

32/446(355) 2^oex

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

De invloed van glastuinbouwvestiging op de waterhuishouding

Een verkenning van situaties in de omgeving van de Peelvenen

**E.P. Querner
H.J. van de Braak
Ph. Hamaker**

Rapport 388

- 2 JAN. 1996

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1995



18u q12640 *

REFERAAT

Querner, E.P., H.J. van de Braak en Ph. Hamaker, 1995. *De invloed van glastuinbouwvestiging op de waterhuishouding: een verkenning van situaties in de omgeving van de Peelvenen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 388 94 blz.; 13 fig.; 31 tab.; 11 ref.; 4 aanh.

In de glastuinbouw wordt regenwater opgevangen in bassins en als gietwater gebruikt. De invloed hiervan op de grondwateraanvulling, wegzijging en grondwaterstanden is gekwantificeerd met het regionale grondwaterstromingsmodel SIMGRO en een waterbalansmodel voor glastuinbouwbedrijven. Voor inrichtingssituaties met één, vier en tien glastuinbouwbedrijven met paprika-substraatteelt en met regenwaterbassins van 2000 en 4000 m³·ha⁻¹ zijn varianten geformuleerd. Door de bouw van kassen vermindert de grondwateraanvulling met 150-165 mm·a⁻¹. De afname in de wegzijging hangt af van de grondwatertrap. De gemiddeld hoogste grondwaterstand daalt 0,17-0,19 m. De gemiddeld laagste grondwaterstand verandert nauwelijks. Als de bassins vol zijn, kan men het overtollige water laten infiltreren om de veranderingen te compenseren.

Trefwoorden: condenswater, drainage, gewasverdamping, grondwateraanvulling, grondwatermodel, grondwatertrap, kwel, ontwatering, open-watervedamping, oppervlaktewater, regenwaterbassin, verdroging, weersgesteldheid, wegzijging

ISSN 0927-4499

©1995 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO) Postbus 125, 6700 AC Wageningen.
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812.

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).

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 veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

Inhoud

	blz.
Woord vooraf	11
Samenvatting	13
1 Inleiding	19
1.1 Probleemstelling en kader	19
1.2 Doel van het onderzoek	19
1.3 Opzet van het onderzoek	20
1.4 Leeswijzer	22
2 Waterhuishouding glastuinbouwbedrijven: invloed van bassins op afvoer van regenwater naar oppervlaktewater	23
2.1 Uitgangspunten	23
2.2 Waterstromen met betrekking tot bassin en kas	24
2.3 Kwantificeren van de waterhuishouding van het glastuinbouwbedrijf	26
2.3.1 Wateropname gewas, afvoer drainagewater, toevoer van regen- en condenswater, afvoer via open-waterverdamping	26
2.3.2 Verbruik van regenwater en ander water: beheervarianten	27
2.3.3 Watervoorraad in bassin en lozing van overtollig water	28
2.4 Uitgevoerde berekeningen	28
2.5 Resultaten	29
3 Beschrijving van het model SIMGRO	33
3.1 Algemeen	33
3.2 Verzadigde en onverzadigde zone	33
3.3 Verdamping	34
3.4 Oppervlaktewater	35
3.5 Presentatie berekeningsresultaten	35
4 Beschrijving inrichtingssituaties en uitgangspunten varianten	37
4.1 Algemeen	37
4.2 Inrichtingssituaties en schematisering modelgebied.	37
4.2.1 Inrichtingssituaties	37
4.2.2 Schematisering van het modelgebied	38
4.2.3 Zonering gebied ten behoeve van de presentatie van de resultaten	40
4.3 Parameters SIMGRO-simulaties	41
4.3.1 Verzadigde zone	41
4.3.2 De onverzadigde zone	42
4.3.3 Oppervlaktewater	43
4.4 Omschrijving varianten	43
4.4.1 Grondwatertrappen en compenserende maatregelen	44
4.4.2 Maaiveld, geohydrologie en weersgesteldheid	45

5	Resultaten van de berekeningen	47
5.1	Algemeen	47
5.2	Invloeden één glastuinbouwbedrijf	47
5.2.1	Grondwaterstandsverloop	47
5.2.2	Invloed in het kassengebied	50
5.2.3	Invloed buiten het kassengebied	52
5.3	Invloeden vier glastuinbouwbedrijven	53
5.3.1	Grondwatertrappen en compenserende maatregelen	53
5.3.2	Invloed diverse parameters	55
5.4	Invloeden tien glastuinbouwbedrijven	57
5.5	Vergelijking van de drie inrichtingssituaties	59

6	Conclusies en aanbevelingen	61
---	-----------------------------	----

	Literatuur	67
--	------------	----

Aanhangsels

1	Waterhuishouding glastuinbouwbedrijf	69
2	Resultaten berekeningen één glastuinbouwbedrijf	81
3	Resultaten berekeningen vier glastuinbouwbedrijven	85
4	Resultaten berekeningen tien glastuinbouwbedrijven	91

Tabellen

1	Afname in grondwateraanvulling en wegzijging en verlagingen van grondwaterstanden door de bouw van één glastuinbouwbedrijf van 2 ha (regenwaterbassin $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Resultaten zijn voor het bruto oppervlak van 4 ha (geohydrologische opbouw Centrale Slenk: $c=250 \text{ d}$ en $kD=1500 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$).	16
2	Veranderingen in wegzijging en grondwaterstanden in een strook van 150-250 m grenzend aan het gebied met kassen en daarnaast de afstand buiten het kassengebied waarop invloed van kassen merkbaar is (Gt V en bassin $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$).	17
3	Toevoer van regenwater (Q_n) en condenswater (Q_c) naar het bassin, onttrekking van regenwater voor het gewas (Q_{rw}) en lozing van overtollig water bij volledig gevuld bassin (Q_1); totalen op jaarbasis voor de periode 1971 t/m 1986 bij waterbeheer volgens variant B.	31
4	Grondwatertrappen met de daarbij behorende gemiddeld hoogste grondwaterstanden (GHG) en gemiddeld laagste (GLG) (De Vries & Van Wallenburg, 1990).	36
5	De drie inrichtingssituaties in dit onderzoek met het aantal glastuinbouwbedrijven.	38
6	Indeling en oppervlakten van de verschillende onderdelen per glastuinbouwbedrijf in dit onderzoek.	38
7	Indeling modelgebied in zones. Op basis van deze indeling zijn de	

resultaten van de deelgebieden samengevoegd.	41
8 De waarden van de geohydrologische parameters van de ondergrond in de omgeving van de Peelvenen (Drent, 1989; Van Walsum, 1990 en Oranjewoud, 1993).	42
9 Indeling en oppervlakte-aandeel (%) van de verschillende bodemgebruiksvormen in het gehele modelgebied bij een situatie zonder kassen en voor de situatie met kassen alleen voor zone 1 (- : komt niet voor).	43
10 Karakteristieken van het oppervlaktewatersysteem bij verschillende grondwatertrappen (Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990; Querner, 1993; Waterschap De Aa, 1994) (-: komt niet voor)	44
11 Overzicht van de varianten met daarbij de uitgangspunten. Deze varianten zijn voor alle drie de inrichtingssituaties (2, 8 en 20 ha glas) doorgerekend.	45
12 Overzicht van de aanvullende varianten doorgerekend voor inrichtingssituatie 2 (4 glastuinbouwbedrijven met elk 2 ha glas).	46
13 Waterbalans (fluxen in $\text{mm}\cdot\text{j}^{-1}$) voor het ondiepe verzadigde grondwater en de grondwaterstanden (m-mv.) voor 1 glastuinbouwbedrijf (situatie 1). Met uitzondering van de cursieve getallen (deze zijn absoluut) zijn alle waarden in de tabel relatief ten opzichte van de referentie.	52
14 Waterbalans (fluxen in $\text{mm}\cdot\text{j}^{-1}$) voor het ondiepe verzadigde grondwater en de grondwaterstanden (m-mv.) voor 4 glastuinbouwbedrijven met Gt V, VI en VII. Met uitzondering van de cursieve getallen (deze zijn absoluut) zijn alle waarden in de tabel relatief ten opzichte van de referentie.	54
15 Waterbalans (fluxen in $\text{mm}\cdot\text{j}^{-1}$) voor het ondiepe verzadigde grondwater en de grondwaterstanden (m-mv.) voor 4 glastuinbouwbedrijven met Gt V en variaties in maaiveld, geohydrologie en weersgesteldheid. Met uitzondering van de cursieve getallen (deze zijn absoluut) zijn alle waarden in de tabel relatief ten opzichte van de referentie.	56
16 Waterbalans (fluxen in $\text{mm}\cdot\text{j}^{-1}$) voor het ondiepe verzadigde grondwater en de grondwaterstanden (m-mv.) voor 10 glastuinbouwbedrijven. Met uitzondering van de cursieve getallen (deze zijn absoluut) zijn alle waarden in de tabel relatief ten opzichte van de referentie.	58
17 Grondwateraanvulling en wegzijging ($\text{mm}\cdot\text{j}^{-1}$) voor Gt V, VI en VII in een agrarisch gebied zonder kassen (geohydrologische opbouw Centrale Slenk: afdekkend pakket $c=250$ d en watervoerend pakket $kD=1500$ $\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$).	62
18 Afname in grondwateraanvulling en wegzijging en verlagingen van grondwaterstanden door de bouw van één glastuinbouwbedrijf van 2 ha (regenwaterbassin 2000 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$). Resultaten zijn voor het bruto oppervlak van 4 ha.	62
19 Afname in grondwateraanvulling en wegzijging door de bouw van 1 kas (bassin 2000 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) en het treffen van compenserende maatregelen. Ook zijn verlagingen in grondwaterstanden aangegeven. Resultaten zijn voor het bruto oppervlak van 4 ha.	63
20 Veranderingen in wegzijging en grondwaterstanden in een strook van 150-250 m aangrenzend aan het gebied met kassen en daarnaast de afstand buiten het kassengebied waarop invloed van kassen merkbaar is (Gt V en bassin 2000 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$).	64
21 Afname in grondwateraanvulling en wegzijging door de bouw van 1 kas en bij de geohydrologische situaties uit de Centrale Slenk en Peelhorst. Ook zijn verlagingen in grondwaterstanden aangegeven. Resultaten zijn voor	

bruto oppervlak van 4 glastuinbouwbedrijven (Gt V en bassin 2000 mm·ha ⁻¹).	65
22 Waterbalansgegevens voor een teeltoppervlakte onder glas van 10 000 m ² (1,0 ha), een regenwaterbassin van 2000 m ³ en bij een teelt van paprika; totalen per jaar voor de periode 1971 t/m 1986, bij beheer van de watervoorraad in het bassin volgens variant A resp. B.	76
23 Waterbalansgegevens voor een teeltoppervlakte onder glas van 10 000 m ² (1,0 ha), een regenwaterbassin van 4000 m ³ en bij een teelt van paprika; totalen per jaar voor de periode 1971 t/m 1986, bij beheer van de watervoorraad in het bassin volgens variant A resp. B.	77
24 Waterbalansgegevens voor een teeltoppervlakte onder glas van 10 000 m ² (1,0 ha), een regenwaterbassin van 2000 m ³ en bij een teelt van paprika; totalen per decade voor 1982, bij beheer van de watervoorraad in het bassin volgens variant B.	78
25 Waterbalansgegevens voor een teeltoppervlakte onder glas van 10 000 m ² (1,0 ha), een regenwaterbassin van 4000 m ³ en bij een teelt van paprika; totalen per decade voor 1982, bij beheer van de watervoorraad in het bassin volgens variant B.	79
26 Waterbalans voor de onverzadigde en verzadigde zone voor 1 glastuinbouwbedrijf (+ = 0,1 < fluxen < 0,5 mm·j ⁻¹).	81
27 Gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstanden (GHG en GLG) voor 1 glastuinbouwbedrijf (* = 0,001 < standen < 0,005 m).	83
28 Waterbalans voor de onverzadigde en verzadigde zone voor 4 glastuinbouwbedrijven (+ = 0,1 < fluxen < 0,5 mm·j ⁻¹).	85
29 Gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstanden (GHG en GLG) voor 4 glastuinbouwbedrijven (* = 0,001 < standen < 0,005 m).	88
30 Waterbalans voor de onverzadigde en verzadigde zone voor 10 glastuinbouwbedrijven (+ = 0,1 < fluxen < 0,5 mm·j ⁻¹).	91
31 Gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstanden (GHG en GLG) voor 10 glastuinbouwbedrijven (* = 0,001 < standen < 0,005 m).	92

Figuren

1 Opzet berekeningen om de effecten van de vestiging van glastuinbouwbedrijven op de waterhuishouding te berekenen.	
a) Waterbalansmodel van een glastuinbouwbedrijf	
b) Regionaal grondwaterstromingsmodel toegepast op een situatie zonder kassen.	
c) Regionaal grondwaterstromingsmodel toegepast op een situatie met kassen, waarbij de lozing uit het bassin wordt berekend door het waterbalansmodel uit fig. 1a.	21
2 Waterstromen naar en vanuit het regenwaterbassin	24
3 Waterstromen naar, in en vanuit de kas	25
4 Verloop van de neerslag en van de lozingen van overtollig water voor glastuinbouwbedrijven met regenwaterbassins van 2000 resp. 4000 m ³ ·ha ⁻¹ , per decade voor de periode 1982 t/m 1986, bij waterbeheer volgens variant B.	30
5 Waterhuishouding in een deelgebied schematisch weergegeven (Querner & Van Bakel, 1989).	34

6	Schematische voorstelling van de waterhuishouding van een gebied en de grootheden die van belang zijn voor de ingreep-effectsimulaties (Querner, et al., 1994).	36
7	Netwerk van het modelgebied met 1 glastuinbouwbedrijf (inrichtingssituatie 1) met daarin aangegeven de indeling in deelgebieden en zones noodzakelijk voor de in- en uitvoer van SIMGRO.	39
8	Netwerk van het modelgebied met 4 glastuinbouwbedrijven (inrichtingssituatie 2) met daarin aangegeven de indeling in deelgebieden en zones noodzakelijk voor de in- en uitvoer van SIMGRO.	39
9	Netwerk van het modelgebied met 10 glastuinbouwbedrijven (inrichtingssituatie 3) met daarin aangegeven de indeling in deelgebieden en zones noodzakelijk voor de in- en uitvoer van SIMGRO.	40
10	Berekende grondwaterstanden van zone 1 voor drie grondwatertrappen bij een situatie zonder kassen en met kassen (weersgesteldheid 1984 en 1985).	48
11	Berekende grondwaterstanden van zone 1 bij een situatie zonder kassen en daarnaast met kassen (Gt V en bassin $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) en compenserende maatregelen (varianten a2, a3 en a4).	49
12	Relatie tussen de globale straling boven het kasdek en de wateropname door het gewas; gegevens voor een teelt van paprika in steenwol voor een glastuinbouwbedrijf nabij Helenaveen, voor het teeltseizoen 1993-1994.	70
13	Relatie tussen de temperatuur van de buitenlucht en het gasverbruik voor de kasverwarming; gegevens voor een teelt van paprika in steenwol voor een glastuinbouwbedrijf nabij Helenaveen, voor het teeltseizoen 1993-1994.	73

Woord vooraf

In 1994 hebben de Werkgroep Behoud de Peel en de Milieucoöperatie de Peel aan DLO-Staring Centrum opdracht verleend tot het uitvoeren van het project 'De invloed van glastuinbouw op de waterhuishouding'. Dit rapport is het verslag van de werkzaamheden, uitgevoerd door dr. Ph. Hamaker, ing. H.J. van de Braak en dr. E.P. Querner van DLO-Staring Centrum te Wageningen.

Het project is inhoudelijk begeleid door een werkgroep, met de volgende samenstelling:

ir. F.A.M. Helmich (voorzitter)	Provincie Noord-Brabant
J.M.J. van Dijck (secretaris)	Provincie Noord-Brabant
drs. J.K.T. Engels	Gemeente Deurne
drs. J.H.J. Joosten	Werkgroep Behoud de Peel
ing. A. Boer	Landbouwschap (namens Milieucoöperatie de Peel)
ing. J.J. Koot	DLV (namens Milieucoöperatie de Peel)
ing. P. van Kaathoven	Waterschap de Aa

Samenvatting

In het Peelgebied van Noord-Brabant en Limburg is de afgelopen jaren bij herhaling bezwaar gemaakt tegen de vestiging of uitbreiding van glastuinbouwbedrijven. De ontwikkeling van glastuinbouw zou tot ongewenste veranderingen in de waterhuishouding kunnen leiden. In de moderne glastuinbouw wordt het regenwater dat op de kassen neerkomt opgevangen in bassins om het als gietwater te gebruiken. Via zo'n bassin kan een groot deel van de neerslag worden benut. In perioden met veel neerslag zal na het vollopen van het bassin een deel van het regenwater alsnog naar het oppervlaktewater stromen. De toename van het verhard oppervlak bij de bouw van kassen in combinatie met het gebruik van regenwater als gietwater kan leiden tot een vermindering van de grondwateraanvulling¹ en tot dalende grondwaterstanden ter plaatse. In wegzijgingsgebieden wordt daardoor ook de stroming naar het diepere grondwater verminderd. Daardoor kan uiteindelijk de waterhuishouding van een groter gebied worden beïnvloed, zodat in gebieden met kwel deze stroming afneemt.

Doel van het onderzoek is om inzicht te verkrijgen in veranderingen in de waterhuishouding als gevolg van het vestigen of uitbreiden van glastuinbouwbedrijven. Hierbij gaat het om de effecten van vestiging of uitbreiding zonder en met compenserende maatregelen. Het onderzoek richt zich op het vaststellen van de veranderingen in de waterhuishouding ter plaatse van en in de omgeving van de bedrijven. Met name gaat het hierbij om veranderingen in grondwaterstanden en veranderingen in de voeding naar het diepere grondwater.

De methodiek is in deze studie toegepast op situaties zoals die zich kunnen voordoen in de omgeving van de Peelvenen.

Opzet van het onderzoek

Om de invloed van een glastuinbouwcomplex op de waterhuishouding te berekenen is gebruik gemaakt van:

- een waterbalansmodel voor het glastuinbouwbedrijf;
- het regionale grondwaterstromingsmodel SIMGRO.

Het waterbalansmodel berekent de verschillende aan- en afvoertermen van de waterbalans van een glastuinbouwbedrijf. Het model SIMGRO is toegepast op een situatie zonder en met kassen. Met behulp van dit model is het mogelijk om in 'voorbeeld'-gebieden een beeld te krijgen van de effecten van zo'n ingreep en van compenserende maatregelen op de waterhuishouding.

In het waterbalansmodel is een bedrijf gekarakteriseerd door de teeltoppervlakte onder glas, de grootte van het regenwaterbassin en het niveau van de gewasverdamping. Op

¹ Grondwateraanvulling is in dit onderzoek gedefinieerd als de hoeveelheid water ($\text{mm} \cdot \text{j}^{-1}$) die vanuit de onverzadigde zone aan de verzadigde zone wordt toegevoegd.

basis van de toevoer van regenwater naar het bassin en onttrekkingen eruit, berekent het model het verloop van de watervoorraad in het bassin. Lozingen op het oppervlaktewater vinden plaats, nadat het bassin geheel gevuld is. De resultaten van deze berekeningen zijn de randvoorwaarden (invoergegevens) voor de berekeningen met het grondwatermodel SIMGRO.

Om de effecten van waterhuishoudkundige ingrepen in een gebied te kunnen kwantificeren, is het regionale model SIMGRO toegepast. Gekozen is voor het model SIMGRO, omdat het een regionaal model is en de processen in de verzadigde zone, de onverzadigde zone en het oppervlaktewater geïntegreerd beschrijft. Het niet-stationaire karakter van dit model, waarbij de interactie tussen de hydrologische processen in grond- en oppervlaktewater van belang zijn, maakt het mogelijk de veranderingen binnen het hydrologisch systeem bij veranderende omstandigheden te beschrijven.

Varianten

Voor een inrichtingssituatie met 1, 4 en 10 glastuinbouwbedrijven is een aantal varianten geformuleerd, door het wijzigen van één of meer van de hydrologische of bodemkundige parameters. Er is gestreefd naar een zo goed mogelijke representativiteit van de situaties. Dit biedt de mogelijkheid om de resultaten van de modelberekeningen te gebruiken om de hydrologische invloeden van glastuinbouwvestiging onder verschillende omstandigheden in te schatten. Hierbij gaat het niet alleen om de invloed van de vestiging van bedrijven maar ook om de effecten van compenserende maatregelen. In overleg met de begeleidingsgroep zijn de varianten opgesteld, uitgaande van de gegevens uit het gebied rond de Peelvenen.

Om de effecten van de vestiging van glastuinbouw in een gebied te kwantificeren is gebruik gemaakt van een aantal referentiesituaties. Deze referentiesituaties geven de situatie weer waarin er geen kassen in het gebied aanwezig zijn. Het effect van de glastuinbouw blijkt dan bij het vergelijken van de resultaten van de varianten met de resultaten voor de desbetreffende referentiesituaties.

Uitgangspunten modelberekeningen

De uitgangspunten van de modelberekeningen zijn:

Glastuinbouwbedrijf. De teeltoppervlakte onder glas is 2 ha, bij een bruto oppervlak van 4 ha. Dit bruto oppervlak sluit een regenwaterbassin (2000 of $4000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) in en daarnaast de erfverharding, bedrijfsgebouwen, ontsluiting, enz. Gekozen is voor een bedrijf met een substraatteelt van paprika, met een waterbehoefte van ca $700 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$. De modelberekeningen hebben betrekking op de periode 1971 t/m 1986. Gemiddeld over de gehele periode van 16 jaren zijn de volgende gegevens afgeleid:

- bij een bassin van $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ wordt van de totale toevoer van regenwater en condenswater naar het bassin gemiddeld 67% benut als gietwater en 28% geloosd; de resterende 5% gaat verloren via open-waterverdamping;
- bij een bassin van $4000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ is de benutting 74%, de lozing 16% en de open-waterverdamping 10%.

Modelgebied. Het modelgebied is een fictief gebied dat is gekarakteriseerd op basis van gegevens ontleend aan eerdere studies van de omgeving van de Peelvenen.

Gebiedsomvang. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van twee netwerken met verschillende afmetingen. Voor situatie 1 (1 glastuinbouwbedrijf) en 2 (4 bedrijven) is een netwerk van $2 \times 2 \text{ km}^2$ gebruikt en voor situatie 3 (10 bedrijven) is een netwerk van $3 \times 3 \text{ km}^2$ gebruikt.

Geohydrologie. De geohydrologische opbouw van de ondergrond (verzadigde zone) is geschematiseerd als een afdekkend pakket met daaronder een watervoerend pakket. Er is gerekend met geohydrologische parameters die van toepassing zijn op de Centrale Slenk resp. de Peelhorst.

Randvoorwaarden. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de grondwatertrappen V, VI en VII (weersgesteldheid 1982 t/m 1986: neerslag $777 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$ en potentiële gewasverdamping $555 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$).

Varianten. De volgende compenserende maatregelen zijn doorgerekend: infiltreren overtollig water uit bassin, wateraanvoer en stuwpeil opzetten. Daarnaast zijn aanvullende varianten doorgerekend, waarbij het gaat om variaties in maaiveldhelling, geohydrologie en weersgesteldheid.

Conclusies

De conclusies hebben betrekking op de waterhuishoudkundige effecten van de vestiging van één of meer glastuinbouwbedrijven. De effecten zijn zichtbaar gemaakt door middel van een waterbalans van het onverzadigd en verzadigd grondwater, daarnaast door middel van grondwaterstanden (GHG en GLG). Resultaten uit dit onderzoek kunnen worden gebruikt voor de bepaling van de effecten van de glastuinbouw voor specifieke lokaties in de omgeving van de Peelvenen en andere (qua geohydrologie) vergelijkbare gebieden.

Invloed in het kassengebied

De conclusies uit dit onderzoek met betrekking tot de invloed van kassen in het kassengebied zelf zijn:

- De grondwatertrap heeft een belangrijke invloed op de waterbalans van het ondiepe grondwater. De grondwateraanvulling en de wegzijging nemen toe naar mate de grondwaterstanden dieper zijn.
- Door de bouw van kassen vermindert de grondwateraanvulling ter plaatse met circa $150\text{-}165 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$ (tabel 1). De afname in de wegzijging ($70\text{-}150 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$) hangt sterk af van de grondwatertrap. De verlaging van de GHG bedraagt voor de drie grondwatertrappen (Gt V, VI en VII) $0,17\text{-}0,19 \text{ m}$. De verandering van de GLG is gering (tabel 1).
- Het blijkt dat door de bouw van kassen vooral in de herfst en winter een verlaging van de grondwaterstand optreedt (fig. 10). Maatregelen om dit te compenseren moeten daarom op die periode betrekking hebben.

Invloed compenserende maatregelen

- Het laten infiltreren van het overtollige water uit het bassin is een goede maatregel om de veranderingen nagenoeg geheel te compenseren. Het effect van glastuinbouw op de wegzijging neemt af tot $1 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ bij Gt V en tot $47 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ bij Gt VII. De verlaging van de GHG voor deze twee grondwatertrappen blijft dan beperkt tot 0,06 m respectievelijk 0,07 m. Naar de technische haalbaarheid van het infiltreren van het overtollig water is niet gekeken.
- Water aanvoeren in de zomer heeft voor een grondwatertrap V nagenoeg geen effect om de veranderingen te compenseren. De veranderingen in de grondwateraanvulling, wegzijging en grondwaterstanden blijven nagenoeg gelijk aan de resultaten zonder wateraanvoer. Vanuit de grotere waterlopen (secundair systeem) is infiltratie van aangevoerd water alleen mogelijk. Door de beperkte aanwezigheid van deze sloten is de infiltratie gering.
- Het opzetten van stuwpeilen (in winterperiode 0,30 m omhoog tot zomer stand van 0,80 m-mv) heeft enig effect. Voor een grondwatertrap V loopt de afname in de wegzijging terug van 69 (tabel 1) tot $46 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$. Het gevolg is ook een afname in de verandering GHG (0,16 m i.p.v. 0,19 m).
- De invloed van het aantal bedrijven in het modelgebied op de berekende waterbalanstermen zijn niet erg groot. De waarden zijn slechts enkele $\text{mm}\cdot\text{j}^{-1}$ hoger dan de waarden bij één bedrijf. Voor de grondwaterstanden ter plaatse van de bedrijven zijn de veranderingen maximaal 0,03 m groter dan de verlagingen bij 1 bedrijf.

Tabel 1 Afname in grondwateraanvulling en wegzijging en verlagingen van grondwaterstanden door de bouw van één glastuinbouwbedrijf van 2 ha (regenwaterbassin $2000 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$). Resultaten zijn voor het bruto oppervlak van 4 ha (geohydrologische opbouw Centrale Slenk: $c=250 \text{ d}$ en $kD=1500 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$).

Grondwater-trap	Afname grondwater-aanvulling ($\text{mm}\cdot\text{j}^{-1}$)	Afname in wegzijging ($\text{mm}\cdot\text{j}^{-1}$)	Verlaging grondwaterstanden	
			GHG (m)	GLG (m)
V	148	69	0,19	-0,01
VI	153	115	0,17	0,01
VII	167	147	0,19	0,01

Invloed buiten het kassengebied

Door de aanwezigheid van een afdekkend pakket wordt de invloed van de glastuinbouw op de zone direct grenzend aan het gebied met kassen sterk gereduceerd (tabel 2). Veranderingen in de GHG zijn maximaal 0,02 m. In de waterbalans treden geen veranderingen in de grondwateraanvulling op en bedraagt de toename in de wegzijging maximaal $7 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$. De geringe toename in de wegzijging rond het gebied met kassen compenseert gedeeltelijk de afname in de wegzijging in het gebied met kassen. Bij 4 kassen is deze compensatie voor een Gt V 70%, voor een Gt VI is dit 40% en voor een Gt VII 25%. Het resterende deel van de invloed van de glastuinbouw geeft veranderingen buiten het modelgebied. Daardoor wordt de waterhuishouding van een groter gebied beïnvloed.

Veranderingen in wegzijging zijn merkbaar (verandering $> 0,1 \text{ mm}$) op een afstand van maximaal 500 tot 1000 m buiten het kassengebied (tabel 2). Voor grondwaterstanden

zijn veranderingen nog merkbaar op maximaal 100 tot 1000 m (verandering > 0,001 m).

Tabel 2 *Veranderingen in wegzijging en grondwaterstanden in een strook van 150-250 m grenzend aan het gebied met kassen en daarnaast de afstand buiten het kassen-gebied waarop invloed van kassen merkbaar is (Gt V en bassin 2000 m³·ha⁻¹).*

Aantal kassen	Strook 150-250 m		Invloed merkbaar op afstand **	
	Toename in wegzijging (mm·j ⁻¹)	Verlaging GHG (m)	T.a.v. wegzijging (m)	T.a.v. GHG (m)
1	1	*	500	100
4	4	0,01	700	400
10	7	0,02	1000	1000

* = 0,001 < GHG < 0,005 m

** = invloed groter dan 0,001 m of 0,1 mm·j⁻¹

Variaties in maaiveld en geohydrologie

Voor een inrichtingssituatie met 4 bedrijven zijn aanvullende varianten doorgerekend met variaties in maaiveld, geohydrologie en weersgesteldheid. De conclusies aan de hand van die resultaten zijn:

- De helling van het maaiveld heeft geen merkbare invloed op de waterhuishouding.
- De geohydrologische opbouw is van groot belang voor de effecten (zie tabel 21).

Aanbevelingen

In dit onderzoek is een beperkt aantal varianten doorgerekend. Om de effecten van de vestiging van glastuinbouw onder uiteenlopende omstandigheden te kunnen voorspellen zijn aanvullende berekeningen gewenst. Hierbij gaat het om berekeningen voor grondwatertrap III en IV en om aanvullende berekeningen bij wateraanvoer in combinatie met het opzetten van stuwpeilen en andere combinaties van compenserende maatregelen.

Een onderzoek uitvoeren naar de technische haalbaarheid van infiltratie van overtollig water uit het regenwaterbassin lijkt zinvol.

Voor de berekeningen in dit onderzoek zijn gegevens gebruikt uit de omgeving van de Peelvenen. Ook voor andere gebieden in de provincie kan met de gevolgde methode, maar met andere invoergegevens, de effecten van de glastuinbouw worden bepaald.

De effecten voor een specifiek gebied kunnen worden berekend door de resultaten uit dit onderzoek te combineren met gebiedsgegevens van grondwaterstanden en regionale grondwaterstromingen. Als gevolg van de bouw van kassen wordt de stroming naar het diepere grondwater verminderd. Daardoor kan uiteindelijk de waterhuishouding van een groter gebied beïnvloed worden, zodat in gebieden met kwel deze stroming afneemt. Met behulp van een twee-dimensionaal grondwaterstromingsmodel om stroomlijnen te berekenen, kan de lokatie waar deze kwel afneemt, worden bepaald.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling en kader

In het Peelgebied van Noord-Brabant en Limburg is de afgelopen jaren bij herhaling bezwaar gemaakt tegen de vestiging of uitbreiding van glastuinbouwbedrijven vanwege mogelijke ongewenste veranderingen in de waterhuishouding. De toename van het verhard oppervlak bij de bouw van kassen, al dan niet in combinatie met het gebruik van regenwater als gietwater, kan leiden tot een vermindering van de grondwateraanvulling en tot dalende grondwaterstanden ter plaatse. In wegzijgingsgebieden wordt daardoor ook de stroming naar het diepere grondwater verminderd. Daardoor kan uiteindelijk de waterhuishouding van een groter gebied beïnvloed worden, zodat in gebieden met kwel deze stroming afneemt.

In de moderne glastuinbouw wordt het regenwater dat op de kassen neerkomt opgevangen in bassins om het als gietwater te gebruiken. Via zo'n bassin kan een groot deel van de neerslag worden benut ten behoeve van de watervoorziening van het bedrijf. In perioden met veel neerslag zal na het vollopen van het bassin een deel van het regenwater alsnog naar het oppervlaktewater stromen.

De invloed van de glastuinbouw op de waterhuishouding zal afhankelijk zijn van een aantal factoren, waaronder:

- de oppervlakte die door de kassen in beslag wordt genomen;
- de grootte van de regenwaterbassins;
- de karakter van het gebied waar de vestiging plaats vindt, waarbij het gaat om de geohydrologische situatie, de maaiveldhelling, de grondwatertrap en het oppervlaktewaterstelsel.

1.2 Doel van het onderzoek

Doel van het onderzoek is om inzicht te verkrijgen in veranderingen in de waterhuishouding als gevolg van het vestigen of uitbreiden van glastuinbouwbedrijven. Hierbij gaat het om de effecten van vestiging of uitbreiding zonder en met compenserende maatregelen.

Het onderzoek richt zich op het vaststellen van de veranderingen in de waterhuishouding ter plaatse van en in de directe omgeving van de bedrijven. Met name gaat het hierbij om veranderingen in grondwaterstanden en veranderingen in de voeding naar het diepere grondwater.

1.3 Opzet van het onderzoek

Om de invloed van een glastuinbouwcomplex op de waterhuishouding te berekenen is gebruik gemaakt van:

- een waterbalansmodel voor het glastuinbouwbedrijf;
- het regionale grondwaterstromingsmodel SIMGRO.

Het waterbalansmodel berekent de verschillende posten van de waterbalans van een glastuinbouwbedrijf (fig. 1a). Het model SIMGRO is toegepast op een situatie zonder kassen (fig. 1b) en met kassen (fig. 1c). Met behulp van dit model is het mogelijk om een beeld te krijgen van de effecten van zo'n ingreep op de waterhuishouding en eventueel compenserende maatregelen.

Voor het waterbalansmodel wordt een bedrijf gekarakteriseerd door de teeltoppervlakte onder glas, de grootte van het regenwaterbassin en het niveau van de gewasverdamping (fig. 1a). Op basis van de toevoer van regenwater naar het bassin en onttrekkingen eruit berekent het model op dagbasis het verloop van de watervoorraad in het bassin. Lozingen op het oppervlaktewater vinden plaats, nadat het bassin geheel gevuld is. De resultaten van deze berekeningen zijn de randvoorwaarden (invoergegevens) voor de berekeningen met het grondwatermodel (fig. 1c).

De berekeningen met het model SIMGRO hebben betrekking op een fictief (denkbeeldig) gebied met centraal daarin gelegen de glastuinbouw. Het gebied wordt gekarakteriseerd op basis van de volgende gebiedsparameters:

- maaiveldverloop;
- bodemgebruik buiten de glastuinbouwvestigingen;
- bodemtype;
- bodemfysische en geo-hydrologische parameters;
- grondwatertrap;
- oppervlaktewatersysteem;

Het model SIMGRO is toegepast op een situatie zonder kassen (fig. 1b) en op drie inrichtingssituaties met glastuinbouw (fig. 1c), die onderling verschillen wat betreft het aantal bedrijven en de oppervlakte die daardoor wordt ingenomen. Aannames omtrent bodem en waterhuishouding zijn gebaseerd op gegevens voor het gebied rond de Peelvenen.

Met het model SIMGRO worden allereerst berekeningen uitgevoerd voor het gebied zonder het glastuinbouwbedrijf (of bedrijven). Met deze berekeningen, aangeduid als de referentiesituaties, worden alle andere varianten vergeleken. Het verschil tussen de referentiesituaties en de andere varianten geeft de veranderingen in grondwaterstanden, drainage en kwel/wegzijging t.g.v. de vestiging van glastuinbouwbedrijven.

Per inrichtingssituatie is een aantal varianten geformuleerd, door het wijzigen van één of meer gebiedsparameters. Er is gestreefd naar een zo goed mogelijke representativiteit van deze parameters. Dit biedt de mogelijkheid om de resultaten van de modelberekeningen te gebruiken om effecten (invloeden) van glastuinbouwvestiging onder verschillende omstandigheden in te schatten.

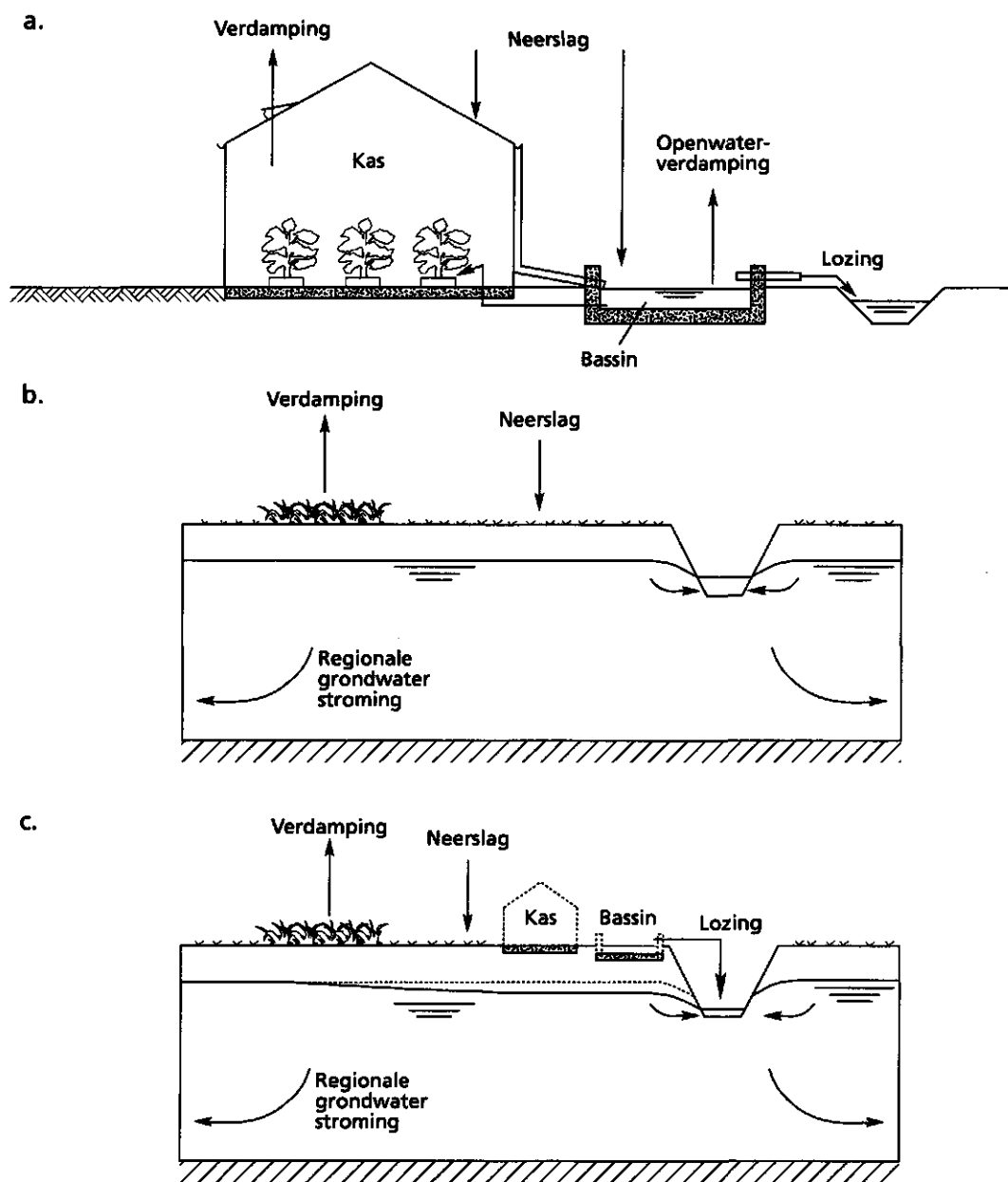


Fig. 1 Opzet berekeningen om de effecten van de vestiging van glastuinbouwbedrijven op de waterhuishouding te berekenen.

- Waterbalansmodel van een glastuinbouwbedrijf
- Regionaal grondwaterstromingsmodel toegepast op een situatie zonder kassen.
- Regionaal grondwaterstromingsmodel toegepast op een situatie met kassen, waarbij de lozing uit het bassin wordt berekend door het waterbalansmodel uit fig. 1a.

1.4 Leeswijzer

De modelmatige benadering van de waterhuishouding van glastuinbouwbedrijven en de resultaten daarvan zijn beschreven in hoofdstuk 2.

In hoofdstuk 3 wordt het model SIMGRO beschreven. In paragraaf 3.2 t/m 3.4 is een korte beschrijving gegeven van de hydrologische componenten uit het model. In paragraaf 3.5 is aangegeven hoe de berekeningsresultaten worden gepresenteerd. Het gaat met name om de verandering in grondwateraanvulling, grondwaterstanden en kwel/wegzijing.

Hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van de referentiesituatie zonder glastuinbouw en de drie inrichtingssituaties met kassen. In paragraaf 4.2 zijn de inrichtingssituaties omschreven en de schematisering van de modelgebieden. In paragraaf 4.3 zijn de parameters voor de SIMGRO berekeningen aangegeven t.a.v. de verzadigde zone, de onverzadigde zone en het oppervlaktewater. In paragraaf 4.4 zijn per variant alle parameters van de berekeningen opgenomen.

In hoofdstuk 5 zijn de resultaten van de SIMGRO berekeningen verwerkt. Voor de drie inrichtingssituaties zijn de veranderingen in de (ondiepe) grondwaterstroming en grondwaterstanden in paragraaf 5.2 t/m 5.4 weergegeven. In paragraaf 5.5 zijn de resultaten van de drie inrichtingssituaties onderling vergeleken. Daarnaast zijn in aanhangsels 2 t/m 4 de resultaten van alle berekeningen weergegeven.

Tot slot zijn in hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen opgenomen.

2 Waterhuishouding glastuinbouwbedrijven: invloed van bassins op afvoer van regenwater naar oppervlaktewater

2.1 Uitgangspunten

Dit hoofdstuk gaat over de modelmatige beschrijving van de waterhuishouding van glastuinbouwbedrijven en op de berekeningen die met het model zijn uitgevoerd. De beschrijving blijft hier beperkt tot de grote lijnen. Voor details wordt verwezen naar aanhangsel 1.

Het simulatiemodel gaat uit van een glastuinbouwbedrijf met een teeltoppervlakte onder glas van 10 000 m². Het bedrijf heeft al dan niet een bassin voor het opslaan van regenwater, afkomstig vanaf het kasdek. In perioden met een tekort aan regenwater wordt aanvullend water uit andere bron betrokken. In het betreffende gebied gaat het om grondwater of drinkwater. Dat water is verder aangeduid als ander water.

Het model rekent met tijdstappen van één dag en kwantificeert per dag alle relevante posten van de waterbalans. In dit onderzoek gaat het in het bijzonder om de invloed van het regenwaterbassin op de hoeveelheden regenwater die alsnog tot afvoer komen bij het volraken en overlopen van het bassin.

Er is uitgegaan van een modelbedrijf dat representatief is voor de glastuinbouw in het betreffende gebied. Aspecten die daarbij ingevuld moeten worden zijn:

- het gewas;
- de teeltmethode;
- de grootte van het regenwaterbassin.

De keuze is gemaakt voor een bedrijf met een substraatteelt van paprika, met hergebruik van drainagewater (toepassing van recirculatie). Paprika is een belangrijke teelt in het gebied. De gewastranspiratie voor paprika ligt in een normaal jaar bij een normale teeltduur op een niveau van ca. 700 mm. Dat niveau ligt tussen de uitersten van 500 en 800 mm die in de glastuinbouw voorkomen. Op basis van het Lozingenbesluit WVO Glastuinbouw (RWS, 1994) is het toepassen van hergebruik bij substraatteelten verplicht. Dat geldt ook voor het opvangen en gebruiken van regenwater. Het Lozingenbesluit gaat uit van een bassin of silo met een capaciteit van *ten minste* 500 m³·ha⁻¹ glas. Voor de glastuinbouw in het westen van Nederland is ruimtegebrek vaak de beperkende factor als het gaat om de grootte van het aan te leggen bassin. Dat aspect speelt hier veel minder. Daarom is in overleg met de begeleidingsgroep besloten uit te gaan van modelbedrijven met bassins van 2000 respectievelijk 4000 m³·ha⁻¹.

De modelberekeningen hebben betrekking op de periode 1971 t/m 1986. Er is gebruik gemaakt van neerslaggegevens van het station Someren en van stralings- en temperatuurgegevens van het station Eindhoven. De noodzakelijke bedrijfs- en teeltgegevens voor het vaststellen van modelparameters zijn deels verkregen via de bereidwillige medewerking van een paprikateler uit de omgeving van Helenaveen.

2.2 Waterstromen met betrekking tot bassin en kas

In figuur 2 en 3 zijn de relevante waterstromen aangegeven. Figuur 2 illustreert de waterstromen naar en vanuit het regenwaterbassin, figuur 3 illustreert de waterstromen in de kas.

De waterstromen in figuur 2 zijn:

- Q_n = toevoer van regenwater vanaf het kasdek en direct in het bassin;
- Q_c = toevoer van condenswater;
- Q_o = afvoer via directe verdamping vanuit het bassin;
- Q_l = lozing van overtollig regenwater bij het volraken en overlopen van het bassin;
- Q_{rw} = onttrekking van regenwater voor de watervoorziening van het gewas;
- Q_{aw} = verbruik van ander water voor de watervoorziening van het gewas;
- V = totale waterverbruik voor de voorziening van het gewas;
- B = berging van water in het bassin.

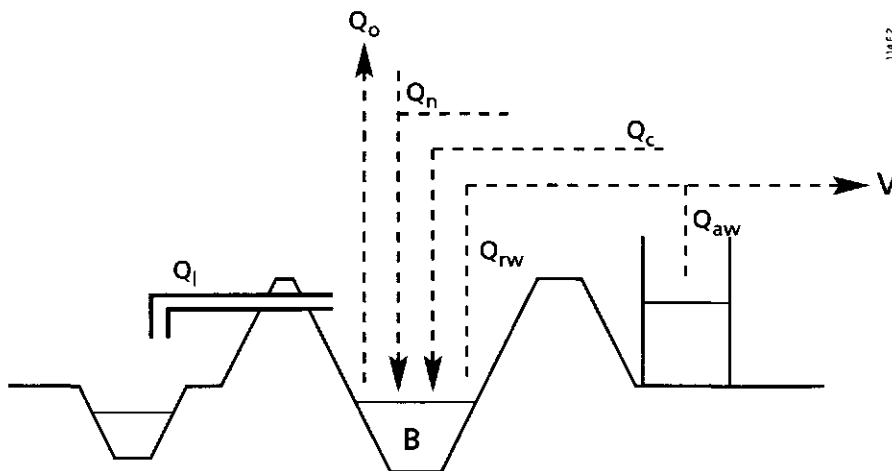


Fig. 2 Waterstromen naar en vanuit het regenwaterbassin

De waterstromen in figuur 3 zijn:

- G = watergift aan het gewas;
- T = opname van water door het gewas;
- T^* = gewastranspiratie;
- D = drainage (drain) vanuit het wortelmilieu;
- R = retourstroom;
- A = afvoer (spui).

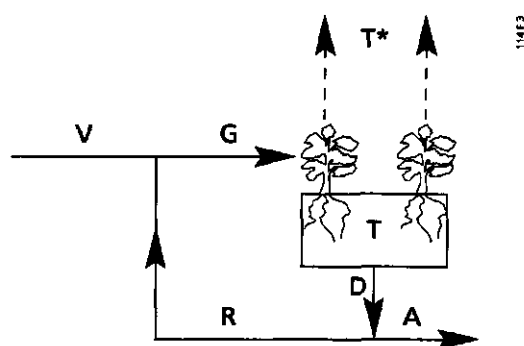


Fig. 3 Waterstromen naar, in en vanuit de kas

Alle waterstromen worden uitgedrukt in $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \text{ glas}$ ($10,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ komt overeen met $1,0 \text{ mm}$ water). Het is belangrijk voor ogen te houden dat de *totale* oppervlakte waarop de berekeningen betrekking hebben gelijk is aan de som van de glasoppervlakte ($1,0 \text{ ha}$) en de oppervlakte die door het bassin wordt ingenomen: ca. $0,12 \text{ ha}$ voor het bassin met een capaciteit van 2000 m^3 en ca. $0,20 \text{ ha}$ voor het bassin van 4000 m^3 .

Van de wateropname T wordt 90 à 95% verbruikt voor de gewastranspiratie T^* , de resterende 5 à 10% wordt vastgelegd in de verse massa van het gewas. De toevoer Q_c heeft twee componenten: het gaat om de condensatie tegen de binnenzijde van de kas en om het condenswater dat ontstaat door het koelen van rookgassen via de rookgascondensor.

De retourstroom R in figuur 3 houdt in dat is uitgegaan van hergebruik (recirculatie) van drainagewater voor zover de omstandigheden dat toelaten. De concentratie aan natrium (Na^+) in het gietwater is daarbij bepalend. Volledig hergebruik ($A = 0$, $V = T$, $R = D$) is alleen mogelijk zolang de toevoer van Na^+ via het gietwater in evenwicht blijft met de opname van Na^+ door het gewas. Als die toevoer groter is dan de opname neemt de concentratie in het wortelmilieu geleidelijk toe tot een niveau dat schadelijk is voor het gewas. In dat geval zal de tuinder maatregelen nemen die er op neer komen dat een deel van het waterverbruik V wordt afgevoerd als afvoerstroom A (dus $V > T$ en $A > 0$). Er is aangenomen dat voor zover $A > 0$ de afvoer plaats vindt op het riool, in overeenstemming met eerder genoemd Lozingenbesluit WVO Glastuinbouw.

Voor de waterstromen in figuur 2 en 3 gelden de volgende relaties:

$$B_{i+1} - B_i = Q_n + Q_c - Q_o - Q_{rw} - Q_l \quad (1)$$

$$V = T + A \quad (2)$$

De indices $(i+1)$ en i slaan op het einde en begin van de desbetreffende dagtijdstep. Het waterverbruik V , ook te zien als de waterbehoefte, is de schakel tussen figuur 2 en 3 omdat:

$$V = Q_{rw} + Q_{aw} \quad (3)$$

Voor het recirculeren (hergebruikcircuit) geldt de relatie:

$$G = T + D \quad (4)$$

De circulatiesnelheid, dat wil zeggen, de grootte van G en D in verhouding tot T , wordt volledig door de tuinder bepaald via de watergift G . Er is aangenomen dat G is geoptimaliseerd zodat de wateropname T steeds ongestoord kan plaatsvinden. Onder die omstandigheden spelen de grootheden G en D geen rol in de modelberekeningen.

2.3 Kwantificeren van de waterhuishouding van het glastuinbouwbedrijf

2.3.1 Wateropname gewas, afvoer drainagewater, toevoer van regen- en condenswater, afvoer via open-waterverdamping

In eerste instantie worden voor de desbetreffende dagtimestep de grootheden berekend die onafhankelijk van elkaar en van de andere posten van de waterbalans zijn. Het gaat om T , A , Q_n , Q_c en Q_o :

- de wateropname T wordt berekend op basis van de globale straling, via de lineaire relatie die hiervoor is afgeleid uit gegevens voor het teeltseizoen 1993-1994 voor het paprikabedrijf nabij Helenaveen (aanhangel 1);
- de afvoer A wordt berekend die nodig is om de Na-concentratie beneden het niveau te houden waarbij schade aan het gewas optreedt; daarbij wordt, afhankelijk van de beschikbare regenwatervoorraad, uitgegaan van het gebruiken van of alleen regenwater, of alleen ander water of regenwater en ander water gemengd in de verhouding 1:1 (par. 2.3.2);
- de toevoer Q_n van regenwater naar het bassin wordt berekend op basis van neerslaggegevens, uitgaande van een kasdek van 10 000 m², vermeerderd met de open wateroppervlakte in het bassin;
- de toevoer Q_c van condenswater wordt berekend op basis van het aardgasverbruik, via de relatie tussen het aardgasverbruik en de temperatuur die is afgeleid uit gegevens voor het teeltseizoen 1993-1994 voor het paprikabedrijf nabij Helenaveen (aanhangel 1);
- de onttrekking Q_o via directe open-waterverdamping vanuit het bassin wordt berekend op basis van de globale straling en temperatuur, volgens Makkink (CHO-TNO, 1988).

Hierbij wordt opgemerkt dat:

- bij het berekenen van Q_n geen rekening is gehouden met verliezen door directe verdamping vanaf het kasdek;
- bij het berekenen van Q_c de bijdrage van de condensatie tegen de binnenzijde van kas niet is meegenomen.

Het kwantificeren van deze twee posten was niet goed mogelijk vanwege het ontbreken van gegevens. Het gaat hierbij overigens om posten die in de totale waterbalans van ondergeschikt belang zijn.

2.3.2 Verbruik van regenwater en ander water: beheervarianten

Het berekenen van het dekken van de waterbehoefte met regenwater en/of ander water vereist het definiëren van een beheerstrategie van de regenwatervoorraad. Een strategie beschrijft de manier waarop de tuinder omgaat met de beschikbare voorraad regenwater. Elke tuinder zal dit op zijn eigen manier doen. In het kader van dit onderzoek zijn twee mogelijkheden, verder aangeduid als variant A en variant B, overwogen. Volgens variant A wordt de bruikbare regenwatervoorraad steeds volledig verbruikt alvorens over te schakelen op ander water. Beheer volgens deze variant is eenvoudig te modelleren en leidt tot het maximaal benutten van regenwater en tot het minimaliseren van de lozingen van overtollig water op het oppervlaktewater.

Teeltkundige overwegingen leiden in de praktijk vaak tot een aangepast beheer. Variant B poogt dat te beschrijven in een vorm die zich voor modelberekeningen leent. Deze variant houdt in dat, afhankelijk van de beschikbare regenwatervoorraad en de tijd van het jaar, òf alleen regenwater òf alleen ander water òf regenwater en ander water gemengd in de verhouding 1:1 wordt gebruikt. De volgende globale omschrijving is gebaseerd op de situatie in een normaal jaar, dat wil zeggen, een jaar waarin er sprake is van een neerslagoverschot in het winterhalfjaar dat geleidelijk overgaat in een verdampingsoverschot in het zomerhalfjaar (zie ook aanhangsel 1):

- in de winter- en voorjaarsperiode wordt uitsluitend regenwater gebruikt totdat een vastgestelde regenwatervoorraad in het bassin wordt *onderschreden*;
- in de daarop volgende voorjaars- en zomerperiode worden regenwater en ander water, gemengd in de verhouding 1:1, gebruikt totdat de bruikbare regenwatervoorraad geheel is uitgeput;
- in het daaropvolgende deel van de zomerperiode wordt uitsluitend ander water gebruikt, tenzij of totdat een vastgestelde regenwatervoorraad weer wordt *overschreden*; in dat geval wordt weer overgegaan op gebruik van regenwater en ander water gemengd in de verhouding 1:1;
- ná 1 september wordt uitsluitend regenwater gebruikt zodra de regenwatervoorraad is toegenomen tot $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

Bij het berekenen van de bruikbare regenwatervoorraad wordt, wanneer de voorraad uitgeput begint te raken, rekening gehouden met een niet bruikbare resthoeveelheid in het bassin. Die resthoeveelheid is gesteld op 10% van de bruto inhoud bij volledig gevuld bassin.

Uiteraard zal het beheer in realiteit beïnvloed worden door het type jaar (nat of droog) en nooit precies volgens de strakke regels van variant B verlopen. Toch mag worden aangenomen dat beheer volgens variant B meer realistisch is dan beheer volgens variant A. De berekeningen met het model SIMGRO zijn daarom alléén uitgevoerd met de resultaten van berekeningen volgens variant B.

2.3.3 Watervoorraad in bassin en lozing van overtollig water

Na het berekenen van V , A , Q_n , Q_c , Q_o , Q_{rw} en Q_{aw} volgt het berekenen van de waterbalans, resulterend in het kwantificeren van Q_l en B_{i+1} voor de desbetreffende dag. Als eerste stap wordt de *voorlopige* bassinvoorraad B_{i+1}^* aan het einde van de dagtijdstap berekend volgens:

$$B_{i+1}^* = B_i + Q_n + Q_c - Q_o - Q_{rw} \quad (5)$$

Er zijn twee mogelijkheden:

- $B_{i+1}^* \leq B_{\max}$: er is voldoende ruimte om de toevoer Q_n en Q_c volledig te in het bassin te bergen zodat:

$$Q_l = 0$$

$$B_{i+1} = B_{i+1}^*$$

- $B_{i+1}^* \geq B_{\max}$: het bassin raakt volledig gevuld en loopt over waarbij:

$$Q_l = B_{i+1}^* - B_{\max}$$

$$B_{i+1} = B_{\max}$$

Met de berekening van de *definitieve* bassinvoorraad B_{i+1} is de berekening voor tijdstap i voltooid. De bassinvoorraad B_{i+1} wordt vervolgens de bassinvoorraad aan de begin van de volgende tijdstap, enz.

2.4 Uitgevoerde berekeningen

Volledigheidshalve volgt hier nogmaals een overzicht van de aspecten die in de berekeningen aan bod zijn gekomen:

- Teelt: paprika;
- Bassingrootte: 2000 en 4000 m³·ha⁻¹ glas;
- Waterbeheer: varianten A en B;
- Weersgegevens:
 - . neerslag: station Someren;
 - . straling: station Eindhoven;
 - . temperatuur: station Eindhoven;
- Periode: jaren 1971 t/m 1986.

Het doorrekenen van de verschillende combinaties van teelten (1x), bassins (2x) en waterbeheervarianten (2x) leidt tot vier afzonderlijke berekeningen. In de SIMGRO-berekeningen zijn uiteindelijk alléén de resultaten voor beheervariant B, met bassins van 2000 en 4000 m³·ha⁻¹, gebruikt.

Alle berekeningen zijn uitgevoerd met tijdstappen van een dag. De jaren 1971 t/m 1986 zijn daarbij niet afzonderlijk maar als één doorlopende reeks doorgerekend. Dit houdt in dat de regenwatervoorraad aan het einde van jaar j is genomen als de voorraad aan het begin van jaar $(j+1)$. Voor de beginsituatie (1 januari 1971) is in alle gevallen

uitgegaan van een volledig gevuld bassin.

Bij het rekenen worden per dag alle grootheden van de waterbalans volgens relatie (1) gekwantificeerd. Voor de berekeningen met het SIMGRO-model gaat het in feite alléén om de lozingen Q_1 . De berekende Q_1 -waarden op dagbasis zijn daartoe weggeschreven naar bestanden waaruit het SIMGRO-model haar invoergegevens betreft. Met het oog op de overzichtelijkheid van deze rapportage zijn berekende waterhoeveelheden op dagbasis gesommeerd tot decade- en jaartotalen.

2.5 Resultaten

Resultaten van de berekeningen voor het glastuinbouwbedrijf met een bassin van 2000 respectievelijk 4000 m³·ha⁻¹ en waterbeheer volgens variant B zijn verwerkt in figuur 4 en opgenomen in tabel 3. Voor meer gedetailleerde resultaten wordt verwezen naar de tabellen in aanhangsel 1.

Figuur 4a betreft de neerslag per decade en is bedoeld als vergelijkingsbasis voor de lozingen Q_1 bij bassins van 2000 en 4000 m³·ha⁻¹ volgens figuur 4b en 4c. De invloed van het bassin komt in figuur 4 heel duidelijk tot uiting. Het blijkt dat de lozingen vanuit het bassin in de periode 1982 t/m 1986 vrijwel geheel beperkt blijven tot het winterhalfjaar. Dit betekent dat een groot deel van de neerslag als gietwater wordt benut. Figuur 4 laat geen conclusies toe over hoeveelheden regenwater die bijdragen tot de voeding van het grondwater in situaties met en zonder bassin. Figuur 4a slaat immers op de neerslag, niet op het neerslagoverschot.

Blijkens figuur 4 nemen de pieklozingen aan het begin van 1984 en 1986 iets toe met de grootte van het bassin. Die toename hangt samen met de oppervlakte die door het open water in het bassin wordt ingenomen: ca. 0,07 ha bij een bassin van 2000 m³·ha⁻¹ en 0,14 ha bij een bassin van 4000 m³·ha⁻¹. Dat is van invloed op de neerslag die direct in het bassin valt.

Tabel 3 bestrijkt de gehele periode 1971 t/m 1986. Bij het bassin van 2000 m³·ha⁻¹ loopt Q_1 uiteen van minimaal ca. 200 tot maximaal 5000 m³·ha⁻¹. Bij het bassin van 4000 m³·ha⁻¹ zijn er zelfs twee jaren waarin helemaal geen lozing van overtollig water plaatsvindt. Daar tegenover staat het jaar 1974 met een lozing van bijna 2500 m³·ha⁻¹.

Gemiddeld over de gehele periode van 16 jaren zijn uit de tabel de volgende gegevens afgeleid:

- de bijdrage door condenswater via het koelen van de rookgassen bedraagt gemiddeld meer dan 600 m³·ha⁻¹, dat wil zeggen, ca. 60 mm;
- bij een bassin van 2000 m³·ha⁻¹ wordt van de totale toevoer naar het bassin ($Q_n + Q_c$) gemiddeld 67% benut als gietwater en 28% geloosd; de resterende 5% gaat verloren via open-waterverdamping;
- bij een bassin van 4000 m³·ha⁻¹ is de benutting 74%, de lozing 16% en de open-waterverdamping 10%.

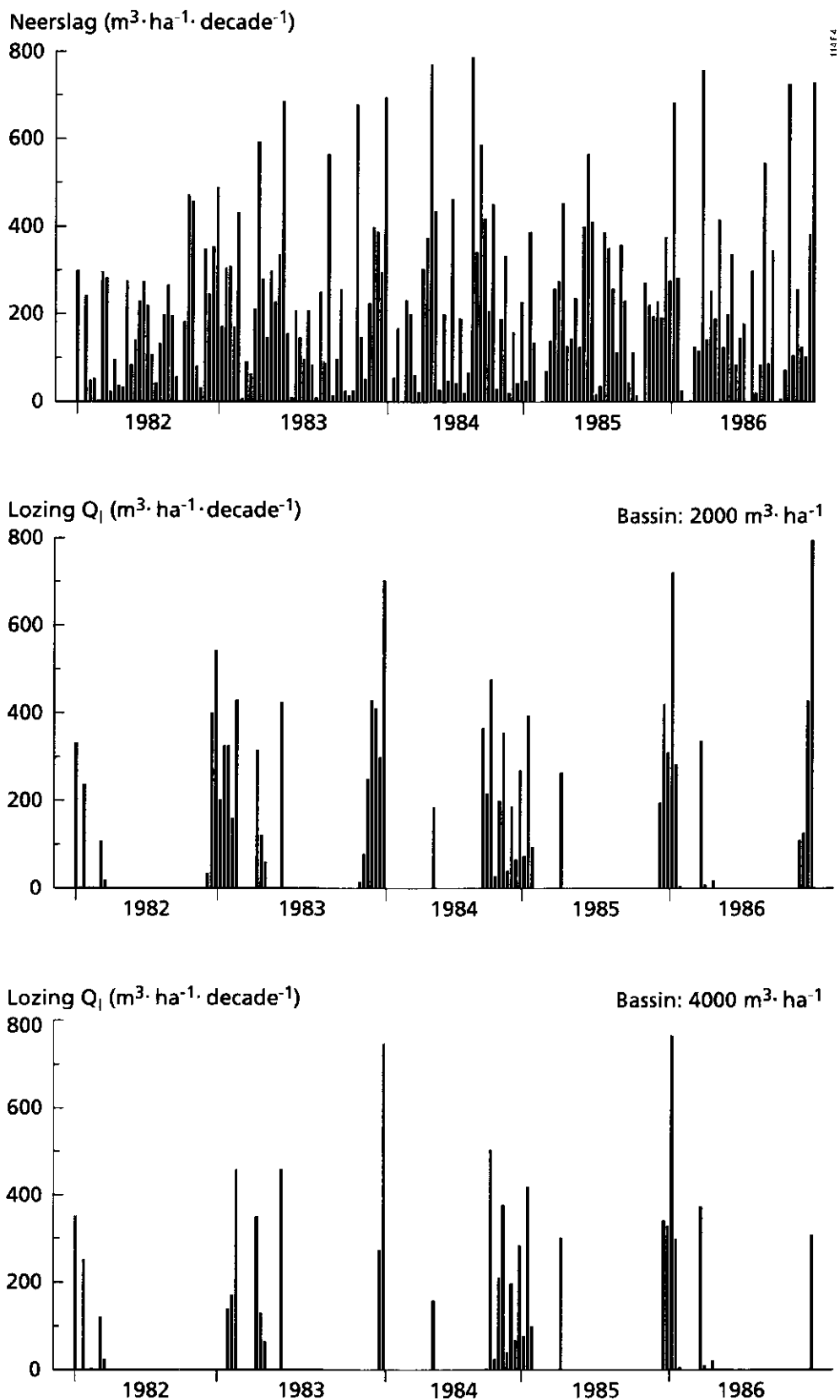


Fig. 4 Verloop van de neerslag en van de lozingen van overtollig water voor glastuinbouwbedrijven met regenwaterbassins van 2000 resp. $4000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, per decade voor de periode 1982 t/m 1986, bij waterbeheer volgens variant B.

Waar het gaat om vraag naar de invloed van de glastuinbouw op de voeding van het grondwatersysteem is het van belang hoe de lozingen Q_1 bij bassins van 2000 en 4000 $m^3 \cdot ha^{-1}$ zich verhouden tot het neerslagoverschot over eenzelfde oppervlakte zonder glastuinbouwbedrijf. Dat aspect komt in de volgende hoofdstukken aan de orde.

Tabel 3 Toevoer van regenwater (Q_n) en condenswater (Q_c) naar het bassin, onttrekking van regenwater voor het gewas (Q_{rw}) en lozing van overtollig water bij volledig gevuld bassin (Q_1); totalen op jaarbasis voor de periode 1971 t/m 1986 bij waterbeheer volgens variant B (resultaten in $m^3 \cdot ha^{-1}$).

Jaar	Bassin: 2000 $m^3 \cdot ha^{-1}$				Bassin: 4000 $m^3 \cdot ha^{-1}$			
	Q_n	Q_c	Q_{rw}	Q_1	Q_n	Q_c	Q_{rw}	Q_1
1971	6491	618	6062	860	6896	618	6925	932
1972	6815	636	6578	211	7241	636	6578	0
1973	6891	623	5343	1716	7321	623	6962	276
1974	9950	580	5352	4748	10572	580	6875	2473
1975	6190	596	5280	1172	6577	596	6959	1264
1976	5797	616	4002	1761	6160	616	4762	0
1977	8917	600	5976	3146	9475	600	6427	1853
1978	7222	647	5484	1998	7674	647	6363	1446
1979	7904	680	5594	2599	8398	680	6378	1749
1980	8037	631	5816	2430	8540	631	6722	1508
1981	9171	635	5630	3780	9744	635	6423	3164
1982	6915	615	5177	1887	7347	615	6823	761
1983	8026	592	5651	2512	8527	592	6818	1779
1984	9641	635	5904	3971	10243	635	6524	2612
1985	7918	665	6442	1715	8413	665	6699	1528
1986	8783	658	5856	3137	9332	658	6976	2119
Gemidd.	7792	627	5634	2353	8279	627	6576	1466

3 Beschrijving van het model SIMGRO

3.1 Algemeen

Om de effecten van waterhuishoudkundige ingrepen in een gebied te kwantificeren, is het regionale model SIMGRO ontwikkeld. SIMGRO beschrijft de stroming in de verzadigde zone, de onverzadigde zone en het oppervlaktewater (Querner & Van Bakel, 1989). In figuur 5 is een schematisch beeld gegeven van het model. Het niet-stationaire karakter van dit model, waarbij de interacties tussen de hydrologische processen in grond- en oppervlaktewater van belang zijn, maakt het mogelijk de veranderingen binnen het hydrologisch systeem ten gevolge van veranderende omstandigheden te beschrijven.

3.2 Verzadigde en onverzadigde zone

Voor het beschrijven van de grondwaterbeweging in de verzadigde zone is een schematisatie toegepast in watervoerende en weerstandbiedende lagen (fig. 5). Het modelgebied wordt verder opgedeeld in een aantal eindige elementen met knooppunten. In een watervoerende laag treedt horizontale stroming op en in een weerstandbiedende laag alleen verticale stroming. Op deze wijze wordt de verzadigde grondwaterstroming quasi-dimensionaal beschreven. De berekening van de onverzadigde grondwaterstroming vindt plaats per bodemgebruiksvorm en per deelgebied. Elk deelgebied, waarvan de waterhuishouding is weergegeven in figuur 5, is een deelverzameling van knooppunten uit het eindige elementen netwerk.

Voor de berekening van het vochttransport in de onverzadigde zone worden twee reservoirs gemodelleerd, één voor de wortelzone en één voor de ondergrond. Hierbij is de ondergrond gedefinieerd als het profiel tussen wortelzone en freatisch vlak volgens het schema in figuur 5. De beschouwde wortelzone heeft een vochtbergend vermogen dat wordt bepaald door de dikte en de vocht karakteristiek van het bodemmateriaal; neerslag, beregening, evapotranspiratie, capillaire flux en percolatie leiden tot toevoeging aan of onttrekking uit dit systeem. Als de vochtvoorraad in de wortelzone behorende bij het evenwichtsprofiel wordt overschreden, zal het overtollige vocht als percolatie naar de ondergrond gaan. Dit is de grondwateraanvulling voor de verzadigde zone. Als er minder vocht dan behorende bij het evenwichtsprofiel in de wortelzone aanwezig is, zal er een capillaire flux optreden.

De capillaire flux is afhankelijk van de bodemfysische eigenschappen van de bodem, de grondwaterstandsdiepte en de dikte van de wortelzone. De maximale vochtinhoud van de wortelzone is afhankelijk van dezelfde factoren. Met de percolatie of capillaire flux in de onverzadigde zone rekent het model in de bovenste laag van het verzadigde deel een verandering van de grondwaterstand uit, die afhankelijk is van de freatische bergingscoëfficiënt. Het vochttransport in de onverzadigde zone wordt op een pseudo-stationaire wijze benaderd, dat wil zeggen volgens een opeenvolging van stationaire

situaties. Voor het berekenen van de onverzadigde grondwaterstroming kunnen per deelgebied verschillende bodemgebruiksvormen worden ingevoerd.

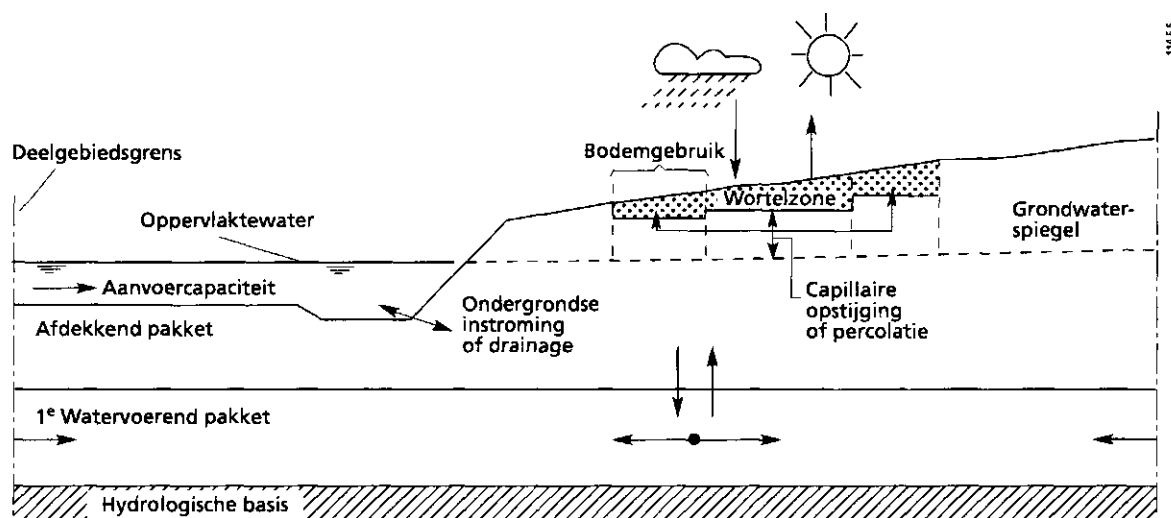


Fig. 5 Waterhuishouding in een deelgebied schematisch weergegeven (Querner & Van Bakel, 1989).

3.3 Verdamping

Invoer voor het model van de onverzadigde zone is aan de bovenkant neerslag en potentiële verdamping. De verdamping van gras wordt met behulp van de Makkink formule berekend (gras-referentieverdamping). Voor de andere gewassen wordt de potentiële verdamping berekend met behulp van gewasfactoren (Hooghart, 1987 en Feddes, 1987). De actuele verdamping (evapotranspiratie) hangt af van de vochtvoorraad in de wortelzone (Querner & Van Bakel, 1989). Buiten het groeiseizoen van een gewas rekent het model alleen met een bodemverdamping. Deze verdamping is berekend op basis van het concept van Boesten en Stroosnijder (1986). De vochttoestand van het bovenste laagje grond bepaalt deze verdamping. Deze vochttoestand hangt af van de neerslag in de voorafgaande periode.

Voor bos wordt de potentiële verdamping berekend volgens de Ad Hoc Groep Verdamping (1984). Hierbij wordt rekening gehouden met de interceptie van neerslag op de bladeren. Dit wordt modelmatig geschematiseerd als een reservoir waarvan de grootte verschilt in zomer en winter. Dit interceptiewater verdampt weer en is zodoende onderdeel van de potentiële verdamping voor bossen.

3.4 Oppervlaktewater

Het oppervlaktewater binnen een deelgebied, in werkelijkheid een groot aantal leidingen, wordt gemodelleerd als één reservoir. De oppervlaktewateren van de deelgebieden zijn onderling gekoppeld, zodat er onderlinge beïnvloeding mogelijk is. Er wordt per deelgebied rekening gehouden met aan- of afvoer van oppervlaktewater, drainage of infiltratie, oppervlakkige afstroming en onttrekking voor beregening. Voor elk reservoir moet in het model een relatie opgegeven worden tussen oppervlaktewaterpeilen en de daarbij behorende berging en afvoercapaciteit. Bovendien is een streefpeil voor de zomer periode nodig.

Voor het berekenen van de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater zijn in het algemeen drie typen ontwateringsmiddelen te onderscheiden, nl. greppels, sloten (tertiair systeem) en de grotere sloten (secundair systeem). Van deze ontwateringsmiddelen is verondersteld dat ze in het model egaal verdeeld aanwezig zijn per knooppunt van het elementennetwerk ofwel per deelgebied. Voor elk van deze systemen wordt de drainage berekend met de formule van Ernst (Ernst, 1978).

Voor de onverzadigde en de verzadigde zone rekent SIMGRO in het algemeen met tijdstappen van 1 dag. De waterstanden in het oppervlaktewater reageren meestal zeer snel op een veranderende drainage. De berging in het oppervlaktewatersysteem is immers klein in vergelijking met de berging in het grondwatersysteem. Het oppervlaktewatersysteem wordt daarom met veel kleinere tijdstappen (0,5-2 uur) doorgerekend.

3.5 Presentatie berekeningsresultaten

Door de bouw of uitbreiding van glastuinbouwbedrijven zal de waterhuishouding ter plaatse veranderen. De toename van het verhard oppervlak heeft tot gevolg dat de grondwateraanvulling afneemt, waardoor de waterbalans van het verzadigde grondwater ook zal veranderen. In dit onderzoek gaat het met name om de verandering in de grondwateraanvulling, kwel/wegzijging en grondwaterstanden. Om alle veranderingen in beeld te brengen worden in SIMGRO per deelgebied alle termen van de waterbalans, zoals in figuur 6 zijn weergegeven, naar een bestand weggeschreven. Het gaat hier om gemiddelde fluxen per jaar. Daarnaast berekent het model voor elke simulatie de gemiddeld hoogste (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstanden (GLG). Met al deze gegevens kunnen voor alle deelgebieden binnen het modelgebied de waterbalans en grondwaterstanden worden gepresenteerd, of alleen de veranderingen ten gevolge van een ingreep.

Grondwaterstanden in de winter worden getypeerd door de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en in de zomer door de gemiddeld laagste (GLG) (De Vries & Van Wallenburg, 1990). Deze grootheden worden verkregen als het rekenkundig gemiddelde van de drie hoogst gemeten standen in de winter (HG3), resp. de drie laagst gemeten standen in de zomer (LG3). Voor deze gegevens wordt uitgegaan van een meetfrequentie van 2x per maand. Het gemiddelde van de LG3's en HG3's over een reeks van jaren geeft de GHG en GLG. Mogelijke combinaties van GHG en GLG zijn teruggebracht

tot een aantal klassen die aangeduid worden als grondwatertrappen. Voor het bepalen van de grondwatertrap wordt in het algemeen een achtjarige reeks gehanteerd. De karakteristieken van de grondwatertrappen toegepast in deze studie zijn weergegeven in tabel 4.

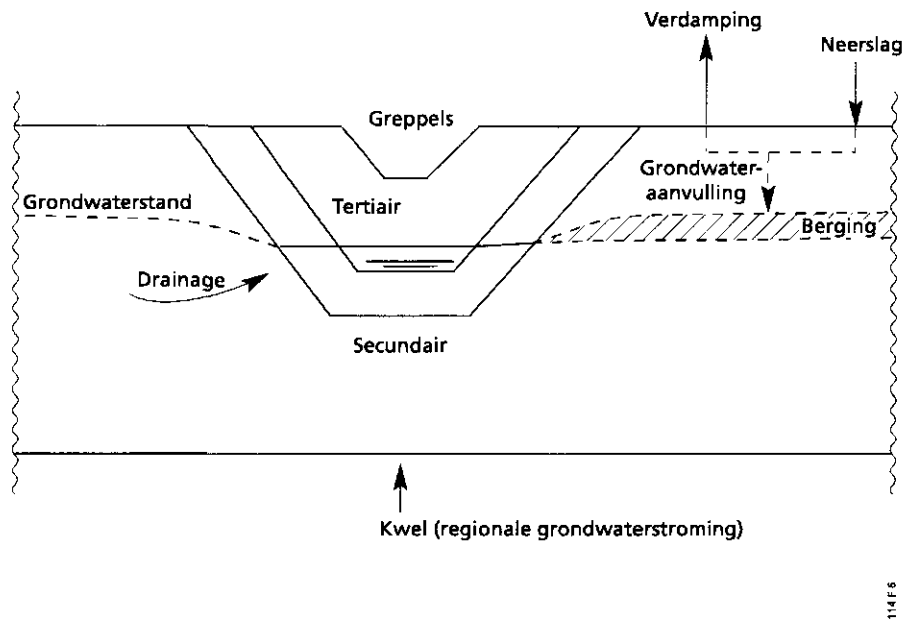


Fig. 6 Schematische voorstelling van de waterhuishouding van een gebied en de grootheden die van belang zijn voor de ingreep-effectsimulaties (Querner, et al., 1994).

Tabel 4 Grondwatertrappen met de daarbij behorende gemiddeld hoogste grondwaterstanden (GHG) en gemiddeld laagste (GLG) (De Vries & Van Wallenburg, 1990).

Grondwatertrap	GHG (m-mv.)	GLG (m-mv.)
IV	> 0,4	0,8-1,2
V	< 0,4	> 1,2
VI	0,4-0,8	> 1,2
VII	0,8-1,4	> 1,2

4 Beschrijving inrichtingssituaties en uitgangspunten varianten

4.1 Algemeen

Om de effecten van de glastuinbouw op het grondwatersysteem onder verschillende hydrologische omstandigheden te kwantificeren is een aantal varianten gedefinieerd. Bij het vaststellen van deze varianten is geprobeerd om met zo weinig mogelijk varianten een zo goed mogelijk beeld van de effecten te krijgen. In overleg met de begeleidingsgroep zijn de varianten opgesteld met de gegevens uit het gebied rond de Peelvenen. Met de gekozen varianten moet een duidelijk beeld verkregen worden van de effecten van de glastuinbouw op het grondwatersysteem in de verschillende situaties. Hierbij gaat het niet alleen om de effecten van de vestiging van glastuinbouw maar ook om de effecten van mogelijke compenserende maatregelen.

Om de effecten van de vestiging van glastuinbouw in een gebied te kwantificeren is gebruik gemaakt van een aantal referentiesituaties. Deze referentiesituaties geven de situatie weer waarin er geen kassen in het gebied aanwezig zijn. Het verschil tussen een referentiesituatie en een variant met kassen geeft de mate van beïnvloeding weer.

In paragraaf 4.2 en 4.3 zijn de uitgangspunten voor de modelberekeningen opgenomen. Paragraaf 4.4 beschrijft de referentiesituaties en de varianten.

4.2 Inrichtingssituaties en schematisering modelgebied.

De modelgebieden voor dit onderzoek zijn fictieve gebieden. De invoerparameters zijn zodanig gekozen, dat het mogelijk is de resultaten van deze modelberekeningen naar andere, in zekere mate vergelijkbare, gebieden te kunnen vertalen.

4.2.1 Inrichtingssituaties

In overleg met de begeleidingsgroep zijn er drie inrichtingssituaties onderscheiden met elk een verschillende oppervlakte aan kassen (tabel 5). Voor deze drie inrichtingssituaties is gekozen om zo een indruk te krijgen van eventuele niet lineair veranderende effecten bij verandering van het aantal bedrijven.

Voor de inrichtingssituaties uit tabel 5 is er van uitgegaan dat één glastuinbouwbedrijf een glasoppervlakte heeft van 2 ha en dat de totale oppervlakte, inclusief alle andere voorzieningen in zo'n gebied, ongeveer 2 maal de oppervlakte van het glas bedraagt (Van Ekert, 1994). De aangenomen indeling en oppervlakten van de verschillende onderdelen binnen één glastuinbouwbedrijf zijn weergegeven in tabel 6. De indeling van een glastuinbouwbedrijf is belangrijk omdat de onderscheiden oppervlakten elk een andere invloed hebben op de verwerking van de neerslag. Het verhard oppervlak bepaalt hoeveel regenwater er wordt opgevangen en niet direct ten goede komt aan het grondwater-

systeem.

Tabel 5 De drie inrichtingssituaties in dit onderzoek met het aantal glastuinbouwbedrijven.

Inrichtingssituatie	Glastuinbouwbedrijven
1	1
2	4
3	10

Tabel 6 Indeling en oppervlakten van de verschillende onderdelen per glastuinbouwbedrijf in dit onderzoek.

Omschrijving	Oppervlakte
glas	2 ha
bassin:	gereserveerde oppervlakte 0,4 ha
2000 m ³ ·ha ⁻¹	2400 m ² grond bedekt
4000 m ³ ·ha ⁻¹	4000 m ² grond bedekt
erfverharding	0,2 ha
overige	onverhard (opp. afhankelijk van capaciteit bassin)
Totaal	4 ha

Het regenwater vanaf het kasdek wordt opgeslagen in het bassin. Hieruit kan water gebruikt worden als gietwater voor het glastuinbouwbedrijf. Wanneer het bassin geen water meer kan bergen loopt het water over in het oppervlaktewater. De neerslag die op de erfverharding terecht komt wordt direct afgevoerd naar het oppervlaktewater. Voor het resterende deel van de oppervlakte rond de kassen is gras als bodemgebruik aangenomen. De oppervlakte die ingenomen wordt door een bassin is afhankelijk van de capaciteit en de kaden er omheen.

4.2.2 Schematisering van het modelgebied

Om berekeningen met het model SIMGRO te kunnen uitvoeren is het modelgebied geschematiseerd door middel van een netwerk. De netwerken zijn gegenereerd met behulp van het Micro-fem pakket (Hemker & Van Elburg, 1989). Hiermee wordt het modelgebied opgebouwd uit driehoekige elementen met een knooppunt in de hoeken van ieder element. In het gebied met kassen en daar vlak omheen is een knooppuntsafstand van 75 m gekozen, om daarmee de veranderingen in de waterhuishoudkundige situatie goed te kunnen beschrijven (fig. 7 t/m 9). Elk knooppunt in dit deel van het modelgebied beschrijft ongeveer 0,5 ha. Voor de rest van het modelgebied geldt een knooppuntsafstand van 150 m.

Voor de drie inrichtingssituaties (tabel 5) zijn er twee verschillende netwerken gegenereerd. Voor de inrichtingssituaties 1 en 2 is het modelgebied 2x2 km² (fig. 7 en 8) en voor situatie 3 is het modelgebied 3x3 km² (fig. 9). In figuur 7 is het netwerk gegeven van inrichtingssituatie 1 waarin één glastuinbouwbedrijf gesitueerd is in het midden van het netwerk. De daaromheen liggende knooppunten worden ingedeeld in deelgebieden op basis van de knooppuntsafstand tot het middelpunt van het netwerk. De deelgebieden komen dan in een cirkelvormige structuur om het glastuinbouwgebied

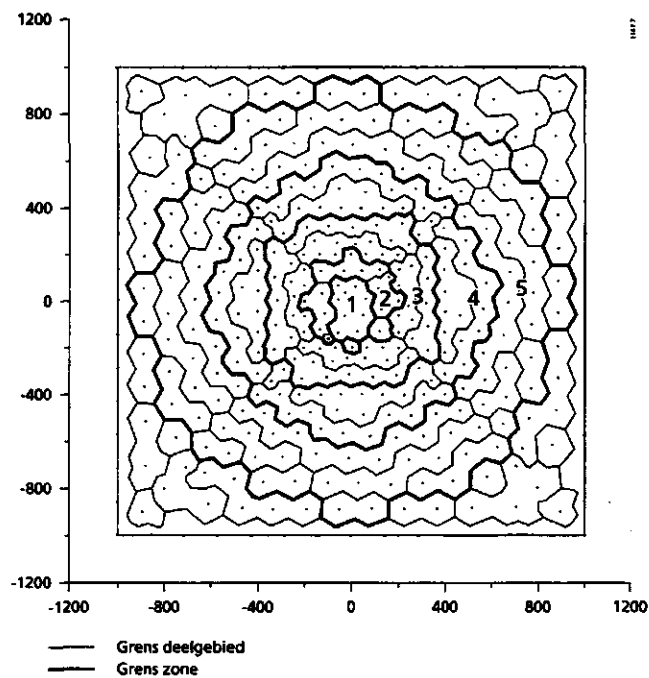


Fig. 7 *Netwerk van het modelgebied met 1 glastuinbouwbedrijf (inrichtingssituatie 1) met daarin aangegeven de indeling in deelgebieden en zones noodzakelijk voor de in- en uitvoer van SIMGRO.*

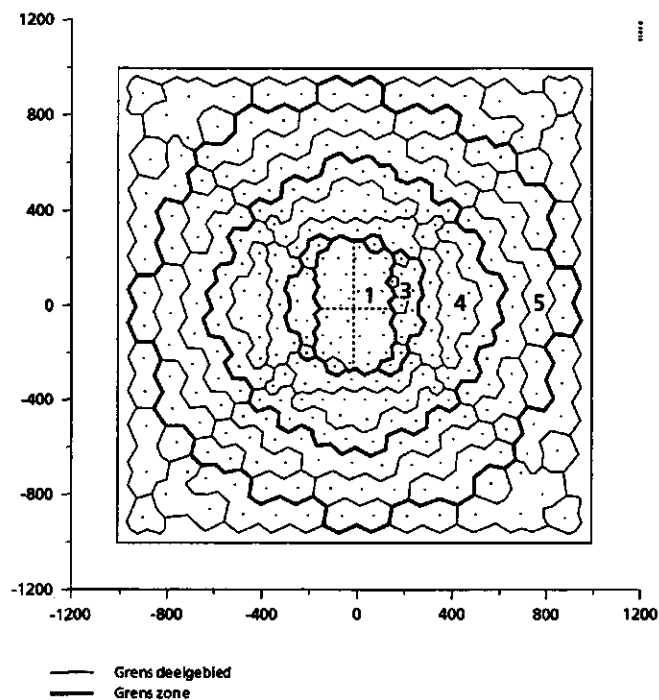


Fig. 8 *Netwerk van het modelgebied met 4 glastuinbouwbedrijven (inrichtingssituatie 2) met daarin aangegeven de indeling in deelgebieden en zones noodzakelijk voor de in- en uitvoer van SIMGRO.*

te liggen. Per deelgebied wordt in SIMGRO de onverzadigde zone en het oppervlaktewater gemodelleerd (par. 3.2 en 3.4).

Per inrichtingssituatie verschilt de indeling van het modelgebied ten gevolge van het verschillend aantal glastuinbouwbedrijven. Hierdoor vallen er in figuur 8 en 9 een aantal deelgebieden in het midden van het netwerk weg. In figuur 8 en 9 is aangegeven hoe de 4 en 10 bedrijven ten opzichte van elkaar gesitueerd zijn. Er is bij de situering van de bedrijven van uitgegaan dat de afwatering en ontsluiting tussen de twee rijen bedrijven door loopt. In figuur 9 komt er aan de rand van het netwerk nog een aantal deelgebieden bij omdat het netwerk voor inrichtingssituatie 3 groter opgezet is, om eventuele randeffecten te verminderen.

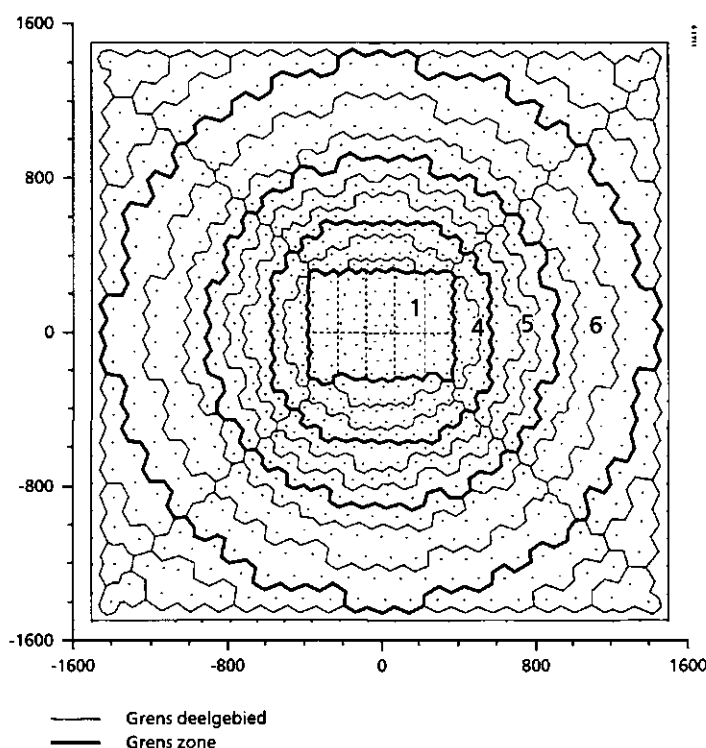


Fig. 9 *Netwerk van het modelgebied met 10 glastuinbouwbedrijven (inrichtingssituatie 3) met daarin aangegeven de indeling in deelgebieden en zones noodzakelijk voor de in- en uitvoer van SIMGRO.*

4.2.3 Zonering gebied ten behoeve van de presentatie van de resultaten

Voor de presentatie van de berekeningsresultaten zijn de deelgebieden samengevoegd tot grotere eenheden aangeduid als zones. Per zone worden de effecten van de glastuinbouwbedrijven gepresenteerd. De indeling in zones is voor de drie inrichtingssituaties zoveel mogelijk hetzelfde gehouden om onderlinge vergelijking zo eenvoudig mogelijk te maken (zie fig. 7 t/m 9). De effecten van de glastuinbouw zijn beschreven per zone, d.w.z. voor een bepaalde afstand tot het middelpunt van het kassencomplex. Deze

afstanden worden weergegeven in tabel 7. Hierin is te zien dat bijvoorbeeld zone 3 de effecten van de glastuinbouw beschrijft die zich voordoen binnen een afstand van 200 - 350 m vanaf het middelpunt van het gebied met kassen.

In figuur 8 is te zien dat zone 2 in zijn geheel door het kassencomplex wordt ingenomen. Zone 2 zal daarom bij de presentatie van de resultaten van situatie 2 niet meer voorkomen. Voor situatie 3 (fig. 9) is het gebied met glastuinbouw zo groot dat de zones 2 en 3 komen te vervallen. Voor alle drie de inrichtingssituaties zijn de zones 4 en 5 gelijk. Zone 6 komt alleen voor bij inrichtingssituatie 3 omdat het modelgebied groter is.

Tabel 7 *Indeling modelgebied in zones. Op basis van deze indeling zijn de resultaten van de deelgebieden samengevoegd.*

Zone	Afstand tot middelpunt
1	gebied met kassen
2	100 tot 200 m
3	200 tot 350 m
4	350 tot 600 m
5	600 tot 900 m
6	900 tot 1400 m

4.3 Parameters SIMGRO-simulaties

Voor de modelgebieden worden gegevens gebruikt uit het gebied rond de Peelvenen. Dit is gedaan omdat dit onderzoek vanuit dit gebied is geïnitieerd. De vertalingen naar specifieke lokaties kunnen dan aan de hand van de resultaten uit dit onderzoek worden uitgevoerd. In hoofdstuk 2 van dit rapport zijn berekeningen uitgevoerd omtrent de waterhuishouding van een glastuinbouwbedrijf. Voor de SIMGRO-berekeningen is gebruik gemaakt van de resultaten van beheervariant B (fig. 4).

4.3.1 Verzadigde zone

Het gebied rond de Peelvenen ligt in de geologische eenheden de Peelhorst en de Centrale Slenk. Tussen deze eenheden loopt de Peelrandbreuk. Tijdens het Holoceen heeft zich in het gebied hoogveen gevormd, dat later door afgraving grotendeels is verdwenen. In de beekdalen zijn in die tijd beekleem, zand en veen afgezet (Rees Vellinga & Broertjes, 1984). De geohydrologische parameters zijn ontleend aan eerdere studies (Drent, 1989; Van Walsum, 1990 en Oranjewoud, 1993), waarvan de waarden in tabel 8 zijn aangegeven.

Voor dit onderzoek wordt de verzadigde zone geschematiseerd door een afdekkend pakket met daaronder een watervoerend pakket (tabel 8). De diepere pakketten, aanwezig in de Centrale Slenk, zijn in dit onderzoek niet meegenomen omdat zij van ondergeschikt belang zullen zijn. In de varianten zijn verschillende combinaties van de geohydrologische parameters gebruikt om daarmee de invloed van de afzonderlijke

parameters te bepalen (par. 4.4).

Voor de rand van het modelgebied is een vaste potentiaal aangehouden. De invoer geschiedt maandelijks om zo de fluctuatie van de grondwaterstand binnen een jaar te simuleren en daarmee een zekere grondwatertrap na te bootsen. De gegevens hiervoor zijn ontleend aan Van der Sluis (1982). Afhankelijk van de stijghoogten op de rand en de aangenomen ontwaterings- en afwateringssituatie van het gebied (zie tabel 10) zal er dan water het gebied in- of uitstromen.

Tabel 8 De waarden van de geohydrologische parameters van de ondergrond in de omgeving van de Peelvenen (Drent, 1989; Van Walsum, 1990 en Oranjewoud, 1993).

Omschrijving	Centrale Slenk	Peelhorst
1^e pakket:		
dikte (m)	25	5 - 15
c-waarden (d)	100 - 500	250 - 1000
2^e pakket:		
dikte (m)	45	10 - 20
kD-waarden ($m^2 \cdot d^{-1}$)	1500 - 3000	200 - 500

4.3.2 De onverzadigde zone

Voor de onverzadigde zone zijn de benodigde gegevens ontleend aan het onderzoek van Drent (1989). Hierbij gaat het met name om de bodemfysische karakterisering: capillaire opstijging, bergingscoëfficiënt en evenwichtsvochtvoorraad (par. 3.2). Uitgangspunt voor de berekeningen is een humuspodzolgrond met grondwatertrappen V, VI en VII.

In tabel 9 is per bodemgebruiksvorm het oppervlakte-aandeel weergegeven voor de situatie zonder en met kassen. De indeling hiervoor is ontleend aan Drent (1989). Voor wat betreft het bodemgebruik in het modelgebied is er onderscheid gemaakt in het bodemgebruik in het kassencomplex en het bodemgebruik daarbuiten. In de oorspronkelijke situatie (geen kassen) is het modelgebied in zijn geheel agrarisch gebied. In de simulaties met tuinbouwkassen wijkt het bodemgebruik in het deelgebied met kassen af van het omliggende agrarische gebied. De afmeting van het regenwaterbassin bepaalt in mindere mate de verdeling van het bodemgebruik in het gebied met kassen.

Voor de meteorologische data is voor de neerslag gebruik gemaakt van het weerstation Someren. Voor de overige data (= temperatuur, relatieve vochtigheid en straling) is gebruik gemaakt van station Eindhoven (Van Walsum, 1990). Van beide stations zijn data op dagbasis beschikbaar voor de periode 1971 t/m 1986. Voor de berekeningen zijn de jaren 1982 t/m 1986 gekozen omdat dat een periode betreft met een ongeveer gemiddelde weersituatie. Voor deze periode was de gemiddelde neerslag $777 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$ en de potentiële verdamping (evapotranspiratie) $555 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$.

Tabel 9 *Indeling en oppervlakte-aandeel (%) van de verschillende bodemgebruiksvormen in het gehele modelgebied bij een situatie zonder kassen en voor de situatie met kassen alleen voor zone I (- : komt niet voor).*

Bodemgebruik	Modelgebied zonder kassen	Deelgebied met kassen	
		2000	4000 (bassincapaciteit $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)
grasland	55	39	35
maïs	25	-	-
akkerbouw	5	-	-
tuinbouw	5	-	-
loofhout	10	-	-
kassen + bassin	-	56	60
verhard	-	5	5

4.3.3 Oppervlaktewater

Het oppervlaktewater binnen een deelgebied wordt gemodelleerd als één reservoir (par. 3.4). In dit onderzoek geldt voor de meeste deelgebieden dat de reservoirs onderling niet gekoppeld zijn. Voor een aantal deelgebieden zijn de reservoirs aan elkaar gekoppeld om zo de afwateringssituatie van het gebied met kassen zo goed mogelijk te simuleren. Dit zijn de deelgebieden die gelegen zijn ten oosten en westen van het glastuinbouwgebied (fig. 7 t/m 9).

Bij een bepaalde waterhuishoudkundige situatie (grondwatertrap) hoort een zekere ont- en afwateringssituatie. In overleg met de begeleidingsgroep is gekozen voor de simulatie van de grondwatertrappen V, VI en VII. Voor een omschrijving van de grondwatertrappen zie paragraaf 3.5 en tabel 4. De karakteristieken van het oppervlaktewatersysteem zijn per grondwatertrap weergegeven in tabel 10. Hierbij wordt opgemerkt dat de drainageweerstand voor Gt V en VI groter zijn dan is aangegeven in de literatuur (Tabel 10: voor secundair systeem 1500 d i.p.v. 1000 d). Dit was noodzakelijk omdat het anders niet mogelijk bleek om deze grondwatertrappen te simuleren (GHG kwam niet hoog genoeg).

4.4 Omschrijving varianten

In par. 4.2 is al onderscheid gemaakt in een drietal inrichtingssituaties. Deze situaties dienen als basis voor de verdere definiëring van de varianten. Omdat met de varianten een zo goed mogelijk beeld van de effecten verkregen moet worden, is een goede afweging van de te simuleren varianten noodzakelijk. In overleg met de begeleidingsgroep zijn een aantal variabelen voor de varianten geformuleerd, deze zijn:

- grondwatertrap;
- capaciteit regenwaterbassin;
- compenserende maatregelen;
- helling maaiveld;
- geohydrologische situatie;
- weersgesteldheid.

Tabel 10 Karakteristieken van het oppervlaktewatersysteem bij verschillende grondwatertrappen (Werkgroep Waterbeheer Noord-Brabant, 1990; Querner, 1993; Waterschap De Aa, 1994) (-: komt niet voor)

Omschrijving	Grondwatertrap		
	V	VI	VII
Diepte sloten (m):			
Tertiair	0,8	-	-
Secundair	1,4	1,5	1,5
Waterstanden (m-mv.):			
Winter (stuwpeil)	1,1	1,3	-
Zomer (streefpeil)	0,8	1,0	-
Drainageweerstand (d):			
Tertiair	600	-	-
Secundair	1500	1500	3000

De varianten opgesteld voor de drie inrichtingssituaties zijn omschreven in paragraaf 4.4.1. Hiermee wordt een beeld verkregen van de mogelijke effecten van de glastuinbouw bij verschillende grondwatertrappen, bassinhouden en compenserende maatregelen. In paragraaf 4.4.2 zijn aanvullende varianten geformuleerd, die alleen voor inrichtingssituatie 2 (4 bedrijven van elk 2 ha glas) worden doorgerekend. Daarbij gaat het om variaties in maaiveldhelling, in geohydrologie en in weersgesteldheid.

4.4.1 Grondwatertrappen en compenserende maatregelen

Voor de drie inrichtingssituaties zijn varianten gedefinieerd, zoals aangegeven in tabel 11. In de referentiesituaties (a0, b0 en c0) zijn er geen kassen en bassins aanwezig. Hiermee wordt de oorspronkelijke situatie gemodelleerd. In tabel 11 staat vermeld welke gegevens er gebruikt zijn voor de definiëring van elke variant. Op deze manier kan op een vrij snelle manier een overzicht verkregen worden van de gebruikte variabelen per variant. Maar ook geven de tabellen de onderlinge verschillen tussen de diverse varianten. Voor alle varianten in tabel 11 zijn de kD- en c-waarden constant gehouden en geven een situatie weer zoals in de Centrale Slenk (tabel 8).

De varianten omvatten drie grondwatertrappen. De grondwatertrap heeft namelijk een grote invloed op de interacties tussen de onverzadigde zone, de verzadigde zone en het oppervlaktewatersysteem. De variatie in grondwatertrap komt naar voren in de varianten a (Gt V), b (Gt VII) en c (Gt VI). Gegevens van het oppervlaktewatersysteem zijn hiervoor ontleend aan tabel 10.

In de varianten met glastuinbouw wordt standaard een bassin van $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ toegepast (tabel 11). Het bassin lost het overtollige water op het oppervlaktewatersysteem waardoor het water direct afgevoerd wordt. In variant a5 is een bassin genomen van $4000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Deze variant kan vergeleken worden met variant a1 (bassin van $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) waardoor de effecten van het grotere bassin bepaald kunnen worden.

Tabel 11 Overzicht van de varianten met daarbij de uitgangspunten. Deze varianten zijn voor alle drie de inrichtingssituaties (2, 8 en 20 ha glas) doorgerekend.

Omschrijving	Varianten										
	a0	a1	a2	a3	a4	a5	b0	b1	b2	c0	c1
Referentie (Geen kassen)	o						o			o	
Gt V	o	o	o	o	o	o					
Gt VI										o	o
Gt VII							o	o	o		
Bassin 2000 m ³ ·ha ⁻¹		o	o	o	o			o	o		o
Bassin 4000 m ³ ·ha ⁻¹						o					
Lozing uit bassin naar opp. water	o			o	o	o		o			o
Lozing uit bassin laten infiltreren			o						o		
Water aanvoeren				o							
Opzetten stuwpellen					o						

Opm: Voor alle varianten geldt: 1^e pakket: D=25 m en c=250 d; 2^e pakket: D=45 m en kD=1500 m²·d⁻¹; maaiveld vlak; weersgesteldheid 1982 t/m 1986.

In tabel 11 zijn een drietal varianten opgenomen met mogelijke compenserende maatregelen. Deze maatregelen zijn (Gt V):

- overtollig water uit het bassin laten infiltreren (a2 en b2);
- in de periode mei t/m augustus water aanvoeren (maximaal 1,5 mm·d⁻¹) naar het deelgebied met de kassen (a3);
- stuwpellen opzetten in de winter tot 0,80 m - mv (= zomerpeil Gt V) in het gebied met kassen om het oppervlaktewater langer vast te kunnen houden zodat het water meer tijd heeft om te infiltreren (a4).

Met behulp van deze maatregelen wordt geprobeerd om de effecten van de glastuinbouw op de waterhuishoudkundige situatie zoveel als mogelijk te compenseren. Variant a2 en b2 (tabel 11) betreffen het laten infiltreren van overtollige water uit het bassin in de nabije omgeving van het glastuinbouwbedrijf. Hierdoor wordt het water niet zomaar afgevoerd maar komt het alsnog ten goede aan het grondwatersysteem. In de berekeningen wordt er vanuit gegaan dat het mogelijk is om al het overtollige water te infiltreren. Of dit technisch ook haalbaar is, is niet onderzocht.

4.4.2 Maaiveld, geohydrologie en weersgesteldheid

In tabel 12 zijn de aanvullende varianten aangegeven (d t/m i) die alleen voor inrichtingssituatie 2 zijn doorgerekend. Bij deze varianten is gekozen voor een grondwatertrap V en het overtollige water uit het bassin lost op het oppervlaktewater.

Bij de d-varianten (tabel 12) worden de effecten van een hellend maaiveld gesimuleerd. In de voorgaande varianten (tabel 11) werd het maaiveld vlak verondersteld, maar in deze variant is het maaiveld onder een helling van 0,5 m·km⁻¹ gelegd.

Tabel 12 *Overzicht van de aanvullende varianten doorgerekend voor inrichtingssituatie 2 (4 glastuinbouwbedrijven met elk 2 ha glas).*

Omschrijving	Varianten											
	d0	d1	e0	e1	f0	f1	g0	g1	h0	h1	i0	i1
Referentie (geen kassen)	°		°		°		°		°		°	
Bassin 2000 m ³ ·ha ⁻¹		•		•		•		•		•		•
Maaiveld vlak			°	°	°	°	°	°	°	°	°	°
Maaiveld hellend	•	•										
C = 250 d	°	°	°	°	°	°			°	°	°	°
C = 1000 d							•	•				
Dikte 1e pakket 10 m					•	•	•	•				
Dikte 1e pakket 25 m	°	°	°	°					°	°	°	°
KD = 500 m ² ·d ⁻¹					•	•	•	•				
KD = 1500 m ² ·d ⁻¹	°	°							°	°	°	°
KD = 3000 m ² ·d ⁻¹			•	•								
Dikte 2e pakket 15 m					•	•	•	•				
Dikte 2e pakket 45 m	°	°	°	°					°	°	°	°
Periode 1972 - 1976									•	•		
Periode 1977 - 1981											•	•
Periode 1982 - 1986	°	°	°	°	°	°	°	°				

Opmerking: Voor alle varianten geldt grondwatertrap V en overtollig water loost op het oppervlaktewater

- ° = gegevens ook toegepast bij de a-varianten uit tabel 11
- = nieuwe gegevens

In de varianten e, f en g zijn telkens andere kD- en c-waarden aangenomen om zo de effecten van het verschil in geohydrologische opbouw te bepalen. In variant e is de kD-waarde verhoogd van 1500 tot 3000 m·d⁻¹. Dergelijke waarden komen in de Centrale Slenk voor (tabel 8). In variant f en g wordt een situatie zoals op de Peelhorst doorgerekend.

In de varianten h en i is een variatie in de weersgesteldheid meegenomen. In variant h wordt de periode 1972 t/m 1976 doorgerekend, welke geldt als een vrij droge periode. In die periode valt er gemiddeld 100 mm·j⁻¹ minder neerslag dan in de periode 1982 t/m 1986. In variant i wordt de periode 1977 t/m 1981 doorgerekend met een gelijke neerslag als in de periode 1982 t/m 1986. De potentiële verdamping is in die periode evenwel lager (42 mm·j⁻¹ t.o.v. periode 1982 t/m 1986).

Met de varianten zoals in tabel 11 en 12 weergegeven is getracht een zo goed mogelijk beeld te verkrijgen van de effecten van de glastuinbouw op het grondwatersysteem. In hoofdstuk 5 zijn de resultaten van deze simulaties weergegeven en zullen ze worden besproken.

5 Resultaten van de berekeningen

5.1 Algemeen

Van de varianten zoals in hoofdstuk 4 omschreven, zijn in de volgende paragrafen de resultaten gepresenteerd. Allereerst zijn de berekeningen uitgevoerd zonder de glastuinbouwbedrijven. Dit geeft de referentiesituaties waarmee de varianten zijn vergeleken. Daarnaast zijn de varianten per inrichtingssituatie onderling vergeleken.

In paragraaf 5.2 tot en met paragraaf 5.4 zijn de resultaten van de drie inrichtings-situaties beschreven. In paragraaf 5.5 worden de resultaten van de drie situaties onderling vergeleken. Met behulp van tabellen wordt een beeld geschetst van de invloeden van de verschillende varianten. Deze tabellen bevatten informatie over de grondwateraanvulling, de waterbalans van het ondiep verzadigde grondwater en de grondwaterstanden (GHG en GLG). In de tabellen staat alleen informatie over het gebied met kassen en de zone direct daar omheen. In de aanhangsels 2 t/m 4 zijn van alle berekeningen alle termen van de waterbalans voor de onverzadigde en de verzadigde zone weergegeven en daarnaast van alle berekeningen de grondwaterstanden.

5.2 Invloeden één glastuinbouwbedrijf

5.2.1 Grondwaterstandsverloop

Voor drie grondwatertrappen zijn de grondwaterstanden berekend voor de situatie zonder en met kassen (bassin $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). In figuur 10 is voor deze berekeningen het grondwaterstandsverloop weergegeven van zone 1 (fig. 7) voor de jaren 1984 en 1985. In de berekening met kassen vertoont de grondwaterstand minder fluctuaties, met name is dit in de winterperiode. De grondwaterstanden in de situatie zonder en met kassen verschillen het meest in het najaar en winter. In de zomer is het verschil in grondwaterstanden gering. Voor een grondwatertrap V (fig. 10a) is het verschil tussen de hoogste en laagste standen groot en bovendien reageren ze snel op neerslag. Voor een Gt VII (fig. 10b) bestaat er bijna het gehele jaar een verschil in grondwaterstanden. Hetzelfde geldt ook voor grondwatertrap VI (fig. 10c).

Voor drie compenserende maatregelen zijn in figuur 11 de resultaten weergegeven. Figuur 11a geeft variant a2 uit tabel 11 (overtollig water uit bassin laten infiltreren). De grondwaterstanden voor deze variant komen nagenoeg overeen met de situatie zonder kassen (fig 11a). In figuur 11b wordt de tijd-stijghoogtelijn weergegeven van de variant waarin er water naar het kassencomplex wordt aangevoerd. Wordt figuur 11b vergeleken met figuur 10a dan zijn er weinig effecten waarneembaar. Figuur 11c toont de effecten van het opzetten van stuwpalen (variant a4) in het gebied met kassen. De berekende grondwaterstanden zijn iets hoger als in de variant met wateraanvoer (a3). De geringe

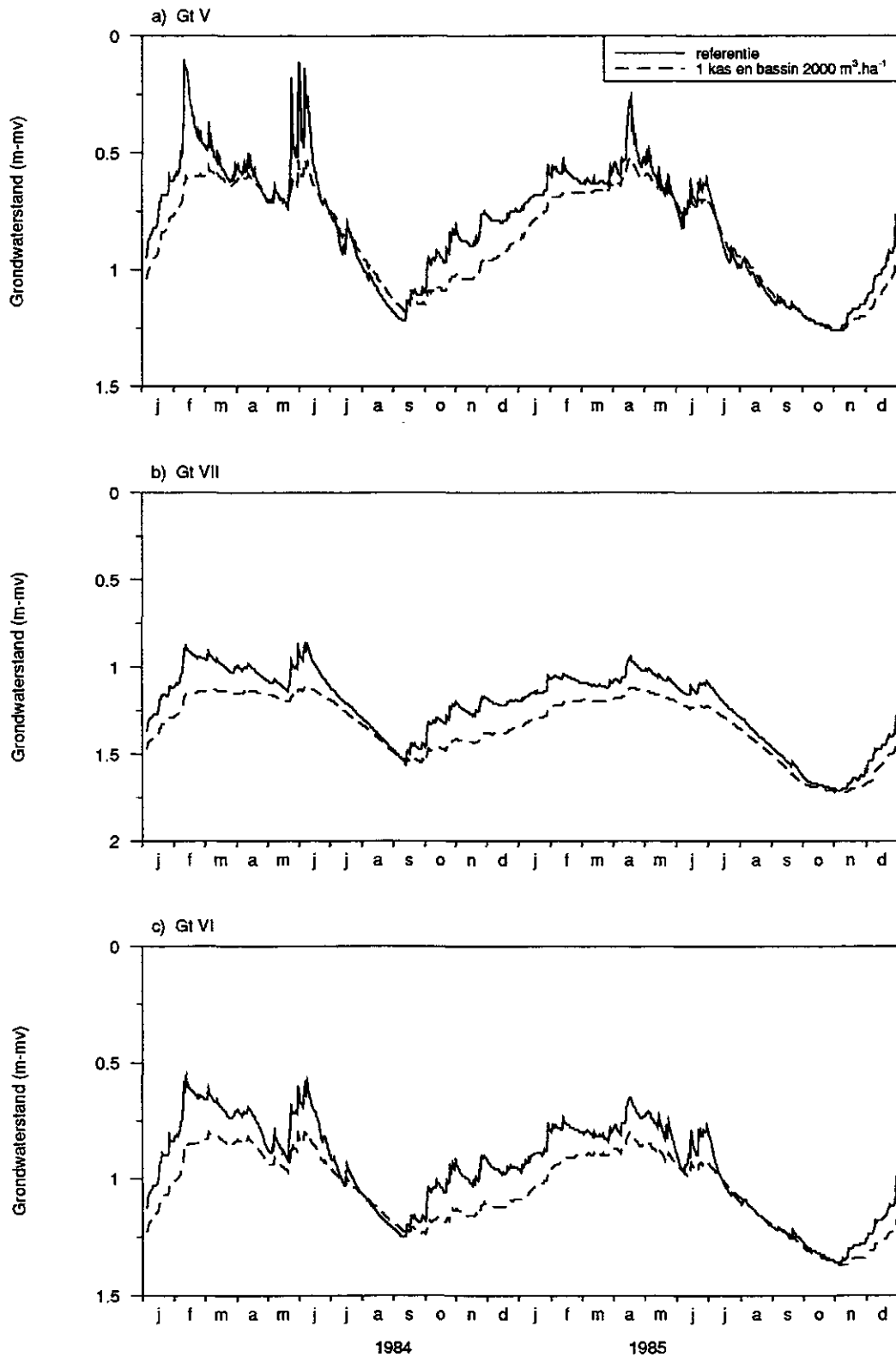


Fig. 10 Berekende grondwaterstanden van zone 1 voor drie grondwatertrappen bij een situatie zonder kassen en met kassen (weersgesteldheid 1984 en 1985).

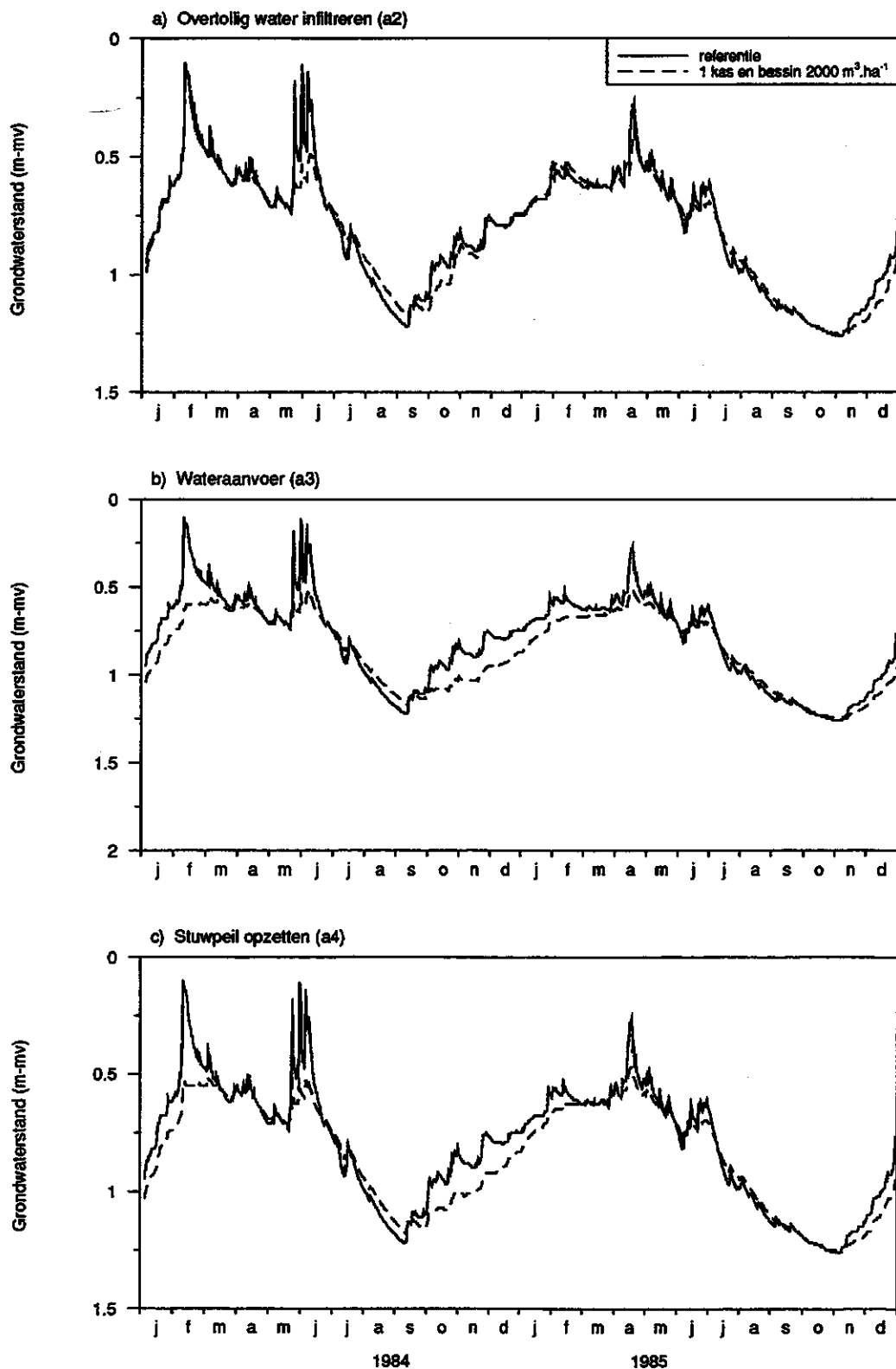


Fig. 11 Berekende grondwaterstanden van zone 1 bij een situatie zonder kassen en daarnaast met kassen (Gt V en bassin 2000 m³.ha⁻¹) en compenserende maatregelen (varianten a2, a3 en a4).

effecten bij variant a3 en a4 zijn grotendeels het gevolg van de randvoorwaarden van het oppervlaktewatersysteem (tabel 10).

5.2.2 Invloed in het kassengebied

In tabel 13 zijn de resultaten weergegeven van de berekeningen zoals in hoofdstuk 4 zijn omschreven. In deze tabel staan de resultaten van de berekening bij één glastuinbouwbedrijf. Voor een beschrijving van de gepresenteerde varianten zie paragraaf 4.4. In tabel 13 is de waterbalans van het ondiepe grondwater samengevat en zijn de grondwaterstanden (GHG en GLG) gegeven. De waterbalans wordt gepresenteerd in de vorm van gemiddelde fluxen per jaar ($\text{mm}\cdot\text{j}^{-1}$). In tabel 13 zijn alleen de belangrijkste resultaten opgenomen. In aanhangsel 2 zijn alle resultaten weergegeven. Dit geeft een compleet beeld van de effecten in het hele modelgebied.

De termen van de waterbalans opgenomen in tabel 13 zijn beschreven in paragraaf 3.5 en bovendien weergegeven in figuur 6. Vanuit de onverzadigde zone komt er neerslag minus de verdamping als grondwateraanvulling in deze balans binnen. Deze grondwateraanvulling geeft met de andere termen van de verzadigde zone een deelbalans (tabel 13), waarbij inkomende fluxen positief zijn en uitgaande fluxen negatief. Drainage naar het oppervlaktewater is mogelijk via greppels, tertiair en secundair systeem (drainage is uitgaand dus overwegend negatieve getallen). Door geringe verschillen in grondwaterstanden tussen begin en eind van de berekeningsperiode komt een hoeveelheid water als bergingsverandering in de waterbalans tot uiting. Hierbij geldt dat een toename in de berging negatief en een afname positief is (tabel 13). De koppeling met de regionale grondwaterstroming komt als kwel (positief) of wegzijging (negatief) in de waterbalans tot uiting. Naast deze gegevens over de waterbalans worden in tabel 13 ook de berekende variaties in grondwaterstanden gekarakteriseerd als de gemiddeld hoogste (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG).

In de tabellen die in dit hoofdstuk gepresenteerd zijn wordt gebruik gemaakt van absolute waarden voor de referentiesituaties (zie a0 in tabel 13). Voor de overige varianten zijn de getallen gepresenteerd als veranderingen ten opzichte van de referentiesituaties.

Wat in tabel 13 het eerste opvalt is het verschil in de grondwateraanvulling in de verschillende varianten. In variant a0, waar geen kassen gemodelleerd zijn, is er een grondwateraanvulling van $254 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ en een wegzijging van $79 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$. Wordt variant a1 met a0 vergeleken dan valt op dat de grondwateraanvulling verminderd. Deze vermindering in de grondwateraanvulling ($148 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$) heeft tot gevolg dat de drainage en de wegzijging afnemen. De verandering van de wegzijging (negatieve kwel) naar het diepere grondwater in variant a1 bedraagt $69 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ ten opzichte van een totale wegzijging van $79 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ in variant a0. De GHG van variant a1 verandert 0,19 m ten opzichte van variant a0. De GLG van deze variant verandert 0,01 m en komt iets ondieper te liggen. Het oppervlak aan kassen geeft een afname in de verdamping (zie aanhangsel 2), deze invloed is alleen in de zomer merkbaar. In de winter wordt er veel water via het bassin geloosd op het oppervlaktewater en verdwijnt uit het modelgebied. Dit resulteert dan in een verlaging van de grondwaterstanden (GHG) ter plaatse van

het kassencomplex (zone 1). Voor de GLG zijn de effecten zeer gering.

In variant a2 is een compenserende maatregel getroffen door het geloosde water uit het bassin te laten infiltreren in de grond. Ten opzichte van variant a0 is er een vermindering van de aanvulling van $29 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$. Het infiltreren van het overtollige water heeft duidelijk positieve gevolgen op de verandering van de aanvulling naar het grondwater. Ook in de andere waterbalans termen laat deze variant een relatief kleine veranderingen zien. Voor de GHG is de verandering $0,06 \text{ m}$ en het kleinst in vergelijking met alle andere varianten.

Voor de varianten a3 (wateraanvoer) en a4 (stuwpeil opzetten) bedragen de veranderingen in aanvulling resp. 149 en $148 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$. De aanvullingen in deze twee varianten zijn gelijk aan die in variant a1. De wegzijging is in de varianten a3 en a4 wel enigszins veranderd. Variant a3 laat voor wat betreft de wegzijging een iets kleiner effect zien (64 t.o.v. $69 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ in variant a1). Variant a4 geeft een nog iets kleinere verandering te zien (46 t.o.v. $69 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ in variant a1). De grondwaterstanden in variant a3 wijken nauwelijks af van die in variant a1. Voor variant a4 zijn de veranderingen minder groot dan voor variant a1 (GHG: $0,16 \text{ m}$ in variant a4 t.o.v. $0,19 \text{ m}$ in variant a1). Het opzetten van de stuwpeilen heeft blijkbaar meer effect dan het aanvoeren van water.

In variant a5 is de verandering in de grondwateraanvulling groter geworden (156 t.o.v. $148 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ in variant a1). Een groter bassin betekent een kleinere aanvulling naar het grondwater i.v.m. de toegenomen oppervlakte. In variant a5 is de wegzijging afgenomen tot $5 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ (tabel 13: waarde van a0 en a5 opgeteld). De verandering van de GHG bedraagt $0,20 \text{ m}$ en is hierdoor de grootste verandering in GHG (tabel 13).

In variant b0 (situatie zonder kassen) valt op dat de grondwateraanvulling groter is dan bij variant a0. Dit komt doordat bij een Gt VII er minder capillaire opstijging en verdamping is, zodat de grondwateraanvulling toeneemt. Ook de afvoer via het oppervlaktewatersysteem is aanzienlijk minder dan bij variant a0 en speelt een ondergeschikte rol. In variant b0 is er een wegzijging van $288 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ terwijl in variant a0 er een wegzijging is van $79 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$. De resultaten van variant b1 (met kassen) laten een vermindering van de wegzijging zien van $147 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$. Ten opzichte van variant a1 (Gt V) worden de effecten van de glastuinbouw dus groter (verandering in de wegzijging). In variant b1 bedraagt de wegzijging nog $141 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ (tabel 13: waarde voor b0 en b1 opgeteld), terwijl er in variant a1 maar een wegzijging is van $10 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ (tabel 13: waarde van b0 en b1 opgeteld).

De veranderingen in de GHG verschillen in b1 en b2 weinig ten opzichte van die in variant a1 en a2. De GLG wordt in de b-varianten echter iets lager.

Voor de c-varianten zijn de effecten vergelijkbaar met die van de b-varianten. Met dit verschil dat de veranderingen in de waterbalans iets minder zijn. De GHG van variant c1 is iets kleiner dan bij variant a1 en b1 ($0,17 \text{ m}$ tegen $0,19 \text{ m}$). Dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat het verschil tussen de GHG en GLG bij een Gt VI kleiner is dan bij een Gt V en VII (zie fig. 10).

Tabel 13 Waterbalans (fluxen in $\text{mm}\cdot\text{j}^{-1}$) voor het ondiepe verzadigde grondwater en de grondwaterstanden (m-mv.) voor 1 glastuinbouwbedrijf (situatie 1). Met uitzondering van de cursieve getallen (deze zijn absoluut) zijn alle waarden in de tabel relatief ten opzichte van de referentie.

Zone	Var.	Omschrijving	Aanv.	Opp.w.	Berging	Kwel	GHG	GLG
1	a0	<i>referentie (Gt V)</i>	254	-161	-14	-79	0,37	1,26
1	a1	lozing opp.w.	-148	63	16	69	0,19	-0,01
1	a2	lozing infiltr.	-29	15	13	1	0,06	-0,01
1	a3	wateraanvoer	-149	69	16	64	0,19	-0,02
1	a4	stuwpeil opz.	-148	85	17	46	0,16	-0,01
1	a5	bassin 4000	-156	65	17	74	0,20	-0,01
2	a0	<i>referentie</i>	254	-159	-14	-81	0,36	1,26
2	a1	lozing opp. w.	0	1	0	-1	*	0,00
2	a2	lozing infiltr.	+	0	+	0	0,00	0,00
2	a3	wateraanvoer	0	1	0	-1	*	0,00
2	a4	stuwpeil opz.	0	2	0	-2	*	0,00
2	a5	bassin 4000	0	1	0	-1	*	0,00
1	b0	<i>referentie (Gt VII)</i>	307	-18	-1	-288	0,91	1,64
1	b1	lozing opp. w.	-167	17	3	147	0,19	0,02
1	b2	lozing infiltr.	-52	3	2	47	0,07	0,01
2	b0	<i>referentie</i>	308	-17	-1	-290	0,92	1,65
2	b1	lozing opp. w.	0	1	+	-1	*	0,00
2	b2	lozing infiltr.	0	0	0	0	*	0,00
1	c0	<i>referentie (Gt VI)</i>	269	-69	-8	-192	0,64	1,33
1	c1	lozing opp. w.	-153	31	7	115	0,17	0,01
2	c0	<i>referentie</i>	269	-67	-8	-194	0,64	1,33
2	c1	lozing opp. w.	0	1	+	-1	*	0,00

+ = $0,1 < |\text{fluxen}| < 0,5 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$

* = $0,001 < |\text{standen}| < 0,005 \text{ m.}$

5.2.3 Invloed buiten het kassengebied

De toename van het verhard oppervlak bij de bouw van kassen leidt tot een vermindering van de grondwateraanvulling ter plaatse. In de omgeving is er een toename in de wegzijging van maximaal $2 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$. De toename in de wegzijging rond het gebied met kassen compenseert voor een groot deel de afname in de wegzijging in het gebied met kassen. Voor een Gt V is dit 90% en voor Gt VI en VII is dit 85%. Het resterende deel van de veranderingen geeft buiten het modelgebied een beïnvloeding. Daardoor kan uiteindelijk de waterhuishouding van een groter gebied beïnvloed worden, zodat in gebieden met kwel deze stroming afneemt.

Uit tabel 13 blijkt dat in zone 2 de invloed van de glastuinbouw nog aanwezig is. In de waterbalans geeft dit nog veranderingen van circa $2 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$, terwijl de veranderingen in de grondwaterstanden hooguit 0,5 cm bedragen. Uit aanhangsel 2 blijkt dat de effecten in fluxen (wegzijging) zich voort zetten tot in zone 4.

Ook bij varianten b1 en b2 (Gt VII) zijn de effecten in zone 2 grotendeels verdwenen. De waterbalans en de grondwaterstanden veranderen in zone 2 met hooguit 1 mm, resp 0,5 cm (tabel 13).

De effecten in fluxen (wegzijging) zetten zich voor alle drie de grondwatertrappen voort tot en met zone 4 (aanhangel 2). Voor de grondwaterstanden blijven de effecten beperkt tot en met zone 2.

5.3 Invloeden vier glastuinbouwbedrijven

Bij inrichtingssituatie 2 beslaat het gebied met kassen een groter oppervlak. Zone 2 komt hierdoor te vervallen. Voor inrichtingssituatie 2 zijn extra varianten doorgerekend om de effecten van maaiveld, geohydrologie en weersgesteldheid te bepalen (par 5.3.2). Voor een beschrijving van de gepresenteerde varianten zie paragraaf 4.4. In deze paragraaf zijn alleen de belangrijkste resultaten opgenomen. In aanhangsel 3 zijn alle resultaten weergegeven.

5.3.1 Grondwatertrappen en compenserende maatregelen

In tabel 14 zijn de resultaten gepresenteerd van de berekeningen met vier glastuinbouwbedrijven (varianten a t/m c). Voor deze inrichtingssituatie bedraagt de verandering van de aanvulling naar het grondwater in variant a1 $158 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$. De verandering van de wegzijging naar het diepere grondwater voor variant a1 bedraagt $73 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$. Variant a2 laat ook voor deze situatie de minste beïnvloeding zien. De wegzijging naar het diepere grondwater verandert met slechts $1 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$.

Opvallend is dat in variant a5 bijna geen wegzijging meer aanwezig is. De hoeveelheid wegzijging bedraagt hier nog maar 1 mm (tabel 14: waarde a0 en a5 opgeteld). Het bassin van $4000 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ heeft iets meer nadelige gevolgen op de wegzijging in vergelijking met variant a1. De verandering van grondwaterstanden blijft evenwel gelijk (GHG: 0,21 m en GLG: -0,01 m).

Voor grondwatertrap VII (b-varianten) is de afvoer naar het oppervlaktewater gering (tabel 14). Daardoor is de wegzijging naar het diepere grondwater relatief hoog in vergelijking met de a-varianten. De effecten van de glastuinbouw bij een Gt VII zijn dan ook groot ($158 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$). Bij variant b1 bedraagt de verandering in GHG dan ook 0,22 m en de GLG verandert 0,03 m. In variant b2 zijn de effecten van de glastuinbouw op de waterbalans en de grondwaterstanden aanmerkelijk kleiner dan in variant b1.

Voor de c-varianten zijn de effecten vergelijkbaar met die van de b-varianten. Met dit verschil dat de veranderingen in de waterbalans iets minder zijn.

Invloed buiten het kassengebied

De toename van het verhard oppervlak bij de bouw van kassen leidt tot een vermindering van de grondwateraanvulling ter plaatse. In de omgeving is er een toename van maximaal $5 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ in de wegzijging. De toename in de wegzijging rond het gebied met kassen compenseert voor een deel de afname in de wegzijging in het gebied met kassen. Voor een Gt V is dit 70%, voor een Gt VI is dit 40% en voor een Gt VII 25%. Het resterende deel van de veranderingen geeft buiten het modelgebied een beïnvloeding.

De effecten van de glastuinbouw met betrekking tot de fluxen zetten zich voor alle drie de grondwatertrappen voort tot en met zone 5 (aanhangel 3). De effecten op de grondwaterstanden zijn in zone 5 maximaal 0,5 cm. Bij een grondwatertrap VI treden er in zone 5 geen veranderingen in grondwaterstanden op.

Tabel 14 Waterbalans (fluxen in $\text{mm}\cdot\text{j}^{-1}$) voor het ondiepe verzadigde grondwater en de grondwaterstanden (m-mv.) voor 4 glastuinbouwbedrijven met Gt V, VI en VII.
Met uitzondering van de cursieve getallen (deze zijn absoluut) zijn alle waarden in de tabel relatief ten opzichte van de referentie.

Zone	Var.	Omschrijving	Aanv.	Opp.w.	Berging	Kwel	GHG	GLG
<i>1</i>	<i>a0</i>	<i>referentie (Gt V)</i>	<i>254</i>	<i>-161</i>	<i>-14</i>	<i>-79</i>	<i>0,37</i>	<i>1,26</i>
1	a1	lozing opp. w.	-158	69	16	73	0,21	-0,01
1	a2	lozing infiltr.	-30	15	14	1	0,07	-0,02
1	a3	wateraanvoer	-159	75	16	68	0,20	-0,02
1	a4	stuwpeil opz.	-158	91	17	50	0,17	-0,01
1	a5	bassin 4000	-166	71	17	78	0,21	-0,01
3	a0	referentie	255	-158	-14	-83	0,36	1,27
3	a1	lozing opp. w.	+	4	0	-4	0,01	*
3	a2	lozing infiltr.	+	0	1	-1	*	*
3	a3	wateraanvoer	+	4	0	-4	0,01	*
3	a4	stuwpeil opz.	+	4	0	-4	*	*
3	a5	bassin 4000	+	4	1	-5	*	*
<i>1</i>	<i>b0</i>	<i>referentie (Gt VII)</i>	<i>308</i>	<i>-18</i>	<i>-1</i>	<i>-289</i>	<i>0,92</i>	<i>1,65</i>
1	b1	lozing opp. w.	-179	18	3	158	0,22	0,03
1	b2	lozing infiltr.	-55	3	1	51	0,07	0,02
3	b0	referentie	309	-16	-1	-292	0,92	1,65
3	b1	lozing opp. w.	1	3	0	-4	0,01	*
3	b2	lozing infiltr.	1	0	0	-1	*	0,00
<i>1</i>	<i>c0</i>	<i>referentie (Gt VI)</i>	<i>269</i>	<i>-69</i>	<i>-7</i>	<i>-193</i>	<i>0,64</i>	<i>1,33</i>
1	c1	lozing opp. w.	-163	34	6	123	0,19	0,01
3	c0	referentie	270	-65	-7	-198	0,64	1,34
3	c1	lozing opp. w.	1	3	1	-5	0,01	0,00

+ = $0,1 < |\text{fluxen}| < 0,5 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$

* = $0,001 < |\text{standen}| < 0,005 \text{ m.}$

5.3.2 Invloed diverse parameters

In tabel 15 zijn de resultaten gepresenteerd van de aanvullende berekeningen (varianten d t/m i). Voor deze varianten is een grondwatertrap V aangehouden. Op de rand van het modelgebied zijn dezelfde randvoorwaarden aangehouden als voor de a-varianten.

De verandering van het maaiveld in de d-varianten van vlak naar hellend ($0,5 \text{ m} \cdot \text{km}^{-1}$) heeft nauwelijks gevolgen voor zowel de waterbalans als de grondwaterstanden. Er zijn geen noemenswaardige veranderingen opgetreden tussen de d-varianten en de a-varianten (tabel 15).

Bij de resultaten van de e-varianten treden kleine verschuivingen op in de waterbalans ten opzichte van de a-varianten. Door een verdubbeling van de kD -waarde veranderen de grondwaterstanden van variant e0 (tabel 15) ten opzichte van de variant a0 uit tabel 14 (GLG resp. 1,32 m en 1,26 m). De effecten van de glastuinbouw op de GHG in variant e1 zijn 0,01 m kleiner dan de effecten in de a1-variant. Door de verandering in grondwaterstand verandert ook de waterbalans enigszins (hooguit $3 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$).

In de f-varianten is een geohydrologische situatie voor de Peelhorst weergegeven (tabel 8). De c-waarde voor het afdekkend pakket blijft 250 d, maar de kD is $500 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$. Het gevolg is een verandering in de waterhuishoudkundige situatie: van een Gt V naar een Gt IV (zie tabel 4). Uit tabel 15 blijkt dat de GLG gestegen is naar 1,14 m-mv., voor een Gt V zou deze op zijn minst 1,20 m-mv. moeten wezen. De effecten van deze veranderingen op de referentiesituatie f0 zijn een iets kleinere grondwateraanvulling en een verhoogde afvoer naar het oppervlaktewater. Hierdoor vermindert de hoeveelheid wegzijging. De simulatie van het kassencomplex in variant f1 versterkt dit beeld. Namelijk iets grotere veranderingen in variant f1 ten opzichte van variant f0. De wegzijging van $61 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$ in variant f0 uit tabel 15 verandert zelfs in een kwel van $1 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$ in variant f1. De effecten op grondwaterstanden zijn in variant f1 circa 0,02 m meer dan de effecten die berekend zijn in variant a1 (tabel 15). De invloedssfeer van deze f1-variant is iets groter dan van variant a1. Dit is te zien aan de verandering van de wegzijging van $8 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$ in zone 3 ten opzichte van de $4 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$ in zone 2 van variant a1.

In variant g0 uit tabel 15 worden de effecten van variant f0 nog eens versterkt wanneer ook de c-waarde van het afdekkend pakket verhoogd wordt van 500 naar 1000 d. In de g-varianten neemt hierdoor de afvoer naar het oppervlaktewater toe ten opzichte van f-varianten. De verandering van de wegzijging bedraagt $27 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$ ten opzichte van de g0-variant ($41 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$). Dit is minder dan de effecten in variant f1 waar de wegzijging met $62 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$ verandert ten opzichte van variant f0 ($61 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$).

Verder is in tabel 15 te zien dat de grondwaterstanden wel veel dieper worden. De GHG verandert met 0,33 m naar 0,66 m beneden maaiveld en de GLG met 0,06 m naar 1,06 m beneden maaiveld. In zone 3 is de verandering van de grondwaterstand (GHG) nog maar 0,01 m. Ook in de waterbalans geeft variant g1 nog maar zeer kleine veranderingen in zone 3 weer. Dit wordt veroorzaakt door de hoge c-waarde van het afdekkend pakket.

In de h- en i-varianten van tabel 15 zijn de invloeden van de weersomstandigheden onderzocht. In de h-varianten (droge periode 1972 t/m 1976) is de grondwateraanvulling

Tabel 15 Waterbalans (fluxen in $\text{mm}\cdot\text{j}^{-1}$) voor het ondiepe verzadigde grondwater en de grondwaterstanden (m-mv.) voor 4 glastuinbouwbedrijven met Gt V en variaties in maaiveld, geohydrologie en weersgesteldheid. Met uitzondering van de cursieve getallen (deze zijn absoluut) zijn alle waarden in de tabel relatief ten opzichte van de referentie.

Zone	Var.	Omschrijving	Aanv.	Opp.w.	Berging	Kwel	GHG	GLG
1	d0	Maaiveld hellend	254	-162	-12	-80	0,37	1,26
1	d1	Bassin 2000	-158	71	14	73	0,21	-0,01
3	d0	Maaiveld hellend	255	-161	-12	-82	0,36	1,27
3	d1	Bassin 2000	+	4	0	-4	0,01	*
1	e0	Slenk $kD = 3000$	257	-160	-17	-80	0,37	1,32
1	e1	Bassin 2000	-160	66	19	75	0,20	-0,01
3	e0	Slenk $kD = 3000$	258	-158	-17	-83	0,37	1,32
3	e1	Bassin 2000	0	3	0	-3	*	0,00
1	f0	Horst $kD = 500$	249	-175	-13	-61	0,36	1,14
1	f1	Bassin 2000	-155	79	14	62	0,23	-0,03
3	f0	Horst $kD = 500$	249	-171	-13	-65	0,34	1,15
3	f1	Bassin 2000	+	8	0	-8	0,03	*
1	g0	Horst $c = 1000$	247	-199	-7	-41	0,33	1,10
1	g1	Bassin 2000	-155	124	4	27	0,33	-0,06
3	g0	Horst $c = 1000$	247	-199	-4	-44	0,32	1,10
3	g1	Bassin 2000	0	13	-13	0	0,01	0,00
1	h0	1972 t/m 1976	157	-114	-13	-30	0,48	1,26
1	h1	Bassin 2000	-104	47	11	46	0,13	*
3	h0	1972 t/m 1976	157	-113	-13	-31	0,46	1,27
3	h1	Bassin 2000	+	3	1	-4	*	*
1	i0	1977 t/m 1981	255	-154	-9	-92	0,38	1,25
1	i1	Bassin 2000	-157	67	8	82	0,18	*
3	i0	1977 t/m 1981	255	-151	-9	-95	0,37	1,25
3	i1	Bassin 2000	0	4	0	-4	0,01	*

+ = $0,1 < |\text{fluxen}| < 0,5 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$

* = $0,001 < |\text{standen}| < 0,005 \text{ m.}$

sterk afgenomen. Hierdoor vindt er ook minder afvoer naar het oppervlaktewater plaats. Netto resulteert dat in een verminderde wegzijging in variant h0 ten opzichte van variant a0. In variant h1 is de invloed op de wegzijging meer dan in variant a1 (resp. 46 en $73 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ t.o.v. een referentiesituatie van resp. 30 en $79 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$). Door een verminderde neerslag zijn de effecten op de grondwaterstanden van variant h1 minder groot dan in de variant a1. Voor de GHG is in variant h1 een verandering van 0,13 m berekend.

Dit is 0,08 m minder dan de verandering van de GHG in variant a1 (0,21 m). De absolute waarden van de GHG en de GLG zijn echter wel lager in vergelijking met variant a1.

De i-varianten (1976 t/m 1981) laten geen al te grote wijzigingen zien in vergelijking met de a-varianten. Er zijn geen verschillen in de grondwateraanvulling tussen de a- en i-varianten. Een iets hogere wegzijging is waarneembaar (tabel 15). Ook in de berekende grondwaterstanden zijn kleine veranderingen waarneembaar. De GHG verandert in variant i1 0,03 m minder dan in variant a1, maar in zone 5 is de verandering van de GHG in variant i1 iets groter dan in variant a1 (tabel 29 in aanhangsel 3).

5.4 Invloeden tien glastuinbouwbedrijven

In tabel 16 zijn de resultaten weergegeven van de berekeningen zoals in hoofdstuk 4 zijn omschreven. In deze paragraaf zijn alleen de belangrijkste resultaten opgenomen. In aanhangsel 4 zijn alle resultaten weergegeven. Voor een beschrijving van de gepresenteerde varianten zie paragraaf 4.4.

Voor inrichtingssituatie 3 (tabel 16) is een groter netwerk gebruikt (fig. 9), waardoor met name de grondwaterstanden veranderen (tabel 16). Dit wordt veroorzaakt doordat op de rand van het modelgebied dezelfde randvoorwaarden zijn gebruikt als bij 1 en 4 bedrijven (par. 5.2 en 5.3). Het gevolg is een grotere opbolling van de grondwaterpiegel binnen het modelgebied, met als resultaat een ondiepere GLG (1,17 t.o.v. 1,26 m-mv. in situatie 1).

De effecten van de varianten uit tabel 16 zijn te vergelijken met die van 1 en 4 bedrijven (tabellen 13 en 14). In tabel 16 bedraagt de verandering van de aanvulling van variant a1 $151 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$. Dit is meer dan de helft van de totale aanvulling in de referentiesituatie. De verandering van de wegzijging van variant a1 bedraagt $62 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ ten opzichte van de $67 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ van variant a0. Variant a2 laat ook voor deze situatie de minste beïnvloeding zien. De wegzijging neemt zelfs $2 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ toe. Variant a3 heeft iets meer effecten tot gevolg dan variant a4, maar verschilt niet al te veel van variant a1. Voor variant a5 worden de grootste effecten berekend. In deze variant is er geen wegzijging meer naar het diepere grondwater. De wegzijging wordt door variant a5 van 67 naar $0 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ gereduceerd. Voor deze variant wordt ook de grootste verandering van de GHG berekend, namelijk $0,23 \text{ m}$. De verandering van de GLG is voor alle a-varianten $-0,03 \text{ m}$, de GLG komt dus ondieper te liggen (minder verdamping in zomerperiode).

De invloedssfeer van de glastuinbouw is in deze situatie toegenomen. In zone 4 van de a-varianten komen in de grondwaterstanden veranderingen van circa $0,02 \text{ m}$ voor. Uit de resultaten weergegeven in aanhangsel 4 kan geconstateerd worden dat de beïnvloeding van het kassencomplex met 10 bedrijven doorloopt tot en met zone 6. De effecten van de b-varianten zijn voor wat betreft de waterbalans groter dan in de a-varianten. Door de diepere grondwaterstanden (Gt VII) vermindert in variant b1 de aanvulling met $157 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ ten opzichte van de referentiesituatie. De GHG van variant b1 verandert $0,23 \text{ m}$ en de GLG $0,03 \text{ m}$ ten opzichte van variant a1. In variant b2 is

Tabel 16 Waterbalans (fluxen in $\text{mm}\cdot\text{j}^{-1}$) voor het ondiepe verzadigde grondwater en de grondwaterstanden (m-mv.) voor 10 glastuinbouwbedrijven. Met uitzondering van de cursieve getallen (deze zijn absoluut) zijn alle waarden in de tabel relatief ten opzichte van de referentie.

Zone	Var.	Omschrijving	Aanv.	Opp.w.	Berging	Kwel	GHG	GLG
1	a0	referentie (Gt V)	250	-170	-13	-67	0,37	1,17
1	a1	lozing opp. w.	-151	75	14	62	0,22	-0,03
1	a2	lozing infiltr.	-27	18	11	-2	0,08	-0,03
1	a3	wateraanvoer	-151	79	14	58	0,21	-0,03
1	a4	stuwpeil opz.	-151	96	14	41	0,18	-0,03
1	a5	bassin 4000	-160	78	15	67	0,23	-0,03
4	a0	referentie	251	-165	-13	-73	0,36	1,18
4	a1	lozing opp. w.	+	7	+	-7	0,02	*
4	a2	lozing infiltr.	+	0	0	0	0,01	*
4	a3	wateraanvoer	+	6	+	-6	0,02	*
4	a4	stuwpeil opz.	+	7	0	-7	0,01	*
4	a5	bassin 4000	+	6	+	-6	0,02	*
1	b0	referentie (Gt VII)	285	-30	-2	-253	0,79	1,44
1	b1	lozing opp. w.	-160	22	1	137	0,23	0,03
1	b2	lozing infiltr.	-42	5	-1	38	0,08	0,02
4	b0	referentie	287	-26	-2	-259	0,80	1,46
4	b1	lozing opp. w.	2	7	0	-9	0,01	0,01
4	b2	lozing infiltr.	1	0	0	-1	0,01	0,00
1	c0	referentie (Gt VI)	257	-88	-13	-156	0,57	1,23
1	c1	lozing opp. w.	-154	35	10	109	0,20	0,00
4	c0	referentie	258	-82	-13	-163	0,57	1,24
4	c1	lozing opp. w.	1	6	1	-8	0,01	*

+ = $0,1 < |\text{fluxen}| < 0,5 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$

* = $0,001 < |\text{standen}| < 0,005 \text{ m.}$

het effect van de kassen $38 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ waardoor variant b2 de minste effecten laat zien qua waterbalans en grondwaterstanden.

Voor de c-varianten zijn de effecten vergelijkbaar met die van de b-varianten. Met dit verschil dat de veranderingen in de waterbalans iets minder zijn.

Invloed buiten het kassengebied

De toename van het verhard oppervlak bij de bouw van kassen leidt tot een vermindering van de grondwateraanvulling ter plaatse. In de omgeving is er een toename van maximaal $9 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ in de wegzijging. De toename in de wegzijging rond het gebied met kassen compenseert voor een deel de afname in de wegzijging in het gebied met kassen. Voor een Gt V is dit 80%, voor een Gt VI is dit 30% en voor een Gt VII 25%. Het resterende deel van de veranderingen geeft buiten het modelgebied een beïnvloeding. De invloedssfeer van de 10 glastuinbouwbedrijven strekt zich voor zowel de waterbalans als de grondwaterstanden uit tot en met zone 6 (aanhangel 4).

5.5 Vergelijking van de drie inrichtingssituaties

Uit de resultaten die gepresenteerd zijn in tabellen 13 t/m 16 komen een aantal belangrijke overeenkomsten en verschillen tot uiting.

Bij de toename van het aantal glastuinbouwbedrijven is het effect hiervan op de grondwateraanvulling per ha glas over het algemeen gering. Van alle varianten bij de drie grondwatertrappen en een bassin van $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (varianten a1, b1 en c1) varieert deze verandering tussen de 150 en $180 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$. Dit heeft tot gevolg dat er tussen deze varianten geringe verschillen in de waterbalans optreden.

In het algemeen reageren de grondwaterstanden (GHG en GLG) hetzelfde bij de drie inrichtingssituaties. De verandering in GHG bij inrichtingssituatie 1 (1 bedrijf) is 0,19 m, bij situatie 2 (4 bedrijven) is het 0,21 m en bij situatie 3 (10 bedrijven) is het 0,22 m. Voor de GLG zijn de veranderingen voor variant a1 bij situatie 1, 2 en 3 resp. -0,01, -0,01 en -0,03 m.

Voor inrichtingssituatie 1 (1 bedrijf) beperken de effecten op de grondwaterstanden zich tot zone 1 en 2. Voor situatie 2 (4 bedrijven) zetten de effecten zich voort tot en met zone 5 en voor situatie 3 (10 bedrijven) tot en met zone 6.

De effecten van de compenserende maatregelen verschillen per inrichtingssituatie niet veel. Ten opzichte van de referentiesituaties blijven de effecten even groot.

6 Conclusies en aanbevelingen

Uit de resultaten, die in hoofdstuk 5 gepresenteerd en beschreven zijn, kan een aantal conclusies getrokken worden. Deze conclusies hebben betrekking op de waterhuishoudkundige effecten van de vestiging van één of meer glastuinbouwbedrijven. De effecten zijn zichtbaar gemaakt door middel van een waterbalans van het onverzadigd en verzadigd grondwater, daarnaast door middel van grondwaterstanden (GHG en GLG).

Voordat er conclusies worden getrokken uit de gepresenteerde resultaten dienen er eerst nog een aantal opmerkingen gemaakt te worden die belangrijk zijn voor de totstandkoming van de conclusies.

Glastuinbouwbedrijf. De teeltoppervlakte onder glas is 2 ha, bij een bruto oppervlak van 4 ha. Dit bruto oppervlak sluit een regenwaterbassin (2000 of $4000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) in en daarnaast de erfverharding, bedrijfsgebouwen, ontsluiting, enz. Gekozen is voor een bedrijf met een substraatteelt van paprika, met een waterbehoefte van $\text{ca } 700 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$.

Modelgebied. Het modelgebied is een fictief gebied dat is gekarakteriseerd op basis van gegevens ontleend aan eerdere studies van de omgeving van de Peelvenen.

Gebiedsomvang. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van twee netwerken met verschillende afmetingen. Voor situatie 1 (1 glastuinbouwbedrijf) en 2 (4 bedrijven) is een netwerk van $2 \times 2 \text{ km}^2$ gebruikt en voor situatie 3 (10 bedrijven) is een netwerk van $3 \times 3 \text{ km}^2$ gebruikt (fig. 7 t/m 9).

Geohydrologie. Voor de bovengrond (karakteristieke onverzadigde zone) is gerekend met gegevens voor een humuspodzolgrond. De geohydrologische opbouw van de ondergrond (verzadigde zone) is geschematiseerd als een afdekkend pakket met daaronder één watervoerend pakket. Deze opbouw is in sterke mate bepalend voor de waterhuishoudkundige effecten naar de omgeving. Er is gerekend met geohydrologische parameters die van toepassing zijn op de Centrale Slenk resp. de Peelhorst (tabel 8).

Randvoorwaarden. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de grondwatertrappen V, VI en VII. Hoewel er met verschillende netwerken is gerekend, zijn de randvoorwaarden van het modelgebied gelijk gehouden. In een aantal gevallen wordt door het gelijk houden van de randvoorwaarden geen grondwatertrap V meer gesimuleerd. Om toch alle varianten onderling te kunnen vergelijken zijn deze randvoorwaarden niet aangepast. Er is gerekend met de weersgesteldheid van de jaren 1982 t/m 1986 (neerslag gem. $777 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$ en potentiële gewasverdamping $555 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$).

De conclusies uit dit onderzoek zijn:

De grondwatertrap heeft een belangrijke invloed op de waterbalans van het ondiepe grondwater. De grondwateraanvulling en de wegzijging nemen toe naar mate de grond-

waterstanden dieper zijn. Voor het modelgebied van $2 \times 2 \text{ km}^2$ en zonder kassen zijn deze fluxen weergegeven in tabel 17. Grondwateraanvulling is gedefinieerd als de hoeveelheid water die vanuit de onverzadigde zone aan de verzadigde zone wordt toegevoegd. De wegzijging uit tabel 17 geeft de flux weer met het regionale systeem ('diepe grondwater' - fig. 6).

Tabel 17 Grondwateraanvulling en wegzijging ($\text{mm} \cdot \text{j}^{-1}$) voor Gt V, VI en VII in een agrarisch gebied zonder kassen (geohydrologische opbouw Centrale Slenk: afdekkend pakket $c=250 \text{ d}$ en watervoerend pakket $kD=1500 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$).

Grondwatertrap	Grondwateraanvulling	Wegzijging
V	250	80
VI	270	190
VII	310	290

1 glastuinbouwbedrijf en bassin van $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$

Door de bouw van kassen vermindert de grondwateraanvulling met circa $150\text{--}165 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$ ter plaatse van de glastuinbouwbedrijven (tabel 18). De afname in de wegzijging hangt sterk af van de grondwatertrap.

De verlaging van de GHG ter plaatse van de glastuinbouwbedrijven bedraagt voor de drie grondwatertrappen $0,17\text{--}0,19 \text{ m}$ (tabel 18). De verandering van de GLG is gering ($0,01 \text{ m}$).

Het blijkt dat door de bouw van kassen vooral in de herfst en winter een verlaging van de grondwaterstand optreedt (fig. 10). Maatregelen om dit ter plaatse te compenseren moeten daarom in die perioden worden getroffen.

Tabel 18 Afname in grondwateraanvulling en wegzijging en verlagingen van grondwaterstanden door de bouw van één glastuinbouwbedrijf van 2 ha (regenwaterbassin $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Resultaten zijn voor het bruto oppervlak van 4 ha .

Grondwatertrap	Afname grondwateraanvulling ($\text{mm} \cdot \text{j}^{-1}$)	Afname in wegzijging ($\text{mm} \cdot \text{j}^{-1}$)	Verlaging grondwaterstanden	
			GHG (m)	GLG (m)
V	148	69	0,19	-0,01
VI	153	115	0,17	0,01
VII	167	147	0,19	0,01

Compenserende maatregelen

Het laten infiltreren van het overtollige water uit het bassin is een goede maatregel om de veranderingen geheel of gedeeltelijk te compenseren. Het effect van glastuinbouw op de wegzijging is bij een grondwatertrap V afgenomen tot $1 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$ en voor een Gt VII afgenomen tot $47 \text{ mm} \cdot \text{j}^{-1}$ (tabel 19). De verlaging van de GHG voor deze twee grondwatertrappen blijft dan beperkt tot $0,06$ respectievelijk $0,07 \text{ m}$. Naar de technische haalbaarheid van deze maatregel is niet gekeken.

Water aanvoeren in de zomer heeft voor een grondwatertrap V nagenoeg geen effect

om de veranderingen te compenseren. De veranderingen in de grondwateraanvulling, wegzijging en grondwaterstanden, zoals weergegeven in tabel 19, blijven nagenoeg gelijk aan de resultaten zonder wateraanvoer (tabel 18). Deze resultaten moeten gezien worden in het licht van de karakteristieken oppervlaktewatersysteem voor de berekeningen (zie tabel 10: Gt V). Vanuit de grotere waterlopen (secundair systeem) is infiltratie van aangevoerd water alleen mogelijk. Door de beperkte aanwezigheid van deze sloten is de infiltratie gering.

Het opzetten van stuwpeilen (in winterperiode 0,30 m omhoog tot zomer stand van 0,80 m-mv.) heeft enig effect. Voor een grondwatertrap V loopt de afname in de wegzijging terug van 69 (tabel 18) tot 46 mm·j⁻¹ (tabel 19). Het gevolg is ook een afname in de verandering GHG (0,16 m i.p.v. 0,19 m).

Tabel 19 *Afname in grondwateraanvulling en wegzijging door de bouw van 1 kas (bassin 2000 m³·ha⁻¹) en het treffen van compenserende maatregelen. Ook zijn verlagingen in grondwaterstanden aangegeven. Resultaten zijn voor het bruto oppervlak van 4 ha.*

Maatregel	Afname grondwateraanvulling (mm·j ⁻¹)	Afname in wegzijging (mm·j ⁻¹)	Verlaging grondwaterstanden	
			GHG (m)	GLG (m)
Infiltr. (Gt V)	29	1	0,06	-0,01
Infiltr. (Gt VII)	52	47	0,07	-0,01
Wateraanv. (Gt V)	149	64	0,19	-0,02
Stuwpeil opz. (Gt V)	148	46	0,16	-0,01

Aantal glastuinbouwbedrijven

De invloed van het aantal bedrijven in het modelgebied op de berekende waterbalansen termen zijn niet erg groot. De waarden bij vier bedrijven zijn slechts enkele mm·j⁻¹ hoger dan de waarden van één bedrijf (tabel 18 en 19). Voor de grondwaterstanden ter plaatse van de bedrijven zijn de veranderingen bij vier bedrijven gering (verlaging GHG is 0,19-0,22 m voor Gt V-VII). De grondwaterstandsverlagingen die optreden bij 10 glastuinbouwbedrijven zijn 0,03 m groter dan de verlagingen bij 1 bedrijf (verlaging GHG is 0,20-0,23 m voor Gt V-VII). Voor de GLG bedragen de verschillen hooguit 0,02 m.

Invloed buiten het kassengebied

Door de aanwezigheid van een afdekkend pakket wordt de invloed van de glastuinbouw op de zone direct grenzend aan het gebied met kassen sterk gereduceerd (tabel 20). Veranderingen in de GHG zijn maximaal 0,02 m. In de waterbalans treden geen veranderingen in de grondwateraanvulling op en bedraagt de toename in de wegzijging maximaal 7 mm·j⁻¹. De geringe toename in de wegzijging rond het gebied met kassen compenseert gedeeltelijk de afname in de wegzijging in het gebied met kassen. Bij 4 kassen is deze compensatie voor een Gt V 70%, voor een Gt VI is dit 40% en voor een Gt VII 25%. Het resterende deel van de invloed van de glastuinbouw geeft veranderingen buiten het modelgebied. Daardoor wordt de waterhuishouding van een groter gebied beïnvloed.

Veranderingen in wegzijging zijn merkbaar op een afstand van 500 tot 1000 m buiten het kassengebied (tabel 20). Voor grondwaterstanden zijn veranderingen nog merkbaar op 100 tot 1000 m. Het aantal kassen bepaalt de afstand waarop de beïnvloeding nog merkbaar is.

Tabel 20 Veranderingen in wegzijging en grondwaterstanden in een strook van 150-250 m aangrenzend aan het gebied met kassen en daarnaast de afstand buiten het kassengebied waarop invloed van kassen merkbaar is (Gt V en bassin 2000 m³·ha⁻¹).

Aantal kassen	Strook 150-250 m		Invloed merkbaar op afstand **	
	Toename in wegzijging (mm·j ⁻¹)	Verlaging GHG (m)	T.a.v. wegzijging (m)	T.a.v. GHG (m)
1	1	*	500	100
4	4	0,01	700	400
10	7	0,02	1000	1000

* = 0,001 < GHG < 0,005 m

** = invloed groter dan 0,001 m of 0,1 mm·j⁻¹

Variaties in maaiveld en geohydrologie

Voor inrichtingssituatie 2 (4 bedrijven) zijn aanvullende varianten doorerekend met variaties in maaiveld geohydrologie en weersgesteldheid. De conclusies aan de hand van die resultaten zijn:

De effecten van de glastuinbouw zijn bij een hellend maaiveld (variant d) gelijk aan de effecten van een vlak maaiveld.

De geohydrologische opbouw is van groot belang bij de bepaling van de effecten in het gebied met kassen. Afhankelijk van de dikte van de pakketten en de kD- en c-waarden treden er effecten op zoals weergegeven in tabel 21.

Centrale Slenk parameters:

Een verdubbeling van de kD-waarde voor het 2^e pakket (variant e: kD = 3000 m·d⁻¹) geeft slechts zeer kleine verandering in tabel 21 te zien bij de waterbalans (< 3 mm·j⁻¹) en bij de grondwaterstanden (GHG: 0,20 m i.p.v. 0,21 m). Een toename in de wegzijging (fluxen > 0,1 mm·j⁻¹) is nog merkbaar op een afstand van 700 m buiten het kassengebied.

Peelhorst parameters:

De kD-waarde is 500 m·d⁻¹ en de weerstand van het afdekkend pakket bedraagt 250 of 1000 d. Bij een weerstand van 250 dagen treden er iets grotere grondwaterstandsveranderingen op (GHG = 0,23 m en GLG = -0,03). Het effect op de wegzijging neemt iets af. Tevens wordt de regionale beïnvloeding groter. In een strook van 150 m rond het gebied met kassen (fig. 8) is er een verandering van de GHG van 0,03 m (in tabel 20 is dit nog 0,01 m bij 4 bedrijven).

Bij een verticale weerstand van 1000 dagen is de afname in de wegzijging gering. De

verandering van de GHG is toegenomen tot 0,33 m en van de GLG tot -0,06 m.

Voor beide situaties op de Peelhorst is er een toename in de wegzijging (fluxen $> 0,1 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$) nog merkbaar op een afstand van 700 m buiten het kassengebied.

Tabel 21 *Afname in grondwateraanvulling en wegzijging door de bouw van 1 kas en bij de geohydrologische situaties uit de Centrale Slenk en Peelhorst. Ook zijn verlagingen in grondwaterstanden aangegeven. Resultaten zijn voor bruto oppervlak van 4 glastuinbouwbedrijven (Gt V en bassin $2000 \text{ mm}\cdot\text{ha}^{-1}$).*

Grondwater-trap	Afname grondwater-aanvulling (mm·j ⁻¹)	Afname in wegzijging (mm·j ⁻¹)	Verlaging grondwaterstanden	
			GHG (m)	GLG (m)
Centrale Slenk:				
c=250 kD=1500	158	73	0,21	-0,01
kD=3000	160	75	0,20	-0,01
Peelhorst:				
c=250 kD=500	155	62	0,23	-0,03
c=1000 kD=500	155	27	0,33	-0,06

Resultaten uit dit onderzoek kunnen gebruikt worden voor de bepaling van de effecten van de glastuinbouw voor specifieke lokaties in de omgeving van de Peelvenen en andere (qua geohydrologie) vergelijkbare gebieden.

Aanbevelingen

In dit onderzoek zijn een beperkt aantal varianten gedefinieerd. Om de effecten van de vestiging van glastuinbouw onder uiteenlopende omstandigheden te kunnen voorspellen zijn aanvullende berekeningen gewenst. Hierbij moet gedacht worden aan berekeningen met:

- grondwatertrap III en IV;
- wateraanvoer in combinatie met opzetten stuwpeilen;
- combinaties van compenserende maatregelen;
- verouderde glastuinbouwbedrijven opruimen (bedrijven zonder regenwaterbassin);
- andere bovengronden (karakteristieke onverzadigde zone).

Voor de berekeningen in dit onderzoek zijn gegevens gebruikt uit de omgeving van de Peelvenen. Ook voor andere gebieden in de provincie kan met de gevolgde methode, maar met andere invoergegevens, de effecten van de glastuinbouw worden bepaald.

De effecten voor een specifiek gebied kunnen worden berekend door de resultaten uit dit onderzoek te combineren met gebiedsgegevens van grondwaterstanden en regionale grondwaterstromingen. Als gevolg van de bouw van kassen wordt de stroming naar het diepere grondwater verminderd. Daardoor kan uiteindelijk de waterhuishouding van een groter gebied beïnvloed worden, zodat in gebieden met kwel deze stroming afneemt. Met behulp van een twee-dimensionaal grondwaterstromingsmodel om stroomlijnen te berekenen, kan de lokatie waar deze kwel afneemt, worden bepaald. Het model berekent, gegeven een aantal randvoorwaarden (stijghoogten en/of fluxen), de grondwaterstroming in de verzadigde zone. De uitvoer van het model bestaat uit stroomlijnen en stoftransport in termen van verblijftijden.

Literatuur

Boesten, J.J.T.I. & L. Stroosnijder 1986. 'Simple model for daily evaporation from fallow tilled soil under spring conditions in a temperate climate'. *Netherlands journal of agricultural science* 34:75-90.

CHO-TNO, 1988. *Van Penman naar Makkink; een nieuwe berekeningswijze voor de klimatologische verdampingsgetallen*. 's Gravenhage, CHO-TNO. Rapporten en Nota's No.19.

De Vries, F. & C. van Wallenburg, 1990. 'Met de nieuwe grondwatertrappenindeling meer zicht op het grondwater'. *Landinrichting*. 30(1): 31-36.

Drent, J., 1989. *Optimalisering regionaal waterbeheer in gebieden met tegengestelde belangen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 7.

Ernst, L.F., 1978. 'Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables'. *J. Hydrol.* 39(1/2): 1-50.

Feddes, R.A., 1987. 'Crop factors in relation to Makkink reference-crop evapotranspiration'. Comm. Hydrol. Onderzoek TNO, 's-Gravenhage. *Proc. en Inf.* No 39. pp. 33-44.

Hooghart, J.C., 1987. 'Verdampingscijfers: van Penman naar Makkink'. *Waterschapsbelangen*. 72e jaarg. no 8: 232-235.

Querner, E.P., 1993. *Aquatic weed control within an integrated water management framework*. Dissertatie, Landbouwniversiteit Wageningen. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Report 67.

Querner, E.P. & P.J.T. van Bakel, 1989. *Description of the regional groundwater flow model SIMGRO*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Report 7.

Querner, E.P., W.H.B. Aarnink & C.C.P. van Mourik, 1994. *Scenariostudie naar de verandering van grondwateraanvulling en grondwaterstanden tussen de jaren vijftig en tachtig*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 308.

Sluys, P. van der, 1982. De grondwatertrap als karakteristiek van het grondwaterstandsverloop. *H₂O*, 15(3): 42-46.

Walsum, P.E.V. van, 1990. *Waterbeheer rondom de Groote Peel; verkenning en evaluatie van scenario's*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 106.

Niet-gepubliceerde bronnen

Ad hoc groep verdamping, 1984. *Herziening van de berekening van de gewasverdamping in het hydrologisch model GELGAM*. Begeleidingsgroep GELGAM. Arnhem, Provincie Gelderland, Dienst Waterbeheer.

Ekert, F.G.M. van, 1994. *Bestemmingsplan tuinbouwontwikkeling Aardbeiweg*. Deurne.

Hemker, C.J. & H. van Elburg, 1989. *Micro-fem; User's manual*. Amsterdam.

RWS, 1994. *Lozingenbesluit WVO glastuinbouw*. Min. van Verkeer en Waterstaat.

Oranjewoud, 1993. *Ecohydrologisch onderzoek Mariapeel-Deurnse Peel*. Oosterhout, juni 1993.

Rees Vellinga, E. van & J.P. Broertjes, 1984. *Enige resultaten van een geohydrologisch onderzoek in het zuidelijk peelgebied*. Wageningen, ICW. Nota 1590.

Wesseling, J., 1960. Hulpmiddelen bij de berekening van de verdamping uit een vrij wateroppervlak. Mededeling 19, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.

Aanhangsel 1 Waterhuishouding glastuinbouwbedrijf

Algemeen

In dit aanhangsel zijn aspecten van de modelberekeningen voor het glastuinbouwbedrijf (hoofdstuk 2) nader uitgewerkt en toegelicht. Daarnaast zijn tabellen met gedetailleerde resultaten van de modelberekeningen opgenomen.

Berekenen wateropname van het gewas (T)

De gewastranspiratie T^* (en de direct daaraan gekoppelde wateropname T) is uiteindelijk bepalend voor de waterhuishouding van het glastuinbouwbedrijf en verdient daarom speciale aandacht. In figuur 12 zijn gegevens voor een teelt van paprika in steenwol op een modern bedrijf bij Helenaveen voor het teeltseizoen 1993-1994 verwerkt. Op het bedrijf zijn de watergift G en de drainage D vanuit het wortelmilieu (fig. 3 in hoofdstuk 2) met behulp van watermeters gekwantificeerd. De meters zijn wekelijks op een vast tijdstip afgelezen. Hieruit is T op weekbasis berekend als het verschil ($G - D$). De opname T is gerelateerd aan de globale straling op het vliegveld Welschap bij Eindhoven.

De teeltperiode loopt vanaf week 51 in 1993 tot in week 44 van 1994. Gegevens over de grootheden G en D zijn beperkt tot de periode van week 1 t/m 40. Die periode is in vier deelperioden van elk 10 weken verdeeld. Daardoor komen in figuur 12 de effecten van de groei en ontwikkeling van het gewas in de eerste deelperiode en van de verandering van het stralingsniveau (toename van de daglengte in de deelperiode tot midden juni, afname van de daglengte in de deelperiode daarna) tot uiting.

De vergelijking voor de rechte lijn in figuur 12 is:

$$T = 1,75 \cdot 10^{-6} \cdot S + 35,0 \quad (1.1)$$

met:

- T = wateropname door het gewas, in $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ per week;
- S = globale straling *boven* het kasdek, in $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ per week.

In het model wordt gerekend met dagtijdstappen. Met het oog daarop is relatie (1.1) aangepast. Het intercept van $35,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ per week wordt nu $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ per dag zodat

$$T = 1,75 \cdot 10^{-6} \cdot S + 5,0 \quad (1.2)$$

met:

- T = wateropname door het gewas, in $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ per dag;
- S = globale straling *boven* het kasdek, in $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ per dag.

Voor de periode van week 1 t/m week 6 liggen de punten in figuur 12 duidelijk beneden de rechte lijn. Voor die periode wordt gerekend met T volgens relatie (1.2), vermenig-

vuldigd met een gewasfactor f die geleidelijk oploopt van 0,2 naar 1,0. Daarmee wordt de groei en ontwikkeling van het gewas in rekening gebracht. Relatie (1.2) en de waarden voor de gewasfactor f worden bij het starten van de modelberekeningen ingevoerd.

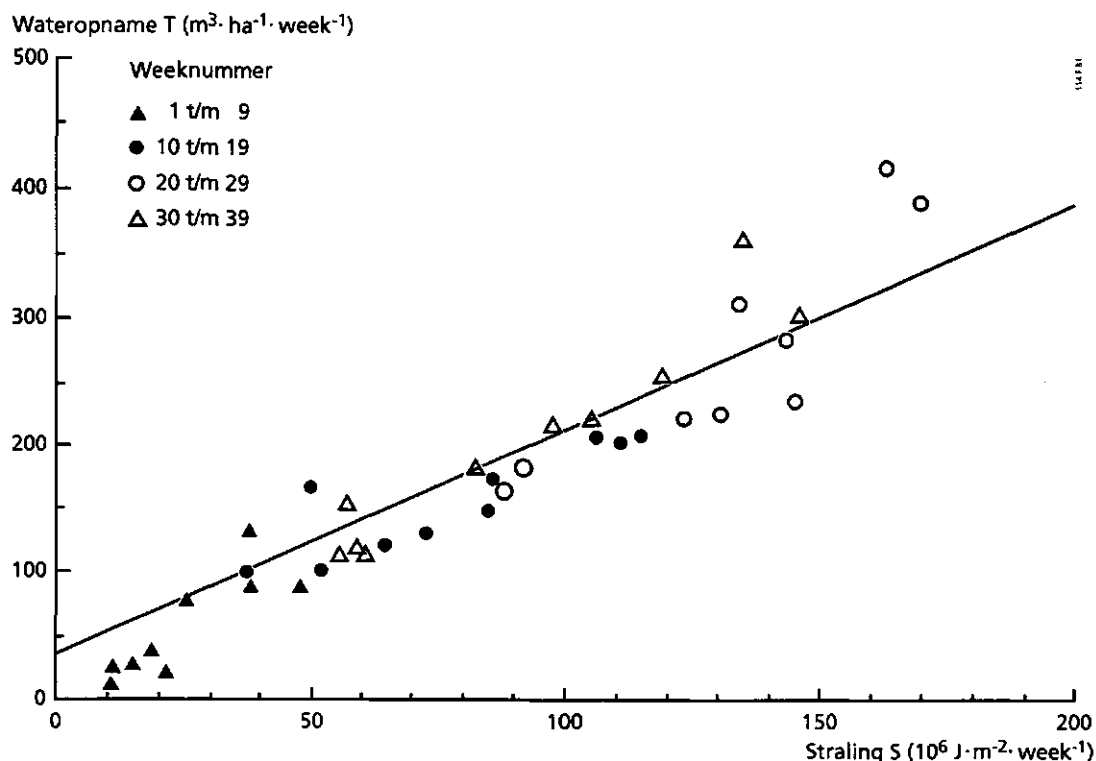


Fig. 12 Relatie tussen de globale straling boven het kasdek en de wateropname door het gewas; gegevens voor een teelt van paprika in steenwol voor een glastuinbouwbedrijf nabij Helenaveen, voor het teeltseizoen 1993-1994.

Berekening afvoer vanuit het wortelmilieu (A)

Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 is volledig hergebruik alléén mogelijk zolang de concentratie aan Na^+ -ionen in het wortelmilieu beneden de schadedrempel voor het desbetreffende gewas, in dit geval paprika, blijft. De Na-concentratie in het wortelmilieu is afhankelijk van de concentratie in het gietwater, van de opname van Na door het gewas en de grootte van de afvoer A in verhouding tot het waterverbruik V. Voor de water- en Na-balans van het wortelmilieu gelden de relaties:

$$V = T + A \quad (1.3)$$

en

$$V \cdot C_v = T \cdot C_t + A \cdot C_d \quad (1.4)$$

met:

- C_v = Na-concentratie in het gietwater;
- C_t = Na-concentratie in de opname-transpiratiestroom;
- C_d = maximaal aanvaardbare Na-concentratie in het wortelmilieu.

Het combineren van de water- en Na-balans leidt tot de relatie:

$$F_a = A/V = (C_v - C_t)/(C_d - C_t) \quad (1.5)$$

Het quotiënt F_a wordt aangeduid als de afvoerfractie, waarbij geldt: $0 < F_a < 1,0$.

Op basis van de gietwatervoorziening (bepalend voor C_v) en het gewas (bepalend voor C_t en C_d) wordt F_a per dagtijdstap berekend. Daarna volgt het berekenen van V en A via relatie (1.3).

In de berekeningen is uitgegaan van de volgende gegevens:

- $C_v = 0,3 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ voor regenwater en $0,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ voor ander water;
- $C_t = 0,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$;
- $C_d = 6,0 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$.

Op basis van deze gegevens zijn met relatie (1.5) de volgende F_a -waarden afgeleid en in de modelberekeningen gebruikt:

- $F_a = 0,0$ bij gebruik van regenwater;
- $F_a = 0,0$ bij gebruik van regenwater en ander water, 1:1 gemengd;
- $F_a = 0,02$ bij gebruik van ander water.

Bij gebruik van regenwater of van regenwater en ander water in de verhouding 1:1 geldt $F_a = 0,0$ dus $A = 0$: hergebruik is dan volledig, dat wil zeggen, $R = D$. Alléén in perioden met uitsluitend ander water (par. 2.3.2) is een minimale afvoer (2% van het verbruik V) noodzakelijk om de Na-concentratie C_d op de grenswaarde van $6,0 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ te houden. De glastuinbouw in Z.O.Brabant verkeert daarmee wat de gietwaterkwaliteit betreft in een gunstige positie in vergelijking met de glastuinbouw in het westen van Nederland.

Berekenen waterstromen naar en vanuit het bassin

De toevoer van water naar het bassin is de som van de bijdragen van regenwater (Q_n) en condenswater (Q_c). De toevoer van regenwater, vanaf het kasdek en direct wordt berekend volgens:

$$Q_n = (10\,000 + B_{\max}/3,0) \cdot N \cdot 10^{-3} \quad (1.6)$$

- N = neerslag ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$);
- $B_{\max}$ = maximale inhoud bassin (m^3).

De bijdrage via de neerslag direct in het bassin is evenredig met de oppervlakte open water. Als de taludhelling van het bassin wordt verwaarloosd is die oppervlakte constant. In relatie (1.6) wordt de oppervlakte open water berekend op basis van de totale diepte

van het bassin van 3,0 m (uitgegraven diepte: 1,0 m, hoogte dijk rondom: 2,0 m). Bij het berekenen van Q_n is geen rekening gehouden met verliezen door directe verdamping vanaf het kasdek.

Tot de toevoer Q_c van condenswater kan zowel de condensatie tegen de binnenzijde van het glasdek als het condenswater dat zich vormt bij het koelen van rookgassen bijdragen. De eerstgenoemde bijdrage is niet meegenomen omdat bruikbare gegevens over de kwantitatieve betekenis ervan ontbreken. De bijdrage via de rookgascondensor is gekwantificeerd op basis van het gasverbruik. In figuur 13 is het gasverbruik per week voor het glastuinbouwbedrijf bij Helenaveen voor het teeltseizoen 1993-1994 weergegeven in relatie tot de temperatuursom van de buitenlucht op weekbasis. De ligging van de punten in figuur 13 wordt redelijk goed beschreven door de curve volgens een exponentiële functie. Die functie is echter lastig te 'vertalen' in een relatie die bruikbaar is voor berekeningen op dagbasis. Daarom is het verloop gelineariseerd via de twee rechte lijnen die voldoen aan de volgende vergelijkingen:

$$G_w = -2,1 \cdot 10^{-2} \cdot T_w + 2,54 \quad \text{voor } T_w < 50 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (1.7a)$$

$$G_w = -9,1 \cdot 10^{-3} \cdot T_w + 1,92 \quad \text{voor } T_w > 50 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (1.7b)$$

waarin G_w en T_w het gasverbruik in $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ per week respectievelijk de temperatuursom in $^{\circ}\text{C}$ per week zijn. Voor berekeningen op dagbasis zijn het intercept en de temperatuursomgrens volgens relaties (1.7a) en (1.7b) door 7,0 gedeeld. Dit resulteerde uiteindelijk in de volgende relaties voor berekening van het aardgasverbruik G_d per dag uit de dagtemperatuur T_d :

$$G_d = -2,1 \cdot 10^{-2} T_d + 0,36 \quad \text{voor } T_d < 7 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (1.8a)$$

$$G_d = -9,1 \cdot 10^{-3} T_d + 0,27 \quad \text{voor } T_d > 7 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (1.8b)$$

De laatste stap betreft het berekenen van het volume condenswater uit het aardgasverbruik. Bij verbranding komt per m^3 aardgas ca. 1,6 kg water in dampvorm vrij. Via de rookgascondensor geeft dat ca. 1,0 kg condenswater. De resterende 0,6 kg verdwijnt alsnog via de schoorsteen als waterdamp en stoom. Deze vuistregel is in combinatie met relatie (1.8) gebruikt om Q_c in $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ per dag te berekenen op basis van de gemeten temperatuur T_d van de buitenlucht. Voor de periode zonder gewas is er geen kasverwarming, dus ook geen condenswater. In de berekeningen is dit bereikt via de voorwaarde $Q_c = 0$ als de gewasfactor $f = 0$.

De open-waterverdamping Q_o in $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ wordt berekend volgens

$$Q_o = (B_{\max}/3) \cdot E_o \cdot 10^{-3} \quad (1.9)$$

met E_o = open-waterverdamping. De open-waterverdamping wordt benaderd volgens Makkink (CHO-TNO, 1988):

$$E_o = 4,03 \cdot 10^{-7} \cdot S \cdot \{\delta/(\delta + \gamma)\} - 0,5 \quad (1.10)$$

- S = globale straling ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$);
- δ = verandering verzadigde dampspanning met temperatuur bij heersende luchttemperatuur ($\text{P} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$);
- γ = psychrometerconstante ($\text{P} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$).

Het quotiënt $\delta/(\delta + \gamma)$ is bij benadering lineair afhankelijk van de temperatuur. Uit getabelleerde gegevens van Wesseling (1962) is afgeleid:

$$\delta/(\delta + \gamma) = 1,30 \cdot 10^{-2} \cdot T_d + 0,41 \quad (1.11)$$

met T_d de luchttemperatuur ($^\circ\text{C}$).

Het combineren van de relaties (1.9), (1.10) en (1.11) leidt dan tot een relatie waarmee de Q_o per dagtijdstap wordt berekend.

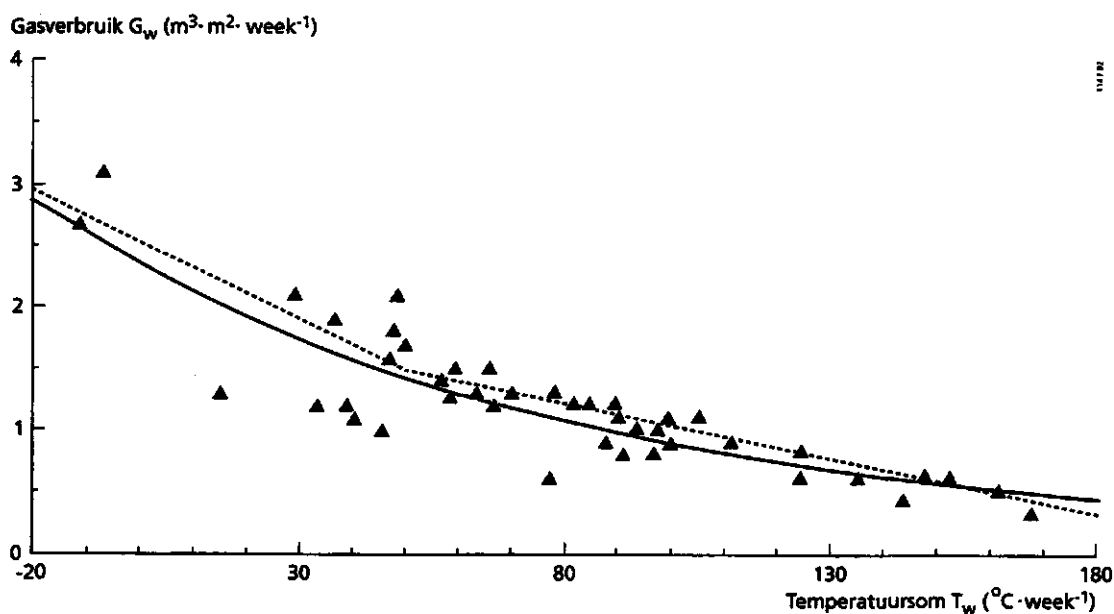


Fig. 13 Relatie tussen de temperatuur van de buitenlucht en het gasverbruik voor de kasverwarming; gegevens voor een teelt van paprika in steenwol voor een glastuinbouwbedrijf nabij Helenaveen, voor het teeltseizoen 1993-1994.

Beheer watervoorraad in bassin

Het beheer volgens variant A (par. 2.3.2) heeft geen nadere toelichting. Het berekenen van het dekken van de waterbehoefte volgens beheervariant B vereist het vastleggen van de grenzen waarbij wordt overgeschakeld van alléén regenwater op het gebruik van regenwater met ander water (1:1 gemengd) en op het gebruik van alléén ander water.

In de volgende uitwerking is $B_{\max}$ weer de maximum watervoorraad bij volledig gevuld bassin en $B_{\min}$ de niet bruikbare resthoeveelheid. Er is aangenomen dat $B_{\min} = 0,1 \cdot B_{\max}$.

Beheer bij bassin van $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$:

- voorjaarssituatie: gebruik van regenwater zolang $(B - B_{\min}) > 800 \text{ m}^3$, gecombineerd gebruik van regenwater en ander water voor $B_{\min} < B < 800 \text{ m}^3$;
- zomersituatie: gebruik van uitsluitend ander water nadat de bruikbare regenwatervoorraad geheel is uitgeput en zolang daarna $(B - B_{\min}) < 600 \text{ m}^3$; gebruik van regenwater en ander water zoals in de voorjaarssituatie zodra weer $(B - B_{\min}) > 600 \text{ m}^3$;
- najaarssituatie: gebruik van uitsluitend regenwater vanaf 1 september zodra $(B - B_{\min}) > 500 \text{ m}^3$.

Beheer bij bassin van $4000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$:

- voorjaarssituatie: gebruik van regenwater zolang $(B - B_{\min}) > 600 \text{ m}^3$, gecombineerd gebruik van regenwater en ander water voor $B_{\min} < B < 600 \text{ m}^3$;
- zomersituatie: gebruik van uitsluitend ander water nadat de bruikbare regenwatervoorraad geheel is uitgeput en zolang daarna $(B - B_{\min}) < 400 \text{ m}^3$; gebruik van regenwater en ander water zoals in de voorjaarssituatie zodra $(B - B_{\min}) > 400 \text{ m}^3$;
- najaarssituatie: gebruik van uitsluitend regenwater vanaf 1 september zodra $(B - B_{\min}) > 500 \text{ m}^3$.

De desbetreffende waarden voor $(B - B_{\min})$ worden bij de start van een berekening ingevoerd

Resultaten

Resultaten van berekeningen zijn opgenomen in de volgende tabellen:

- tabel 22: jaartotalen voor de periode 1971 t/m 1986, voor paprikabedrijf met een bassin van $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$;
- tabel 23: jaartotalen voor de periode 1971 t/m 1986, voor paprikabedrijf met een bassin van $4000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$;
- tabel 24: decadetotalen voor 1982, voor paprikabedrijf met een bassin van $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, beheervariant B;
- tabel 25: decadetotalen voor 1982, voor paprikabedrijf met een bassin van $4000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, beheervariant B.

De tabellen spreken grotendeels voor zich zodat met enkele opmerkingen wordt volstaan. Alle waterstromen worden uitgedrukt in $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \text{ glas}$ ($10,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ komt overeen met 1,0 mm water). Het is belangrijk voor ogen te houden dat de *totale* oppervlakte waarop de berekeningen betrekking hebben gelijk is aan de som van de glasoppervlakte (1,0 ha) en de oppervlakte die door het bassin wordt ingenomen: ca. 0,12 ha voor het bassin met een capaciteit van 2000 m^3 en ca. 0,20 ha voor het bassin van 4000 m^3 .

De hoeveelheden condenswater (Q_c) en de wateropname door het gewas (T) in de tabellen 22 en 23 zijn onafhankelijk van de grootte van het bassin en van het waterbeheer. De toevoer van regenwater (Q_n) en de verliezen vanuit het bassin via open-

waterverdamping (Q_o) zijn eveneens onafhankelijk van het waterbeheer maar wél afhankelijk van de bassingrootte, via de open-wateroppervlakte. De invloed van de bassingrootte en het beheer op de resterende waterstromen (V , Q_{rw} , Q_{aw} , Q_i en A) is niet in algemene termen te beschrijven. Die invloed is van jaar tot jaar verschillend en in sommige jaren zelfs nauwelijks of helemaal niet merkbaar. Bepalend hierbij zijn uiteindelijk de neerslaghoeveelheden. Die blijken in de periode 1971 t/m 1986 uiteen te lopen van ca. 550 mm in 1976 tot ca 950 mm in 1974. Uit de gemiddelden voor Q_{rw} , Q_{aw} en Q_i voor de periode 1971 t/m 1986 blijkt dat de grootte van het bassin een duidelijke invloed heeft. De invloed van het waterbeheer is beperkt en blijkt duidelijk groter te zijn bij een bassin van $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ dan bij een bassin van $4000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

De tabellen 24 en 25 geven een duidelijk beeld van het verloop van de waterstromen in het relatief droge jaar 1982. De totalen voor Q_n , Q_c , Q_{rw} en Q_i komen overeen met de desbetreffende totalen in de tabel 1 (zie hoofdstuk 2).

De totale toevoer van regenwater en condenswater naar het bassin, verminderd met de open-waterverdamping vanuit het bassin (dus: $Q_n + Q_c - Q_o$), blijkt ruwweg gelijk te zijn aan de wateropname T . De verdeling van Q_n enerzijds en T anderzijds vallen echter niet samen. Het zwaartepunt van de neerslag valt in het winterhalfjaar. Het verloop van T is precies tegengesteld, met het zwaartepunt in het zomerhalfjaar.

In het verloop van Q_{rw} , Q_{aw} en van de bassinhoud B zijn aspecten van het waterbeheer volgens variant B te herkennen. Zo zijn Q_{rw} en Q_{aw} in tabel 24 aan elkaar gelijk in decade 20 t/m 24, bij een (bruto) bassinvoorraad van minder dan 1000 m^3 (beschikbare voorraad minder dan 800 m^3). Dat is de situatie waarin bij het beheer volgens variant B regenwater en ander water, gemengd in de verhouding 1:1, worden gebruikt. Perioden waarin de voorraad regenwater geheel uitgeput raakte hebben zich in 1982 niet voorgedaan, noch bij het bassin van 2000 m^3 , noch bij het bassin van 4000 m^3 .

Tabel 22 *Waterbalansgegevens voor een teeltoppervlakte onder glas van 10 000 m² (1,0 ha), een regenwaterbassin van 2000 m³ en bij een teelt van paprika; totalen per jaar voor de periode 1971 t/m 1986, bij beheer van de watervoorraad in het bassin volgens variant A resp. B.*

Jaar	Neersl. Q _n m ³ ·ha ⁻¹	Conds. Q _c	Transp. T	Verd. Q _o	Afvoer- fractie L(=ΔV) (-)	Verbruik totaal V m ³ ·ha ⁻¹	Verbruik regenw. Q _{rw}	Verbruik ander w. Q _{aw}	Lozing regenw. Q _l	Lozing drainw. A	Bassin begin m ³	eind m ³
Beheer watervoorraad in bassin: volgens variant A:												
1971	6491.	618.	6925.	446.	0.001	6932.	6230.	702.	860.	6.	2000.	1572.
1972	6815.	636.	6578.	403.	0.000	6578.	6578.	0.	43.	0.	1572.	2000.
1973	6891.	623.	6962.	454.	0.002	6974.	5679.	1294.	1380.	11.	2000.	2000.
1974	9950.	580.	6875.	430.	0.001	6883.	6004.	879.	4096.	8.	2000.	2000.
1975	6190.	596.	7007.	460.	0.002	7020.	5540.	1480.	1172.	13.	2000.	1614.
1976	5797.	616.	7599.	524.	0.004	7628.	4366.	3261.	1137.	29.	1614.	2000.
1977	8917.	600.	6427.	396.	0.000	6427.	6427.	0.	2695.	0.	2000.	2000.
1978	7222.	647.	6363.	388.	0.001	6367.	5922.	445.	1559.	4.	2000.	2000.
1979	7904.	680.	6378.	391.	0.001	6382.	5839.	544.	2355.	5.	2000.	2000.
1980	8037.	631.	6722.	422.	0.001	6726.	6331.	394.	1915.	3.	2000.	2000.
1981	9171.	635.	6423.	396.	0.001	6427.	5965.	462.	3445.	4.	2000.	2000.
1982	6915.	615.	7069.	466.	0.002	7085.	5278.	1807.	1786.	16.	2000.	2000.
1983	8026.	592.	6818.	454.	0.001	6825.	6003.	823.	2167.	7.	2000.	1993.
1984	9641.	635.	6524.	401.	0.000	6526.	6338.	188.	3530.	2.	1993.	2000.
1985	7918.	665.	6699.	426.	0.000	6699.	6699.	0.	1458.	0.	2000.	2000.
1986	8783.	658.	6976.	448.	0.001	6982.	6323.	658.	2670.	6.	2000.	2000.
Gem.	7792.	627.	6772.	432.	0.001	6779.	5970.	809.	2017.	7.		
Beheer watervoorraad in bassin: volgens variant B:												
1971	6491.	618.	6925.	446.	0.000	6925.	6062.	864.	860.	0.	2000.	1740.
1972	6815.	636.	6578.	403.	0.000	6578.	6578.	0.	211.	0.	1740.	2000.
1973	6891.	623.	6962.	454.	0.000	6962.	5343.	1619.	1716.	0.	2000.	2000.
1974	9950.	580.	6875.	430.	0.000	6875.	5352.	1523.	4748.	0.	2000.	2000.
1975	6190.	596.	7007.	460.	0.000	7007.	5280.	1726.	1172.	0.	2000.	1873.
1976	5797.	616.	7599.	524.	0.002	7612.	4002.	3610.	1761.	13.	1873.	2000.
1977	8917.	600.	6427.	396.	0.000	6427.	5976.	451.	3146.	0.	2000.	2000.
1978	7222.	647.	6363.	388.	0.000	6363.	5484.	879.	1998.	0.	2000.	2000.
1979	7904.	680.	6378.	391.	0.000	6378.	5594.	783.	2599.	0.	2000.	2000.
1980	8037.	631.	6722.	422.	0.000	6722.	5816.	906.	2430.	0.	2000.	2000.
1981	9171.	635.	6423.	396.	0.000	6423.	5630.	792.	3780.	0.	2000.	2000.
1982	6915.	615.	7069.	466.	0.000	7069.	5177.	1892.	1887.	0.	2000.	2000.
1983	8026.	592.	6818.	454.	0.000	6818.	5651.	1167.	2512.	0.	2000.	2000.
1984	9641.	635.	6524.	401.	0.000	6524.	5904.	620.	3971.	0.	2000.	2000.
1985	7918.	665.	6699.	426.	0.000	6699.	6442.	256.	1715.	0.	2000.	2000.
1986	8783.	658.	6976.	448.	0.000	6976.	5856.	1120.	3137.	0.	2000.	2000.
Gem.	7792.	627.	6772.	432.	0.000	6772.	5634.	1138.	2353.	1.		

Tabel 23 Waterbalansgegevens voor een teekoppervlakte onder glas van 10 000 m² (1,0 ha), een regenwaterbassin van 4000 m³ en bij een teelt van paprika; totalen per jaar voor de periode 1971 t/m 1986, bij beheer van de watervoorraad in het bassin volgens variant A resp. B.

Jaar	Neersl. Q _n m ³ ·ha ⁻¹	Conds. Q _c	Transp. T	Verd. Q _o	Afvoer- fractie L(=A/V) (-)	Verbruik totaal V m ³ ·ha ⁻¹	Verbruik regenw. Q _{rw}	Verbruik ander w. Q _{aw}	Lozing regenw. Q _l	Lozing drainw. A	Bassin begin m ³	eind m ³
Beheer watervoorraad in bassin: volgens variant A:												
1971	6896.	618.	6925.	893.	0.000	6925.	6925.	0.	932.	0.	4000.	2764.
1972	7241.	636.	6578.	806.	0.000	6578.	6578.	0.	0.	0.	2764.	3258.
1973	7321.	623.	6962.	908.	0.000	6962.	6962.	0.	276.	0.	3258.	3056.
1974	10572.	580.	6875.	859.	0.000	6875.	6875.	0.	2473.	0.	3056.	4000.
1975	6577.	596.	7007.	921.	0.000	7007.	7007.	0.	1264.	0.	4000.	1982.
1976	6160.	616.	7599.	1047.	0.003	7621.	5082.	2540.	0.	22.	1982.	2629.
1977	9475.	600.	6427.	791.	0.000	6427.	6427.	0.	1486.	0.	2629.	4000.
1978	7674.	647.	6363.	777.	0.000	6363.	6363.	0.	1446.	0.	4000.	3735.
1979	8398.	680.	6378.	782.	0.000	6378.	6378.	0.	1749.	0.	3735.	3905.
1980	8540.	631.	6722.	845.	0.000	6722.	6722.	0.	1508.	0.	3905.	4000.
1981	9744.	635.	6423.	793.	0.000	6423.	6423.	0.	3164.	0.	4000.	4000.
1982	7347.	615.	7069.	931.	0.000	7071.	6829.	242.	761.	2.	4000.	3440.
1983	8527.	592.	6818.	908.	0.000	6818.	6818.	0.	1773.	0.	3440.	3060.
1984	10243.	635.	6524.	802.	0.000	6524.	6524.	0.	2612.	0.	3060.	4000.
1985	8413.	665.	6699.	851.	0.000	6699.	6699.	0.	1528.	0.	4000.	4000.
1986	9332.	658.	6976.	896.	0.000	6976.	6976.	0.	2119.	0.	4000.	4000.
Gemidd.	8279.	627.	6772.	863.	0.000	6773.	6599.	174.	1443.	2.	4000.	4000.
Beheer watervoorraad in bassin: volgens variant B:												
1971	6896.	618.	6925.	893.	0.000	6925.	6925.	0.	932.	0.	4000.	2764.
1972	7241.	636.	6578.	806.	0.000	6578.	6578.	0.	0.	0.	2764.	3258.
1973	7321.	623.	6962.	908.	0.000	6962.	6962.	0.	276.	0.	3258.	3056.
1974	10572.	580.	6875.	859.	0.000	6875.	6875.	0.	2473.	0.	3056.	4000.
1975	6577.	596.	7007.	921.	0.000	7007.	6959.	48.	1264.	0.	4000.	2030.
1976	6160.	616.	7599.	1047.	0.002	7613.	4762.	2851.	0.	14.	2030.	2996.
1977	9475.	600.	6427.	791.	0.000	6427.	6427.	0.	1853.	0.	2996.	4000.
1978	7674.	647.	6363.	777.	0.000	6363.	6363.	0.	1446.	0.	4000.	3735.
1979	8398.	680.	6378.	782.	0.000	6378.	6378.	0.	1749.	0.	3735.	3905.
1980	8540.	631.	6722.	845.	0.000	6722.	6722.	0.	1508.	0.	3905.	4000.
1981	9744.	635.	6423.	793.	0.000	6423.	6423.	0.	3164.	0.	4000.	4000.
1982	7347.	615.	7069.	931.	0.000	7069.	6823.	246.	761.	0.	4000.	3446.
1983	8527.	592.	6818.	908.	0.000	6818.	6818.	0.	1779.	0.	3446.	3060.
1984	10243.	635.	6524.	802.	0.000	6524.	6524.	0.	2612.	0.	3060.	4000.
1985	8413.	665.	6699.	851.	0.000	6699.	6699.	0.	1528.	0.	4000.	4000.
1986	9332.	658.	6976.	896.	0.000	6976.	6976.	0.	2119.	0.	4000.	4000.
Gemidd.	8279.	627.	6772.	863.	0.000	6772.	6576.	197.	1466.	1.	4000.	4000.

Tabel 24 Waterbalansgegevens voor een teektoppervlakte onder glas van 10 000 m² (1,0 ha), een regenwaterbassin van 2000 m³ en bij een teelt van paprika; totallen per decade voor 1982, bij beheer van de watervoorraad in het bassin volgens variant B.

Dec.	Neersl. Qn m ³ ·ha ⁻¹	Conds. Qc	Transp. T	Verd. Qo	Afvoert- fractie L(=A/V) (-)	Verbruik totaal V m ³ ·ha ⁻¹	Verbruik regenw. Qrw	Verbruik ander w. Qaw	Lozing regenw. Ql	Lozing drainw. A	Voorraad bassin B m ³
1	320.	34.	22.	0.	0.000	22.	22.	0.	332.	0.	2000.
2	0.	39.	44.	2.	0.000	44.	44.	0.	3.	0.	2000.
3	259.	32.	44.	0.	0.000	44.	44.	0.	237.	0.	2000.
4	52.	27.	82.	3.	0.000	82.	82.	0.	3.	0.	1992.
5	57.	28.	107.	3.	0.000	107.	107.	0.	3.	0.	1964.
6	4.	27.	121.	3.	0.000	121.	121.	0.	0.	0.	1871.
7	317.	26.	196.	7.	0.000	196.	196.	0.	108.	0.	1902.
8	302.	24.	202.	8.	0.000	202.	202.	0.	19.	0.	2000.
9	26.	26.	243.	11.	0.000	243.	243.	0.	1.	0.	1797.
10	103.	20.	267.	14.	0.000	267.	267.	0.	0.	0.	1639.
11	41.	23.	358.	20.	0.000	358.	358.	0.	0.	0.	1323.
12	36.	20.	312.	18.	0.000	312.	312.	0.	0.	0.	1050.
13	294.	20.	276.	15.	0.000	276.	276.	0.	0.	0.	1074.
14	91.	13.	400.	29.	0.000	400.	218.	181.	0.	0.	930.
15	150.	14.	422.	32.	0.000	422.	211.	211.	0.	0.	851.
16	244.	9.	412.	34.	0.000	412.	206.	206.	0.	0.	864.
17	292.	15.	308.	20.	0.000	308.	154.	154.	0.	0.	997.
18	235.	13.	331.	23.	0.000	331.	183.	149.	0.	0.	1039.
19	115.	10.	354.	27.	0.000	354.	224.	129.	0.	0.	912.
20	46.	8.	462.	40.	0.000	462.	231.	231.	0.	0.	696.
21	142.	11.	324.	23.	0.000	324.	162.	162.	0.	0.	664.
22	211.	9.	312.	24.	0.000	312.	156.	156.	0.	0.	704.
23	284.	11.	336.	24.	0.000	336.	168.	168.	0.	0.	807.
24	209.	15.	289.	18.	0.000	289.	144.	144.	0.	0.	869.
25	61.	12.	276.	18.	0.000	276.	276.	0.	0.	0.	647.
26	0.	11.	247.	16.	0.000	247.	247.	0.	0.	0.	394.
27	194.	14.	218.	12.	0.000	218.	218.	0.	0.	0.	372.
28	502.	16.	80.	6.	0.000	80.	80.	0.	0.	0.	805.
29	489.	0.	0.	6.	0.000	0.	0.	0.	0.	0.	1287.
30	86.	0.	0.	5.	0.000	0.	0.	0.	0.	0.	1368.
31	34.	0.	0.	1.	0.000	0.	0.	0.	0.	0.	1401.
32	372.	0.	0.	2.	0.000	0.	0.	0.	0.	0.	1772.
33	262.	0.	0.	0.	0.000	0.	0.	0.	34.	0.	2000.
34	379.	27.	0.	0.	0.000	0.	4.	0.	401.	0.	2000.
35	522.	29.	8.	0.	0.000	8.	8.	0.	543.	0.	2000.
36	183.	33.	13.	0.	0.000	13.	13.	0.	203.	0.	2000.
Tot.	6915.	615.	7069.	466.	0.000	7069.	5177.	1892.	1887.	0.	2000.

Tabel 25 Waterbalansgegevens voor een teektoppervlakte onder glas van 10 000 m² (1,0 ha), een regenwaterbassin van 4000 m³ en bij een teelt van paprika; totalen per decade voor 1982, bij beheer van de watervoorraad in het bassin volgens variant B.

Dec.	Neersl. Q _n m ³ .ha ⁻¹	Conds. Q _c	Transp. T	Verd. Q _o	Afvoer- fractie L(=A/V) (-)	Verbruik totaal V ³ .ha ⁻¹	Verbruik regenw. Q _{rw}	Verbruik ander w. Q _{aw}	Lozing regenw. Q _l	Lozing drainw. A	Voorraad bassin B m ³
1	340.	34.	22.	0.	0.000	22.	22.	0.	352.	4000.	4000.
2	0.	39.	44.	3.	0.000	44.	44.	0.	3.	0.	3989.
3	275.	32.	44.	1.	0.000	44.	44.	0.	251.	0.	4000.
4	56.	27.	82.	5.	0.000	82.	82.	0.	3.	0.	3992.
5	60.	28.	107.	6.	0.000	107.	107.	0.	4.	0.	3964.
6	5.	27.	121.	7.	0.000	121.	121.	0.	0.	0.	3867.
7	337.	26.	196.	14.	0.000	196.	196.	0.	121.	0.	3899.
8	321.	24.	202.	16.	0.000	202.	202.	0.	26.	0.	4000.
9	27.	26.	243.	21.	0.000	243.	243.	0.	2.	0.	3788.
10	110.	20.	267.	29.	0.000	267.	267.	0.	0.	0.	3622.
11	43.	23.	358.	41.	0.000	358.	358.	0.	0.	0.	3288.
12	39.	20.	312.	35.	0.000	312.	312.	0.	0.	0.	3000.
13	313.	20.	276.	29.	0.000	276.	276.	0.	0.	0.	3027.
14	96.	13.	400.	59.	0.000	400.	400.	0.	0.	0.	2678.
15	160.	14.	422.	63.	0.000	422.	422.	0.	0.	0.	2366.
16	260.	9.	412.	68.	0.000	412.	412.	0.	0.	0.	2154.
17	311.	15.	308.	40.	0.000	308.	308.	0.	0.	0.	2132.
18	249.	13.	331.	47.	0.000	331.	331.	0.	0.	0.	2016.
19	122.	10.	354.	55.	0.000	354.	354.	0.	0.	0.	1740.
20	49.	8.	462.	79.	0.000	462.	462.	0.	0.	0.	1256.
21	151.	11.	324.	46.	0.000	324.	305.	19.	0.	0.	1067.
22	224.	9.	312.	48.	0.000	312.	272.	41.	0.	0.	981.
23	301.	11.	336.	49.	0.000	336.	189.	147.	0.	0.	1056.
24	222.	15.	289.	36.	0.000	289.	249.	40.	0.	0.	1008.
25	65.	12.	276.	37.	0.000	276.	276.	0.	0.	0.	772.
26	0.	11.	247.	32.	0.000	247.	247.	0.	0.	0.	503.
27	206.	14.	218.	24.	0.000	218.	218.	0.	0.	0.	481.
28	534.	16.	80.	13.	0.000	80.	80.	0.	0.	0.	938.
29	519.	0.	0.	12.	0.000	0.	0.	0.	0.	0.	1446.
30	92.	0.	0.	11.	0.000	0.	0.	0.	0.	0.	1527.
31	36.	0.	0.	3.	0.000	0.	0.	0.	0.	0.	1561.
32	396.	0.	0.	3.	0.000	0.	0.	0.	0.	0.	1953.
33	279.	0.	0.	1.	0.000	0.	0.	0.	0.	0.	2231.
34	402.	27.	4.	0.	0.000	4.	4.	0.	0.	0.	2656.
35	554.	29.	8.	0.	0.000	8.	8.	0.	0.	0.	3232.
36	195.	33.	13.	0.	0.000	13.	13.	0.	0.	0.	3446.
Tot.	7347.	615.	7069.	931.	0.000	7069.	6823.	246.	761.	0.	3446.

Aanhangsel 2 Resultaten berekeningen één glastuinbouwbedrijf

De waterbalans (fluxen in $\text{mm}\cdot\text{j}^{-1}$) is hier gegeven voor de onverzadigde en verzadigde zone. Er is een onderverdeling in zones zoals weergegeven in figuur 7. De gebruikte termen in de waterbalans zijn verklaard in figuur 6. Inkomende fluxen (verzadigde en onverzadigde zone) zijn positief en uitgaande zijn negatief. De grondwateraanvulling is weergegeven bij de waterbalans van de onverzadigde zone. Deze grondwateraanvulling geeft met de andere termen van de verzadigde zone weer een deelbalans. Voor variant a0 is de grondwateraanvulling $-254 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ (negatief is een uitgaande flux). Voor de deelbalans van de verzadigde zone is deze grondwateraanvulling een inkomende flux en moet er met een positieve waarde gerekend worden.

De cursief gedrukte getallen voor de referentiesituaties (a0, b0 en c0) zijn absolute waarden. De overige getallen zijn relatieve getallen t.o.v. de referentiesituatie. Voor zone 1 en variant a1 is de gemiddelde neerslag $777 - 435 = 342 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$. Voor de kwel in variant a1 is dit $-79 + 69 = -10 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$ (negatief komt neer op een wegzijging).

Tabel 26 Waterbalans voor de onverzadigde en verzadigde zone voor 1 glastuinbouwbedrijf
(+ = $0,1 < |\text{fluxen}| < 0,5 \text{ mm}\cdot\text{j}^{-1}$).

Zone	Var	Onverzadigde zone			Verzadigde zone				
		Neersl	Evap	Aanv	Grep	Tert	Sec	Berg	Kwel
1	a0	777	-523	-254	-5	-93	-63	-14	-79
1	a1	-435	287	148	5	37	21	16	69
1	a2	-315	286	29	5	6	4	13	1
1	a3	-435	286	149	5	36	28	16	64
1	a4	-435	287	148	5	35	45	17	46
1	a5	-458	302	156	5	39	21	17	74
2	a0	777	-523	-254	-6	-93	-60	-14	-81
2	a1	0	0	0	+	0	1	0	-1
2	a2	0	0	+	+	0	0	+	0
2	a3	0	0	0	+	0	1	0	-1
2	a4	0	0	0	0	+	2	0	-2
2	a5	0	0	0	+	1	+	0	-1
3	a0	777	-522	-255	-7	-93	-59	-14	-82
3	a1	0	0	0	+	+	1	0	-1
3	a2	0	0	+	+	0	0	+	0
3	a3	0	0	0	+	+	1	0	-1
3	a4	0	0	0	0	+	+	0	-1
3	a5	0	0	0	+	+	+	0	-1
4	a0	777	-521	-256	-7	-94	-58	-14	-83
4	a1	0	0	0	+	+	+	0	-1
4	a2	0	0	+	0	0	0	+	0
4	a3	0	0	0	+	+	+	0	-1
4	a4	0	0	0	0	+	+	0	0
4	a5	0	0	0	+	+	+	0	-1

Vervolg tabel 26

Zone	Var	Onverzadigde zone			Grep	Verzadigde zone				Kwel
		Neersl	Evap	Aanv		Tert	Sec	Berg		
5	a0	777	-519	-258	-8	-94	-57	-14	-85	
5	a1	0	0	0	+	+	+	0	0	
5	a2	0	0	+	0	0	0	+	0	
5	a3	0	0	0	+	+	+	0	0	
5	a4	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	a5	0	0	0	+	+	0	0	0	

Zone	Var	Onverzadigde zone			Grep	Verzadigde zone				Kwel
		Neersl	Evap	Aanv		Tert	Sec	Berg		
1	b0	777	-470	-307	0	0	-18	-1	-288	
1	b1	-435	268	167	0	0	17	3	147	
1	b2	-315	263	52	0	0	3	2	47	
2	b0	777	-469	-308	0	0	-17	-1	-290	
2	b1	0	+	0	0	0	1	+	-1	
2	b2	0	+	0	0	0	0	0	0	
3	b0	777	-468	-309	0	0	-16	-1	-292	
3	b1	0	+	0	0	0	2	+	-2	
3	b2	0	+	0	0	0	0	0	0	
4	b0	777	-465	-312	0	0	-15	-1	-296	
4	b1	0	0	0	0	0	1	+	-1	
4	b2	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	b0	777	-460	-317	0	0	-13	-1	-303	
5	b1	0	0	0	0	0	+	+	0	
5	b2	0	0	0	0	0	0	0	0	

Zone	Var	Onverzadigde zone			Grep	Verzadigde zone				Kwel
		Neersl	Evap	Aanv		Tert	Sec	Berg		
1	c0	777	-508	-269	0	0	-69	-8	-192	
1	c1	-435	282	153	0	+	31	7	115	
2	c0	777	-508	-269	0	-1	-66	-8	-194	
2	c1	0	+	0	0	0	1	+	-1	
3	c0	777	-507	-270	0	0	-65	-7	-198	
3	c1	0	+	0	0	0	1	0	-1	
4	c0	777	-505	-272	0	0	-63	-6	-203	
4	c1	0	0	0	0	0	1	+	-1	
5	c0	777	-500	-277	0	0	-59	-3	-215	
5	c1	0	0	0	0	0	+	0	0	

De cursief gedrukte getallen voor de referentiesituaties (a0, b0 en c0) zijn absolute waarden (tabel 27). De overige getallen zijn relatieve getallen t.o.v. de referentiesituatie. Voor zone 1 en variant a1 is de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) dan ook $0,37 + 0,19 = 0,56$ m (tabel 27). De gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) is $1,26 - 0,01 = 1,25$ m.

Tabel 27 *Gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstanden (GHG en GLG) voor 1 glastuinbouwbedrijf (* = $0,001 < |standen| < 0,005$ m).*

Zone	Var	GHG	GLG
1	a0	0,37	1,26
1	a1	0,19	-0,01
1	a2	0,06	-0,01
1	a3	0,19	-0,02
1	a4	0,16	-0,01
1	a5	0,20	-0,01
2	a0	0,36	1,26
2	a1	*	0,00
2	a2	0,00	0,00
2	a3	*	0,00
2	a4	*	0,00
2	a5	*	0,00
3	a0	0,35	1,27
3	a1	0,00	0,00
3	a2	0,00	0,00
3	a3	0,00	0,00
3	a4	0,00	0,00
3	a5	0,00	0,00
4	a0	0,35	1,28
4	a1	0,00	0,00
4	a2	0,00	0,00
4	a3	0,00	0,00
4	a4	0,00	0,00
4	a5	0,00	0,00
5	a0	0,35	1,32
5	a1	0,00	0,00
5	a2	0,00	0,00
5	a3	0,00	0,00
5	a4	*	0,00
5	a5	0,00	0,00

Vervolg tabel 27

Zone	Var	GHG	GLG
1	b0	0,91	1,64
1	b1	0,19	0,02
1	b2	0,07	0,01
2	b0	0,92	1,65
2	b1	*	0,00
2	b2	*	0,00
3	b0	0,92	1,66
3	b1	0,00	0,00
3	b2	0,00	0,00
4	b0	0,93	1,67
4	b1	0,00	0,00
4	b2	0,00	0,00
5	b0	0,96	1,72
5	b1	0,00	0,00
5	b2	0,00	0,00

Zone	Var	GHG	GLG
1	c0	0,64	1,33
1	c1	0,17	0,01
2	c0	0,64	1,33
2	c1	*	0,00
3	c0	0,64	1,34
3	c1	0,00	0,00
4	c0	0,64	1,35
4	c1	0,00	0,00
5	c0	0,66	1,39
5	c1	0,00	0,00

Aanhangsel 3 Resultaten berekeningen vier glastuinbouwbedrijven

Tabel 28 Waterbalans voor de onverzadigde en verzadigde zone voor 4 glastuinbouwbedrijven ($+ = 0,1 < |fluxen| < 0,5 \text{ mm}\cdot\text{f}^1$).

Zone	Var	Onverzadigde zone			Grep	Verzadigde zone			
		Neersl	Evap	Aanv		Tert	Sec	Berg	Kwel
1	a0	777	-523	-254	-5	-93	-63	-14	-79
1	a1	-466	308	158	5	40	24	16	73
1	a2	-337	307	30	4	7	4	14	1
1	a3	-466	307	159	5	40	30	16	68
1	a4	-466	308	158	5	39	47	17	50
1	a5	-489	323	166	5	43	23	17	78
3	a0	777	-522	-255	-7	-92	-59	-14	-83
3	a1	0	0	+	+	2	2	0	-4
3	a2	0	0	+	+	+	0	1	-1
3	a3	0	0	+	+	2	2	0	-4
3	a4	0	0	+	+	2	2	0	-4
3	a5	0	0	+	+	3	1	1	-5
4	a0	777	-521	-256	-7	-93	-58	-14	-84
4	a1	0	0	+	+	1	1	0	-2
4	a2	0	0	+	+	0	0	1	-1
4	a3	0	0	+	+	1	1	0	-2
4	a4	0	0	+	+	1	1	0	-2
4	a5	0	0	+	+	2	+	+	-2
5	a0	777	-519	-258	-8	-95	-56	-14	-85
5	a1	0	0	0	+	+	1	0	-1
5	a2	0	0	+	+	0	0	+	0
5	a3	0	0	0	+	+	1	0	-1
5	a4	0	0	0	+	+	+	0	-1
5	a5	0	0	0	+	+	+	+	-1

Zone	Var	Onverzadigde zone			Grep	Verzadigde zone			
		Neersl	Evap	Aanv		Tert	Sec	Berg	Kwel
1	b0	777	-469	-308	0	0	-18	-1	-289
1	b1	-466	287	179	0	0	18	3	158
1	b2	-337	282	55	0	0	3	1	51
3	b0	777	-468	-309	0	0	-16	-1	-292
3	b1	0	1	-1	1	-1	3	0	-4
3	b2	0	1	-1	0	0	+	0	-1
4	b0	777	-465	-312	0	0	-15	-1	-296
4	b1	0	1	-1	0	0	2	1	-4
4	b2	0	+	0	0	0	0	0	0
5	b0	777	-460	-317	0	0	-13	-1	-303
5	b1	0	+	0	0	0	1	+	-1
5	b2	0	0	0	0	0	0	0	0

Vervolg tabel 28

Zone	Var	Onverzadigde zone			Grep	Verzadigde zone				Kwel
		Neersl	Evap	Aanv		Tert	Sec	Berg		
1	c0	777	-508	-269	0	0	-69	-7	-193	
1	c1	-466	303	163	0	+	34	6	123	
3	c0	777	-507	-270	0	0	-65	-7	-198	
3	c1	0	1	-1	+	0	3	1	-5	
4	c0	777	-505	-272	0	0	-63	-6	-203	
4	c1	0	+	0	0	0	2	+	-2	
5	c0	777	-500	-277	0	-1	-58	-3	-215	
5	c1	0	+	0	0	0	1	+	-1	

Zone	Var	Onverzadigde zone				Verzadigde zone				
		Neersl	Evap	Aanv	Grep	Tert	Sec	Berg	Kwel	
1	d0	777	-523	-254	-6	-93	-63	-12	-80	
1	d1	-466	308	158	6	41	24	14	73	
3	d0	777	-522	-255	-7	-95	-59	-12	-82	
3	d1	0	0	+	+	2	2	0	-4	
4	d0	777	-521	-256	-8	-95	-58	-11	-84	
4	d1	0	0	+	+	1	1	0	-2	
5	d0	777	-519	-258	-8	-95	-57	-12	-86	
5	d1	0	0	0	0	+	1	0	-1	

Zone	Var	Onverzadigde zone			Grep	Verzadigde zone				Kwel
		Neersl	Evap	Aanv		Tert	Sec	Berg		
1	e0	777	-520	-257	-6	-92	-62	-17	-80	
1	e1	-466	306	160	6	37	23	19	75	
3	e0	777	-519	-258	-6	-94	-58	-17	-83	
3	e1	0	0	0	+	2	1	0	-3	
4	e0	777	-519	-258	-7	-94	-57	-17	-83	
4	e1	0	0	0	0	1	1	0	-2	
5	e0	777	-518	-259	-8	-94	-56	-17	-84	
5	e1	0	0	0	0	+	+	0	-1	

Zone	Var	Onverzadigde zone			Grep	Verzadigde zone				Kwel
		Neersl	Evap	Aanv		Tert	Sec	Berg		
1	f0	777	-528	-249	-7	-98	-70	-13	-61	
1	f1	-466	311	155	7	48	24	14	62	
3	f0	777	-528	-249	-7	-99	-65	-13	-65	
3	f1	0	0	+	1	5	2	0	-8	
4	f0	777	-526	-251	-7	-98	-62	-13	-71	
4	f1	0	0	+	+	3	1	0	-4	
5	f0	777	-523	-254	-7	-97	-58	-13	-79	
5	f1	0	0	0	+	0	1	0	-1	

Vervolg tabel 28

Zone	Var	Onverzadigde zone			Grep	Verzadigde zone				Kwel
		Neersl	Evap	Aanv		Tert	Sec	Berg		
1	g0	777	-530	-247	-17	-107	-75	-7	-41	
1	g1	-466	311	155	17	76	31	4	27	
3	g0	777	-530	-247	-21	-108	-70	-4	-44	
3	g1	0	0	0	9	3	1	-13	0	
4	g0	777	-529	-248	-19	-108	-68	-6	-47	
4	g1	0	0	0	8	1	1	-10	0	
5	g0	777	-529	-248	-16	-105	-66	-9	-52	
5	g1	0	0	0	4	1	+	-5	+	

Zone	Var	Onverzadigde zone			Grep	Verzadigde zone				Kwel
		Neersl	Evap	Aanv		Tert	Sec	Berg		
1	h0	669	-512	-157	-2	-63	-49	-13	-30	
1	h1	-402	298	104	2	28	17	11	46	
3	h0	669	-512	-157	-2	-65	-46	-13	-31	
3	h1	0	0	+	0	2	1	1	-4	
4	h0	669	-511	-158	-2	-66	-45	-14	-31	
4	h1	0	0	+	0	0	1	1	-2	
5	h0	669	-510	-159	-2	-69	-45	-15	-28	
5	h1	0	0	0	0	+	+	+	-1	

Zone	Var	Onverzadigde zone			Grep	Verzadigde zone				Kwel
		Neersl	Evap	Aanv		Tert	Sec	Berg		
1	i0	751	-496	-255	-6	-87	-61	-9	-92	
1	i1	-451	294	157	6	38	23	8	82	
3	i0	751	-496	-255	-7	-88	-56	-9	-95	
3	i1	0	0	0	1	1	2	0	-4	
4	i0	751	-495	-256	-8	-88	-55	-10	-95	
4	i1	0	0	0	+	1	1	0	-2	
5	i0	751	-494	-257	-9	-88	-54	-9	-97	
5	i1	0	0	0	+	+	1	0	-1	

Tabel 29 Gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstanden (GHG en GLG) voor 4 glastuinbouwbedrijven (* = 0,001 < |standen| < 0,005 m).

Zone	Var	GHG	GLG
1	a0	0,37	1,26
1	a1	0,21	-0,01
1	a2	0,07	-0,02
1	a3	0,20	-0,02
1	a4	0,17	-0,01
1	a5	0,21	-0,01
3	a0	0,36	1,27
3	a1	0,01	*
3	a2	*	*
3	a3	0,01	*
3	a4	*	*
3	a5	*	*
4	a0	0,36	1,28
4	a1	*	0,00
4	a2	*	*
4	a3	*	*
4	a4	*	0,00
4	a5	*	0,00
5	a0	0,35	1,32
5	a1	0,00	0,00
5	a2	*	0,00
5	a3	0,00	0,00
5	a4	*	0,00
5	a5	*	0,00

1	b0	0,92	1,65
1	b1	0,22	0,03
1	b2	0,07	0,02
3	b0	0,92	1,65
3	b1	0,01	*
3	b2	*	0,00
4	b0	0,93	1,67
4	b1	*	*
4	b2	*	0,00
5	b0	0,96	1,72
5	b1	0,00	*
5	b2	*	0,00

Vervolg tabel 29

Zone	Var	GHG	GLG
1	c0	0,64	1,33
1	c1	0,19	0,01
3	c0	0,64	1,34
3	c1	0,01	0,00
4	c0	0,64	1,35
4	c1	*	0,00
5	c0	0,66	1,39
5	c1	0,00	0,00

Zone	Var	GHG	GLG
1	d0	0,37	1,26
1	d1	0,21	-0,01
3	d0	0,36	1,27
3	d1	0,01	*
4	d0	0,36	1,28
4	d1	*	*
5	d0	0,35	1,32
5	d1	*	0,00

Zone	Var	GHG	GLG
1	e0	0,37	1,32
1	e1	0,20	-0,01
3	e0	0,37	1,32
3	e1	*	0,00
4	e0	0,37	1,33
4	e1	*	0,00
5	e0	0,37	1,35
5	e1	0,00	0,00

Zone	Var	GHG	GLG
1	f0	0,36	1,14
1	f1	0,23	-0,03
3	f0	0,34	1,15
3	f1	0,03	*
4	f0	0,35	1,18
4	f1	0,01	*
5	f0	0,35	1,24
5	f1	*	*

Vervolg tabel 29

Zone	Var	GHG	GLG
1	g0	0,33	1,10
1	g1	0,33	-0,06
3	g0	0,32	1,10
3	g1	0,01	0,00
4	g0	0,32	1,11
4	g1	0,02	0,00
5	g0	0,32	1,12
5	g1	0,01	0,00

Zone	Var	GHG	GLG
1	h0	0,48	1,26
1	h1	0,13	*
3	h0	0,46	1,27
3	h1	*	*
4	h0	0,46	1,29
4	h1	0,00	*
5	h0	0,44	1,33
5	h1	0,00	0,00

Zone	Var	GHG	GLG
1	i0	0,38	1,25
1	i1	0,18	*
3	i0	0,37	1,25
3	i1	0,01	*
4	i0	0,36	1,27
4	i1	*	0,00
5	i0	0,35	1,31
5	i1	*	0,00

Aanhangsel 4 Resultaten berekeningen tien glastuinbouwbedrijven

Tabel 30 Waterbalans voor de onverzadigde en verzadigde zone voor 10 glastuinbouwbedrijven ($+ = 0,1 < |fluxen| < 0,5 \text{ mm j}^{-1}$).

Zone	Var	Onverzadigde zone			Grep	Verzadigde zone			
		Neersl	Evap	Aanv		Tert	Sec	Berg	Kwel
1	a0	777	-527	-250	-6	-96	-68	-13	-67
1	a1	-451	300	151	6	45	24	14	62
1	a2	-326	299	27	4	9	5	11	-2
1	a3	-451	300	151	6	45	28	14	58
1	a4	-451	300	151	6	41	49	14	41
1	a5	-482	322	160	6	48	24	15	67
4	a0	777	-526	-251	-7	-97	-61	-13	-73
4	a1	0	0	+	+	5	2	+	-7
4	a2	0	0	+	+	+	0	0	0
4	a3	0	0	+	+	4	2	+	-6
4	a4	0	0	+	0	3	4	0	-7
4	a5	0	0	+	1	4	1	+	-6
5	a0	777	-525	-252	-7	-96	-59	-13	-77
5	a1	0	0	+	0	2	1	+	-3
5	a2	0	0	+	+	+	0	0	0
5	a3	0	0	+	0	2	1	+	-3
5	a4	0	0	+	0	1	1	+	-2
5	a5	0	0	0	+	2	1	+	-3
6	a0	777	-522	-255	-7	-95	-58	-14	-81
6	a1	0	0	0	0	0	1	1	-2
6	a2	0	0	0	0	0	0	+	0
6	a3	0	0	0	0	0	1	1	-2
6	a4	0	0	0	0	+	+	1	-1
6	a5	0	0	0	0	1	+	+	-1

Zone	Var	Onverzadigde zone			Grep	Verzadigde zone			
		Neersl	Evap	Aanv		Tert	Sec	Berg	Kwel
1	b0	777	-492	-285	0	0	-30	-2	-253
1	b1	-451	291	160	0	0	22	1	137
1	b2	-326	284	42	0	0	5	-1	38
4	b0	777	-490	-287	0	0	-26	-2	-259
4	b1	0	2	-2	4	-1	4	0	-9
4	b2	0	1	-1	0	0	+	0	-1
5	b0	777	-483	-294	0	0	-23	-1	-270
5	b1	0	1	-1	0	0	3	+	-4
5	b2	0	1	-1	0	0	+	0	-1
6	b0	777	-471	-306	0	0	-18	-1	-287
6	b1	0	1	-1	0	0	1	0	-2
6	b2	0	+	0	0	0	0	0	0

Vervolg tabel 30

Verzadigde zone											
Zone		Var	Onverzadigde zone			Verzadigde zone					
			Neersl	Evap	Aanv	Grep	Tert	Sec	Berg	Kwel	
1		c0	777	-520	-257	0	0	-88	-13	-156	
1		c1	-451	297	154	0	+	35	10	109	
4		c0	777	-519	-258	0	0	-82	-13	-163	
4		c1	0	1	-1	1	0	5	1	-8	
5		c0	777	-516	-261	0	0	-76	-11	-174	
5		c1	0	1	-1	0	0	3	+	-4	
6											
c0	6	777508	-269		0 0	-67	-7	-195			
	6	c1	0	+	0 1	0	0	1	0	-1	

Tabel 31 Gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstanden (GHG en GLG) voor 10 glastuinbouwbedrijven (* = 0,001 < |standen| < 0,005 m).

Zone	Var	GHG	GLG
1	a0	0,37	1,17
1	a1	0,22	-0,03
1	a2	0,08	-0,03
1	a3	0,21	-0,03
1	a4	0,18	-0,03
1	a5	0,23	-0,03
4	a0	0,36	1,18
4	a1	0,02	*
4	a2	0,01	*
4	a3	0,02	*
4	a4	0,01	*
4	a5	0,02	*
5	a0	0,35	1,21
5	a1	0,01	*
5	a2	0,01	*
5	a3	0,01	*
5	a4	0,01	*
5	a5	0,01	*
6	a0	0,35	1,26
6	a1	0,01	0,00
6	a2	*	*
6	a3	0,01	*
6	a4	0,01	0,00
6	a5	0,01	0,00

Vervolg tabel 31

Zone	Var	GHG	GLG
1	b0	0,79	1,44
1	b1	0,23	0,03
1	b2	0,08	0,02
4	b0	0,80	1,46
4	b1	0,01	0,01
4	b2	0,01	0,00
5	b0	0,83	1,52
5	b1	0,01	*
5	b2	*	0,00
6	b0	0,89	1,63
6	b1	*	*
6	b2	*	0,00

Zone	Var	GHG	GLG
1	c0	0,57	1,23
1	c1	0,20	0,00
4	c0	0,57	1,24
4	c1	0,01	*
5	c0	0,59	1,27
5	c1	0,01	0,00
6	c0	0,62	1,33
6	c1	*	0,00