32/4446(218) 2e ex.

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

Modelberekeningen voor het dekken van de waterbehoefte en de emissie van nutriënten voor een glastuinbouwproject bij Burgum (Fr.)

Ph. Hamaker

Rapport 218

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1992

18.6609

REFERAAT

Hamaker, Ph., 1992. *Modelberekeningen voor het dekken van de waterbehoefte en de emissie van nutriënten voor een glastuinbouwproject bij Burgum (Fr.).* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 218. 57 blz.; 15 figuren; 4 tabellen.

In opdracht van de Waterleiding Friesland zijn modelberekeningen uitgevoerd voor de gietwatervoorziening en de emissie van nutriënten (stikstof en fosfaat) voor vier verschillende glasteelten (tomaat, paprika, anjer en roos). Met simulatieberekeningen worden de gietwaterbehoefte en de emissies per 10-daagse periode gekwantificeerd, afhankelijk van de gewastranspiratie, de gietwatervoorziening en de zoutgevoeligheid van het gewas. Er is gerekend voor glastuinbouwbedrijven die gebruik maken van drinkwater, al dan niet in combinatie met regenwater. Er is gerekend met vier kwaliteiten drinkwater (Na-concentraties: 2,8; 1,7; 1,0 en 0,5 mmol.l^{-1}) en regenwaterbassins van 0 tot 6000 $m^3.ha^{-1}$. Het opvangen en gebruiken van regenwater is van grote invloed op de behoefte aan drinkwater. De volgende alternatieven leiden tot het minimaliseren van de emissie: drinkwater met 2,8 of 1,7 mmol.l^{-1} Na bij regenwaterbassins van 3000 à 4000 $m^3.ha^{-1}$; drinkwater met 1,0 of 0,5 mmol.l^{-1} Na, al dan niet in combinatie met regenwater.

Trefwoorden: glastuinbouw, (giet)watervoorziening, (giet)waterkwaliteit, emissie van nutriënten, modelberekeningen

ISSN 0927-4499

©1992 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

Het DLO-Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

Het 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.

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 het DLO-Staring Centrum.

Project 1670 *[028bw]*

INHOUD

		blz
WOORD VOORAF		9
SAMENVATTING		11
1	INLEIDING	15
2	KARAKTERISEREN GLASTUINBOUW	17
2.1	Teeltsysteem en teeltmethode	17
2.2	Gewassen	18
2.3	Gietwatervoorziening	18
3	MODELLEREN VAN DE WATER- EN STOFFENHUISHOUDING	21
3.1	Algemeen	21
3.2	Kwantificeren van de waterhuishouding voor het standaardbedrijf	22
3.2.1	Berekenen van de gewastranspiratie	22
3.2.2	Berekenen van de waterbehoefte en de afvoer	24
3.3	Berekenen van de dekking van het waterverbruik	25
3.4	Berekenen van de emissie van N en P	26
4	PARAMETERWAARDEN	29
4.1	Reductiefactoren	29
4.2	Na-concentraties en afvoerfracties	32
4.3	N- en P-concentraties in het wortelmilieu	32
5	BEREKENDE REGEN- EN DRINKWATERVERBRUIK, DRAINAGEWATERAFVOER EN EMISSIES	33
5.1	Oriënterende berekeningen	33
5.2	Resultaten op jaarbasis	38
5.3	Resultaten op decadebasis	42
5.3.1	Waterverbruik	42
5.3.2	Afvoer van drainagewater	47
6	EVALUATIE VAN ALTERNATIEVEN EN CONCLUSIES	53
6.1	Alternatieven voor de gietwatervoorziening	53
6.1.1	Tuinbouwkundige afweging	53
6.1.2	Minimaliseren van emissies	54
6.2	Evaluatie van alternatieven	54
6.3	Restafvoer en restemissies	55
6.4	Conclusies	56
6.5	Waarschuwing	56
LITERATUUR		57

blz

FIGUREN

1 Schema van de water- en stoffenstromen bij teeltsysteem met mogelijkheid tot hergebruik van drainagewater 21

2 Gewastranspiratie in relatie tot de globale straling boven het kasdek voor tomaat, volgens gegevens van onderzoek op een praktijkbedrijf en op het PTG 30

3 Gewastranspiratie in relatie tot de globale straling boven het kasdek voor anjer, volgens gegevens van onderzoek op het PTG 30

4 Jaarverbruik van regenwater en drinkwater voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha, bij regenwaterbassins van 0 tot 3000 $m^3.ha^{-1}$ en drinkwater van klasse D, C, B of A, bij vier gewassen, voor het 50%-jaar 1977 38

5 Jaarverbruik van regenwater en drinkwater voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha, bij regenwaterbassins van 0 tot 3000 $m^3.ha^{-1}$ en drinkwater van klasse D, C, B of A, bij vier gewassen, voor het 10%-jaar 1982 39

6 Afvoer van drainagewater op jaarbasis voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha, bij regenwaterbassins van 0 tot 3000 $m^3.ha^{-1}$ en drinkwater van klasse D, C, B of A, bij vier gewassen, voor het 50%-jaar 1977 40

7 Afvoer van drainagewater op jaarbasis voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha, bij regenwaterbassins van 0 tot 3000 $m^3.ha^{-1}$ en drinkwater van klasse D, C, B of A, bij vier gewassen, voor het 10%-jaar 1982 41

8 Decadeverbruik van regenwater en drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van tomaat en paprika, voor het 50%-jaar 1977 43

9 Decadeverbruik van regenwater en drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van anjer en roos, voor het 50%-jaar 1977 44

10 Decadeverbruik van regenwater en drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van tomaat en paprika, voor het 10%-jaar 1982 45

11 Decadeverbruik van regenwater en drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van anjer en roos, voor het 10%-jaar 1982 46

12 Afvoer van drainagewater per decade bij gebruik van drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van tomaat en paprika, voor het 50%-jaar 1977 48

13 Afvoer van drainagewater per decade bij gebruik van drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van anjer en roos, voor het 50%-jaar 1977 49

blz

14 Afvoer van drainagewater per decade bij gebruik van drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van tomaat en paprika, voor het 10%-jaar 1982 50

15 Afvoer van drainagewater per decade bij gebruik van drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van anjer en roos, voor het 10%-jaar 1982 51

TABELLEN

1 Samenstelling van het drinkwater voor de wingebieden Noardburgum en Spannenburg, volgens gegevens van de Waterleiding Friesland 18

2 Parameterwaarden voor de vier gewassen waarvoor model-berekeningen zijn uitgevoerd 31

3 Rekenresultaten voor het standaardbedrijf van 1,0 ha met het gewas tomaat, met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij gebruik van drinkwater van klasse C, voor het 50%-jaar 1977 34

4 Verbruik van regenwater, van drinkwater van klasse C en afvoer van drainagewater, voor het gewas tomaat, in de jaren 1952 t/m 1989, bij regenwaterbassins van 0, 500, 1500 en 2500 $m^3.ha^{-1}$; jaren gesorteerd op basis van het verbruik van drinkwater bij een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$ 36

WOORD VOORAF

Momenteel worden de mogelijkheden onderzocht om een glastuinbouwgebied van ca. 30 ha nabij de elektriciteitscentrale bij Burgum (Fr.) te stichten. De restwarmte van de centrale kan voor het verwarmen van de kassen gebruikt worden. Om de perspectieven in kaart te brengen is een werkgroep in het leven geroepen onder voorzitterschap van het Provinciaal Energiebedrijf Friesland. De Waterleiding Friesland (WLF) maakt deel uit van de werkgroep en heeft op zich genomen de problematiek van de gietwatervoorziening uit te werken.

In opdracht van de WLF heeft het DLO-Staring Centrum in het eerste kwartaal van 1992 modelberekeningen uitgevoerd voor de gietwatervoorziening en de emissies van nutriënten. De berekeningen hebben betrekking op glastuinbouwbedrijven met een teeltoppervlakte van 1,0 ha. De randvoorwaarden voor de gietwatervoorziening zijn vastgesteld in overleg met de WLF. Het was prettig samenwerken met ir. J.Ph. van der Linden van het waterleidingbedrijf.

SAMENVATTING

Momenteel worden de mogelijkheden onderzocht om een glastuinbouwgebied nabij de elektriciteitscentrale bij Burgum (Fr.) te stichten door een werkgroep onder leiding van het Provinciaal Energiebedrijf. De Waterleiding Friesland heeft op zich genomen de problematiek van de gietwatervoorziening uit te werken, wat heeft geleid tot een opdracht aan het DLO-Staring Centrum om de gietwaterbehoefte en de emissies van de nutriënten stikstof (N) en fosfaat (P) te kwantificeren afhankelijk van de gietwatervoorziening.

Het onderzoek omvat *modelberekeningen* voor glastuinbouwbedrijven met een glasoppervlakte van 1,0 ha. De teelt vindt los van de grond plaats en er zijn voorzieningen getroffen om de overtollige nutriëntenoplossing (drainagewater) op te vangen en te hergebruiken. De bedrijven voldoen daarmee aan voorwaarden waaraan in het jaar 2000 de gehele Nederlandse glastuinbouw zal moeten voldoen.

Berekeningen zijn uitgevoerd voor de gewassen tomaat, paprika, anjer en roos, vanwege de verschillen in gewastranspiratie en in gevoeligheid voor verhoogde Na-concentraties in het wortelmilieu. Het transpiratieniveau van tomaat en paprika is hoger dan dat van anjer en roos. Paprika en roos hebben een grotere Na-gevoeligheid dan tomaat en anjer.

Hergebruik stelt hoge eisen aan de gietwaterkwaliteit. In de huidige situatie komen regenwater en drinkwater als bronnen van gietwater in aanmerking. Bij drinkwater gaat het om de wingebieden Noardburgum en Spannenburg. Tuinbouwkundig gezien heeft het gebruik van dat water géén beperkingen bij substraten en teeltmethoden die voldoende doorspoeling van het wortelmilieu toelaten. Bij hergebruik in gesloten teeltsystemen is de Na-concentratie beperkend. Daarom is in overleg met het waterleidingbedrijf besloten om óók rekening te houden met gietwater dat is verkregen door het ontzouten van drinkwater. Op basis hiervan zijn de volgende soorten gietwater in het onderzoek betrokken:
- regenwater, met een Na-concentratie van 0,3 $mmol.l^{-1}$;
- water van klasse A, met een Na-concentratie van 0,5 $mmol.l^{-1}$;
- water van klasse B, met een Na-concentratie van 1,0 $mmol.l^{-1}$;
- water van klasse C, met een Na-concentratie van 1,7 $mmol.l^{-1}$;
- water van klasse D, met een Na-concentratie van 2,8 $mmol.l^{-1}$.

Water van klasse C en D komt overeen met het drinkwater uit het wingebied Noardburgum en Spannenburg; water van klasse A en B is verkregen door het water uit één van beide wingebieden te ontzouten. Ook het water van klasse A of B is aangeduid als drinkwater.

Voor de vier gewassen uit het onderzoek biedt alléén regenwater geen perspectief. Er is daarom uitgegaan van regenwater met aanvullend drinkwater als de regenwatervoorraad in perioden met een neerslagtekort uitgeput raakt. In de berekeningen zijn bedrijven met regenwaterbassins van 0, 500, 1000, 1500, 2000,

2500, 3000, 4000, 5000 en 6000 $m^3.ha^{-1}$ opgenomen. Bij een bassin van 0 $m^3.ha^{-1}$ wordt de waterbehoefte op de bedrijven volledig met water van klasse D, C, B of A gedekt.

160 Bedrijfssituaties zijn in het onderzoek betrokken (vier gewassen, vier soorten drinkwater en tien bassingroottes).

Het modelleren is gericht op het *simuleren van de water- en stoffenhuishouding* van de standaardbedrijven. Per decadetijdstap worden berekend:
- de gewastranspiratie;
- de afvoer van drainagewater om te voorkomen dat de Na-concentratie te hoog oploopt;
- de totale gietwaterbehoefte (som van gewastranspiratie en afvoer);
- het verbruik van regenwater en/of drinkwater;
- de emissie van N en P via de afvoer van drainagewater.

Randvoorwaarden zijn de globale straling en de neerslag. De globale straling bepaalt de gewastranspiratie, in samenhang met het type gewas en het ontwikkelingsstadium. De neerslag bepaalt de mogelijkheden om de gietwaterbehoefte te dekken samen met de beschikbare bassinvoorraad aan het begin van de tijdstap.

De noodzakelijke afvoer om te voorkomen dat de Na-concentratie in het wortelmilieu te hoog oploopt, wordt bepaald door de Na-concentratie van het gietwater en de gevoeligheid van het gewas. De emissie van nutriënten is evenredig met de afvoer en de N- en P-concentraties in het wortelmilieu. Die concentraties zijn gewasafhankelijk en ontleend aan de bemestingsadviesbasis voor de glastuinbouw.

Berekeningen zijn uitgevoerd voor 1977 en 1982. In termen van de hoeveelheid neerslag in het zomerhalfjaar is 1977 een normaal jaar (50%-jaar) en 1982 een droog jaar (10%-jaar). De gewastranspiratie op jaarbasis komt voor tomaat en paprika uit op ca. 7000 $m^3.ha^{-1}$ en voor anjer en roos op ca. 6000 $m^3.ha^{-1}$.

De totale waterbehoefte, de afvoer van drainagewater en de emissies van nutriënten zijn maximaal bij uitsluitend drinkwater van klasse D. De totale waterbehoefte op jaarbasis loopt op tot 9000 à 12000 $m^3.ha^{-1}$ en de afvoer van drainagewater tot 3000 à 6000 $m^3.ha^{-1}$ (bij anjer en paprika). Dat leidt tot emissies van 600 à 1600 $kg.ha^{-1}$ NO_3-N en van 85 à 170 $kg.ha^{-1}$ ortho-P. Bij drinkwater van klasse A, al dan niet met regenwater, zijn de waterbehoefte, de afvoer en de emissie minimaal. De waterbehoefte op jaarbasis blijft dan beperkt tot 6000 à 7000 $m^3.ha^{-1}$, de afvoer tot 0 à 500 $m^3.ha^{-1}$, de N-emissies tot 0 à 125 $kg.ha^{-1}$ NO_3-N, en de P-emissie tot 0 à 15 $kg.ha^{-1}$ ortho-P (eveneens bij anjer en roos). De resultaten van de berekeningen voor tomaat en roos liggen tussen die voor paprika en anjer in.

De emissie van nutriënten is minimaal bij het zo volledig mogelijk dekken van de waterbehoefte met regenwater. In een 10%-jaar zijn daarvoor bassins van 5000 $m^3.ha^{-1}$ noodzakelijk bij tomaat en paprika en van 4000 $m^3.ha^{-1}$ bij anjer en roos. Bij dié bassins zal in extreem droge jaren alsnog door tekorten aan regenwater een aanvullende voorziening noodzakelijk zijn.

De waterbehoefte is ongelijkmatig over het jaar verdeeld, met pieken van 450 tot 700 $m^3.ha^{-1}$ per decade in mei, juni en juli. Ook de afvoer van drainagewater vindt vooral in die periode plaats. De piekafvoeren zijn sterk afhankelijk van de Na-gevoeligheid van het gewas en de Na-concentratie van het drinkwater. Bij een gevoelig gewas als paprika kan bij drinkwater van klasse D een piekafvoer van ca. 350 $m^3.ha^{-1}$ per decade noodzakelijk zijn, bij drinkwater van klasse A blijft de piekafvoer beperkt tot minder dan 50 $m^3.ha^{-1}$ per decade.

Rekening houdend met zowel de tuinbouwkundige belangen als met de noodzaak de emissie van nutriënten te beperken komen als alternatieven in aanmerking:
- uitsluitend drinkwater van klasse B of A;
- regenwater in combinatie met drinkwater van klasse B of A, zonder verdere eisen aan de grootte van het bassin;
- regenwater in combinatie met drinkwater van klasse D of C, bij bassins van tenminste 3000 à 4000 $m^3.ha^{-1}$, onder voorwaarde dat typen substraat en teeltmethoden gebruikt worden die voldoende doorspoeling van het wortelmilieu toelaten.

Bij uitsluitend drinkwater van klasse B of A blijven de verschillen in de totale waterbehoefte tussen verschillende jaren beperkt tot ca. 15%. De verdeling van de waterbehoefte over het jaar is ongelijkmatig, met piekbehoeften van 450 à 550 $m^3.ha^{-1}$ per decade in het zomerhalfjaar.

Bij regenwater in combinatie met drinkwater van klasse B of A wordt de behoefte aan drinkwater op jaarbasis sterk beperkt. Dit geldt echter niet voor de piekbehoefte aan drinkwater, omdat die piekbehoefte juist zal optreden wanneer de regenwater-voorraden geheel zijn uitgeput. Bij een sterk beperkte afzet van drinkwater op jaarbasis moeten de produktiecapaciteit en de mogelijkheden om het water te transporteren en distribueren toch op de piekbehoefte van 450 à 550 $m^3.ha^{-1}$ per decade zijn berekend.

Bij regenwater in bassins van tenminste 3000 à 4000 $m^3.ha^{-1}$ in combinatie met drinkwater van klasse D of C is de gemiddelde behoefte aan drinkwater op jaarbasis laag. In alle jaren die even nat of natter zijn dan het 50%-jaar 1977, is de behoefte zelfs nihil. Daartegenover staan piekbehoeften van 500 à 750 $m^3.ha^{-1}$ per decade in extreem droge jaren als 1959 en 1976.

1 INLEIDING

Momenteel worden de mogelijkheden onderzocht om een glastuinbouwgebied van ca. 30 ha nabij de elektriciteitscentrale bij Burgum (Fr.) te stichten. De restwarmte van de centrale kan voor het verwarmen van de kassen gebruikt worden. Om de perspectieven in kaart te brengen is een werkgroep in het leven geroepen onder voorzitterschap van het Provinciaal Energiebedrijf Friesland (PEB). De Waterleiding Friesland (WLF) maakt deel uit van de werkgroep en heeft op zich genomen de problematiek van de gietwatervoorziening uit te werken.

In het najaar van 1991 heeft de WLF contact gezocht met het Staring Centrum (SC-DLO) met een voorstel voor een haalbaarheidsonderzoek voor de gietwatervoorziening om:

- de behoefte aan gietwater vast te stellen en het dekken van die behoefte met drinkwater dat al dan niet is ontzout en dat al dan niet in combinatie met regenwater wordt gebruikt;
- de emissie van de nutriënten stikstof (N) en fosfaat (P) via de afvoer van drainagewater te kwantificeren.

Het rapport bevat berekeningen met een simulatiemodel waarmee aspecten van de water-, zout- en nutriëntenhuishouding van glastuinbouwbedrijven worden gekwantificeerd. De berekeningen zijn uitgevoerd in het eerste kwartaal van 1992.

De berekeningen hebben betrekking op standaardbedrijven met een teeltoppervlakte onder glas van 1,0 ha. In hoofdstuk 2 is aangegeven welke bedrijfssituaties in het onderzoek zijn betrokken en welke randvoorwaarden daarop van toepassing zijn. Hoofdstuk 3 geeft informatie over het model en hoofdstuk 4 over de gewasparameters. De uitgevoerde berekeningen en de resultaten daarvan komen aan de orde in hoofdstuk 5 en worden geëvalueerd in hoofdstuk 6.

2 KARAKTERISEREN GLASTUINBOUW

Glastuinbouw wordt gekenmerkt door een grote diversiteit. In dit onderzoek slaat die diversiteit alléén op aspecten die met de water- en stoffenhuishouding te maken hebben. Het gaat dan om
- het teeltsysteem, met onderscheid tussen teelt in de grond en teelt los van de grond;
- de teeltmethode, met onderscheid tussen vrije drainage en hergebruik;
- het type gewas;
- de gietwatervoorziening.

Deze vier aspecten worden nader uitgewerkt voor de situatie in Friesland. Wat stoffen betreft blijft het onderzoek beperkt tot stikstof (N), fosfaat (P) en natrium (Na).

2.1 Teeltsysteem en teeltmethode

In de glastuinbouw wordt vrijwel altijd meer water aan het gewas verstrekt dan voor het dekken van de gewastranspiratie alléén nodig zou zijn. Zonder verdere maatregelen stroomt de overtollige nutriëntenoplossing, verder aangeduid als drainagewater, ongecontroleerd uit het wortelmilieu weg en draagt bij tot de belasting van de bodem, het grondwater en het oppervlaktewater.

Met het oog op het beperken van de emissies is in de Structuurnota Landbouw (Ministerie van LNV, 1990) aangegeven dat de glastuinbouw in het jaar 2000 nagenoeg geheel in gesloten systemen dient plaats te vinden, dat wil zeggen in "...systemen, waarbij bodem, water en lucht niet of nauwelijks rechtstreeks worden belast en de overblijvende rest- en afvalstoffen worden afgevoerd en elders hergebruikt of vernietigd".

Het werken met gesloten systemen vereist in de eerste plaats teelt los van de grond. Het gaat daarbij om bijvoorbeeld het telen in een kunstmatig substraat als steenwol, in een venig substraat, in zandbedden of op een verharde ondergrond. Kenmerkend voor het telen los van de grond is het beperkte bewortelbare volume substraat en de daarmee samenhangende beperkte buffering van het wortelmilieu. Een tweede voorwaarde is dat er voorzieningen moeten zijn getroffen om het drainagewater vanuit het wortelmilieu op te vangen en naar een centraal punt te leiden van waaruit hergebruik mogelijk is.

In dit onderzoek is uitsluitend aandacht besteed aan standaardbedrijven met teelt los van de grond en waar technische voorzieningen zijn getroffen die hergebruik mogelijk maken.

2.2 Gewassen

De invloed van het gewas op de water- en stoffenhuishouding betreft in de eerste plaats de gewastranspiratie. Daarnaast is de gevoeligheid van het gewas voor verhoogde Na-concentraties in het wortelmilieu van invloed. In het onderzoek blijven de modelberekeningen beperkt tot de volgende vier gewassen:
- tomaat, met een hoog transpiratieniveau en een lage Na-gevoeligheid;
- paprika, met een hoog transpiratieniveau en een hoge Na-gevoeligheid;
- anjer, met een beperkt transpiratieniveau en een lage Na-gevoeligheid;
- roos, met een beperkt transpiratieniveau en een hoge Na-gevoeligheid.

De aanduiding van het transpiratieniveau als hoog of beperkt is relatief. Potplanten bijvoorbeeld hebben een nog duidelijk lager transpiratieniveau dan anjer en roos.

2.3 Gietwatervoorziening

Het gietwater moet aan hoge kwaliteitseisen voldoen om het toepassen van hergebruik van drainagewater in gesloten teeltsystemen mogelijk te maken. Als de toevoer van bepaalde ionen via het gietwater groter is dan de opname door het gewas vindt accumulatie in het systeem plaats waardoor de groei en ontwikkeling van het gewas nadelig kunnen worden beïnvloed. Vaak is de concentratie aan Na-ionen beperkend vanwege de geringe opname door het gewas.

Bij het vestigen van glastuinbouw in dit gebied komen in de huidige situatie de volgende drie bronnen van gietwater in aanmerking:
- regenwater;
- drinkwater uit het wingebied Noardburgum;
- drinkwater uit het wingebied Spannenburg.

Tabel 1 ***Samenstelling van het drinkwater voor de wingebieden Noardburgum en Spannenburg, volgens gegevens van de Waterleiding Friesland***

	Noardburgum		**Spannenburg**	
	mmol.l^{-1}	**meq.l^{-1}**	**mmol.l^{-1}**	**meq.l^{-1}**
Cl	**2,79**	**2,79**	**0,94**	**0,94**
NO_3	**0,05**	**0,05**	**0,13**	**0,13**
SO_4	**0,18**	**0,36**	**0,00**	**0,00**
HCO_3	**2,43**	**2,43**	**4,83**	**4,83**
		5,62		**5,90**
Na	**1,67**	**1,67**	**2,77**	**2,77**
K	**0,06**	**0,06**	**0,05**	**0,05**
Ca	**1,48**	**2,96**	**1,20**	**2,41**
Mg	**0,40**	**0,79**	**0,35**	**0,67**
		5,49		**5,90**

Gegevens over de samenstelling van het drinkwater zijn opgenomen in tabel 1. De kwaliteit van het drinkwater als gietwater is beoordeeld op basis van het elektrisch geleidingsvermogen (als maat voor de totale ionenconcentratie) en de Na- en Cl-concentraties (Sonneveld en De Kreij, 1986). Het drinkwater uit beide wingebieden is bruikbaar als gietwater bij teelten los van de grond onder voorwaarde dat het wortelmilieu voldoende kan worden doorgespoeld om het oplopen van de Na- en Cl-concentraties te beperken. Het drinkwater is dus niet bruikbaar in volledig gesloten teeltsystemen.

In overleg met het waterleidingbedrijf is besloten om naast de bestaande bronnen van gietwater óók rekening te houden met gietwater dat is verkregen door het ontzouten van drinkwater. Op basis hiervan zijn de volgende soorten gietwater in het onderzoek betrokken:
- regenwater, met een Na-concentratie van 0,3 $mmol.l^{-1}$;
- water van klasse A, met een Na-concentratie van 0,5 $mmol.l^{-1}$;
- water van klasse B, met een Na-concentratie van 1,0 $mmol.l^{-1}$;
- water van klasse C, met een Na-concentratie van 1,7 $mmol.l^{-1}$;
- water van klasse D, met een Na-concentratie van 2,8 $mmol.l^{-1}$.

Water van klasse A en B is verkregen door het ontzouten van drinkwater, water van klasse C en D komt overeen met het drinkwater uit het wingebied Noardburgum en Spannenburg. Water van klasse A en B wordt verder evenals water van klasse C en D aangeduid als drinkwater.

Voor de gewassen die in het onderzoek zijn betrokken, biedt uitsluitend regenwater geen perspectief, zoals later zal blijken. Er is daarom uitgegaan van regenwater met aanvullend gebruik van drinkwater als de regenwatervoorraad in perioden met een neerslagtekort uitgeput raakt. In de berekeningen zijn standaardbedrijven met bassins van 0, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 en 6000 $m^3.ha^{-1}$ opgenomen.

3 MODELLEREN VAN DE WATER- EN STOFFENHUISHOUDING

3.1 Algemeen

Hoofdstuk 3 gaat over het modelleren van de waterhuishouding en van aspecten van de Na-, N- en P-huishouding. Het model heeft betrekking op een standaardbedrijf met een teeltoppervlakte van 1,0 ha en wordt toegelicht aan de hand van fig. 1.

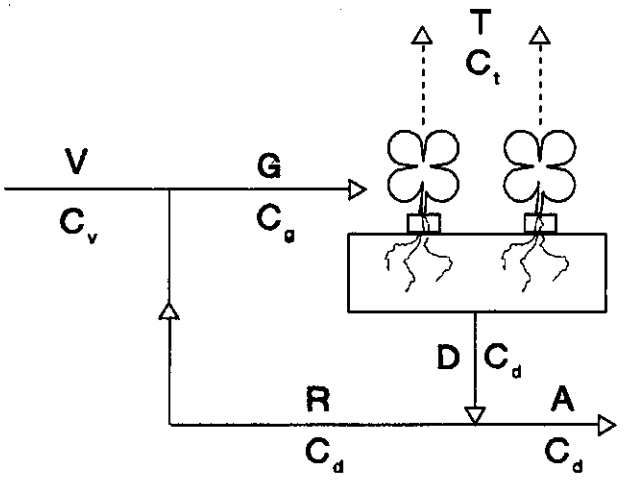


Fig. 1 Schema van de water- en stoffenstromen bij teeltsysteem met mogelijkheid tot hergebruik van drainagewater

- ***V = het waterverbruik van het glastuinbouwbedrijf;***
- ***G = de watergift aan het gewas;***
- ***T = de opname van water door het gewas (praktisch gelijk aan de gewastranspiratie);***
- ***D = de drainage uit het wortelmilieu;***
- ***R = de retourstroom;***
- ***A = de afvoer van drainagewater (spui);***
- ***C_v, C_g, C_t, C_d zijn de Na-, N- of P-concentraties in de waterstromen.***

De grootheden V, G, T, D, A en R worden uitgedrukt in $m^3.ha^{-1}$ per tijdstap, in dit geval per decade (10-daagse periode), de concentraties C_v, C_g, C_t en C_d in $mmol.l^{-1}$.

De concentratie C_v is de som van de concentratie C_w in het water waarvan wordt uitgegaan (dus in het regenwater of het drinkwater), en de concentratiebijdrage C_m van de gedoseerde nutriëntenoplossing:

$$C_v = C_w + C_m.$$

Voor het Na-ion is de bijdrage C_m tot C_v klein als gevolg van het gebruik van NaCl-arme meststoffen in de glastuinbouw. Omgekeerd is voor N en P juist de bijdrage C_w verwaarloosbaar.

De concentratie C_g is de concentratie in de voedingsoplossing die aan het gewas wordt verstrekt, en C_t de concentratie in de opname-transpiratiestroom. De interpretatie van de concentratie C_d is verschillend voor Na en de nutriënten:
- vóór Na is C_d de maximaal aanvaardbare concentratie $C_{d,max}$ in het wortelmilieu: de concentratie waarbij nog juist geen schade optreedt;
- voor de nutriënten is C_d de optimale concentratie $C_{d,opt}$ in het wortelmilieu: de concentratie die gehandhaafd moet worden om een optimale produktie te bereiken.

Het rekenen met één concentratie C_d houdt in dat het wortelmilieu als ideale menger wordt beschouwd.

Bij het modelleren van de water- en stoffenhuishouding voor het standaardbedrijf gaat het om:
- het kwantificeren van de transpiratie T, van de afvoer A en van het verbruik V;
- het kwantificeren van de dekking van V met regenwater en/of drinkwater;
- het kwantificeren van de emissie van N en P op basis van de afvoer A en de concentratie $C_{d,opt}$ in het wortelmilieu.

De drie aspecten komen in de paragrafen 3.2 t/m 3.4 aan de orde.

3.2 Kwantificeren van de waterhuishouding voor het standaardbedrijf

3.2.1 Berekenen van de gewastranspiratie

De transpiratie T wordt bepaald door het type gewas, het ontwikkelingsstadium en de kasklimatologische omstandigheden. De gewastranspiratie in kassen is een ingewikkeld proces. Het combineren van alle deelprocessen in een compleet fysisch model is voor deze studie niet nagestreefd en ook niet noodzakelijk. Er is gekozen voor een vereenvoudigde benadering, waarbij de transpiratie van een volgroeid gewas, dat optimaal van water en nutriënten is voorzien, wordt berekend uit de globale straling boven het glasdek en de temperatuur van de buitenlucht. Die transpiratie wordt aangeduid als de referentietranspiratie T_r. De werkelijke transpiratie T van een gewas wordt via reductiefactoren aan T_r gerelateerd. Er is daarbij aangenomen dat de watervoorziening en de Na-concentratie in het wortelmilieu nooit beperkend zijn.

Het berekenen van T_r is gebaseerd op lysimeteronderzoek van het Proefstation voor Tuinbouw onder Glas in Naaldwijk, uitgevoerd over een reeks van jaren. De resultaten laten zien dat de transpiratie van het referentiegewas goed beschreven wordt met een empirische vergelijking van de vorm:

$$T_r = a \cdot H + d \cdot S \qquad (1)$$

waarin:
T_r = referentietranspiratie (mm per decade)
a = empirische constante ($mm.m^2.J^{-1}$)
H = de globale straling boven het kasdek ($J.m^{-2}$ per decade)
d = empirische constante ($mm.°C^{-1}$)
S = het verschil tussen buistemperatuur en kasluchttemperatuur (°C per decade).

In dit onderzoek is van een vereenvoudigde vorm van vergelijking (1) uitgegaan. Het vereenvoudigen is noodzakelijk, omdat gegevens voor de grootheid S ontbreken. Daarom is S gerelateerd aan het verschil tussen de temperatuur in de kas (T_{bi}) en de temperatuur buiten de kas (T_{bu}) volgens de relaties

$$S = k\cdot[(T_{bi} - T_{bu})/T_{bi}] \qquad \text{voor } T_{bi} > T_{bu} \qquad (2a)$$

en

$$S = 0 \qquad \text{voor } T_{bi} \leq T_{bu} \qquad (2b)$$

Vergelijking (1) gaat over in

$$T_r = a\cdot H + b\cdot[(T_{bi}-T_{bu})/T_{bi}] \qquad \text{voor } T_{bi} > T_{bu} \qquad (3a)$$

en

$$T_r = a\cdot H \qquad \text{voor } T_{bi} \leq T_{bu} \qquad (3b)$$

waarbij b = k·d (mm per decade).

Wanneer H wordt uitgedrukt in $J.m^{-2}$ per decade en T_r in mm per decade, dan ligt de factor a voor het standaardgewas in de orde van $1{,}5\cdot10^{-7}$ tot $2{,}0\cdot10^{-7}$ $mm.m^2.J^{-1}$. Bij de berekeningen is uitgegaan van a = $1{,}75\cdot10^{-7}$ $mm.m^2.J^{-1}$.

Uit het onderzoek van het Proefstation blijkt dat de bijdrage van de kasverwarming aan de verdamping maximaal in de orde van grootte van 5 à 10 mm per decade ligt. De waarde van b is op 10 mm per decade gesteld, de kasluchttemperatuur T_{bi} op 19 °C.

De werkelijke transpiratie T van de gewassen, die bij het schematiseren zijn onderscheiden, wordt gerelateerd aan de referentietranspiratie T_r volgens

$$T = f\cdot T_r \qquad (4)$$

met f = reductiefactor

De factor f is afhankelijk van het type gewas en van het ontwikkelingsstadium. Dit impliceert dat f voor alle gewassen waarvoor berekeningen worden uitgevoerd, gespecificeerd moet worden per decade. De werkwijze die daarbij is gevolgd wordt in hoofdstuk 4 toegelicht.

3.2.2 Berekenen van de waterbehoefte en de afvoer

Voor de teeltoppervlakte van 1,0 ha als geheel zijn de volgende relaties van toepassing op de water- en stoffenhuishouding van het wortelmilieu (fig. 1):

$$V = T + A \tag{5}$$

$$V \cdot C_v = T \cdot C_t + A \cdot C_d \tag{6}$$

De relaties zijn van toepassing bij evenwicht tussen de toevoer en afvoer, zonder verandering van de water- of stoffenberging in het wortelmilieu. Voor water is dat een redelijke aanname gezien de frequentie van watergeven in de glastuinbouw. Voor Na, N en P betekent het dat biologische en fysisch-chemische processen (denitrificatie, precipitatie) buiten beschouwing blijven.

Het combineren van beide relaties leidt tot:

$$F_a = A/V = (C_v - C_t)/(C_d - C_t) \tag{7}$$

Het quotiënt van A en V wordt aangeduid als de afvoerfractie F_a en speelt een belangrijke rol. Bij het gebruik van gietwater van goede kwaliteit (lage Na-concentratie C_v) wordt de toevoer van Na gecompenseerd door de gewasopname, dat wil zeggen, $C_t = C_v$, zonder dat de maximaal aanvaardbare concentratie $C_{d,max}$ wordt bereikt. In dat geval geldt $(C_v - C_t) = 0$, dus $F_a = 0$ en $A = 0$. De drainagestroom D wordt volledig hergebruikt.

Bij het gebruiken van gietwater van mindere kwaliteit wordt de toevoer maar ten dele gecompenseerd door de opname, dus $C_v > C_t$. De afvoerfractie die gehandhaafd moet worden om Na-schade te voorkomen, wordt dan berekend door het invullen van C_v, C_t en $C_{d,max}$ in relatie (7). Daarna volgt het berekenen van V en A uit:

$$V = T/(1 - F_a) \tag{8}$$

en

$$A = F_a.T/(1 - F_a) \tag{9}$$

waarbij T bekend is verondersteld.

De relaties (5), (6) en (7) zijn van toepassing op het bedrijf of de kas als geheel. Los daarvan staat de interne circulatie. Daarvoor geldt (fig. 1):

$$G = V + R = T + D \tag{10}$$

$$G \cdot C_g = V \cdot C_v + R \cdot C_d = T \cdot C_t + D \cdot C_d \tag{11}$$

De interne circulatiesnelheid wordt bepaald door de grootte van G, D en R in verhouding tot T. De tuinder zelf treedt regelend op door G te verhogen of verlagen.

Door G te verhogen worden concentratiegradiënten in het wortelmilieu verkleind. Ook worden daardoor verschillen van plek tot plek binnen een kas genivelleerd. Die verschillen zijn het gevolg van een ongelijkmatige waterverstrekking door het systeem van druppelbevloeiing of van verschillen in de wateropname door individuele planten. De relaties (10) en (11) spelen verder geen rol bij het modelleren, maar zijn hier volledigheidshalve toch genoemd en toegelicht.

3.3 Berekenen van de dekking van het waterverbruik

Bij het dekken van de waterbehoefte gaat het er om hoeveelheden regenwater en drinkwater te kwantificeren . Hoeveelheden regenwater, uitgedrukt in $m^3.ha^{-1}$ per decade, zijn verder aangeduid als RW, hoeveelheden drinkwater als DW.

Als maar één gietwaterbron gebruikt wordt, is de berekening eenvoudig. Het gaat dan om uitsluitend drinkwater. De beschikbaarheid daarvan is niet beperkt, dus

$RW = 0$

en

$DW = V.$

Bij het gebruik van twee gietwaterbronnen gaat het om regenwater in combinatie met drinkwater. De beschikbaarheid van regenwater voor een gegeven tijdstap wordt bepaald door de bassinvoorraad bij aanvang van de tijdstap en de neerslag tijdens de tijdstap. Met andere woorden: de beschikbare hoeveelheid is niet onbeperkt, zodat aanvullend gebruik van drinkwater noodzakelijk kan zijn.

Het berekenen van het dekken van de behoefte vereist het definiëren van een beheerstrategie van de regenwatervoorraad. In het model wordt uitgegaan van een strategie gericht op het maximaal benutten van regenwater. Dit impliceert het steeds volledig verbruiken van de regenwatervoorraad alvorens over te schakelen op drinkwater.

Op basis van die strategie worden de grote lijnen van de berekeningen aangegeven. De eerste fase verloopt als volgt:
- de waterbehoefte V wordt berekend als aangegeven in par. 3.2.2;
- de toevoer R van regenwater naar het bassin (vanaf kasdek en direct) wordt berekend uit de neerslag;
- de directe openwaterverdamping E_o vanuit het bassin wordt berekend uit de globale straling en de temperatuur;
- de voorlopige bassinvoorraad B*(i+1) aan het einde van de decadetijdstap wordt berekend, uitgaande van een voorraad B(i) aan het begin, volgens:

$$B^*(i+1) = B(i) + R - E_o - V \qquad (12)$$

Er zijn drie mogelijkheden, met B_{max} en B_{min} als de maximale en minimale watervoorraad in het bassin:

- $B^*(i+1) > B_{max}$: er is voldoende regenwater om de behoefte V te dekken en het bassin raakt volledig gevuld. Dan volgt:

  $RW = V$
  $DW = 0$
  $LW = B^*(i+1) - B_{max}$ (LW = lozing van overtollig regenwater)
  $B(i+1) = B_{max}$

- $B_{min} \leq B^*(i+1) \leq B_{max}$: er is voldoende regenwater om de behoefte V te dekken. Dan volgt:

  $RW = V$
  $DW = 0$
  $LW = 0$
  $B(i+1) = B^*(i+1)$

- $B^*(i+1) < B_{min}$: er is niet voldoende regenwater om de behoefte V geheel te dekken, dus aanvullend gebruik van drinkwater is noodzakelijk. Nu volgt:

  $RW = B(i) + R - E_o - B_{min}$
  $DW = V - RW$
  $LW = 0$
  $B(i+1) = B_{min}$

Hiermee is de berekening voor decadetijdstap i afgerond. De bassinvoorraad B(i+1) aan het einde van de tijdstap i wordt nu de bassinvoorraad aan het begin van tijdstap (i+1), enz.

Het gaat in het voorgaande om een vereenvoudigde weergave van het rekenschema. Zo is de waterbehoefte V bij hergebruik afhankelijk van de waterkwaliteit, dus van de verhouding tussen RW en DW. Daaraan is in het voorgaande stilzwijgend voorbijgegaan. In het werkelijke model is deze complicatie ondervangen door iteratieberekening uit te voeren.

3.4 Berekenen van de emissie van N en P

De emissie van N en P wordt berekend uit de afvoer A en de concentratie $C_{d,opt}$ van de nutriëntenoplossing in het wortelmilieu. De concentratie $C_{d,opt}$ is de optimale concentratie in het wortelmilieu. Die concentratie is gewasafhankelijk. De concentraties waarmee gerekend is, komen in hoofdstuk 4 aan bod.

Met A uitgedrukt in $m^3.ha^{-1}$ per decade en $C_{d,opt}$ in $mmol.l^{-1}$ worden de emissies Q(N) en Q(P) berekend volgens:

$$Q(N) = A \cdot C_{d,opt} \cdot 14 \cdot 10^{-3} \quad (13)$$

$$Q(P) = A \cdot C_{d,opt} \cdot 31 \cdot 10^{-3} \quad (14)$$

waarbij Q(N) en Q(P) zijn uitgedrukt in $kg.ha^{-1}$ per decade.

Bij het systeem met teelt los van de grond en hergebruik gaat het bij A om een directe lozing, waarbij de belasting van het systeem waarop geloosd wordt (oppervlaktewater, riolering) gelijk is aan Q.

4 PARAMETERWAARDEN

4.1 Reductiefactoren

De gewastranspiratie T is gerelateerd aan de referentietranspiratie T_r volgens relatie (4), via de reductiefactor f (par. 3.2.1). De factor f moet per decade gespecificeerd worden voor de gewassen tomaat, paprika, anjer en roos. Dat is gebeurd op basis van de resultaten van onderzoek naar de waterhuishouding van glasteelten. Het gaat om onderzoek dat is uitgevoerd door:
- het Proefstation voor Tuinbouw onder Glas (PTG) met alle vier de gewassen;
- het PTG in samenwerking met het DLO-Staring Centrum voor de gewassen tomaat en paprika op praktijkbedrijven in het Zuidhollands Glasdistrict.

Het gaat om onderzoek bij teelt los van de grond, en waarbij het waterverbruik V en de afvoer A zijn gemeten (fig. 1). In sommige gevallen was het onderzoek specifiek gericht op het kwantificeren van de waterhuishouding. In andere gevallen stonden andere aspecten centraal en werd de waterhuishouding terloops meegenomen. In dat geval vertonen de gegevens meer hiaten en is de betrouwbaarheid minder.

De gegevens hebben betrekking op volledige teeltperioden die uiteenlopen van ca. tien maanden voor tomaat en paprika tot anderhalf à twee jaar voor anjer en roos. De grootheden V, A en de daaruit afgeleide T hebben betrekking op deelperioden met een lengte van enkele dagen tot twee weken, afhankelijk van de opzet en uitvoering van het onderzoek. De referentietranspiratie T_r is voor elke deelperiode berekend met relatie (3), gebruik makend van de gemeten globale straling en temperatuur voor het meetstation op het terrein van het PTG.

In fig. 2 zijn als voorbeeld gegevens uit onderzoek bij tomaat verwerkt. Het gaat om twee teelten in verschillende jaren en in verschillende kassen. De gewassen zijn geplant in de maand december en geruimd in het daaropvolgende najaar. Alle punten in de linker benedenhoek hebben betrekking op het nog onvolgroeide gewas in de winterperiode (december-februari). De transpiratie is dan minimaal. De maximale transpiratie ligt op een niveau van 40 à 50 mm per decade (400 à 500 $m^3.ha^{-1}$ per decade), in de periode mei-juli. Het gewas paprika vertoont veel overeenkomst met tomaat.

Fig. 3 heeft betrekking op gegevens uit onderzoek van het PTG met het gewas anjer in de periode 1985-1987. Het onderzoek was niet specifiek gericht op het kwantificeren van de waterhuishouding. De individuele punten zijn daardoor minder betrouwbaar. Het verklaart waarschijnlijk ook de grotere spreiding van de punten. Gegevens voor het gewas roos vertonen overeenkomst met anjer.

Voor tomaat en paprika is voor elke gemeten T-waarde en bijbehorende (berekende) T_r-waarde de reductiefactor f berekend. De numerieke waarden zijn opgenomen in tabel 2. De grote spreiding van de punten voor anjer (en roos) maakte een andere werkwijze noodzakelijk.

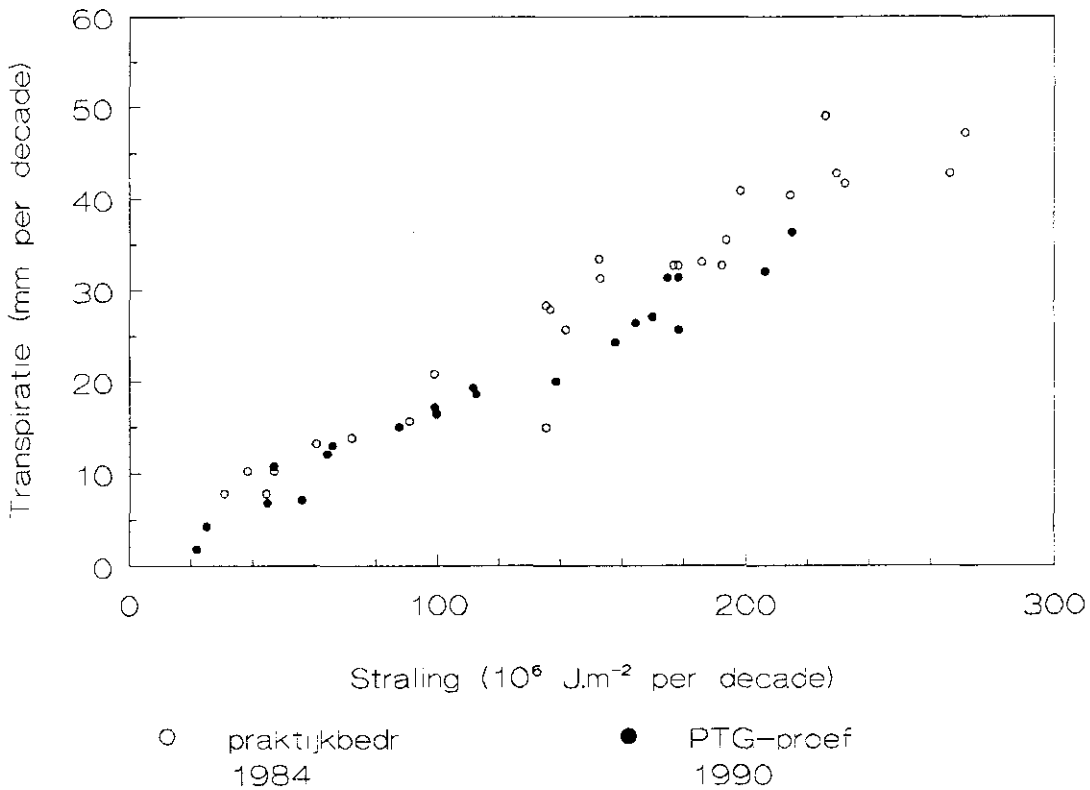


Fig. 2 Gewastranspiratie in relatie tot de globale straling boven het kasdek voor tomaat, volgens gegevens van onderzoek op een praktijkbedrijf en op het PTG

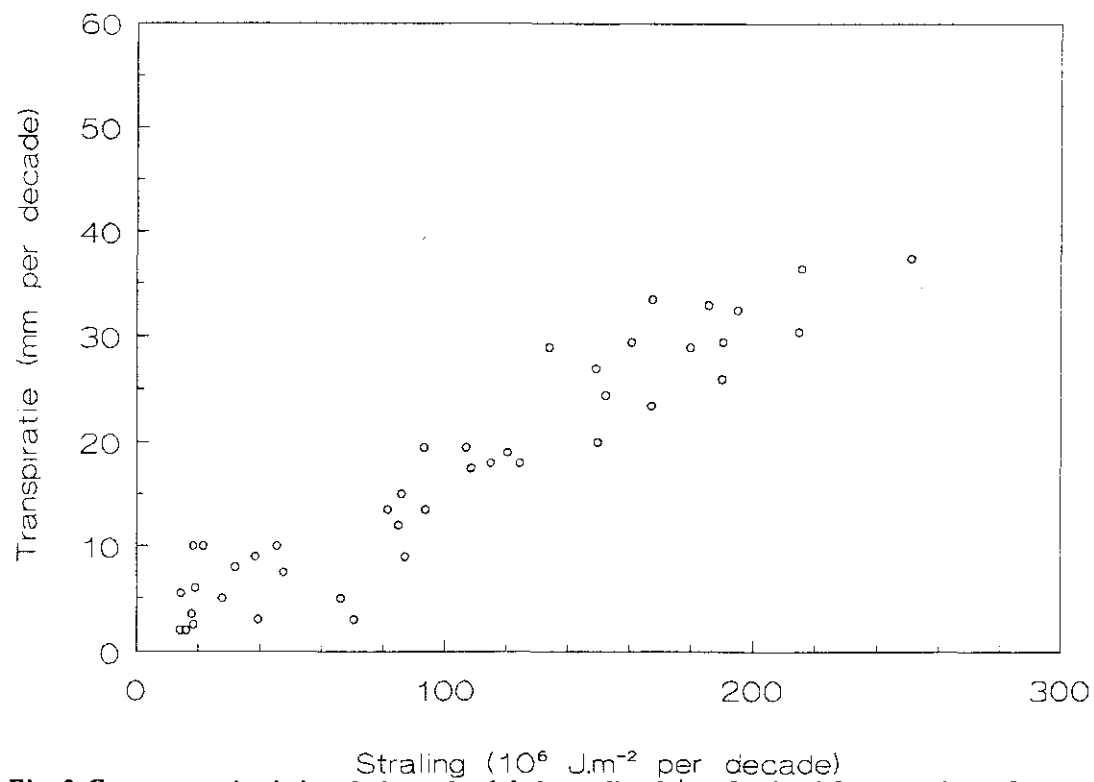


Fig. 3 Gewastranspiratie in relatie tot de globale straling boven het kasdek voor anjer, volgens gegevens van onderzoek op het PTG

Tabel 2 Parameterwaarden voor de vier gewassen waarvoor modelberekeningen zijn uitgevoerd

	Tomaat	Paprika	Anjer	Roos
Reductiefactoren:				
decade				
1	0,17	0,29	0,40	0,60
2	0,28	0,37	0,40	0,60
3	0,40	0,40	0,45	0,60
4	0,52	0,44	0,50	0,60
5	0,63	0,49	0,55	0,60
6	0,74	0,52	0,60	0,60
7	0,85	0,55	0,65	0,60
8	0,90	0,59	0,70	0,60
9	0,90	0,63	0,70	0,62
10	0,95	0,67	0,75	0,64
11	0,95	0,70	0,75	0,66
12	0,95	0,75	0,75	0,68
13	0,95	0,78	0,75	0,70
14	1,00	0,83	0,80	0,75
15	1,00	0,86	0,80	0,80
16	1,00	0,90	0,80	0,80
17	1,00	0,95	0,80	0,80
18	1,00	1,00	0,80	0,80
19	1,00	1,00	0,80	0,80
20	1,00	1,00	0,80	0,80
21	1,00	1,00	0,80	0,80
22	0,95	1,00	0,75	0,75
23	0,95	1,00	0,75	0,73
24	0,95	1,00	0,75	0,71
25	0,95	1,00	0,70	0,69
26	0,92	1,00	0,70	0,66
27	0,78	1,00	0,70	0,64
28	0,64	1,00	0,65	0,62
29	0,50	0,90	0,65	0,60
30	0,35	0,70	0,65	0,60
31	0,20	0,50	0,60	0,60
32	0,06	0,00	0,60	0,60
33	0,00	0,00	0,55	0,60
34	0,00	0,00	0,50	0,60
35	0,00	0,05	0,45	0,60
36	0,06	0,15	0,40	0,60
Na-concentraties:				
$C_{d,max}$	8,0	6,0	7,5	7,5
C_t	0,9	0,2	0,75	0,25
Afvoerfracties F_a:				
regenwater	0,00	0,05	0,00	0,03
drinkwater, klasse A	0,00	0,09	0,00	0,06
drinkwater, klasse B	0,04	0,17	0,07	0,13
drinkwater, klasse C	0,14	0,29	0,17	0,23
drinkwater, klasse D	0,30	0,48	0,33	0,38
N- en P-concentraties:				
$C_{d,opt}$ (N)	17,0	19,0	14,0	12,5
$C_{d,opt}$ (P)	0,7	0,9	0,9	0,9

In eerste instantie zijn de f-waarden bij het minimale en maximale stralingsniveau geschat. Die f-waarden hebben betrekking op de periode december-januari en mei-juli. De f-waarden voor de tussenliggende perioden zijn via interpoleren verkregen.

4.2 Na-concentraties en afvoerfracties

Het berekenen van de afvoerfractie F_a met relatie (7) vereist het specificeren van de Na-concentraties C_v, C_t en $C_{d,max}$. De concentratie C_v wordt bepaald door de concentratie C_w in het gietwater en de bijdrage C_m van de gedoseerde geconcentreerde nutriëntenoplossing. De concentraties in het gietwater zijn aangegeven in hoofdstuk 2 (par. 2.3). In de glastuinbouw worden uitsluitend NaCl-arme kunstmeststoffen gebruikt. Op basis van onderzoek van het PTG is een vaste bijdrage van 0,2 mmol.l^{-1} aan Na in rekening gebracht. Dit leidt tot de volgende C_v-waarden in de modelberekeningen:

- regenwater : C_v = 0,5 mmol.l^{-1};
- drinkwater, klasse A: C_v = 0,7 mmol.l^{-1};
- drinkwater, klasse B: C_v = 1,2 mmol.l^{-1};
- drinkwater, klasse C: C_v = 1,9 mmol.l^{-1};
- drinkwater, klasse D: C_v = 3,0 mmol.l^{-1}.

De concentraties $C_{d,max}$ en C_t zijn gewasafhankelijk. Specifiek onderzoek gericht op het bepalen van $C_{d,max}$ en C_t voor glasteelten is tot nu toe beperkt gebleven tot de gewassen tomaat en paprika. Voor anjer en roos zijn $C_{d,max}$ en C_t geschat, in overleg met het PTG. Het resultaat is opgenomen in tabel 2. De F_a-waarden in de tabel zijn berekend met relatie (7).

4.3 N- en P-concentraties in het wortelmilieu

Het berekenen van de emissie van N en P met de relaties (13) en (14) vereist het specificeren van $C_{d,opt}$, de optimale concentratie in het wortelmilieu. Daartoe is de bemestingsadviesbasis voor de glastuinbouw (Commissie Standaardisatie Bemestingsadviesbasis Glastuinbouw, 1990) gebruikt. In de adviesbasis zijn zogenoemde streefcijfers voor N en P opgenomen. Het gaat om de N- en P-concentraties in de nutriëntenoplossing in het wortelmilieu, dus om de concentraties $C_{d,opt}$. De streefcijfers zijn de concentraties die gehandhaafd moeten worden om tot een optimale produktie te komen, zowel kwantitatief als kwalitatief. De concentraties in tabel 2 voor tomaat, paprika, anjer en roos zijn aan de adviesbasis ontleend.

5 BEREKENDE REGEN- EN DRINKWATERVERBRUIK, DRAINAGEWATER-AFVOER EN EMISSIES

5.1 Oriënterende berekeningen

In hoofdstuk 3 is aangegeven dat de berekeningen voor de standaardbedrijven worden uitgevoerd met decadetijdstappen, met de globale straling, de temperatuur van de buitenlucht en de neerslag als randvoorwaarden. Omdat het gaat om een haalbaarheidsonderzoek is besloten om géén apart bestand met weersgegevens voor Friesland op te bouwen, maar de direct beschikbare gegevens van het Westland te gebruiken.

De gegevens voor het Westland beslaan de periode 1951 t/m 1989, in totaal 39 jaren. De berekeningen zijn zodanig opgezet dat alle 38 combinaties van twee opeenvolgende jaren kunnen worden doorgerekend, dat wil zeggen, de perioden 1951/1952, 1952/1953..., 1987/1988 en 1988/1989. Het eerste jaar van elke groep van twee jaren is een aanloopjaar dat wordt doorgerekend om te komen tot een correcte startwaarde van de regenwatervoorraad aan het begin van het tweede jaar. Immers, bij standaardbedrijven met grote regenwaterbassins mag niet zonder meer worden uitgegaan van volledig gevulde bassins op 1 januari. Alléén de resultaten van het tweede jaar worden vastgelegd. Het doorrekenen van alle combinaties van twee jaren leidt dus uiteindelijk tot resultaten voor de 38 jaren 1952 t/m 1989.

In hoofdstuk 2 is aangegeven dat vier gewassen in het onderzoek zijn betrokken, met per gewas 40 mogelijkheden om in de gietwaterbehoefte te voorzien (vier kwaliteiten drinkwater, tien bassingroottes). Dat komt neer op in totaal 160 standaardbedrijven. Tabel 3 is een voorbeeld van de volledige uitvoer van rekenresultaten voor één standaardbedrijf, voor één jaar. Het volledig uitvoeren van alle mogelijke berekeningen zou resulteren in 6080 van dergelijke tabellen (38 x 160). De noodzaak van keuzes om het resultaat in omvang te beperken is daarmee duidelijk.

Als eerste stap zijn alle berekeningen uitgevoerd, waarbij alléén de totalen op jaarbasis (onderste regel van tabel 3) zijn vastgelegd. In tabel 4 zijn resultaten daarvan opgenomen voor het gewas tomaat, bij vier bassingroottes, voor één van de soorten drinkwater. Het gaat om gegevens voor vier van de 160 standaardbedrijven, voor de volledige reeks van 38 jaren. De jaren zijn gesorteerd op basis van de hoeveelheden drinkwater (DW) die door het bedrijf met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$ zijn verbruikt. De hoeveelheden regenwater (RW), drinkwater (DW) en de afvoer van drainagewater (A) voor het bedrijf met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$ in het jaar 1977 zijn gelijk aan de desbetreffende waterhoeveelheden op de laatste regel van tabel 3.

Tabel 4 geeft aanleiding tot de volgende opmerkingen voor de gewastranspiratie, de invloed van de bassingrootte en de verschillen tussen de jaren. De gewastranspiratie kan uit de gegevens worden afgeleid volgens

Tabel 3 Rekenresultaten voor het standaard bedrijf met het gewas tomaat, met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij gebruik van ander water van klasse C (C_w = 1,7 $mmol.l^{-1}$ Na), voor het 50%-jaar 1977

Decade	Neerslag	Transp.	E_o	Afvoer-fractie	Verbruik totaal	Verbruik regenwater	Verbruik drinkwater	Lozing regenwater	Lozing drainwater	Voorraad bassin
	$m^3.ha^{-1}$				$m^3.ha^{-1}$					m^3
1	207	19	0	0,000	19	19	0	188	0	500
2	127	36	0	0,000	36	36	0	91	0	500
3	372	54	0	0,000	54	54	0	318	0	500
4	356	76	0	0,000	76	76	0	280	0	500
5	282	87	0	0,000	87	87	0	195	0	500
6	344	126	1	0,000	126	126	0	217	0	500
7	48	182	2	0,000	182	182	0	0	0	364
8	202	191	2	0,000	191	191	0	0	0	373
9	153	243	3	0,000	243	243	0	0	0	280
10	275	272	3	0,000	272	272	0	0	0	280
11	170	309	4	0,000	309	309	0	0	0	137
12	94	267	4	0,045	280	182	99	0	14	46
13	162	272	4	0,058	290	159	132	0	18	46
14	294	345	5	0,022	354	290	63	0	9	45
15	13	517	10	0,138	600	8	592	0	83	40
16	154	331	5	0,079	361	144	217	0	30	45
17	78	290	5	0,105	325	72	253	0	35	45
18	87	329	6	0,105	370	81	289	0	40	44
19	5	392	8	0,140	455	0	455	0	64	40
20	116	365	7	0,099	407	106	301	0	42	43
21	459	295	5	0,000	295	295	0	0	0	202
22	120	257	5	0,000	257	257	0	0	0	60
23	377	240	4	0,000	240	240	0	0	0	193
24	467	294	5	0,000	294	294	0	0	0	361
25	61	220	4	0,000	220	220	0	0	0	198
26	53	230	4	0,018	235	201	34	0	5	46
27	38	132	2	0,103	147	34	113	0	16	48
28	559	105	2	0,000	105	105	0	1	0	500
29	1	97	2	0,000	97	97	0	0	0	402
30	95	39	1	0,000	39	39	0	0	0	458
31	583	22	1	0,000	22	22	0	518	0	500
32	719	7	0	0,000	7	7	0	712	0	500
33	579	0	0	0,000	0	0	0	579	0	500
34	61	0	0	0,000	0	0	0	61	0	500
35	92	0	0	0,000	0	0	0	92	0	500
36	326	6	0	0,000	6	6	0	320	0	500
Totaal:	8129	6647	105		7001	4454	2548	3572	356	

$T = RW + DW - A$

Bij het invullen voor een gegeven jaar, bijvoorbeeld 1977, geeft dat
- bij een bassin van 0 $m^3.ha^{-1}$: T = 0 + 7727 - 1082 = 6645;
- bij een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$: T = 4453 + 2549 - 357 = 6645;
- bij een bassin van 1500 $m^3.ha^{-1}$: T = 5276 + 1592 - 223 = 6645;
- bij een bassin van 2500 $m^3.ha^{-1}$: T = 6098 + 636 - 89 = 6645.

Het resultaat is in overeenstemming met één van de uitgangspunten in hoofdstuk 2, namelijk dat de gewastranspiratie onafhankelijk is van de manier waarop in de waterbehoefte wordt voorzien.

Bij het vergelijken van de jaren blijkt dat de gewastranspiratie uiteen loopt van maximaal ca. 7400 $m^3.ha^{-1}$ per jaar in 1959 en 1976 tot minimaal ca. 6300 $m^3.ha^{-1}$ in 1981. De verschillen in transpiratie van jaar tot jaar blijven hiermee beperkt tot maximaal 15% en moeten worden toegeschreven aan verschillen in de globale straling (zonnige en sombere jaren).

De invloed van de grootte van het bassin op de verhouding tussen regenwater en drinkwater, en op de afvoer van drainagewater is evident. Bij het vergelijken van de situaties bij bassins van 500, 1500 en 2500 $m^3.ha^{-1}$ kan voor bijv. 1977 de waterbehoefte op het bedrijf:
- met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$ voor ca. 64% gedekt worden met regenwater (4453/7002);
- met een bassin van 1500 $m^3.ha^{-1}$ voor ca. 77% gedekt worden met regenwater (5276/6868);
- met een bassin van 2500 $m^3.ha^{-1}$ voor ca. 90% gedekt worden met regenwater (6098/6734).

Hieruit blijkt de grote doelmatigheid van het bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, omdat in een bassin van díe grootte gedurende het zomerhalfjaar bijna altijd voldoende ruimte is om alle neerslag te bergen. Dat wordt geïllustreerd door tabel 3: er zijn geen lozingen van regenwater in de periode vanaf decade 7 t/m decade 30. Alléén in regenrijke jaren is er kans dat het bassin in het zomerhalfjaar volraakt en overloopt. Het voordeel van grotere bassins is dus vooral de grotere regenwatervoorraad aan het begin van de periode, waarin de waterbehoefte van het gewas de toevoer van regenwater naar het bassin te boven gaat.

Verschillen tussen de jaren zijn al genoemd in relatie tot de gewastranspiratie. Die verschillen waren terug te voeren op de globale straling. Als het gaat om het dekken van de waterbehoefte en de grootte van de afvoer A zijn de verschillen tussen de jaren veel groter, tenminste voor zover regenwater een rol speelt (zie tabel 4).

De tabellen 3 en 4 en de opmerkingen daarbij hebben betrekking op het gewas tomaat. Voor de gewassen paprika, anjer of roos zouden de getallen anders zijn maar wel in grote lijnen in dezelfde richting wijzen.

Tabel 4 Verbruik ($m^3.ha^{-1}$) van regenwater (RW) en van drinkwater (DW) van klasse C, en afvoer ($m^3.ha^{-1}$) van drainagewater (A), voor het gewas tomaat, in de jaren 1952 t/m 1989, bij regenwaterbassins van 0, 500, 1500 en 2500 $m^3.ha^{-1}$; jaren gesorteerd op basis van het verbruik van drinkwater bij een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$

	bij 0 $m^3.ha^{-1}$			bij 500 $m^3.ha^{-1}$			bij 1500 $m^3.ha^{-1}$			bij 2500 $m^3.ha^{-3}$		
	RW	DW	A	RW	DW	A	RW	DW	A	RW	DW	A
1959	0	8603	1204	3046	5061	709	3803	4181	585	4578	3280	459
1976	0	8601	1204	3083	5017	702	3831	4146	580	4578	3278	459
1982	0	8187	1146	3571	4035	565	4315	3170	444	5059	2304	323
1971	0	8202	1148	3863	3710	519	4652	2793	391	5162	2199	308
1955	0	8078	1131	3851	3600	504	4650	2671	374	5448	1743	244
1989	0	8050	1127	3925	3487	488	4683	2605	365	5441	1724	241
1975	0	8228	1152	4210	3333	467	4999	2415	338	5783	1503	210
1978	0	7750	1085	3974	3130	438	4821	2144	300	5624	1211	170
1967	0	7975	1116	4269	3010	421	5075	2074	290	5880	1138	159
1973	0	8282	1160	4537	3007	421	5343	2069	290	6150	1131	158
1986	0	8032	1124	4400	2916	408	5204	1980	277	6009	1044	146
1969	0	7971	1116	4555	2675	375	5609	1449	203	6443	479	67
1953	0	7899	1106	4505	2661	372	5327	1704	239	5445	1567	219
1952	0	7987	1118	4581	2660	372	5400	1708	239	6218	756	106
1974	0	8218	1151	4781	2660	372	5597	1711	240	6413	762	107
1962	0	8148	1141	4799	2568	360	5634	1597	224	6469	626	88
1964	0	8074	1130	4749	2551	357	5577	1589	222	6404	627	88
1977	0	7727	1082	4453	2549	357	5276	1592	223	6098	636	89
1954	0	7596	1063	4432	2442	342	5267	1471	206	6102	501	70
1957	0	7793	1091	4643	2394	335	5476	1425	199	6310	456	64
1983	0	7570	1060	4496	2341	328	5293	1415	198	6090	489	68
1960	0	7584	1062	4525	2322	325	5359	1352	189	6193	383	54
1956	0	7658	1072	4612	2295	321	5468	1299	182	6325	304	43
1963	0	7856	1100	4790	2286	320	5646	1291	181	6502	295	41
1988	0	7246	1014	4335	2205	309	5150	1257	176	5965	310	43
1958	0	7886	1104	4895	2194	307	5739	1213	170	6583	232	32

	bij 0 $m^3.ha^{-1}$			bij 500 $m^3.ha^{-1}$			bij 1500 $m^3.ha^{-1}$			bij 2500 $m^3.ha^{-3}$		
	RW	DW	A	RW	DW	A	RW	DW	A	RW	DW	A
1972	0	7842	1098	4889	2158	302	5734	1175	165	6223	606	85
1970	0	8094	1133	5162	2092	293	5992	1127	158	6811	174	24
1980	0	7728	1082	4899	2031	284	5961	797	112	6646	0	0
1984	0	7389	1034	4620	2016	282	5460	1040	146	6296	68	9
1961	0	7739	1083	4926	2011	281	5768	1032	145	6609	54	8
1981	0	7330	1026	4701	1863	261	5520	911	128	6304	0	0
1979	0	7671	1074	5176	1653	231	6016	675	95	6597	0	0
1987	0	7504	1051	5085	1591	223	5967	566	79	6453	0	0
1968	0	7539	1055	5311	1363	191	6183	349	49	6484	0	0
1966	0	7594	1063	5640	1036	145	6507	28	4	6531	0	0
1985	0	7232	1012	5385	970	136	6219	0	0	6219	0	0
1965	0	7922	1109	6353	535	75	6813	0	0	6813	0	0

6813

Op basis van tabel 4 is besloten de aandacht verder te concentreren op de volgende twee jaren uit de reeks 1952 t/m 1989:
- 1977 als een 50%-jaar, dat wil zeggen, als jaar met een verbruik van drinkwater dat gemiddeld eens in de twee jaar wordt overschreden;
- 1982 als een 10%-jaar, dat wil zeggen, als jaar met een verbruik van drinkwater dat gemiddeld eens in de tien jaar wordt overschreden.

In termen van de hoeveelheid neerslag in het zomerhalfjaar is 1977 een normaal jaar (50%-jaar) en 1982 een droog jaar (10%-jaar).

5.2 Resultaten op jaarbasis

Resultaten op jaarbasis voor alle 160 standaardbedrijfssituaties zijn verwerkt in de figuren 4 t/m 7.

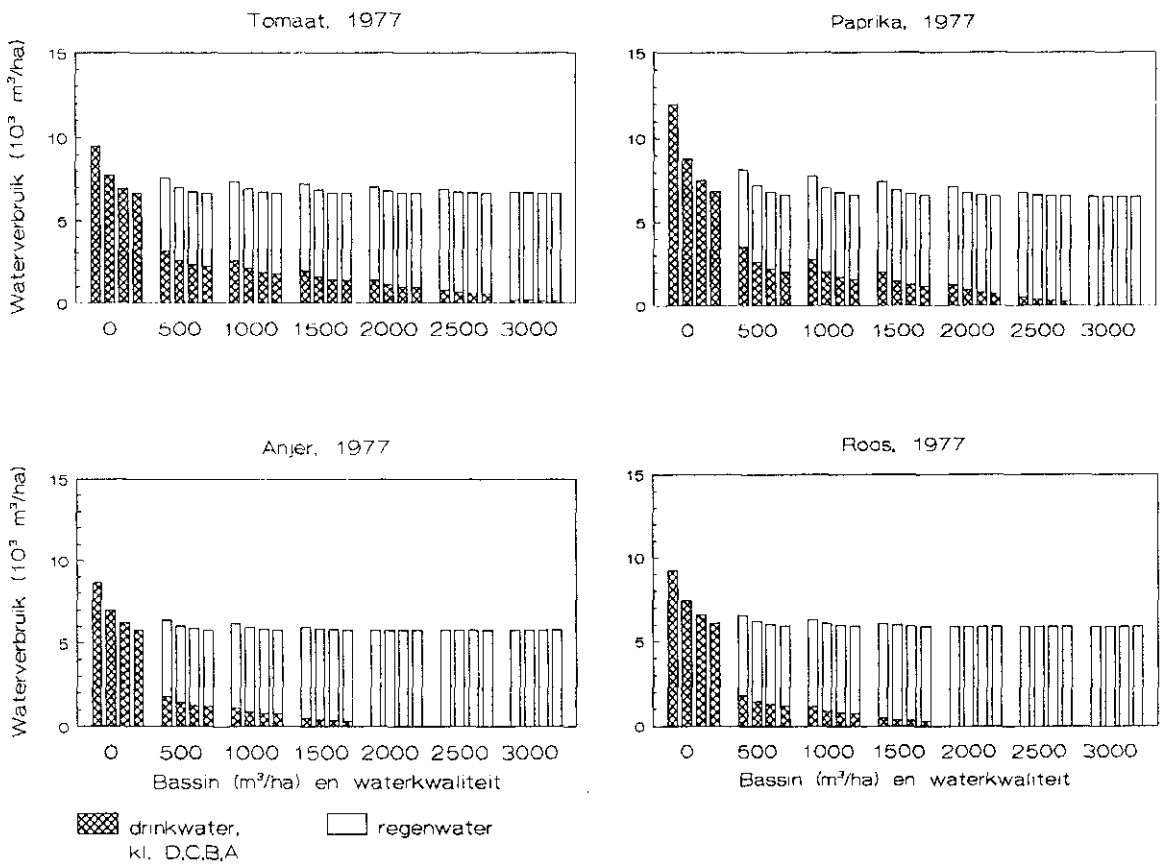


Fig. 4 Jaarverbruik van regenwater en drinkwater voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha, bij regenwaterbassins van 0 tot 3000 $m^3.ha^{-1}$ en drinkwater van klasse D, C, B of A, bij vier gewassen, voor het 50%-jaar 1977

De vier "blokjes" per bassingrootteklasse slaan van links naar rechts op bedrijfssituaties met drinkwater van klasse D, C, B en A. Bij de gewassen tomaat en anjer is er geen afvoer bij gebruik van drinkwater van klasse A. Daarom zijn slechts drie "blokjes" zichtbaar in de deelfiguren van fig. 6 en 7 voor de gewassen tomaat en anjer.

De gewastranspiratie op jaarbasis komt voor tomaat en paprika uit op ca. 7000 $m^3.ha^{-1}$ en voor anjer en roos op ca. 6000 $m^3.ha^{-1}$. Uit fig. 4 blijkt dat bij de teelt van tomaat en paprika een bassin van ca. 3000 $m^3.ha^{-1}$ nodig is om de gietwaterbehoefte in een 50%-jaar volledig met regenwater te dekken. Voor anjer en roos zou met een bassin van ca. 2000 $m^3.ha^{-1}$ kunnen worden volstaan. In een 10%-jaar zouden daarvoor bassins van ca. 5000 $m^3.ha^{-1}$ resp. 4000 $m^3.ha^{-1}$ nodig zijn.

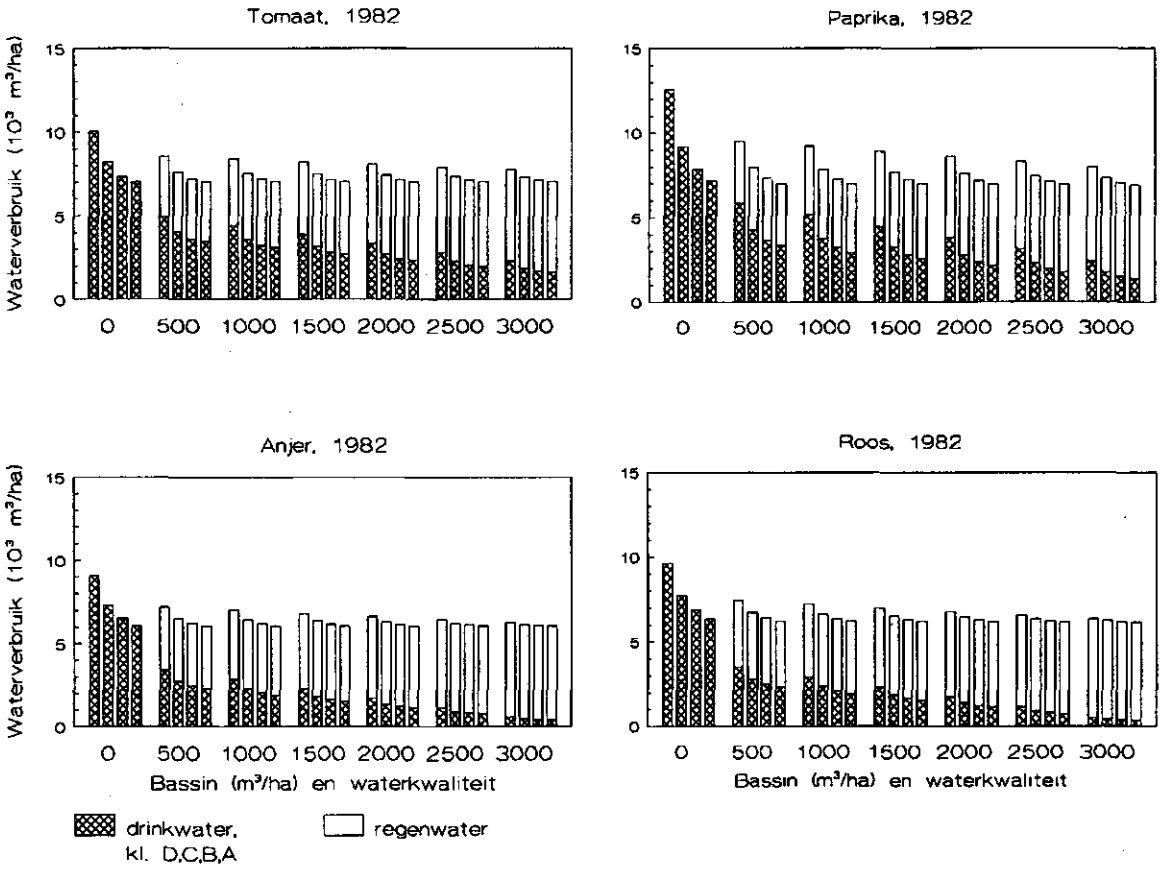


Fig. 5 Jaarverbruik van regenwater en drinkwater voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha, bij regenwaterbassins van 0 tot 3000 $m^3.ha^{-1}$ en drinkwater van klasse D, C, B of A, bij vier gewassen, voor het 10%-jaar 1982

De verschillen tussen tomaat en paprika enerzijds en anjer en roos anderzijds hangen samen met verschillen in de gewastranspiratie op jaarbasis en de verdeling daarvan over het jaar (tabel 2). De transpiratie voor een gegeven gewas in een gegeven jaar is onafhankelijk van de verhouding tussen regenwater en drinkwater en onafhankelijk van de kwaliteit van het drinkwater. Anders gezegd: de transpiratie is voor alle 40 bedrijfssituaties in elk van de vier deelfiguren van fig. 4 en 5 gelijk. De verschillen in het jaarverbruik moeten daarom geheel worden toegeschreven aan verschillen in de afvoer van drainagewater die noodzakelijk is om schade door het te hoog oplopen van de Na-concentratie te voorkomen. Dat aspect wordt geaccentueerd door fig. 6 en 7. Naast de invloed van de grootte van het bassin en van de kwaliteit van het drinkwater komt hier ook de Na-gevoeligheid van het gewas tot uiting. Voor de minder gevoelige gewassen tomaat en anjer valt de afvoer van drainagewater volledig weg in alle situaties met drinkwater van klasse A. De toevoer van Na via dat water blijft in evenwicht met de gewasopname. Voor de gewassen paprika en roos blijft zelfs bij uitsluitend regenwater een afvoer van 300 à 400 $m^3.ha^{-1}$ op jaarbasis noodzakelijk.

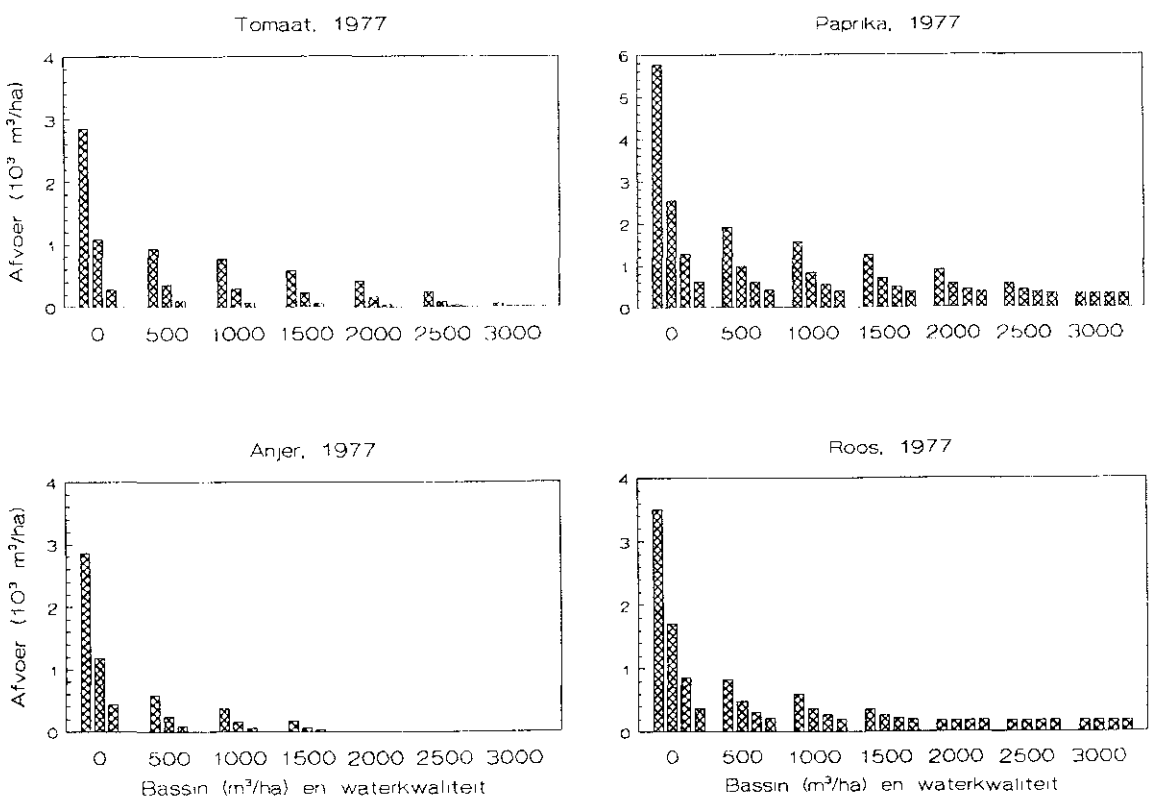


Fig. 6 Afvoer van drainagewater op jaarbasis voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha, bij regenwaterbassins van 0 tot 3000 $m^3.ha^{-1}$ en drinkwater van klasse D, C, B of A, bij vier gewassen, voor het 50%-jaar 1977

De emissie van N en P is blijkens de relaties (13) en (14) evenredig met de afvoer A van drainagewater en de concentratie $C_{d,opt}$. Aan de hand van de concentraties $C_{d,opt}$ uit tabel 2 zijn de volgende emissies berekend, per 100 $m^3.ha^{-1}$ afvoer van drainagewater:

- tomaat Q(N) = 23,8 $kg.ha^{-1}$ N en Q(P) = 2,2 $kg.ha^{-1}$ P;
- paprika Q(N) = 26,6 $kg.ha^{-1}$ N en Q(P) = 2,8 $kg.ha^{-1}$ P;
- anjer Q(N) = 19,6 $kg.ha^{-1}$ N en Q(P) = 2,8 $kg.ha^{-1}$ P;
- roos Q(N) = 17,5 $kg.ha^{-1}$ N en Q(P) = 2,8 $kg.ha^{-1}$ P.

Dit is de sleutel tot het vertalen van de afvoeren in fig. 6 en 7 in emissies van N en P. Bij uitsluitend drinkwater van klasse D loopt de afvoer voor 1977 voor anjer op tot ca. 3000 $m^3.ha^{-1}$ en voor paprika tot ca. 6000 $m^3.ha^{-1}$, de N-emissie tot 600 à 1600 $kg.ha^{-1}$ en de P-emissie tot 85 à 170 $kg.ha^{-1}$. Bij drinkwater van klasse A blijft de afvoer beperkt tot 0 à 500 $m^3.ha^{-1}$, de N-emissie tot 0 à 125 $kg.ha^{-1}$ en de P-emissie tot 0 à 15 $kg.ha^{-1}$.

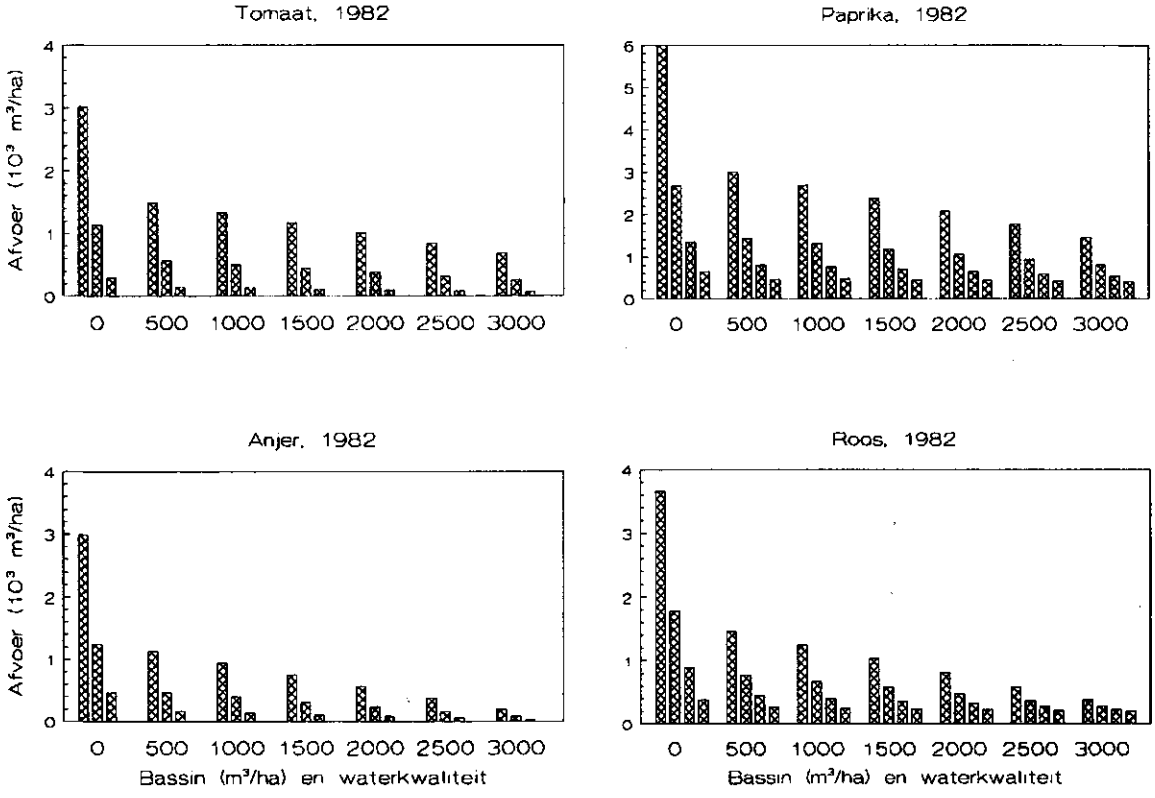


Fig. 7 Afvoer van drainagewater op jaarbasis voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha, bij regenwaterbassins van 0 tot 3000 $m^3.ha^{-1}$ en drinkwater van klasse D, C, B of A, bij vier gewassen, voor het 10%-jaar 1982

De emissie van nutriënten is minimaal bij het zo volledig mogelijk dekken van de waterbehoefte met regenwater. In een 10%-jaar zijn daarvoor bassins van 5000 $m^3.ha^{-1}$ noodzakelijk bij tomaat en paprika en van 4000 $m^3.ha^{-1}$ bij anjer en roos. Bij bassins van dié grootte zullen in extreem droge jaren alsnog tekorten aan regenwater optreden, zodat een aanvullende voorziening noodzakelijk blijft.

5.3 Resultaten op decadebasis

5.3.1 Waterverbruik

Resultaten voor het waterverbruik op decadebasis voor 16 van de 160 standaard-bedrijfssituaties zijn verwerkt in de figuren 8 t/m 11.

Om de invloed van de Na-concentratie van het drinkwater duidelijk tot uiting te doen komen is in elk van de vier deelfiguren van fig. 8 t/m 11, die op hetzelfde gewas betrekking hebben, dezelfde schaalverdeling langs de y-as aangehouden.

Fig. 8 t/m 11 geven een goed beeld van de ongelijkmatige verdeling van het gietwaterverbruik over het jaar. Het verloop in grote lijnen weerspiegelt het verloop van de straling (daglengte) en van de transpiratie die daar direct mee samenhangt. In het zomerhalfjaar treden duidelijke pieken en dalen ten opzichte van het verloop in grote lijnen op, samenhangend met zonnige en minder zonnige perioden. Het gaat hier om decadegegevens waarbij veranderingen in het weer van dag tot dag niet tot uiting komen. Bij het gietwaterverbruik op dagbasis is dan ook een grilliger patroon te verwachten.

Het regenwaterverbruik verloopt in de vier deelfiguren die betrekking hebben op een gegeven gewas en jaar, volgens exact hetzelfde patroon. Dat is een gevolg van de veronderstelde beheerstrategie van de regenwatervoorraad (par. 3.3). De verschillen tussen de vier deelfiguren zijn dus volledig toe te schrijven aan verschillen in het drinkwaterverbruik, samenhangend met de Na-concentratie.

Piekbehoeften aan water vallen in de maanden mei, juni en juli. Voor tomaat en paprika gaat het om ca. 500 tot 700 $m^3.ha^{-1}$ per decade, voor anjer en roos om 400 tot 550 $m^3.ha^{-1}$ per decade. Het hoogste decadeverbruik in de jaren 1977 en 1982 is berekend voor de derde decade van mei 1977. Het was een vrijwel wolkenloze en heldere periode met een stralingssom van ca. $28 \cdot 10^7$ $J.m^{-2}$. De gewastranspiratie lag op een niveau van 400 à 500 $m^3.ha^{-1}$ wat neerkomt op ca. 4,5 mm per dag (de derde decade van mei telt 11 dagen). In het 10%-jaar 1982 is dat niveau niet bereikt.

Blijkens fig. 8 t/m 11 blijft het gebruik van drinkwater in beide jaren geheel beperkt tot het zomerhalfjaar (periode april t/m september). In 1977 is bij alle vier gewassen drinkwater noodzakelijk in de periode vanaf de derde decade van mei t/m de eerste decade van juli. In de daaraan voorafgaande periode wordt alléén bij tomaat drinkwater gebruikt vanaf de derde decade van april.

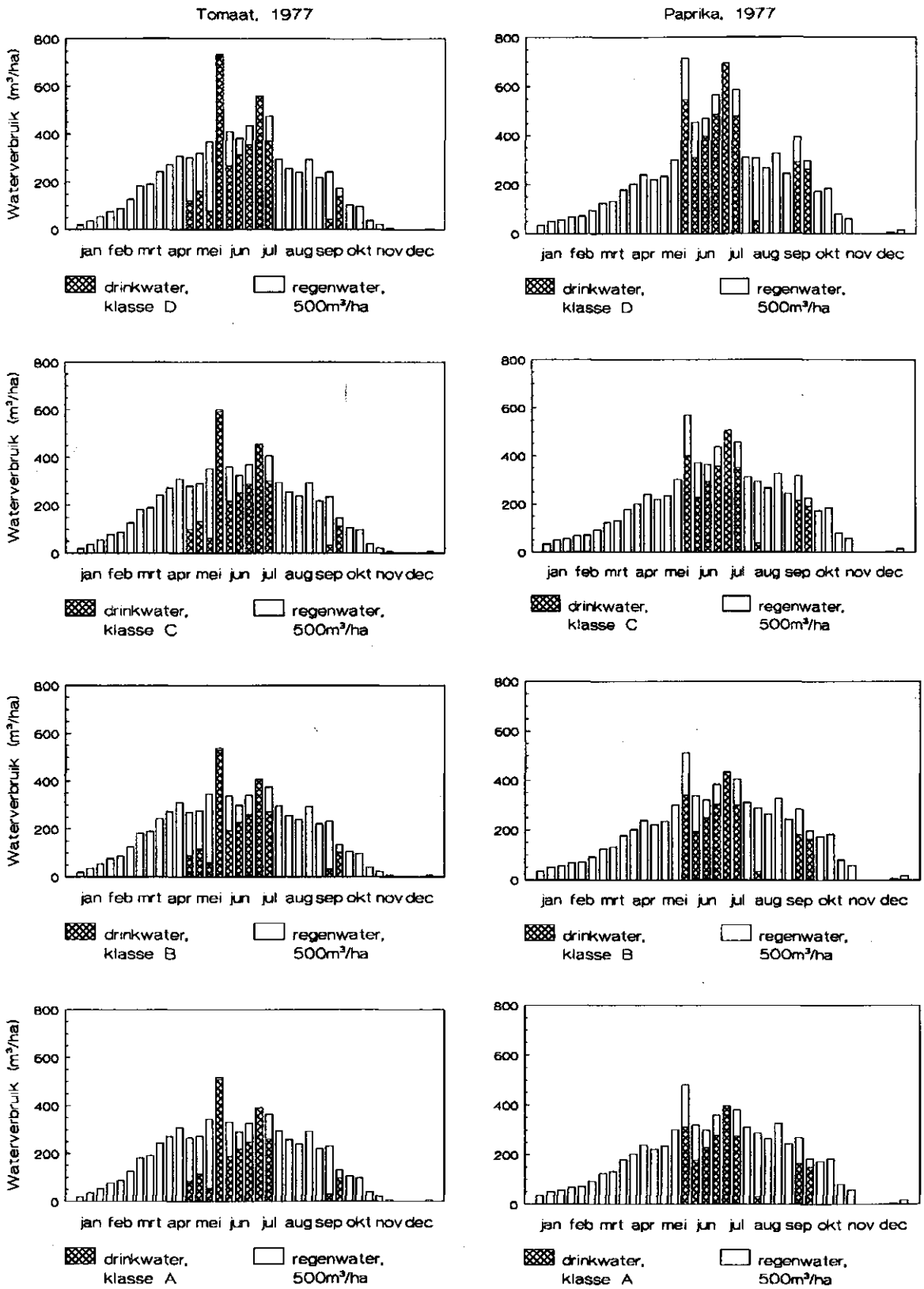


Fig. 8 Decadeverbruik van regenwater en drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van tomaat en paprika, voor het 50%-jaar 1977

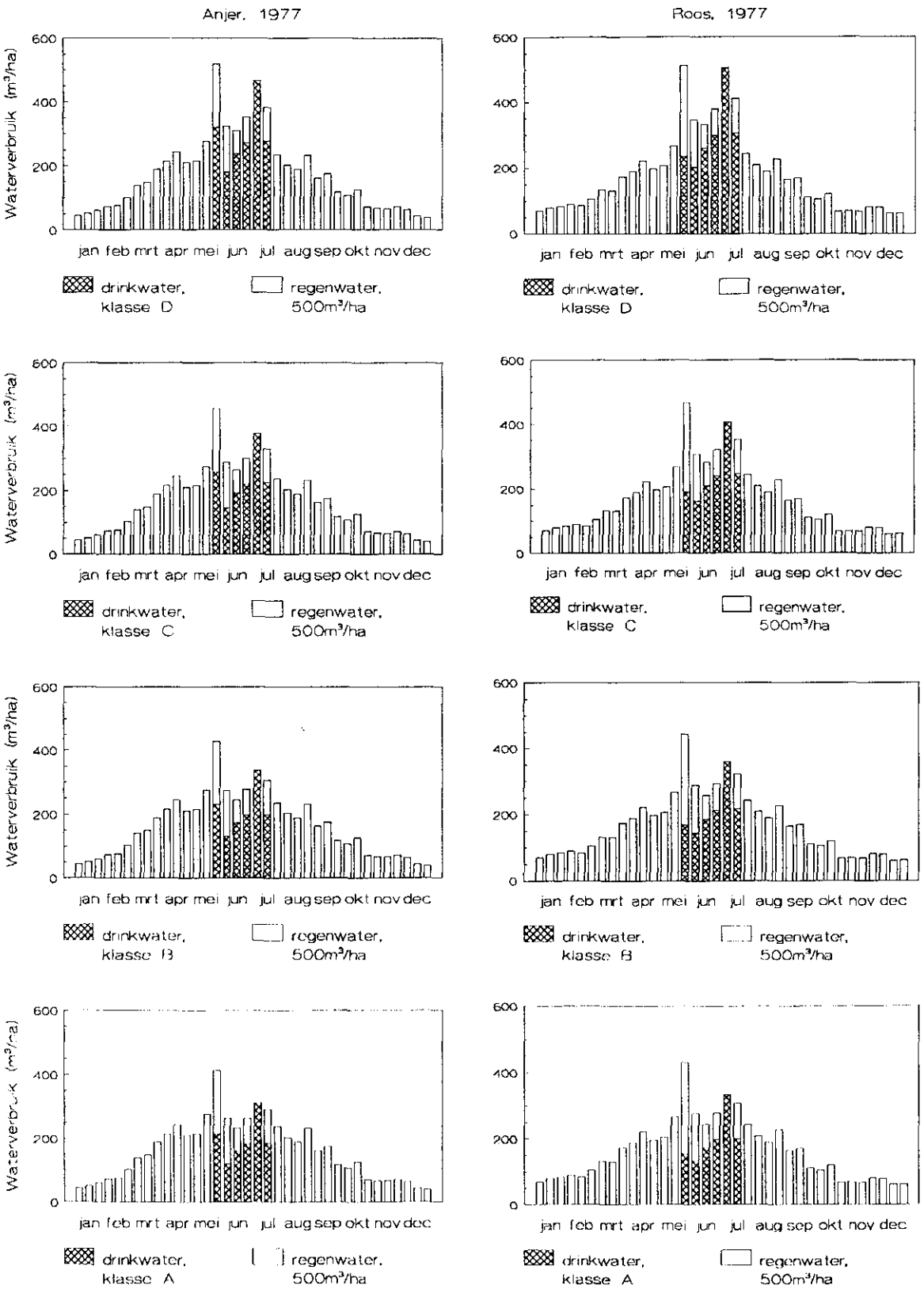


Fig. 9 Decadeverbruik van regenwater en drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van anjer en roos, voor het 50%-jaar 1977

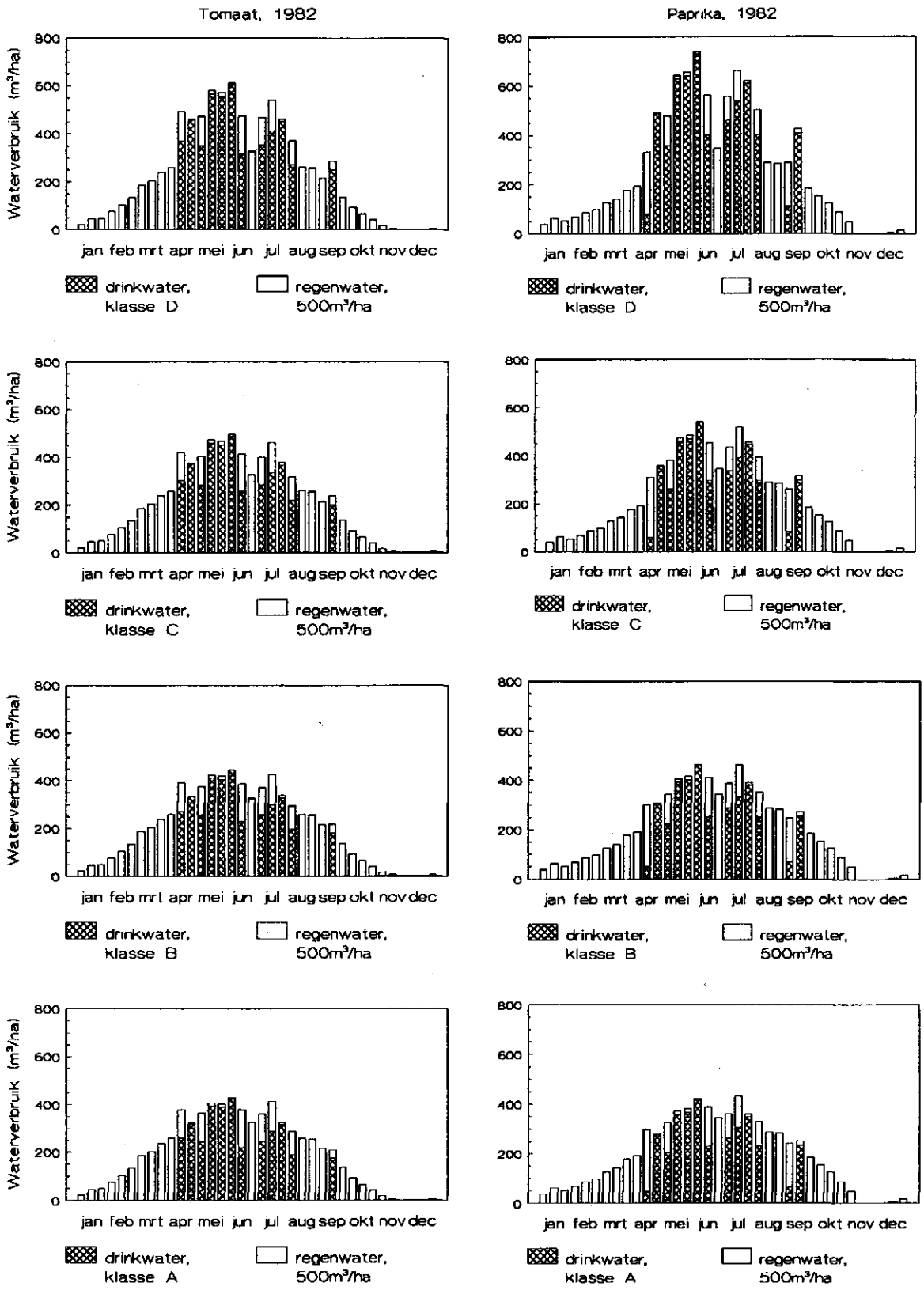


Fig. 10 Decadeverbruik van regenwater en drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van tomaat en paprika, voor het 10%-jaar 1982

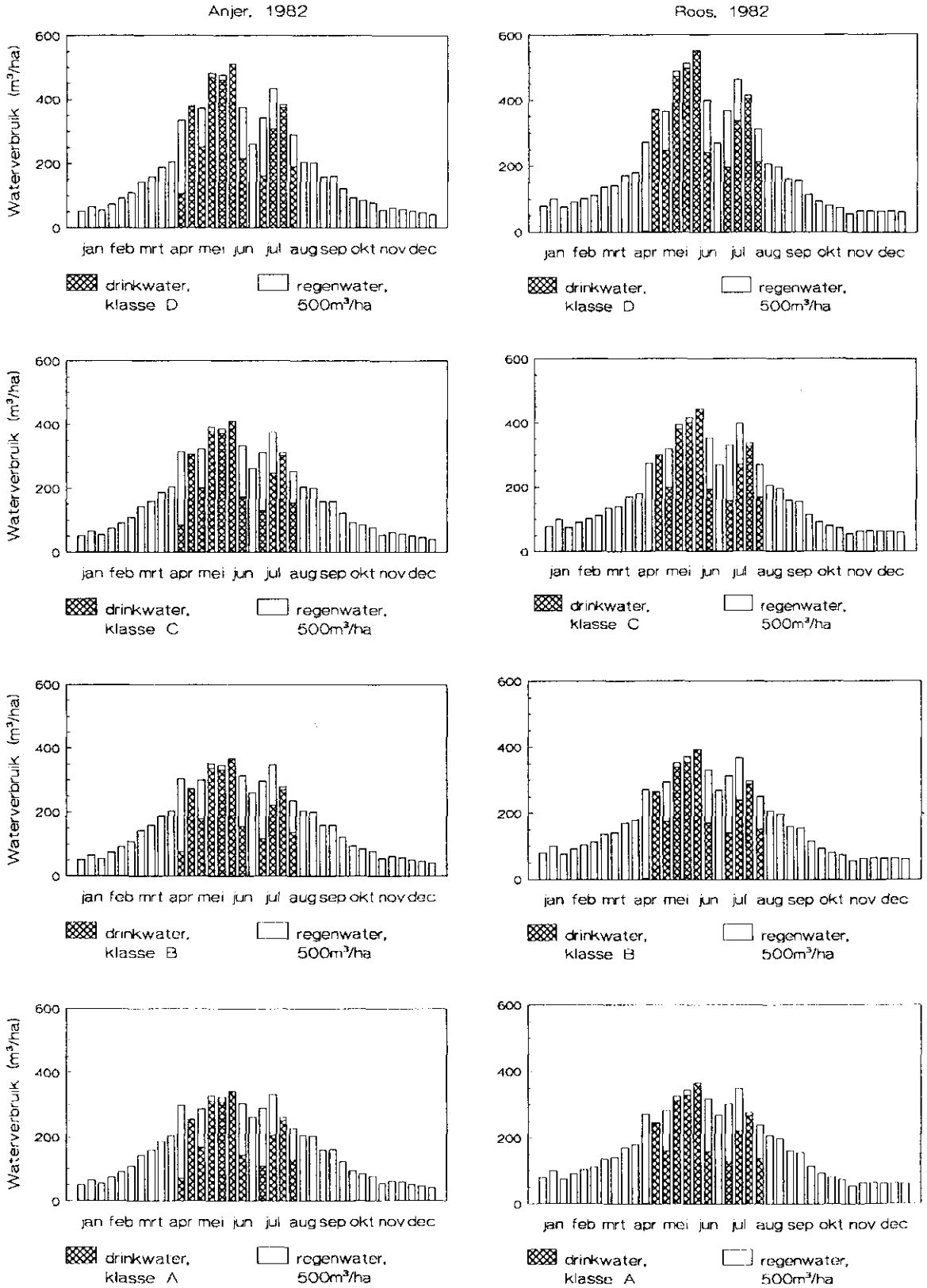


Fig. 11 Decadeverbruik van regenwater en drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van anjer en roos, voor het 10%-jaar 1982

Het hogere transpiratieniveau van dat gewas heeft tot gevolg dat de regenwatervoorraad eerder is uitgeput dan bij de andere drie gewassen. Bij tomaat en paprika is er in 1977 een tweede periode met gebruik van drinkwater in september.

In 1982 wordt bij alle vier gewassen drinkwater gebruikt in de gehele periode vanaf de derde decade van april t/m de eerste decade van augustus, de derde decade van juni uitgezonderd. Er zijn verschillende decaden in die periode met vrijwel uitsluitend gebruik van drinkwater. In die decaden is geen regen van betekenis gevallen. Evenals in 1977 is er ook in 1982 bij tomaat en paprika een tweede periode met gebruik van drinkwater in september.

5.3.2 Afvoer van drainagewater

Gegevens over de afvoer van drainagewater zijn verwerkt in de figuren 12 t/m 15.

De invloed van Na-gevoeligheid van het gewas en van de Na-concentratie van het drinkwater komen in de figuren duidelijk tot uiting. Bij tomaat is er geen afvoer zolang de behoefte volledig met regenwater kan worden gedekt. De toevoer van Na via het regenwater blijft in evenwicht met de opname door het gewas. In de derde decade van april 1977 en de tweede decade van april 1982 wordt gebruik van drinkwater noodzakelijk. Bij drinkwater van klasse A blijft de Na-opname in evenwicht met de toevoer, zonder dat $C_{d,max}$ wordt overschreden. Er hoeft dus geen afvoer uit het systeem plaats te vinden om schade te voorkomen. Daartegenover staan piekafvoeren van ca. 200 $m^3.ha^{-1}$ per decade bij drinkwater van klasse D.

Wat de Na-gevoeligheid betreft is het gewas anjer vergelijkbaar met tomaat. Het lagere transpiratieniveau beperkt de periode met gebruik van drinkwater en daarmee ook de periode met afvoer van drainagewater. Bij gebruik van drinkwater van klasse D komen piekafvoeren van 150 à 175 $m^3.ha^{-1}$ per decade voor.

De minimale Na-opname en grote Na-gevoeligheid van paprika en roos hebben tot gevolg dat ook bij regenwater een kleine afvoer moet blijven plaatsvinden. Bij het overschakelen op drinkwater wordt een grote afvoer noodzakelijk, met pieken tot 350 $m^3.ha^{-1}$ per decade bij paprika en tot 200 $m^3.ha^{-1}$ per decade bij roos bij gebruik van drinkwater van klasse D.

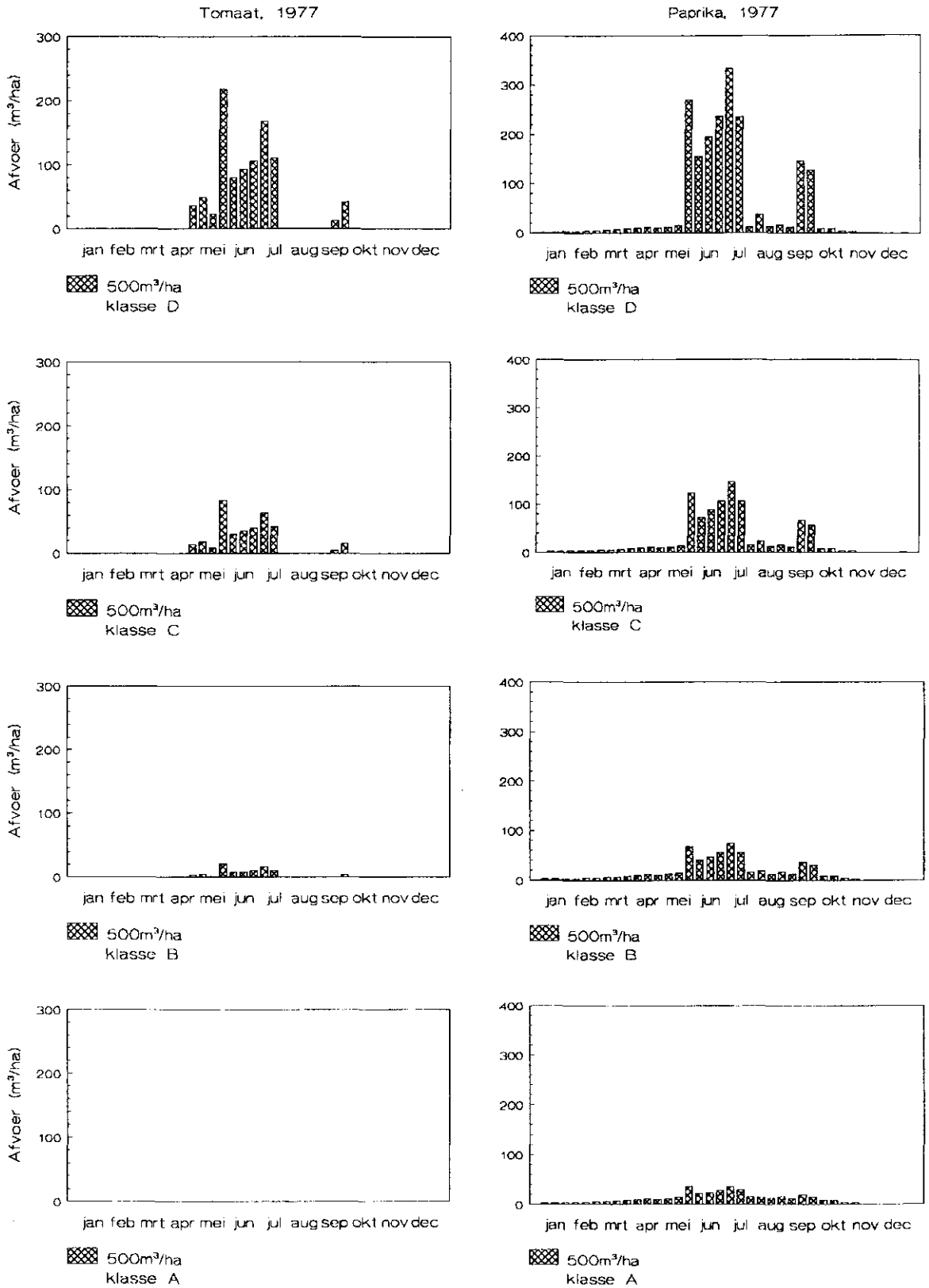


Fig. 12 Afvoer van drainagewater per decade bij gebruik van drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van tomaat en paprika, voor het 50%-jaar 1977

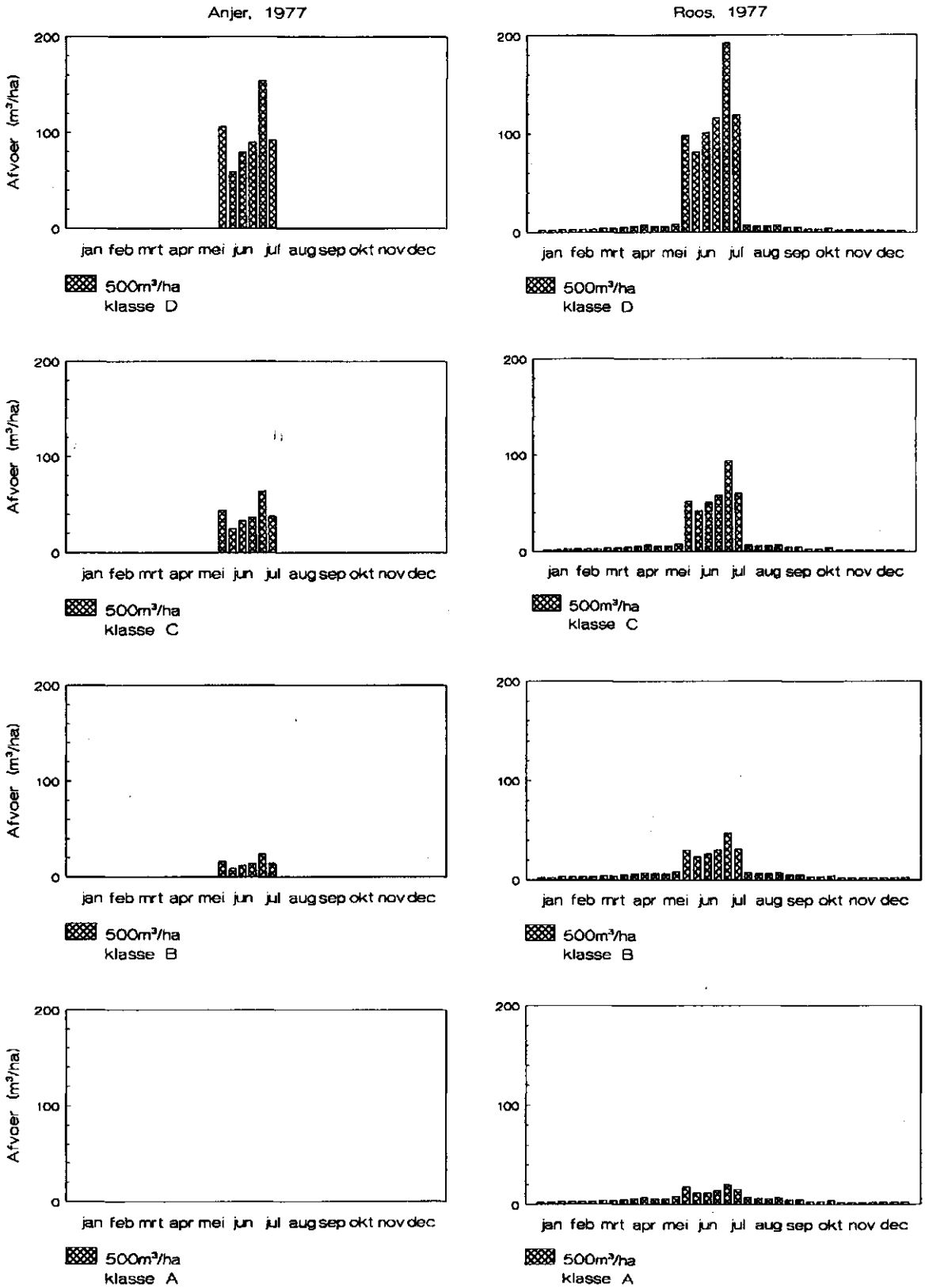


Fig. 13 Afvoer van drainagewater per decade bij gebruik van drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van anjer en roos, voor het 50%-jaar 1977

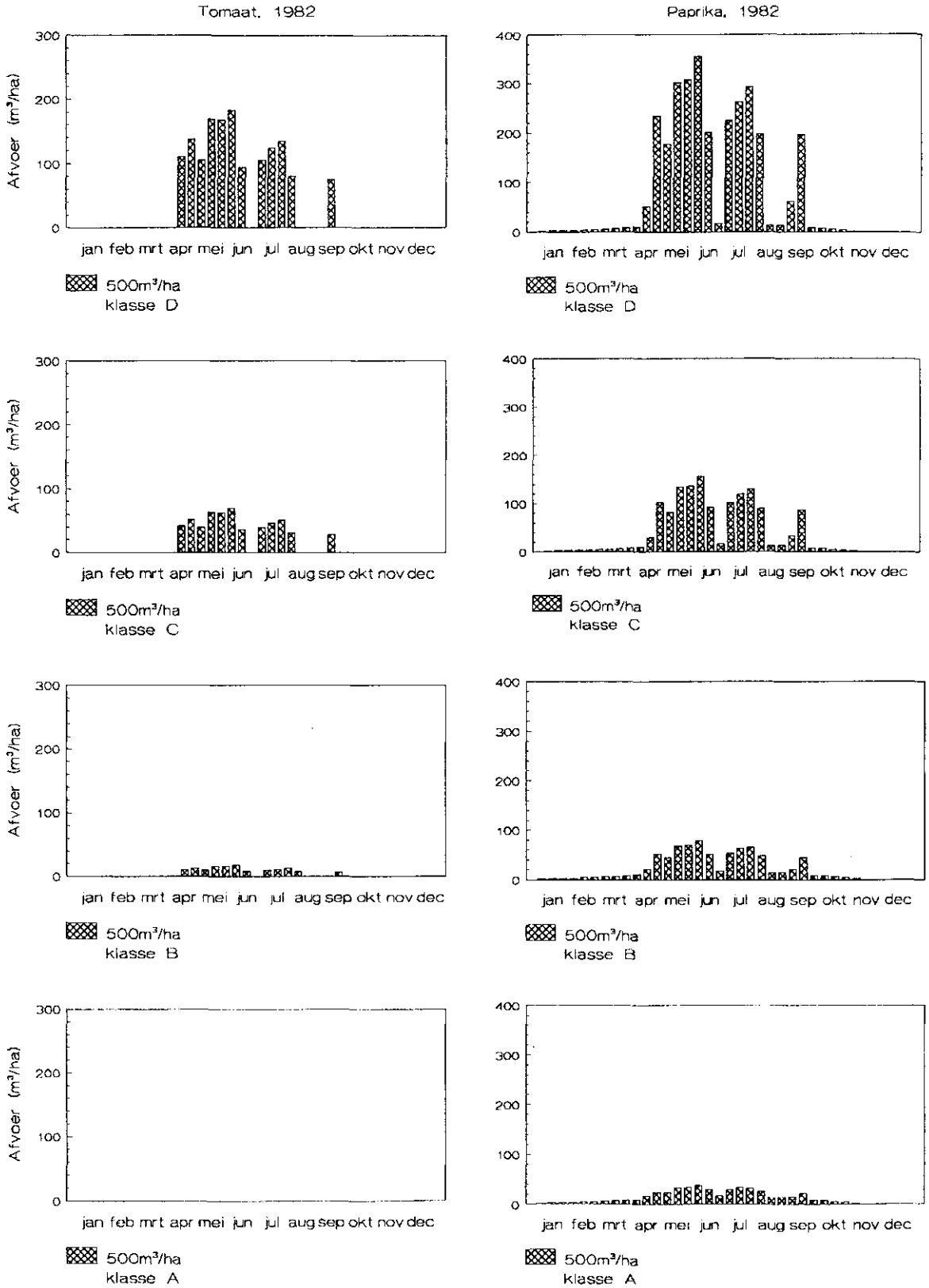


Fig. 14 Afvoer van drainagewater per decade bij gebruik van drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van tomaat en paprika, voor het 10%-jaar 1982

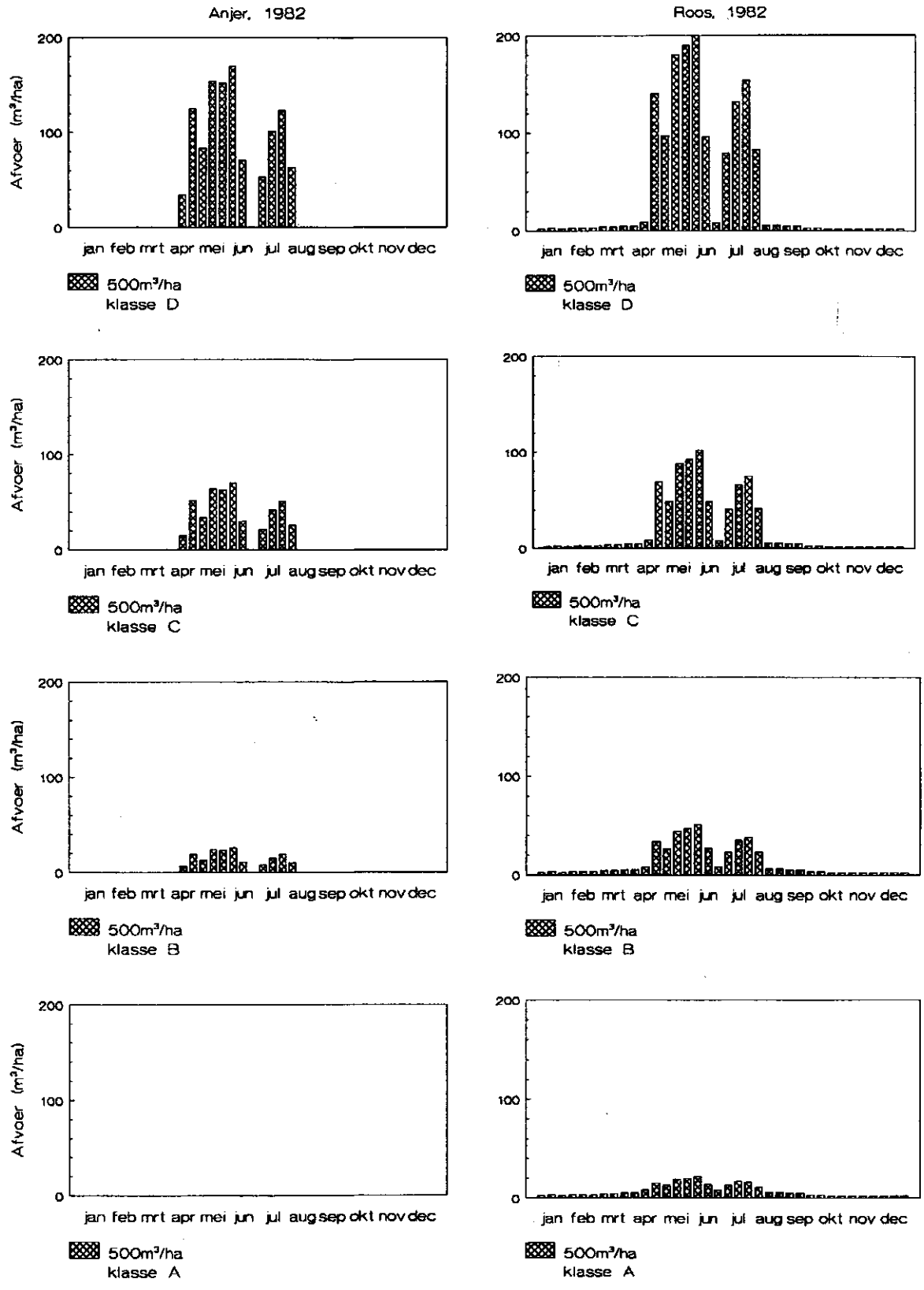


Fig. 15 Afvoer van drainagewater per decade bij gebruik van drinkwater van klasse D, C, B of A voor glastuinbouwbedrijven van 1,0 ha met een bassin van 500 $m^3.ha^{-1}$, bij teelt van anjer en roos, voor het 10%-jaar 1982

6 EVALUATIE VAN ALTERNATIEVEN EN CONCLUSIES

6.1 Alternatieven voor de gietwatervoorziening

6.1.1 Tuinbouwkundige afweging

In principe zijn er de volgende drie mogelijkheden om in gietwaterbehoefte te voorzien:
- uitsluitend regenwater;
- uitsluitend drinkwater;
- regenwater in combinatie met drinkwater.

Bij het bespreken van fig. 4 en 5 is geconcludeerd dat de waterbehoefte in een 50%-jaar volledig kan worden gedekt, als elk bedrijf zou beschikken over een bassin van 3000 $m^3.ha^{-1}$. In een 10%-jaar is daarvoor een bassin van 5000 $m^3.ha^{-1}$ noodzakelijk. In de extreem droge en zonnige jaren 1959 en 1976 is dat echter nòg niet toereikend. Zo is er in 1976 zelfs bij bassins van 6000 $m^3.ha^{-1}$ bij tomaat en paprika nog een regenwatertekort van ca. 2000 $m^3.ha^{-1}$ en bij anjer en roos van ca. 500 $m^3.ha^{-1}$. Het volledig dekken van de waterbehoefte met regenwater is dan ook niet realistisch. Daarmee vervalt de eerste mogelijkheid om in de gietwaterbehoefte te voorzien, althans voor teelten met een transpiratieniveau dat vergelijkbaar is met dat van de vier gewassen, waarvoor berekeningen zijn uitgevoerd.

In par. 2.3 is aangegeven dat drinkwater van klasse C of D bruikbaar is als gietwater bij teelten los van de grond, onder voorwaarde dat het wortelmilieu voldoende kan worden doorgespoeld en dat afvoer vanuit het teeltsysteem kan plaatsvinden bij het oplopen van de Na- en Cl-concentraties. Bij het telen in een substraat als steenwol wordt aan die voorwaarden voldaan. Bij het telen in een venig substraat zijn de mogelijkheden voor doorspoelen van het wortelmilieu beperkt. Bij het telen van potplanten volgens het eb- en vloedsysteem ontbreekt die mogelijkheid zelfs geheel. Het drinkwater van klasse C en D heeft dus tuinbouwkundig gezien beperkingen. Bij drinkwater van klasse C en D als aanvulling op regenwater wegen die beperkingen minder zwaar.

Op basis van het voorgaande komen de volgende mogelijkheden in aanmerking:
- uitsluitend drinkwater van klasse B of A;
- regenwater in combinatie met drinkwater van klasse B of A;
- regenwater in combinatie met drinkwater van klasse D of C.

Bij de eerste twee alternatieven is een maximale produktie haalbaar in zowel kwantitatief als kwalitatief opzicht, ongeacht het type substraat en de methode van watervoorziening. Beide alternatieven zijn tuinbouwkundig gezien gelijkwaardig. Bij de derde mogelijkheid moet rekening gehouden worden met niet-optimale omstandigheden als het gaat om typen substraat en teeltmethoden, waarbij het wortelmilieu niet voldoende kan worden doorgespoeld.

6.1.2 Minimaliseren van emissies

Blijkens fig. 6 en 7 hebben het al dan niet gebruiken van regenwater en de kwaliteit van het drinkwater een grote invloed op de afvoer van drainagewater. Dat geldt ook voor de emissies van N en P die volgens de relaties (13) en (14) evenredig zijn met de afvoer A. De afvoer en emissies zijn minimaal bij drinkwater van klasse A, al dan niet in combinatie met regenwater. De emissie is daarbij voor de gewassen tomaat en anjer tot nul gereduceerd, voor de beide andere gewassen blijft een beperkte emissie bestaan.

Bij een combinatie van regenwater en drinkwater van klasse D, C, B of A zijn er verschillende mogelijkheden die elkaar voor wat betreft de emissie weinig ontlopen. Het volgende voorbeeld heeft betrekking op de afvoer en emissie bij de teelt van paprika, in 1982. Uit de desbetreffende deelfiguur van fig. 7 blijkt dat de afvoer van drainagewater bij een bassin van 0 $m^3.ha^{-1}$ en drinkwater van klasse A gelijk is aan de afvoer bij een bassin van 2500 $m^3.ha^{-1}$ en drinkwater van klasse B. Er zijn andere voorbeelden te vinden waarbij een bassin van beperkte omvang met drinkwater van klasse C, B of A tot een emissie leidt die vergelijkbaar is met de emissie bij een bassin van grote omvang met drinkwater van klasse D, C of B.

Het betrekken van de afvoer en emissie in de beoordeling, leidt tot de volgende precisering van de alternatieven uit de voorgaande paragraaf:
- uitsluitend drinkwater van klasse B of A;
- regenwater in combinatie met drinkwater van klasse B of A, zonder verdere eisen aan de grootte van het bassin;
- regenwater in combinatie met drinkwater van klasse D of C, bij bassins van 3000 à 4000 $m^3.ha^{-1}$.

6.2 Evaluatie van alternatieven

Bij het evalueren van de drie resterende alternatieven wordt aandacht besteed aan de behoefte aan drinkwater op jaarbasis, aan de verdeling van die behoefte over het jaar, en aan de piekbehoefte.

Bij uitsluitend drinkwater van klasse B of A (eerste alternatief) blijven de verschillen in de waterbehoefte tussen verschillende jaren relatief klein. Verschillen in de waterbehoefte zijn direct terug te voeren tot verschillen in gewastranspiratie in sombere en zonnige jaren. Die verschillen blijven beperkt tot ca. 15%. De verdeling van de waterbehoefte over het jaar is ongelijkmatig, met piekbehoeften van 400 à 500 $m^3.ha^{-1}$ per decade in het zomerhalfjaar.

Bij regenwater in combinatie met drinkwater van klasse B of A (tweede alternatief) wordt de behoefte aan drinkwater op jaarbasis sterk beperkt. Dit geldt echter niet voor de piekbehoefte aan drinkwater, omdat die piekbehoefte juist zal optreden wanneer de regenwatervoorraden geheel zijn uitgeput. Anders gezegd: de produktie-capaciteit en de mogelijkheden om het water te transporteren en distribueren moeten

op de piekbehoefte van 400 à 500 $m^3.ha^{-1}$ per decade zijn berekend. De beperkte afzet op jaarbasis bij een hoge piekbehoefte zal uiteraard van invloed zijn op de m^3-prijs van het drinkwater.

Bij regenwater bij bassins van 3000 à 4000 $m^3.ha^{-1}$ in combinatie met drinkwater van klasse C of D (derde alternatief) is de gemiddelde behoefte aan drinkwater op jaarbasis laag. In het 50%-jaar 1977 is die behoefte nihil (fig. 4). Dat geldt dus ook voor alle jaren met evenveel of meer neerslag in het zomerhalfjaar als in het zomerhalfjaar van 1977. Piekbehoeften aan drinkwater kunnen verwacht worden in extreem droge jaren als 1959 en 1976. Die piekbehoeften zullen later in het zomerhalfjaar vallen.

6.3 Restafvoer en restemissies

Volgens de resultaten van de modelberekeningen moet bij elk van de drie alternatieven rekening gehouden worden met beperkte restafvoeren en restemissies. Blijkens de Structuurnota Landbouw (Ministerie van LNV, 1990) dienen de rest- en afvalstoffen die vrijkomen bij glastuinbouw in gesloten systemen te worden hergebruikt of vernietigd (zie citaat in par. 2.1). Voor de afvoerstroom van drainagewater uit het gesloten systeem wordt het direct lozen ervan, bijvoorbeeld op het oppervlaktewater, problematisch. Dat blijkt óók als de emissies worden bekeken in het licht van de Derde Nota Waterhuishouding (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1989). In die nota zijn voor verschillende parameters getalswaarden voor de algemene milieukwaliteit van het zoete oppervlaktewater opgenomen. Het gaat om kwaliteitsdoelstellingen voor het jaar 2000. Voor de nutriënten zijn de getallen
- 0,15 $mg.l^{-1}$ voor totaal-fosfaat;
- 2,2 $mg.l^{-1}$ voor totaal-stikstof.

Uit de concentraties $C_{d,opt}$ in tabel 2 volgt dat de emissieconcentraties voor N op een niveau van 175 tot 250 $mg.l^{-1}$ N liggen en voor P op een niveau van ca. 25 $mg.l^{-1}$. Het gaat dus om emissieconcentraties tot meer dan het honderdvoudige van de concentraties die in de Derde Nota Waterhuishouding worden genoemd.

Ook de Commissie Uitvoering Wet Verontreiniging Oppervlaktewater (CUWVO) houdt zich momenteel bezig met de problematiek van de lozingen vanuit de glastuinbouw. De CUWVO-werkgroep VI heeft daartoe een subwerkgroep "Glastuinbouw" in het leven geroepen. De subwerkgroep heeft onlangs een tussenrapportage uitgebracht waarin aanbevelingen voor nieuwe bedrijven zijn verwoord. Een van de aanbevelingen is om het drainagewater (aangeduid als spuiwater) op de riolering te lozen, voor zover aanwezig. Fig. 12 t/m 15 geven aan om welke hoeveelheden water op decadebasis het gaat.

Kenmerkend voor het drainagewater van de glastuinbouw is het hoge niveau van de concentraties aan NO_3-N en ortho-P en de lage concentratie aan organische stof (lage

COD en BOD). De mogelijkheden om de afvoerstroom te behandelen (denitrificeren en defosfateren) zijn elders geïnventariseerd (Haskoning, 1990).

6.4 Conclusies

Op basis van tuinbouwkundige overwegingen en uitgaande van de noodzaak om de emissies van nutriënten te minimaliseren komen de volgende mogelijkheden van watervoorziening voor het glastuinbouwproject Burgum in aanmerking:

- uitsluitend drinkwater van klasse A of B, verkregen door het ontzouten van drinkwater uit het wingebied Noardburgum of Spannenburg;
- drinkwater van klasse A of B in combinatie met regenwater, bij bassins van 500 $m^3.ha^{-1}$ of groter;
- drinkwater uit het wingebied Noardburgum of Spannenburg, bij bassins van 3000 à 4000 $m^3.ha^{-1}$, afhankelijk van het transpiratieniveau en de Na-gevoeligheid van het gewas.

Er moet rekening gehouden worden met pieken in de gewastranspiratie van 400 tot 500 $m^3.ha^{-1}$ per decade. Dat leidt tot pieken in de waterbehoefte van 400 tot 750 $m^3.ha^{-1}$ per decade, afhankelijk van het gekozen alternatief en van het transpiratieniveau en de Na-gevoeligheid van het gewas.

In alle gevallen moet rekening gehouden worden met restemissies waarvoor een verwerking ter plaatse of centraal noodzakelijk zal zijn. De berekende piekafvoeren lopen uiteen van 0 tot 350 $m^3.ha^{-1}$ per decade, eveneens afhankelijk van het gekozen alternatief en van het transpiratieniveau en de Na-gevoeligheid van het gewas.

6.5 Waarschuwing

In de praktijk wordt hergebruik nog slechts op beperkte schaal toegepast. Er heeft dan ook geen goede praktijktoetsing kunnen plaatsvinden van de veronderstellingen die aan het model ten grondslag liggen en van de resultaten die ermee zijn verkregen. Voorzichtigheid bij het gebruiken van de resultaten is dan ook geboden. Die waarschuwing is speciaal van toepassing op de berekende afvoeren van drainagewater. Om meer zekerheid te krijgen is nader onderzoek op praktijkbedrijven noodzakelijk, naast het onderzoek dat thans op de proefstations gaande is.

LITERATUUR

COMMISSIE STANDAARDISATIE BEMESTINGSADVIESBASIS GLASTUINBOUW, 1990. *Bemestingsadviesbasis glastuinbouw.* IKC Akker- en Tuinbouw, afdeling Glasgroenten en Bestuiving (Naaldwijk) en afdeling Bloemisterij (Aalsmeer).

HASKONING, 1990. *Emissiereductie van nutriënten vanuit de glastuinbouw.* Lelystad. Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/RIZA.

MINISTERIE VAN LNV, 1990. *Structuurnota Landbouw.* 's-Gravenhage. SDU Uitgeverij.

MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT, 1989. *Derde Nota Waterhuishouding.* 's-Gravenhage. SDU Uitgeverij.

SONNEVELD, C. EN C. DE KREIJ, 1986. *Normen voor de waterkwaliteit in de glastuinbouw.* Proefstation voor Tuinbouw onder Glas (Naaldwijk), Proefstation voor de Bloemisterij in Nederland (Aalsmeer) en Consulentschap voor de Tuinbouw (Naaldwijk). Serie voedingsoplossingen glastuinbouw, No. 11.