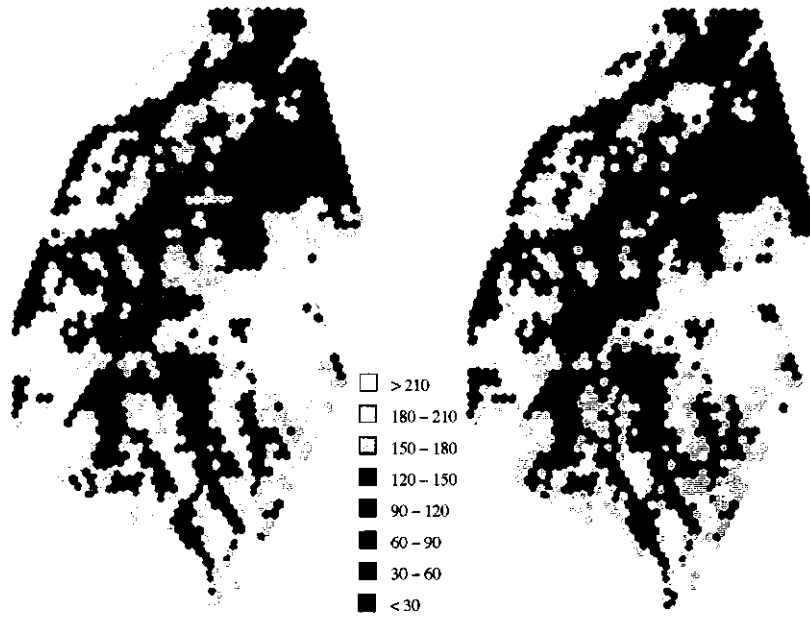


Fig. 11 Berekende grondwaterstanden (cm - mv) op 1 oktober 1996 voor het Engels raaigrasscenario (links) en het maïssscenario (rechts)

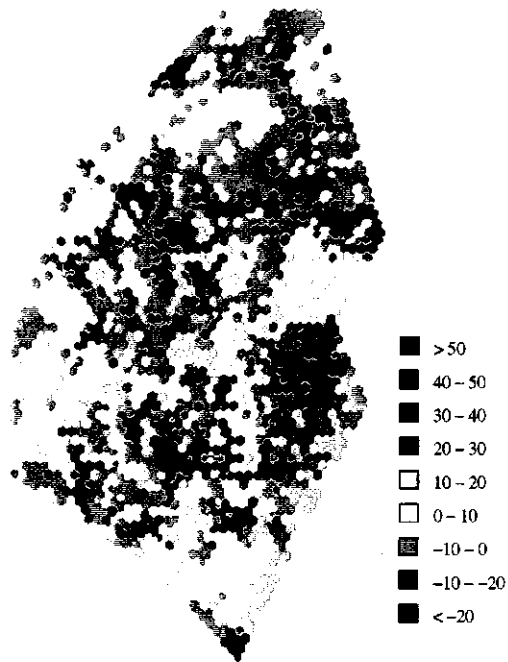
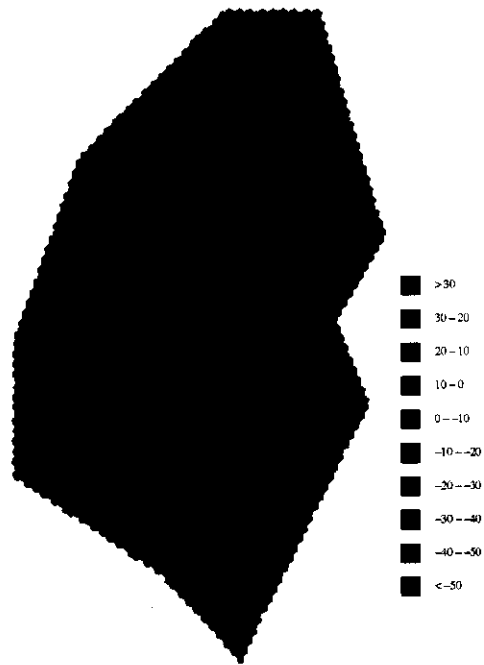
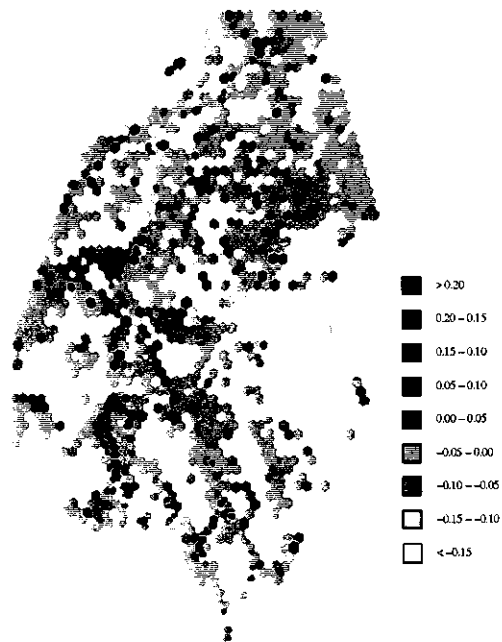


Fig. 12 Verschil in grondwaterstand (cm) op 1 oktober 1996 tussen het Engels raaigras- en maïssscenario. Negatief (groen) is diepere grondwaterstand voor maïssscenario



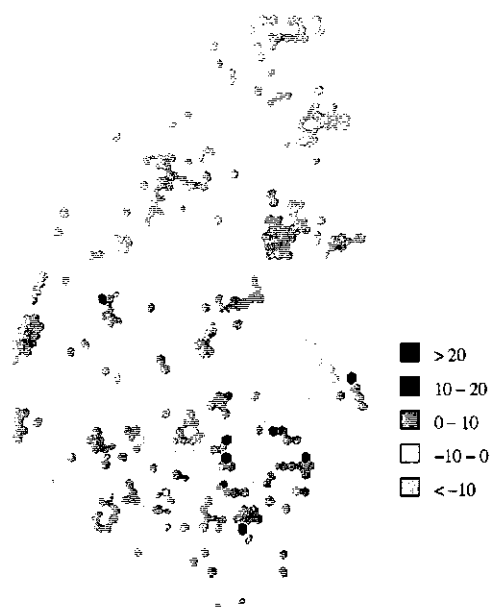
*Fig. 13 Verschil in cumulatieve gewasverdamping (cm) op 1 oktober 1996 tussen het Engels raaigras- en maïsscenario. Negatief (groen) is lagere gewasverdamping voor het maïsscenario*



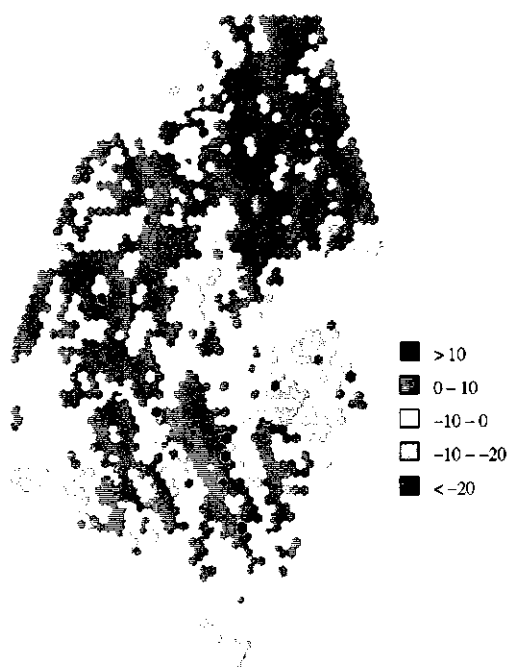
*Fig. 14 Verschil in kwel (mm/d) op 1 oktober 1996 voor het Engels raaigras- en maïsscenario voor de kwelgebieden van het Engels raaigras scenario. Positief (donker) is hogere kwel voor het Engels raaigras scenario*



Het verschil tussen de Engels raaigras/maïs en Engels raaigras/maïs/triticale scenario's voor de grondwaterstand is te zien in figuur 15.



*Fig. 15 Verschil in grondwaterstand (cm) op 1 oktober 1996 tussen het Engels raaigras/maïs en Engels raaigras/maïs/triticale scenario. Negatief (geel) is lagere grondwaterstand voor ER/maïs/triticale scenario*



*Fig. 16 Verschil in grondwaterstand (cm) op 1 oktober 1996 tussen het Engels raaigras/maïs en het bedrijfseconomisch scenario. Negatief (geel-oranje) is lagere grondwaterstand voor het bedrijfseconomisch scenario*

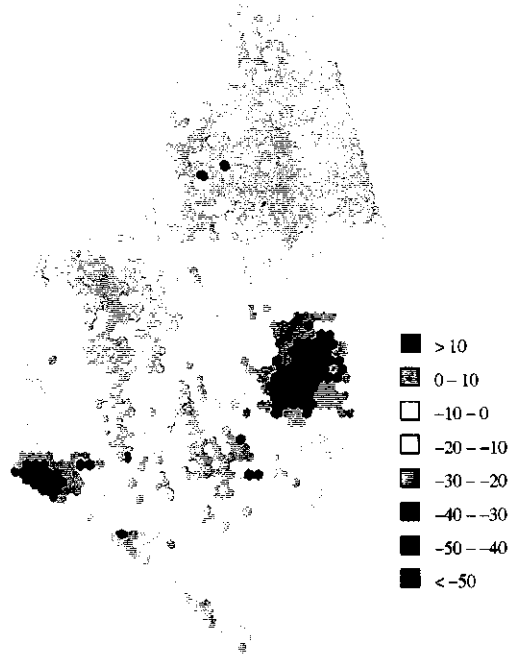


Fig. 17 Verschil in grondwaterstand (cm) op 1 oktober 1996 tussen het Engels raai-gras- en het rietzwenkgrasscenario. Negatief (rood) is diepere grondwaterstand voor het rietzwenkgrasscenario

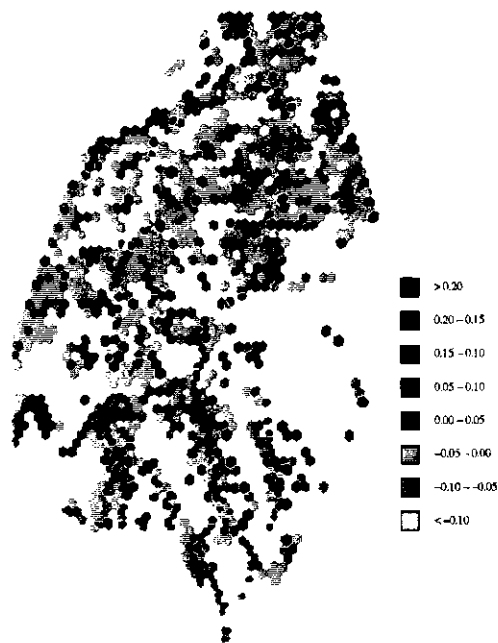


Fig. 18 Verschil in kwel (mm/d) op 1 oktober 1996 voor het Engels raai-gras- en rietzwenkgrasscenario voor de kwelgebieden van het Engels raai-grasscenario. Positief (donker) is hogere kwel voor het Engels raai-grasscenario

Hieruit blijkt dat het verschil tussen deze twee scenario's relatief klein is (hoofdzakelijk tussen 0 en 10 cm). Er wordt vanuit gegaan dat het Engels raaigras/maïs scenario een goede weergave van de huidige praktijk is.

Het verschil in grondwaterstand tussen het Engels raaigras/maïs scenario en het bedrijfseconomisch scenario is weergegeven in figuur 16. De verschillen liggen voor het grootste deel tussen de -10 en 10 cm, waarbij voor de droge deelgebieden het economisch scenario een diepere grondwaterstand oplevert en voor de natte deelgebieden (beekdalen) het Engels raaigras/maïs scenario.

Voor de scenario's volledig Engels raaigras en volledig rietzwenkgras geldt dat het enige verschil in invoer de worteldiepte is. Voor rietzwenkgras wordt een beworteling verondersteld die 10 cm dieper is dan bij Engels raaigras. Dit verschil levert een heterogeen beeld van de verschillen in de grondwaterstand op (figuur 17).

Ook hier blijkt dat in de droge gebieden een diepere grondwaterstand voor het ene scenario (rietzwenk) optreedt, terwijl juist in de nattere gebieden een diepere grondwaterstand voor het andere scenario (Engels raaigras) aanwezig is. Van deze twee scenario's is het verschil in kwel voor de kwelgebieden van het Engels raaigrasscenario weergegeven in figuur 18. De kwel is over het algemeen groter voor het Engels raaigrasscenario, wat in die gebieden resulteert in een hogere gewasverdamping en dus een lagere grondwaterstand.

### **6.3 Gebiedsafvoer**

De verschillen in gebruik van voedergewassen als gevolg van gewijzigde hydrologie ook verschillen in gebiedsafvoer op. In figuur 19 zijn de verschillen te zien ten opzichte van het Engels raaigrasscenario, waarbij het Engels raaigrasscenario op 100% is gesteld, als gemiddelde van de zomer- en winterperiode van 1971 tot en met 1996. Het Engels raaigrasscenario levert gemiddeld ruim 32 miljoen m<sup>3</sup> water op voor de zomerperiode en bijna 60 miljoen m<sup>3</sup> voor de winterperiode als gebiedsafvoer. Uit de figuur blijkt dat er een hoge correlatie is met de verdamping: een hogere verdamping van een scenario betekent een lagere afvoer. Een hogere verdamping heeft dus niet alleen een verlagend effect op de grondwaterstand, maar ook op de gebiedsafvoer. De verschillen in de winterperiode zijn beduidend kleiner, behalve voor het reitzwenkgrasscenario. Hier speelt dat er in de winter bij maïs geen gewas meer op het veld staat, dus er wordt hier een vergelijking gemaakt tussen gras en kale grondverdamping. Wat verder nog opvalt is dat het gebruik van een dieper wortelend grasras de gebiedsafvoer nog verder reduceert. Dit is in overeenstemming met het verschil in verdamping tussen het Engels raaigras en rietzwenkgras, en wordt veroorzaakt doordat een dieper wortelend gewas meer water kan opnemen.

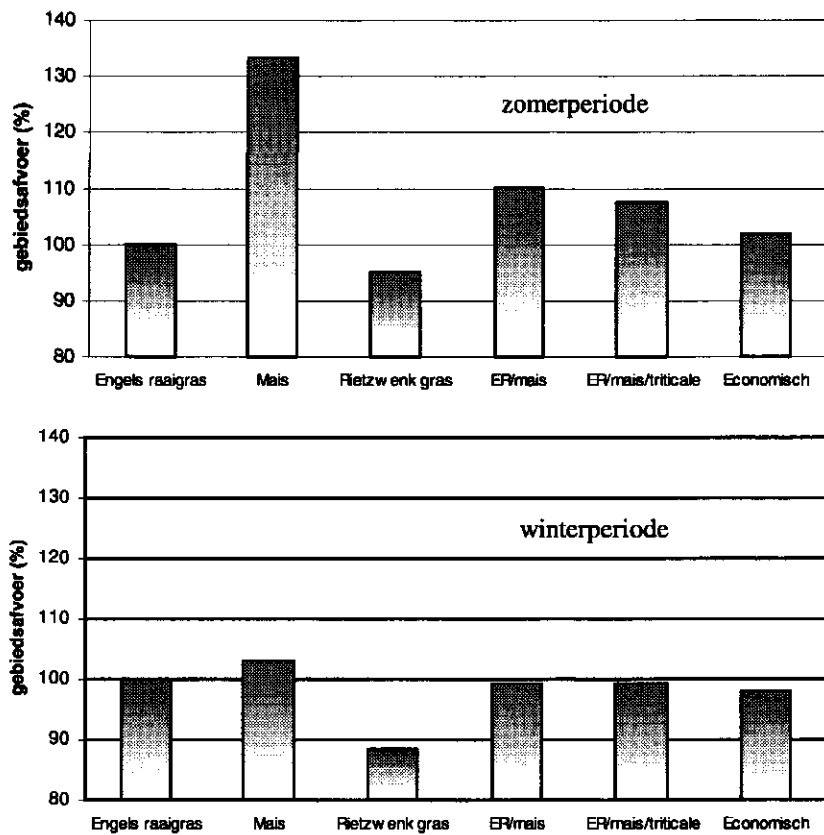


Fig. 19 Gebiedsafvoer per scenario als gemiddelde voor de periode van 1971 tot en met 1996. Het Engels raaigrasscenario is op 100% gesteld en is gemiddeld ruim 32 miljoen m<sup>3</sup> water voor de zomerperiode en bijna 60 miljoen m<sup>3</sup> voor de winterperiode

## 7 Conclusies

In potentie is voor delen van het studiegebied aan het eind van het groeiseizoen een verschil in grondwaterstand van meer dan 50 cm te bereiken door verschil in teelt van voedergewas (maïs versus gras). Het verschil is niet voor het hele gebied gelijk en ligt voor een groot deel tussen 0 en 10 cm. De belangrijkste verklaring voor het verschil is een langer groeiseizoen voor het gras in vergelijking met maïs, waardoor de gewasverdamping van gras hoger is. De grootste verschillen treden op in droge deelgebieden, met een grondwaterstand dieper dan 2 meter. Hier is de grondwaterstand voor gras het diepst. In de nattere deelgebieden kan het tegenovergestelde optreden (diepere grondwaterstand voor het maïsscenario), wat te verklaren is door een hogere kwel voor het laag-consumptief gewas (maïs) samen met een diepere beworteling. Hierdoor kan het maïs meer optimaal verdampen dan het Engels raaigras.

Gebruik van triticale en maïs als voedergewas in combinatie met gras heeft een effect van tussen 0 en 10 cm verschil op de grondwaterstand in vergelijking met gebruik van alleen maïs als voedergewas in combinatie met gras.

Het voor het financieel bedrijfsresultaat meest gunstige scenario levert in de droge gebiedsdelen een diepere grondwaterstand op (tot > 20 cm) en in de natte gebiedsdelen (beekdalen) een ondiepere grondwaterstand (tot > 10 cm). Over het algemeen ligt het verschil in grondwaterstand tussen 0 en 10 cm.

Het gebruik van een hoog-consumptief gewas (gras) resulteert in een lagere gebiedsafvoer ten opzichte van een laag-consumptief gewas (maïs).

Door het telen van andere voedergewassen dan gras kunnen er regionale verschillen optreden in de grondwaterstand. Deze verschillen zijn relatief gering (0 – 10 cm) wanneer scenario's van een combinatie van gras en akkerbouwmatige gewassen in beschouwing worden genomen. Lokaal kunnen de effecten van belang zijn, afhankelijk van de functie van het gebied (natuurgebied of landbouwgebied). De verschillen kunnen van jaar tot jaar variëren als gevolg van weerverschillen. Langjarige effecten als gevolg van verschillende scenario's treden niet op.

## Literatuur

Bolt, F.J.E. van der, P.E.V. van Walsum en P. Groenendijk, 1996. *Nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater in de stroomgebieden van de Beerze, de Reusel en de Rosep, simulatie van de regionale hydrologie*. Rapport 306.1, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Dam, J.C. van, J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk en C.A. van Diepen, 1997. *SWAP 2.0, Theory. Simulation of water flow, solute transport end plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment*. Technical Document 45, DLO Winand Staring Centre, Report 71, Department Water Resources, Agricultural University, Wageningen.

Ernst, L.F., 1978. *Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables. I A drainage formula based on a constant hydraulic head ratio. II The variable hydraulic head ratio*. Journal of Hydrology 39, 3/4:1-50.

Feddes R.A., P. Kabat and P.J.T. van Bakel, 1988. Modeling soil water dynamics in the unsaturated zone: state of the art. ICW note 1858, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Nijssen, J.M.A. en R. Schreuder, 1998. *Economie van droogte-tolerante gewassen*. PR rapport in voorbereiding. Proefstation voor Rundveehouderij, Lelystad.

Querner, E.P. en W.H.B. Aarnink, 1997. *Verandering van grondwateraanvulling en grondwaterstanden door ingrepen in de waterhuishouding*. H<sub>2</sub>O, 1-97:23-25.

Schans, D. van der, M. Stienezen, H. Everst en P. Sniijders, 1998. *Opbrengstvariabiliteit van voedergewassen op droogtegevoelige gronden, verslag van veldproeven te Gastel en Leende in 1994, 1995 en 1996*. Rapport in voorbereiding, Proefstation voor de Akkerbouw en Vollegrondsgroenten, Lelystad.

Smid, H.S., H.F.M. Aarts en C. Grashoff, 1998. *Vochtverbruik en droogtegevoeligheid van voedergewassen*. Rapport in voorbereiding, DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek, Wageningen.

Thunissen, H.A.M., P.J. van den Boogaard en H.P.T. Ullenbroeck, 1993. *Operational land cover classification in the Netherlands using satellite images and other geographical information*. Presented at the International Symposium 'Operationalization of Remote Sensing', ITC Enschede, The Netherlands.

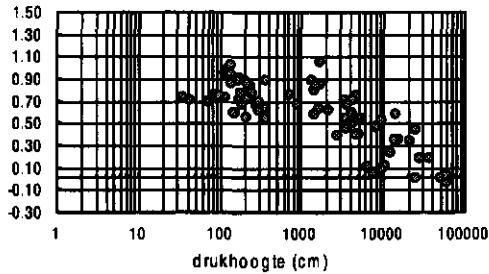
Veldhuizen, A.A., A. Poelman, L.C.P.M. Stuyt and E.P. Querner, 1998. Software documentation for SIMGRO V3.0; Regional water management simulator. Technical document 50, DLO- Staring Centrum, Wageningen.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 1994*. Technisch Document 18, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

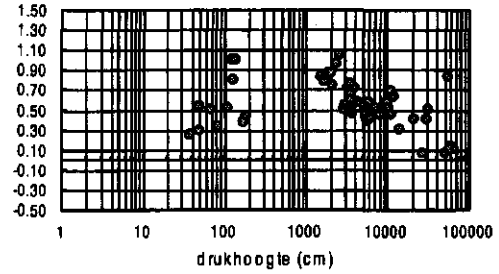
Wösten, J.H.M., F. De Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland 1 : 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie*. Rapport 2055, STIBOKA, Wageningen.

**Aanhangsel Berekende Ta/Tp verhouding en bijbehorende gemeten drukhoogten voor de jaren 1994 en 1995 voor verschillende gewassen en twee bodemtypen (Leende is enkeerd- en Gastel is veldpodzolgrond)**

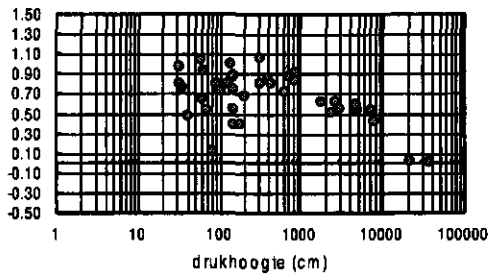
Mais, Leende zand 1994



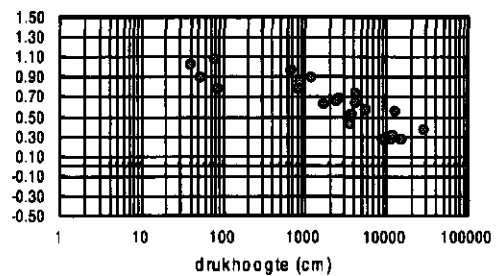
Bieten, Leende zand 1994



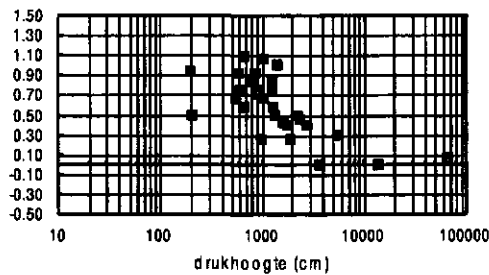
Luzerne, Leende zand 1994



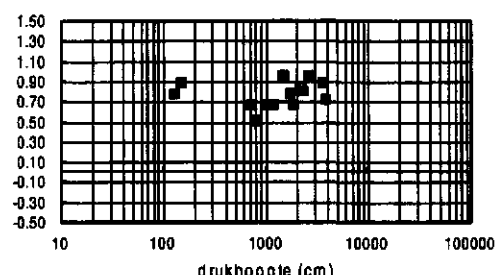
Gras, Leende zand 1994



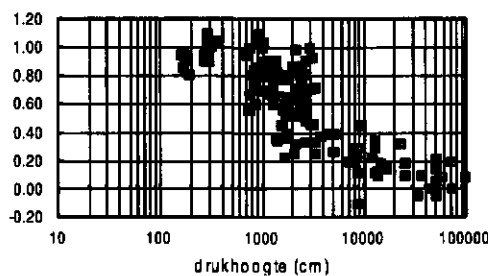
1-jarig Luzerne, Gastel zand 1995



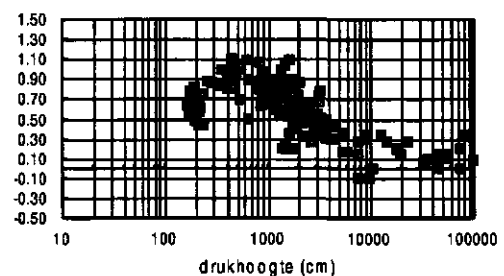
2-jarig Gras, Leende zand 1995



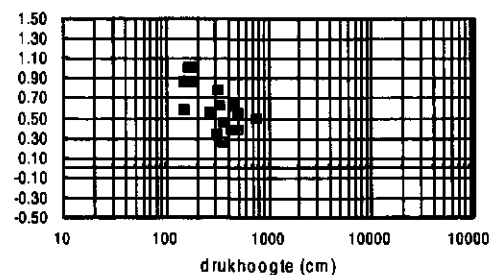
Mais, Gastel zand 1995



Bieten, Gastel zand 1995



1-jarig Gras, Gastel zand 1995



2-jarig Luzerne, Leende zand 1995

