32/446 (435.2) 2e ex

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

Gevolgen van het beperken van de waterinlaat en doorspoeling van het gebied Voorne-West

Beknopte versie

Ph. Hamaker
W.H.B. Aarnink
J.M.P.M. Peerboom

Rapport 435.2

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1997

29 SEP. 1997

Ongu2267 deel 2

REFERAAT

Ph. Hamaker, W.H.B. Aarnink en J.M.P.M. Peerboom, 1997. *Gevolgen van het beperken van de waterinlaat en doorspoeling van het gebied Voorne-West; beknopte versie*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 435.2. 52 blz.; 7 fig.; 8 tab.; 12 ref.

Onderzocht is of verzilting door zoute kwel afdoende kan worden bestreden door de inlaat van gebiedsvreemd water te beperken en het oppervlaktewatersysteem door te spoelen. In het veld zijn de water-, chloride- en nutriëntenhuishouding onderzocht en met een model zijn de gevolgen van verminderde waterinlaat berekend. Als de waterinlaat en het doorspoelen worden afgestemd op de chlorideconcentraties volgens de functietoekenning volgens het Integraal Waterbeheersplan Zuid-Holland Zuid, kan de inlaat met 40% worden beperkt. Het oppervlaktewater wordt daarbij eutrofer en de glastuinbouw ondervindt nadelige gevolgen in de vorm van directe zoutschade en/of hogere productiekosten.

Trefwoorden: eutrofiëring, glastuinbouw, kwel, nutriëntenbelasting, oppervlaktewater, verzilting, waterbeheer

ISSN 0927-4499

©1997 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

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

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

Project 4860 [Rap435-2.HM/06.97]

Inhoudsopgave

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding en doelstelling	15
2 Gebiedsbeschrijving	17
2.1 Algemeen	17
2.2 Waterhuishouding	18
2.3 Bodemgebruik en functietoekenning aan het oppervlaktewater	18
3 Methoden van onderzoek	23
3.1 Deelaspecten	23
3.2 Veldonderzoek	23
3.2.1 Waterkwantiteit	23
3.2.2 Waterkwaliteit	24
3.3 Modelonderzoek	24
3.3.1 Modellen SWAP en DUFLOW	24
3.3.2 Scenario's en scenarioberekeningen	25
4 Resultaten	27
4.1 Waterhuishouding	27
4.2 Chloride- en nutriëntenhuishouding	31
4.3 Modelcalibratie en scenarioberekeningen	34
5 Evaluatie van de resultaten	39
5.1 Bestaande situatie	39
5.1.1 Waterbalansen	39
5.1.2 Waterinlaat, waterverbruik en doorspoeling	40
5.1.3 Chloride- en nutriëntenhuishouding	41
5.2 Scenarioberekeningen	42
5.3 Waterkwaliteitsaspecten	43
5.4 Waterbeheersaspecten	45
5.4.1 Beheersen van de vegetatie in de wateraanvoersystemen	45
5.4.2 Sturen van de inlaat vanuit de wateraanvoersystemen	46
5.5 Belangen van de land- en tuinbouw	47
5.6 Kosten en baten	48
5.6.1 Waterbeheer	48
5.6.2 Land- en tuinbouw	49
5.7 Eindconclusie	49
Literatuur	51

Woord vooraf

Dit onderzoek naar het beperken van het inlaten van water naar het gebied Voorne-West is door DLO-Staring Centrum (SC-DLO) uitgevoerd in opdracht van het Waterschap De Brielse Dijkring (WBD) en het Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden (ZHEW). Het onderzoek is uitgevoerd in de periode 1994-1996 en werd begeleid door een commissie die de volgende samenstelling had:

ing. S.L. Dob	- WBD
drs. R. van Gerve	- ZHEW
ir. R.D. Groen	- ZHEW
L. Mol	- WBD
ir. J.W.B. Nienhuis (vz)	- WBD

Het onderzoek is uitgevoerd door de volgende medewerkers van SC-DLO:

ir. W.H.B. Aarnink	- berekeningen model DUFLOW
H. Breunissen	- veldwerk
ir. J. Drent	- waterkwaliteit
A. Grent	- veldwerk
dr. Ph. Hamaker	- waterkwaliteit, berekeningen model SWAP
ir. J.M.P.M. Peerboom	- projectleider, waterkwantiteit
M. Wijnsma	- veldwerk

Een speciaal woord van dank is verschuldigd aan L. Mol van het waterschap voor het verstrekken van gegevens over de waterhuishouding en assistentie bij het veldwerk en aan G. Slijkhuis van het zuiveringsschap voor het verstrekken van analysegegevens. Het Informatica Centrum voor Infrastructuur en Milieu (ICIM) in Rijswijk verleende medewerking door de broncode van het programma DUFLOW ter beschikking te stellen.

Het onderzoek is gefinancierd door het WBD en het ZHEW, daarin gesteund door een bijdrage via de bijdrageregeling regionaal integraal waterbeheer (REGIWA-gelden).

Samenvatting

Aanleiding en doelstelling
In het Integraal Waterbeheersplan Zuid-Holland Zuid (IWBP-ZHZ) en de uitwerking daarvan in het Meerjarenplan Waterschap De Brielse Dijkring (MWBD) zijn voor het beheersgebied van het waterschap onder meer de volgende doelstellingen voor de planperiode 1992-1997 geformuleerd:
- het terugbrengen van de aanvoer van eutrofiërende stoffen door het beperken van de inlaat van gebiedsvreemd water en het verminderen van de uit- en afspoeling van meststoffen;
- het handhaven van chlorideconcentraties van maximaal 200 mg/l, 600 mg/l of 1000 mg/l in deelgebieden binnen Voorne-West waar aan het oppervlaktewater de functie gietwater glastuinbouw respectievelijk beregeningswater akkerbouw of water voor veedrenking is toegekend (fig. 2).

De eerste doelstelling hangt samen met de ecologische functie die overeenkomstig het beleid van de rijksoverheid aan alle watersystemen is toegekend. De tweede doelstelling is toegespitst op de agrarische belangen.

Verkennend onderzoek in de periode 1992-1993 heeft aangetoond dat in de bestaande situatie intensieve doorspoeling van Voorne-West vanuit het Brielse Meer plaatsvindt. Hoofddoelstelling van het onderzoek was dan ook om de mogelijkheden aan te geven om het inlaten van water en het doorspoelen te beperken en om de gevolgen daarvan voor de waterkwaliteit en voor de land- en (glas)tuinbouw aan te geven.

Werkwijze
Het onderzoek omvatte zowel veldonderzoek om de water- en stoffenhuishouding te kwantificeren als modelonderzoek om de gevolgen van het werken volgens verschillende scenario's met betrekking tot de waterinlaat en doorspoeling in te schatten. Het veldonderzoek is uitgevoerd in de periode 1994-1995, het modelonderzoek in de periode daarná.

Het veldonderzoek was geconcentreerd op de volgende punten:
- het meten van de inlaat van water vanuit het Brielse Meer, vanuit het Spui van Brielle en vanuit het Haringvliet, het meten van de afvoer via gemaal Trouw en het meten van de waterstromen bij een aantal stuwen en duikers binnen de gebiedsgrenzen;
- bemonstering van het ingelaten en afgevoerde water en van het oppervlaktewater op een aantal punten binnen het gebied, met bepaling van chloride, stikstof- en fosforconcentraties.

Het modelonderzoek was gericht op de water- en chloridehuishouding en is uitgevoerd met twee op elkaar aansluitende simulatiemodellen. Het eerste model berekent de belasting van het oppervlaktewatersysteem via de lozingen van drainwater, uitgaande van gegevens over neerslag, verdamping en kwel. Het tweede model berekent de

stroming van het oppervlaktewater en het verloop van chlorideconcentraties, uitgaande van de belasting als berekend met eerste model. Gegevens uit het veldonderzoek zijn gebruikt om de beide modellen te calibreren.

Het modelinstrumentarium is vervolgens gebruikt om verschillende scenario's voor het inlaten van water en doorspoelen door te rekenen. Deze samenvatting blijft verder beperkt tot de bestaande situatie (aangeduid als scenario 00) en de twee scenario's die het meest aansluiten op de doelstellingen en beleidsuitgangspunten volgens het IWBP-ZHZ:

- *scenario 00*: bestaande situatie waarbij het inlaten van water en het doorspoelen plaatsvindt op basis van de vraag vanuit het gebied en de inzichten en ervaringen van het waterschap;
- *scenario 01*: beperken van de waterinlaat en doorspoeling via het sturen van inlaatduikers en stuwen, gericht op het handhaven van chlorideconcentraties van maximaal 200 mg/l voor *alle* glastuinbouwbedrijven binnen Voorne-West die oppervlaktewater als gietwater gebruiken (voor zover tenminste de waterhuishoudkundige infrastructuur aanvoer van water mogelijk maakt); handhaven van chlorideconcentraties van maximaal 600 mg/l resp. 1000 mg/l elders, overeenkomstig de functietoekenning aan het oppervlaktewater volgens het IWBP-ZHZ;
- *scenario 02*: beperken van de waterinlaat en doorspoeling via het sturen van inlaatduikers en stuwen, gericht op het handhaven van chlorideconcentraties van maximaal 200 mg/l voor *alléén* de glastuinbouwbedrijven binnen de twee deelgebieden binnen Voorne-West waar de functie gietwater glastuinbouw aan het oppervlaktewater is toegekend (fig. 2); handhaven van chlorideconcentraties van maximaal 600 resp. 1000 mg/l elders, overeenkomstig de functietoekenning aan het oppervlaktewater volgens het IWBP-ZHZ.

Resultaten veldonderzoek

Uit de veldgegevens zijn water- en stoffenbalansen berekend voor de periode mei 1994 t/m april 1995. De totale *toevoer* van water via de inlaatpunten kwam uit op 37 miljoen m^3 en de totale *afvoer* via bemaling op 76 miljoen m^3. Gerekend over de totale oppervlakte van 8500 ha van Voorne-West is dat 435 mm resp. 890 mm (tabel 1). Het *verschil* tussen afvoer en toevoer is aangeduid als *interne belasting*, dat wil zeggen, de belasting van het oppervlaktewater die binnen het gebied plaatsvindt. Die *interne belasting* moet voor 90% worden toegeschreven aan het *neerslagoverschot* (verschil tussen neerslag en verdamping) en voor de resterende 10% aan *kwel*.

Tabel 1 Water-, chloride- en nutriëntenbalansgegevens voor Voorne-West (8500 ha), voor de gehele balansperiode vanaf mei 1994 t/m april 1995, voor de bestaande situatie (scenario 00)

	Water		Chloride (Cl)		Stikstof (N)		Fosfor (P)	
	10^6 m^3	mm	10^6 kg	kg/ha	10^3 kg	kg/ha	10^3 kg	kg/ha
Afvoer via bemaling	75,7	890	21,3	2505	527	62,0	31,5	3,7
Toevoer via inlaat	37,2	435	4,5	530	82	9,6	5,2	0,6
Interne belasting	38,5	455	16,8	1975	445	52,3	26,3	3,1

Van het ingelaten water wordt overigens hooguit 10% verbruikt voor peilhandhaving en beregening in de land- en tuinbouw. De resterende 90% draagt bij tot doorspoeling van het gebied.

Ook voor chloride en de nutriënten is de *interne belasting* van het oppervlaktewater berekend. De *interne belasting* blijkt zowel voor chloride als voor stikstof en fosfor groot te zijn in verhouding tot de toevoer via het ingelaten water (tabel 1). Voor chloride is de *kwel* bepalend (meer dan 90% van de totale interne belasting van 16,8 miljoen kg volgens tabel 1) en de uitspoeling beperkt. Voor stikstof is de *uit- en afspoeling* bepalend (80 à 90% van totaal volgens tabel 1) en de bijdrage van de kwel beperkt. Voor fosfor tenslotte is de betekenis van kwel enerzijds en uitspoeling anderzijds minder zeker maar waarschijnlijk van dezelfde orde van grootte (beide 50% van totaal volgens tabel 1).

Voor zowel chloride als nutriënten blijkt de interne belasting dus groot te zijn in verhouding tot de bijdrage via het ingelaten water. Bepalend voor de kwel is de hydrologie van het gebied, bepalend voor de uit- en afspoeling is vooral het meststoffenverbruik in de land- en tuinbouw. Beide zijn een gegeven dat *niet of nauwelijks* afhankelijk is van de waterinlaat en doorspoeling. De betekenis van kwel en uit- en afspoeling zal dus relatief toenemen bij het verminderen van de waterinlaat en doorspoeling.

Resultaten Scenarioberekeningen

In alle scenarioberekeningen is uitgegaan van een vast debiet van 200 l/s (ca. 6 miljoen m^3 per jaar) dat via gemaal Weijerse naar de hoger gelegen peilgebieden (Stuifakker en Helhoek) wordt verpompt. Het relatief lage niveau van de chloride- en nutriëntenconcentraties van het oppervlaktewater ter plaatse rechtvaardigt de aanname dat dat debiet zonder negatieve gevolgen voor de waterkwaliteit teruggebracht kan worden tot 100 l/s (ca. 3 miljoen m^3 per jaar). Die reductie is in de volgende resultaten van de scenarioberekeningen verrekend:

- *scenario 01*: bewust sturen van klepstanden van inlaatduikers en stuwen op chlorideconcentraties van 200 mg/l voor de glastuinbouw voor zover de hydrologische infrastructuur wateraanvoer en doorspoeling mogelijk maakt, *zonder* verdere beperkingen ten aanzien van de ligging van de glastuinbouwbedrijven binnen Voorne-West, en sturen op richtwaarden van 600 en 1000 mg/l elders, leidt tot een beperking van de waterinlaat met ca. 20% ten opzichte van de bestaande situatie;
- *scenario 02*: bewust sturen van klepstanden van inlaatduikers en stuwen op chlorideconcentraties van 200, 600 en 1000 mg/l, met strikte toepassing van die richtwaarden op de deelgebieden binnen Voorne-West als aangegeven in het IWBP-ZHZ (fig. 2), leidt tot een beperking van de inlaat met ca. 40% ten opzichte van de bestaande situatie.

Gevolgen voor waterbeheer, waterkwaliteit en land- en tuinbouw

In de bestaande situatie voldoen chlorideconcentraties van het oppervlaktewater bijna overal en steeds aan de richtwaarden volgens de functietoekenning. De concentraties

aan stikstof en fosfor van het ingelaten water voldoen meestal juist aan de grenswaarden volgens de Evaluatienota Water (1994): 2,2 mg/l voor stikstof en 0,15 mg/l voor fosfor. De concentraties van het oppervlaktewater liggen daar op de meeste plaatsen meestal duidelijk boven: de gewogen gemiddelde concentraties van overtollig water, dat via gemaal Trouw wordt geloosd, zijn 7,0 mg/l voor stikstof (totaal-stikstof) en 0,4 mg/l voor fosfor (totaal-fosfor). Plaatselijk komen nog veel hogere concentraties voor, met pieken van 10 à 15 mg/l voor stikstof in het winterhalfjaar en pieken van 2 à 4 mg/l voor fosfor in het zomerhalfjaar.

Elke vermindering van de inlaat en doorspoeling zal leiden tot een stijging van chlorideconcentraties. Bij het huidige niveau van interne belasting met nutriënten via kwel, uitspoeling en afspoeling zal óók de eutrofie van het oppervlaktewater toenemen, vooral dáár waar het verminderen van het inlaten van water tot minder doorspoeling leidt. Hogere concentraties aan stikstof en fosfor werken algenbloei, groei van waterplanten en vorming van kroosdekken in de hand. Als gevolg daarvan nemen de kansen op vissterfte en stankoverlast toe, vooral in de zomerperiode. In de toekomst is een afname van de uit- en afspoeling uit landbouwgronden te verwachten, door uitvoering van het mestbeleid. De negatieve gevolgen van het beperken van de waterinlaat en doorspoeling zullen daardoor minder worden.

Het beperken van de inlaat volgens de scenario's 01 en 02 leidt tot een beperkte besparing op de variabele kosten van bemaling, in de orde van *f* 15 000 resp. *f* 30 000 per jaar. Zeker zo belangrijk vanuit het oogpunt van kosten en baten zijn het noodzakelijke maaionderhoud en de inspanningen die gemoeid zijn met het sturen van het ingelaten water en de controle op het verloop van chlorideconcentraties. Bij het verminderen van de waterinlaat en doorspoeling moet met minder maaionderhoud kunnen worden volstaan. Haalbare besparingen zijn moeilijk in te schatten en zullen in de praktijk proberenderwijze moeten blijken. Anderzijds kan het scherp sturen op chlorideconcentraties van 200 mg/l juist *extra* personele inzet vereisen als het gaat om bediening van inlaatduikers en stuwen en controle op het verloop van chlorideconcentraties.

Vermindering van de waterinlaat en doorspoeling treft speciaal de glastuinbouw. In de bestaande situatie is de teeltoppervlakte onder glas met gebruik van oppervlaktewater als gietwater ca. 100 ha. Een stijging van chlorideconcentraties tot 200 mg/l leidt op de desbetreffende bedrijven tot een hoger water- en meststoffenverbruik en meer uitspoeling van nutriënten. Bij gevoelige teelten is ook directe zoutschade niet uit te sluiten. Het plaatselijk wegvallen van oppervlaktewater als bron van gietwater bij het werken volgens scenario 02 dwingt de desbetreffende glastuinbouwbedrijven tot het gebruik van regenwater en/of leidingwater. Dat vereist aanzienlijke investeringen en leidt tot hogere productiekosten.

De eindconclusie uit het onderzoek is dat bij strikte toepassing van richtwaarden voor chlorideconcentraties volgens het IWBP-ZHZ (dat wil zeggen: bij het werken volgens scenario 02) in principe een beperking van de inlaat van water met ca. 40% haalbaar is. Het realiseren daarvan leidt tot *hogere* chlorideconcentraties en, bij het huidige niveau van uit- en afspoeling van nutriënten, tot een *toename* van de eutrofie. Dat is nadelig voor de glastuinbouw en zal plaatselijk ongewenste gevolgen voor de

waterkwaliteit kunnen hebben. Tegenover besparingen op de kosten van maaionderhoud en bemaling staan wellicht noodzakelijke extra inspanningen van het waterschap in termen van het sturen van het ingelaten water door bediening van kunstwerken en de controle op het verloop van chlorideconcentraties.

1 Inleiding en doelstelling

Uit verkennend onderzoek in de periode 1992-1993 bleek dat Voorne-West (gebied ten westen van het Kanaal door Voorne) met grote hoeveelheden water vanuit het Brielse Meer en Haringvliet wordt doorgespoeld (Steenvoorden et al., 1993). Voor geheel 1992 ging het om een totale waterinlaat van 40 miljoen m^3 wat neerkwam op ca. 470 mm. Het inlaten van water en doorspoelen vindt gedurende het gehele jaar plaats, vooral ter bestrijding van de verzilting van het oppervlaktewater door zoute kwel. Dat is van groot belang voor de glastuinbouw die in belangrijke mate in haar behoefte aan gietwater voorziet door het gebruik van oppervlaktewater.

De resultaten van het verkennend onderzoek waren aanleiding tot dit vervolgonderzoek, gericht op het vaststellen van de mogelijkheden om het inlaten van water naar en het doorspoelen van Voorne-West te beperken en van de gevolgen daarvan voor het waterkwantiteits- en kwaliteitsbeheer en voor de land- en tuinbouw. Deze vraag werd ingegeven door zowel het beleid van de rijksoverheid (Derde Nota Waterhuishouding, 1989) als dat van de provincie (Waterhuishoudingsplan, 1991) en de uitwerking daarvan in waterbeheersplannen voor de waterschappen in het zuidelijk deel van de provincie (Waterbeheersplan, z.j.). Belangrijke aandachtpunten voor het waterbeheer in het gebied van het waterschap De Brielse Dijkring zijn het verminderen van de toevoer van eutrofiërende stoffen door beperking van de inlaat van gebiedsvreemd water en het reduceren van de belasting van het oppervlaktewater door uit- en afspoeling van meststoffen (Meerjarenplan, z.j.). Het waterbeheersplan en het meerjarenplan zijn onderdeel van het zogenoemde Integraal Waterbeheersplan Zuid-Holland Zuid, in dit rapport verder aangeduid als het IWBP-ZHZ. Verdere aanleiding tot het vervolgonderzoek waren de mogelijk beperkte beschikbaarheid van zoet water voor doorspoeling in de toekomst en de (financiële) inspanningen die voor het waterschap met het inlaten van water en het doorspoelen samenhangen. Hoofddoelstelling van het onderzoek was dan ook om de mogelijkheden aan te geven om het inlaten van water en het doorspoelen te beperken en om de gevolgen daarvan voor de waterkwaliteit en voor de land- en (glas)tuinbouw aan te geven.

Voor een gedetailleerde beschrijving van de opzet, de uitvoering, de resultaten en de daaraan verbonden conclusies wordt verwezen naar SC-DLO-rapport 435.1 (Hamaker et al., 1997). Het voorliggende rapport 435.2 is een beknopte versie daarvan. Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van het gebied voor zover het aspecten betreft die in het kader van het onderzoek relevant zijn. In hoofdstuk 3 komt het uitgevoerde veld- en modelonderzoek aan de orde en in hoofdstuk 4 de resultaten daarvan. De evaluatie van resultaten in hoofdstuk 5 leidt uiteindelijk tot conclusies op hoofdpunten.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Algemeen

Figuur 1 betreft het gebied Voorne-West, met een totale oppervlakte binnen de aangegeven grenzen van ca. 8500 ha. Na de afdamming van de Brielse Maas in 1950 en de voltooiing van de Haringvlietdam in 1970 wordt het gebied alléén nog aan de westzijde door zout water begrensd (Rak van Scheelhoek, Brielse Gat).

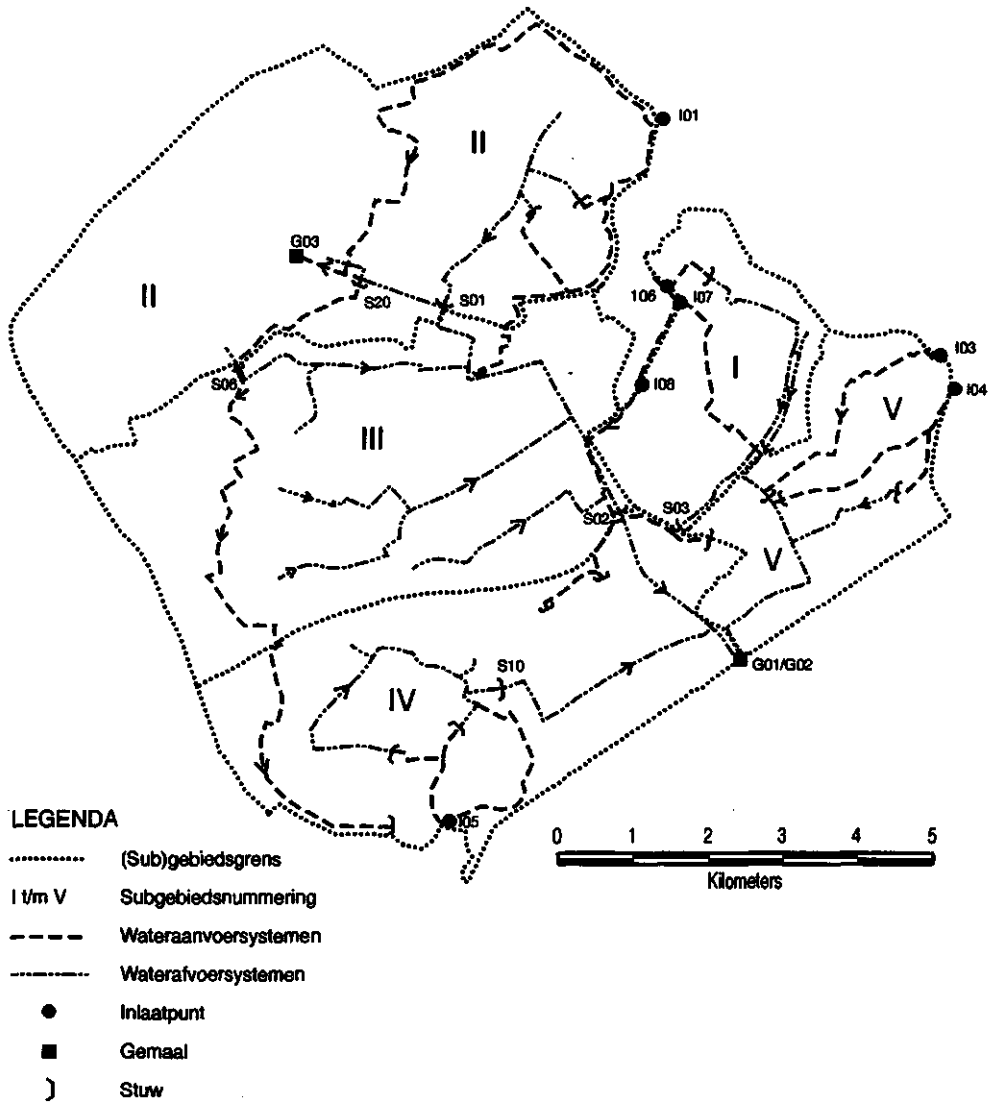


Fig. 1 Voorne-West met de verdeling in vijf subgebieden (I t/m V) en de hoofdsystemen voor wateraan- en afvoer

2.2 Waterhuishouding

Binnen Voorne-West worden in totaal ca. 45 afzonderlijke peilgebieden onderscheiden, waarbij de peilen volgens peilbesluiten uiteenlopen van boven NAP voor enkele peilgebieden tegen de binnenduinrand (gebied Stuifakker) tot NAP - 2,40 m en NAP - 2,75 m tegen het Kanaal door Voorne. De waterhuishouding van het gebied is daarop aangepast. Het inlaten van zoet water vindt plaats vanuit het Brielse Meer (fig. 1: inlaatpunten I01, I03, I04) en vanuit het Spui van Brielle (inlaatpunten I06, I07, I08). Het gaat uiteindelijk om water van de rivieren Rijn en Maas, aangevoerd vanuit het Haringvliet via het Spui en de Bernisse. Ook wordt vanuit het Haringvliet rechtstreeks water ingelaten, via Hellevoetsluis (inlaatpunt I05). De afvoer van overtollig water vindt geheel plaats via gemaal Trouw (fig. 1, punt G01/G02) en het Kanaal door Voorne, richting Hellevoetsluis, met lozing op het Haringvliet via gemaal Gorzeman.

In figuur 1 zijn de belangrijkste wateraanvoersystemen vanaf de inlaatpunten en afvoersystemen richting gemaal Trouw aangegeven. Via de aanvoersystemen kan vrijwel het gehele gebied van water voorzien en doorgespoeld worden. Het belangrijkste aanvoersysteem is de watergang die loopt vanaf inlaatpunt I01 (Molenhavensluis) langs Oostvoorne en Rockanje richting Hellevoetsluis. Langs deze watergang ligt een dertigtal inlaatduikers waarmee lager gelegen peilgebieden van water worden voorzien. De hoger gelegen peilgebieden tegen de binnenduinrand worden voorzien via punt G03 (gemaal Weijerse plus een vijzelgemaal en pomp ter plaatse). Een andere tak van dit aanvoersysteem loopt vanaf punt I01 deels langs en deels door de bebouwde kom van Brielle richting Tinte. Het tweede belangrijke aanvoersysteem betreft de inlaat vanuit het Spui van Brielle via punt I08. Vooral via punt I08 en daarnaast via de punten I06 en I07 wordt het glastuinbouwgebied Vierpolders van water voorzien. Het inlaten van water via de punten I03 en I04 bij Zwartewaal en I05 bij Hellevoetsluis is van veel minder betekenis en blijft normaliter beperkt tot het zomerhalfjaar.

Het ingelaten water komt vanuit de aanvoersystemen uiteindelijk via inlaatduikers en/of stuwen in het afvoersysteem terecht. Er zijn in totaal zes automatische stuwen, in figuur 1 aangegeven als S01, S02, S03, S06, S10 en S20. De overige stuwen zijn handbediend. Peilen in de afvoersystemen liggen beneden die in de aanvoersystemen. Daar waar in figuur 1 aan- en afvoerwatergangen elkaar kruisen liggen sifons. Dat is bijvoorbeeld het geval ten zuiden van Brielle met de aanvoerwatergang vanaf inlaatpunt I08 richting Nieuwenhoorn en de hoofdafvoerwatergang richting gemaal Trouw.

2.3 Bodemgebruik en functietoekenning aan het oppervlaktewater

In het kader van eerder onderzoek (ICW, 1988) is het bodemgebruik in detail geïnventariseerd naar de situatie toentertijd. Voor Voorne-West, exclusief de Ondernemingspolder en het Kruininger Gors, leidde dat tot het volgende resultaat:

– agrarisch gebied	5775 ha;
– verhard/gedeeltelijk verhard gebied	1675 ha;
– droog natuurlijk terrein	425 ha;
– open water	175 ha;
– glastuinbouw	150 ha;
– diversen (bos, recreatie)	300 ha.

De totale oppervlakte komt hiermee uit op 8500 ha.

Bij het agrarisch gebied gaat het in hoofdzaak om akkerbouw (granen, suikerbieten en aardappelen), om grasland, om tuinbouw in de open grond (spruiten, witlof, bloembollen) en om enkele fruitteeltbedrijven. De ontwikkelingen sinds 1983 hebben geleid tot een afname van het areaal agrarisch gebied en een toename van het verhard/gedeeltelijk verhard stedelijk gebied.

Vanwege de betekenis van oppervlaktewater als bron van gietwater is in het vooronderzoek (Steenvoorden et al., 1993) speciaal aandacht besteed aan de glastuinbouw. Volgens de landbouwtelling van 1991 (CBS, 1991) was de totale glasoppervlakte voor de gemeenten op Voorne-Putten 153 ha, waarvan ca. 60% met groenteteelten en 40% met sierteelten. Die glastuinbouw ligt vrijwel geheel binnen Voorne-West.

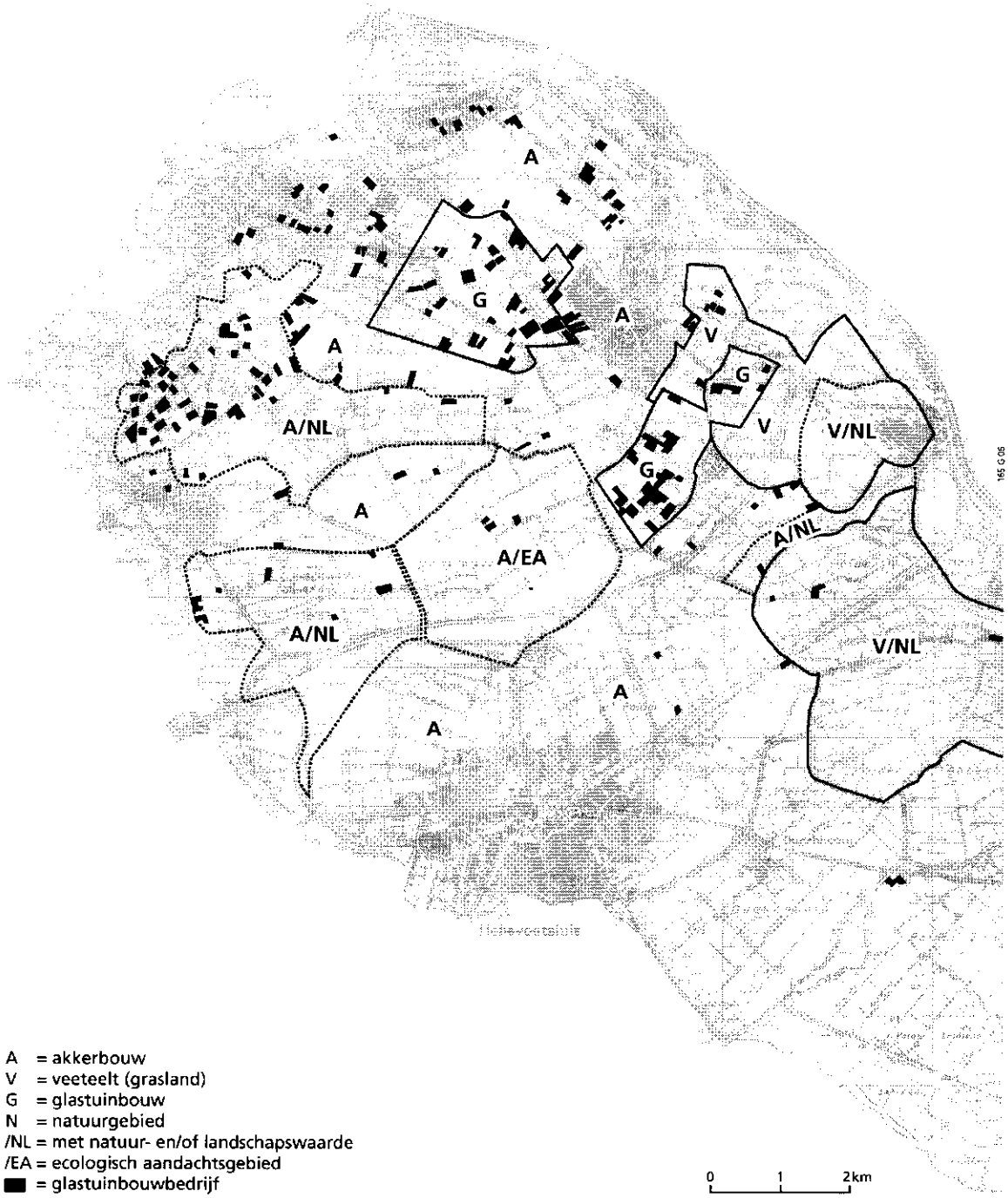
Waterkwaliteitsdoelstellingen voor het grond- en oppervlaktewater zijn gekoppeld aan de functies die aan het water zijn toegekend. Blijkens het IWBP-ZHZ gaat het op Voorne-Putten om de volgende functies:
– functie natuur;
– functie bebouwing;
– agrarische functie.

De functie natuur is toegekend aan de gehele duinstrook van Voorne-West en aan een tweetal kleine gebiedjes met een zout of brak karakter: Merrevliet en Holle Mare. Bij de gebieden met functie bebouwing gaat het om de bebouwde kom van plaatsen als Brielle, Hellevoetsluis, Oostvoorne, Rockanje en Zwartewaal.

Het resterende deel van Voorne-West is agrarisch gebied. Met het oog op het gebruik van oppervlaktewater voor beregening of voor veedrenking zijn daar de volgende kwaliteitsdoelstellingen voor de chlorideconcentratie (Cl-concentratie) van toepassing:

– glastuinbouw	200 mg/l;
– tuinbouw in de open grond	300 mg/l;
– akkerbouw	600 mg/l;
– veeteelt	1000 mg/l.

De Cl-concentraties zijn te beschouwen als richtwaarden. Immers, de mogelijkheden tot het realiseren ervan zijn mede afhankelijk van de waterhuishoudkundige infrastructuur van het gebied en van externe factoren waarop de waterbeheerder geen invloed heeft, zoals bijvoorbeeld de Cl-concentratie van het ingelaten water.



A = akkerbouw
V = veeteelt (grasland)
G = glastuinbouw
N = natuurgebied
/NL = met natuur- en/of landschapswaarde
/EA = ecologisch aandachtsgebied
■ = glastuinbouwbedrijf

Fig. 2 Functietoekenning aan het grond- en oppervlaktewater binnen Voorne-West

In figuur 2 zijn de gebieden, waar de functie glastuinbouw of veeteelt aan het oppervlaktewater is toegekend, aangegeven met G respectievelijk V. Voor het gehele resterende gebied geldt de functie akkerbouw (A), afgezien van de twee genoemde natuurgebiedjes en de gebieden met bebouwing (niet apart aangegeven). Gebieden met functietoekenning tuinbouw in de open grond komen *niet* voor.

De totale oppervlakte glastuinbouw binnen Voorne-West is na 1991 verder toegenomen en wordt nu geschat op ca. 170 ha. Oppervlaktewater is naast regenwater en leidingwater een belangrijke bron van gietwater. Volgens een recente inventarisatie van het zuiveringsschap in het kader van het Lozingenbesluit Glastuinbouw (1994) is de totale oppervlakte onder glas met regelmatig gebruik van oppervlaktewater als gietwater ca. 85 ha (50 % van totaal). In langdurige perioden van droogte kan die oppervlakte verder toenemen omdat dan óók bedrijven, die normaliter regenwater gebruiken, noodgedwongen overgaan op oppervlaktewater (dat bleek bijvoorbeeld in het voorjaar en de zomer van 1996, na de extreem droge winterperiode waarin regenwaterbassins maar gedeeltelijk gevuld raakten).

Buiten de glastuinbouw wordt volgens informatie van het waterschap beregening toegepast bij de teelt van enkele groente- en bloemisterijgewassen in de open grond. De indruk bestaat dat beregening vaak maar één keer plaatsvindt, in de periode mei-juni, en dan nog alléén als de weersomstandigheden daar aanleiding toe geven. Daarnaast worden in meer extreem droge zomerperioden ook enkele percelen met aardappelen beregend.

De norm van 1000 mg/l voor veeteelt heeft betrekking op het gebruik van water voor veedrenking. In de praktijk blijkt dat ook bij concentraties beneden dat niveau problemen kunnen optreden als er sprake is van grote fluctuaties. Naast het concentratieniveau is dus een gelijkmatig verloop van de concentratie belangrijk.

3 Methoden van onderzoek

3.1 Deelaspecten

Op basis van de resultaten van het verkennend onderzoek (Steenvoorden et al., 1993) is een plan van aanpak voor het vervolgonderzoek uitgewerkt waarin de volgende aspecten centraal staan:

- het uitvoeren van veldonderzoek om de water-, Cl- en nutriëntenhuishouding van Voorne-West als geheel en voor subgebieden daarbinnen te kwantificeren;
- het toepasbaar maken en toetsen van rekenmodellen om de water- en zouthuishouding van Voorne-West te kwantificeren;
- het toepassen van deze rekenmodellen om scenario's voor het beperken van het inlaten van water en het doorspoelen van het oppervlaktewatersysteem te evalueren.

Het veldonderzoek staat niet los van het onderzoek met rekenmodellen: resultaten van de meetprogramma's waterkwantiteit en kwaliteit zijn gebruikt om het modelinstrumentarium te calibreren en te toetsen, voorafgaand aan het doorrekenen van de scenario's.

3.2 Veldonderzoek

Het veldonderzoek is uitgevoerd in de periode vanaf mei 1994 t/m april 1995 en beslaat in principe dus een periode van 12 maanden. Vanwege vertraging in de aanloopfase was een deel van het waterkwantiteitsmeetnet pas operationeel vanaf juli 1994.

3.2.1 Waterkwantiteit

In het kader van het onderzoek zijn binnen Voorne-West vijf subgebieden onderscheiden als aangegeven in figuur 1. De subgebieden I t/m IV samen worden door het waterschap aangeduid als het bemalingsgebied Groot Voorne-West, subgebied V als het bemalingsgebied Klein Voorne-West. De beide gebieden worden ter plaatse van gemaal Trouw apart bemalen. De grenzen van de subgebieden zijn zó gekozen dat in principe voor elk subgebied zowel de toevoer als de afvoer van water bepaald kan worden aan de hand van metingen van waterstromen via een beperkt aantal stuwen, duikers en/of gemalen. Er is daarbij gebruik gemaakt van gegevens uit het vaste meetprogramma van het waterschap (registraties per deelperiode van 15 minuten van peilen, stuwklepstanden, draaiuren van gemalen) of van gegevens die met eigen apparatuur in het kader van dit onderzoek zijn verzameld (registraties per deelperiode van 10 minuten van peilen en klepstanden plus wekelijkse meting van debieten met een stroomsnelheidsmeter).

3.2.2 Waterkwaliteit

Het waterkwaliteitsonderzoek betrof de volgende parameters:
- de chlorideconcentratie (Cl-concentratie), die een centrale rol speelt bij de functietoekenning aan het oppervlaktewater als het om de agrarische belangen gaat;
- de concentraties aan stikstof (N) en fosfor (P) die van belang zijn met het oog op de eutrofie van het oppervlaktewater;
- elektrische geleidbaarheid (EGV-waarde) als maat voor de *totale* zoutconcentratie.

Bij de monsteranlyse is voor stikstof onderscheid gemaakt tussen de concentraties aan enerzijds nitraat- plus ammoniumstikstof ((NO_3+NH_4)-N) en anderzijds de totale stikstofconcentratie (totaal-N). Voor fosfor is onderscheid gemaakt tussen enerzijds orthofosfor (ortho-P) en anderzijds de totale concentratie (totaal-P). De EGV-waarde van het oppervlaktewater is nauw gecorreleerd met de Cl-concentratie.

In deze beknopte rapportage komen slechts gegevens voor een beperkt aantal monsterpunten aan de orde. Het gaat om de volgende punten in figuur 1:
- punt I01 (Molenhavensluis), wekelijkse bepaling Cl-concentratie en maandelijkse bepaling N- en P-concentraties, representatief voor ingelaten water;
- punten G01 en G02 (gemaal Trouw), wekelijkse bepaling Cl-concentratie en maandelijkse bepaling N- en P-concentraties, representatief voor de afvoer vanuit Groot Voorne-West resp. Klein Voorne-West;
- punten S01 en S03 (automatische stuwen): wekelijkse bepaling Cl-concentratie, wekelijkse bepaling van N- en P-concentraties (proportionele bemonstering), representatief voor de belangrijkste afvoerstromen vanuit subgebied I resp. II waar de glastuinbouw is geconcentreerd;
- punt S06 (automatische stuw) met wekelijkse bepaling Cl-concentratie en maandelijkse bepaling N- en P-concentraties, representatief voor afvoerstroom vanuit peilgebieden tegen binnenduinrand (gebied Stuifakker).

Bij de EGV-waarden gaat het om 50 punten verspreid over subgebied I en 100 punten verspreid over subgebied II. De EGV-waarden zijn in het veld gemeten in zowel hoofdwatergangen als in secundaire watergangen en kavelsloten, in principe om de vijf weken, in de periode april 1994 t/m januari 1995.

3.3 Modelonderzoek

3.3.1 Modellen SWAP en DUFLOW

Het modelinstrumentarium omvat twee of elkaar aansluitende simulatiemodellen. Het SWAP-model berekent per dagtijdstap de belasting van het oppervlaktewatersysteem van Voorne-West met (drain)water en chloride. In perioden met een neerslagoverschot is die belasting positief. Dat zal in het algemeen het geval zijn in het winterhalfjaar, bij grondwaterstanden *boven* polderpeil. In perioden met een verdampingsoverschot kan de belasting negatief worden. Dat is het geval als grondwaterstanden in het

zomerhalfjaar tot beneden polderpeil dalen. Er treedt dan infiltratie vanuit het oppervlaktewater op.

Om met het SWAP-model te kunnen rekenen is Voorne-West geschematiseerd door het gebied op te delen in eenheden van 500 bij 500 m (25 ha). Elke eenheid wordt uniform verondersteld voor wat betreft bodemgebruik, bodemfysische eigenschappen (doorlatendheid, vochthoudend vermogen van de grond), intensiteit van kwel/wegzijging en drooglegging (niveau polderpeil ten opzichte van maaiveld). Gegevens hierover zijn ontleend aan eerder onderzoek (ICW, 1988). Als rekenresultaat worden geloosde hoeveelheden drainwater (bij neerslagoverschot) of geïnfiltreerde hoeveelheden oppervlaktewater (bij verdampingsoverschot) in m^3 per dag en de bijbehorende hoeveelheden chloride in kg per dag verkregen, per eenheid van 25 ha.

Het DUFLOW-model betreft het oppervlaktewatersysteem van Voorne-West. Het oppervlaktewatersysteem is geschematiseerd tot een netwerk van takken (alle belangrijke watergangen) en knooppunten (waterinlaatpunten, stuwen, gemalen, punten waar watergangen samenkomen of zich splitsen). Per tak en per knooppunt zijn relevante gegevens ingevoerd. Het gaat daarbij om bijvoorbeeld de afmetingen van watergangen en stuwen, om capaciteiten van gemalen enz. Met dit DUFLOW-model wordt de waterbeweging in het netwerk en het verloop van Cl-concentraties in de knooppunten berekend. De waterbeweging en Cl-concentraties zijn afhankelijk van de van buiten ingelaten hoeveelheden zoet water en daarnaast van de belasting binnen het gebied door de lozingen van drainwater en chloride. Dáár ligt de koppeling tussen het SWAP-model en het DUFLOW-model.

3.3.2 Scenario's en scenarioberekeningen

Bij het definiëren van scenario's voor het verminderen van het inlaten van water en het doorspoelen staan Cl-concentraties in relatie tot de functietoekenning aan het oppervlaktewater voor beregening in land- en tuinbouw centraal. Het gaat om de volgende richtwaarden:
- 200 mg/l als bovengrens bij de functietoekenning gietwater glastuinbouw;
- 600 mg/l als bovengrens bij de functietoekenning beregeningswater voor akkerbouwgewassen;
- 1000 mg/l als bovengrens bij de functietoekennning water voor veedrenking.

In de bestaande situatie, aangeduid als scenario 00, wordt het inlaten van water en het doorspoelen bepaald door de vraag vanuit het gebied, vooral vanuit de glastuinbouw. Die vraag wordt gehonoreerd voor zover de waterhuishoudkundige infrastructuur dat mogelijk maakt, ook als het gaat om glastuinbouwbedrijven *buiten* de gebieden waar de functie gietwater glastuinbouw aan het oppervlaktewater is toegekend (fig. 2). Bovendien blijkt dat Cl-concentraties, dankzij de inspanningen van het waterschap, zowel in de gebieden waar de glastuinbouw is geconcentreerd als ter plaatse van verspreid liggende glastuinbouwbedrijven meestal duidelijk beneden het niveau van 200 mg/l blijft. Er wordt in dit scenario, dat wil zeggen, in de bestaande situatie, dus *niet* bewust en scherp op een richtwaarde van 200 mg/l gestuurd.

Bij het opstellen van de scenario's 01 t/m 04 is uitgegaan van een steeds verder gaande aanpassing van de eisen die aan de Cl-concentraties van het oppervlaktewater worden gesteld. De daaruit resulterende scenario's zijn als volgt te omschrijven:

- *scenario 01*: sturen van de waterinlaat en doorspoeling gericht op het handhaven van Cl-concentraties van maximaal 200 mg/l voor *alle* glastuinbouwbedrijven, binnen Voorne-West die oppervlaktewater als gietwater gebruiken, voor zover tenminste de waterhuishoudkundige infrastructuur dat mogelijk maakt; richtwaarden van 600 en 1000 mg/l elders overeenkomstig de functietoekenning aan het oppervlaktewater volgens het IWBP-ZHZ (fig. 2);
- *scenario 02*: sturen van de waterinlaat en doorspoeling gericht op het handhaven van Cl-concentraties van maximaal 200, 600 en 1000 mg/l, geheel overeenkomstig de functietoekenning aan het oppervlaktewater volgens het IWBP-ZHZ;
- *scenario 03*: Cl-concentratie van 200 mg/l als richtwaarde vervallen en voor de desbetreffende twee glastuinbouwgebieden vervangen door een richtwaarde van 600 mg/l; richtwaarden van 600 en 1000 mg/l elders, overeenkomstig het IWBP-ZHZ;
- *scenario 04*: Cl-concentratie van 200 mg/l als richtwaarde vervallen; richtwaarden van 600 mg/l voor gebieden met overwegend bouwland en 1000 mg/l voor gebieden met overwegend grasland, op basis van gegevens van het waterschap over het actuele bodemgebruik.

Het verschil tussen tussen enerzijds scenario 00 en anderzijds de scenario's 01 en 02 is dus dat de Cl-concentratie van 200 mg/l in de bestaande situatie *niet* expliciet als richtwaarde wordt gebruikt bij het sturen van de waterinlaat en doorspoeling. Bij de scenario's 01 en 02 is dat *wèl* het geval. Het onderscheid tussen de scenario's 01 en 02 betreft de *omvang* van de oppervlakten binnen Voorne-West waar die sturing plaatsvindt. In de scenario's 03 en 04 speelt de richtwaarde van 200 mg/l geen rol meer. In principe valt het gebruik van oppervlaktewater als gietwater voor de glastuinbouw daarmee weg. Deze scenario's zijn dan ook ingegeven door de gedachte dat de glastuinbouw in toenemende mate gebruik zal maken van regenwater en/of leidingwater. Bovendien blijft de richtwaarde van 600 mg/l in de scenario's 03 en 04 beperkt tot de periode mei t/m augustus omdat beregening in open grond alleen in díe periode aan de orde is.

4 Resultaten

4.1 Waterhuishouding

Gegevens over de toevoer via het inlaten van water en de afvoer via bemaling voor de gehele periode vanaf mei 1994 t/m april 1995 zijn opgenomen in tabel 2. De inlaatpunten zijn gerangschikt in volgorde van afnemende betekenis. De berekening van waterhoeveelheden in mm is gebaseerd op een gebiedsoppervlakte van 8500 ha. Het verschil tussen de totale afvoer (Q_{uit}) en toevoer (Q_{in}) wordt aangeduid als de *interne belasting*, dat wil zeggen, de belasting die binnen Voorne-West plaatsvindt en die moet worden toegeschreven aan het neerslagoverschot (verschil tussen neerslag en verdamping) en aan kwel.

Tabel 2 Watertoevoer (via inlaat) en afvoer (via bemaling) voor geheel Voorne-West (8500 ha), voor de periode mei 1994 t/m april 1995 (12 maanden)

Inlaat/afvoerpunt (zie fig. 1)	Water (10^6 m^3)	Water (mm)	% van totaal
Inlaat I01 (Brielse Meer)	27,3	322	74
Inlaat I08 (Spui)	5,6	66	15
Inlaat I06 (Spui)	1,2	14	3
Inlaat I05 (Haringvliet)	1,1	13	3
Inlaat I09 (Spui)	0,8	9	2
Inlaat I07 (Spui)	0,6	7	2
Inlaat I03 (Brielse Meer)	0,3	4	<1
Inlaat I04 (Brielse Meer)	0,2	3	<1
Inlaat totaal (Q_{in})	37,2	438	100
Afvoer G1 (gemaal Trouw, Groot V-W)	67,9	799	90
Afvoer G2 (gemaal Trouw, Klein V-W)	7,8	92	10
Afvoer totaal (Q_{uit})	75,7	891	100
Interne belasting (Q_{uit}-Q_{in})	38,5	453	

Figuur 3(a) geeft het verloop van de toevoer via het inlaten van water vanuit het Brielse Meer, vanuit het Spui van Brielle en vanuit het Haringvliet. De afvoer via gemaal Trouw is het totaal voor de bemalingsgebieden Groot Voorne-West en Klein Voorne-West. Figuur 3(b) laat het *verschil* tussen toevoer en afvoer zien en geeft dus een beeld van het verloop van de *interne belasting*.

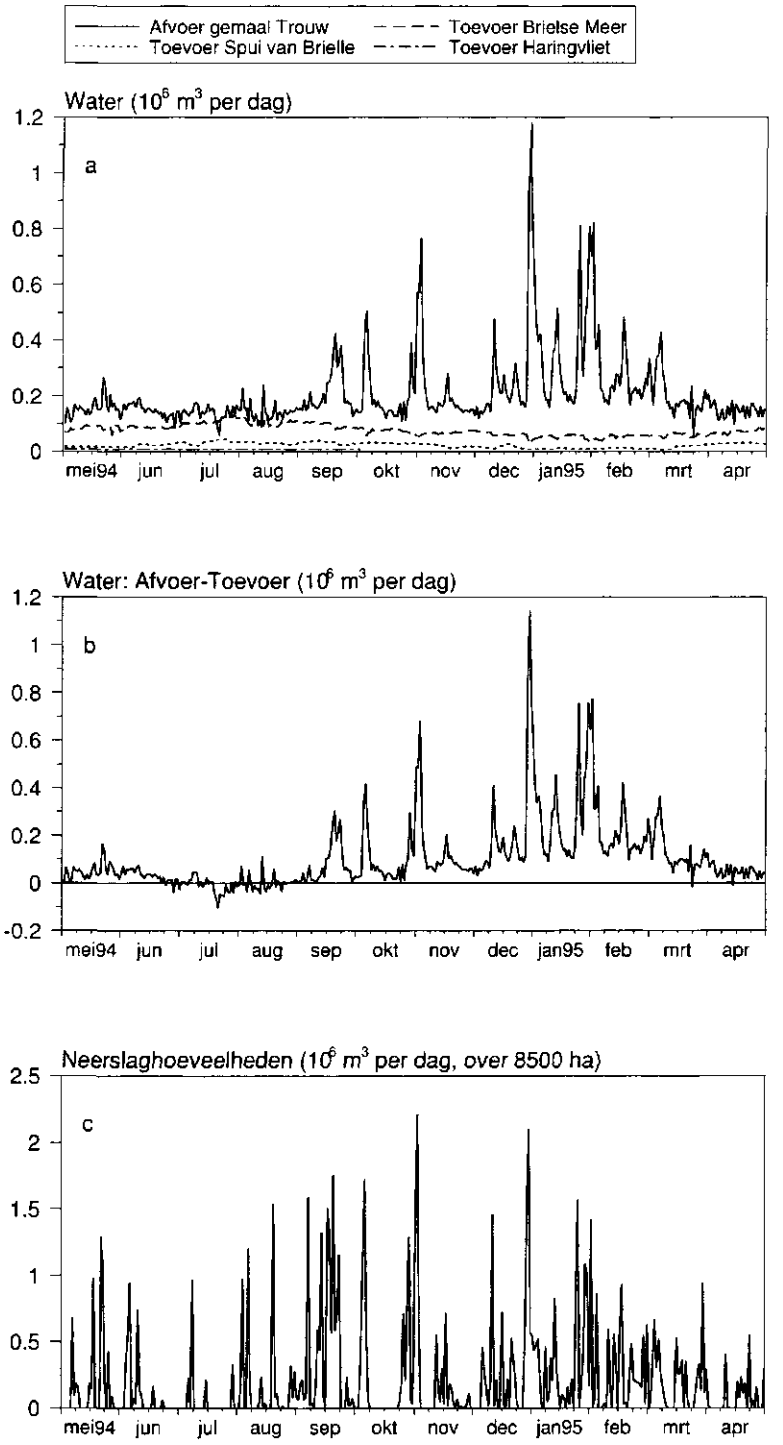


Fig. 3 Verloop van a: de afvoer (Q_{uit}) via gemaal Trouw en de toevoer (Q_{in}) vanuit het Brielse Meer, het Spui van Brielle en het Haringvliet; b: het verschil tussen afvoer en totale toevoer (= Q_{uit} - Q_{in}); c: neerslag (gemiddelde van drie KNMI-stations binnen Voorne-West)

Om in meer detail zicht te krijgen op de waterhuishouding zijn waterbalansen berekend voor geheel Voorne-West en voor de vijf subgebieden. De waterbalansvergelijking is:

$$\Delta B = N + Q_{in} + K - f \cdot E_{ref} - Q_{uit} - W \qquad (1)$$

waarin:

ΔB = bergingsverandering;
N = neerslag;
Q_{in} = waterinlaat;
K = kwel;
f = gewasfactor;
E_{ref} = referentiegewasverdamping;
Q_{uit} = waterafvoer;
W = wegzijging.

De grootheden in relatie (1) (met uitzondering van de dimensieloze gewasfactor f) worden uitgedrukt in mm of m^3. Binnen één en hetzelfde (sub)gebied kunnen kwel en wegzijging naast elkaar voorkomen. Daarom zijn de grootheden K en W beide in de balansvergelijking opgenomen. Alle posten zijn op basis van gegevens uit het meetprogramma of uit andere bron te berekenen, met uitzondering van K en W. Daarom wordt relatie (1) geschreven als:

$$Q_{rest} = K - W = f \cdot E_{ref} - N + Q_{uit} - Q_{in} + \Delta B \qquad (2)$$

waarin:

Q_{rest} = balansrestpost (mm).

Resultaten van de balansberekeningen voor geheel Voorne-West voor de periode vanaf mei 1994 t/m april 1995 zijn opgenomen in tabel 3. Resultaten van de berekeningen voor Voorne-West en voor de vijf subgebieden voor de periode juli 1994 t/m april 1995 zijn verwerkt in tabel 4. De bijdrage van de neerslag N is berekend uit de gegevens van de KNMI-stations Oostvoorne, Nieuw Helvoet en Brielle. Voor de balansen voor geheel Voorne-West is uitgegaan van het gemiddelde van de drie stations, voor de balans voor de subgebieden is rekening gehouden met de ligging van de stations ten opzichte van de subgebieden. Voor de referentieverdamping E_{ref} is uitgegaan van gegevens van het KNMI voor het hoofdstation Vlissingen. Er is gerekend met een gewasfactor $f = 0{,}8$, zowel voor geheel Voorne-West als voor elk van de subgebieden. De grootheid ΔB heeft betrekking op de toe- of afname van de vochtberging in de grond in de balansperiode. Voor de periode van 12 maanden is ΔB minimaal en daarom op nul gesteld. Voor de balansperiode van 10 maanden is ΔB positief omdat het bodemprofiel aan de begin van die periode (juli 1994) verder uitgedroogd zal zijn geweest dan aan het einde van die periode. Op basis van het verdampingsoverschot gedurende de maanden mei en juni 1994 is ΔB geschat op +60 mm.

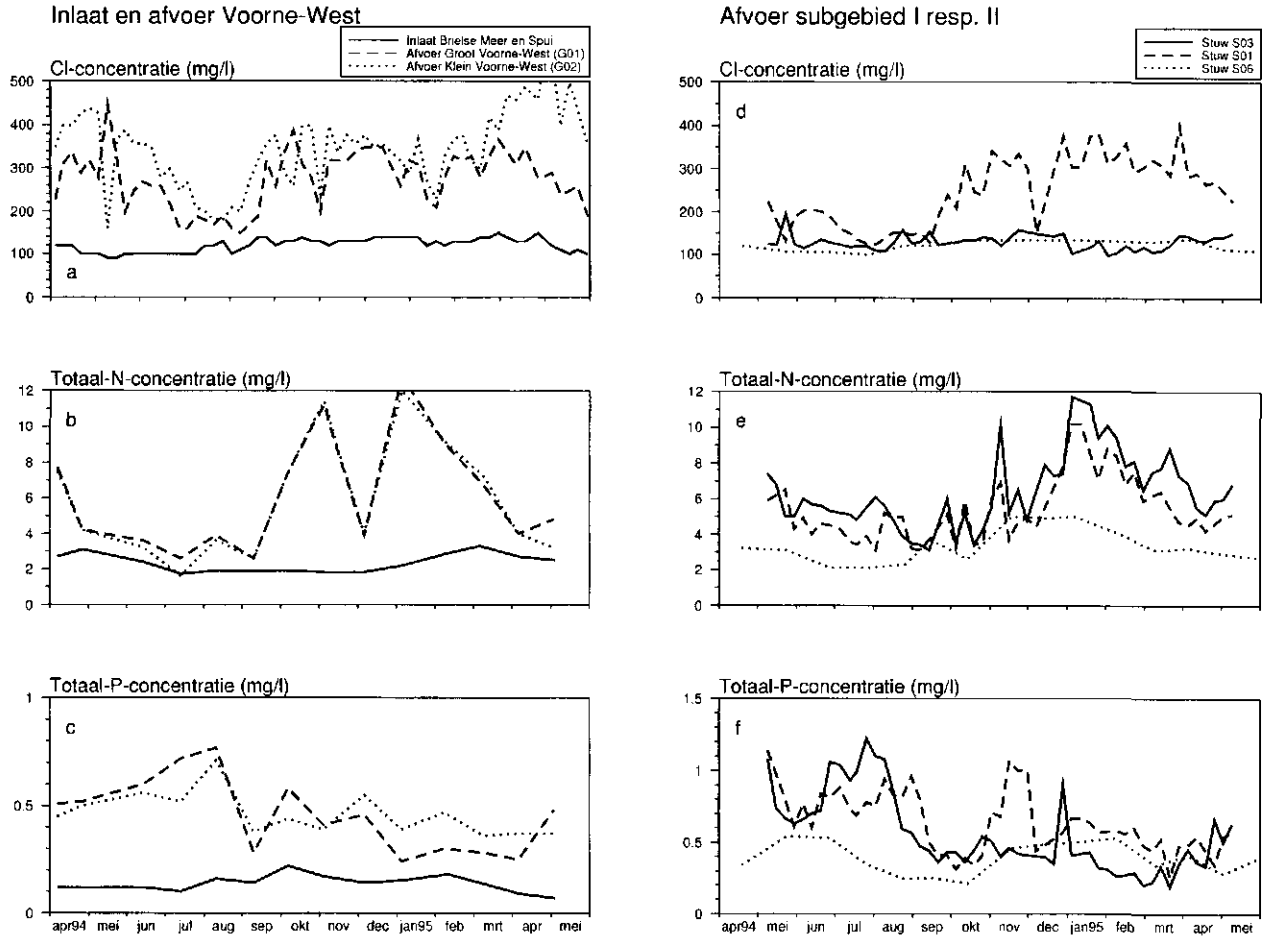


Fig. 4 Verloop van de Cl-, N- en P-concentraties voor het water dat via punt I01 (Molenhavensluis, zie fig. 1) wordt ingelaten resp. via gemaal Trouw wordt afgevoerd (a,b,c) en voor de belangrijkste afvoerstromen vanuit de subgebieden I en II via de stuwen S03, S01 en S06 (d,e,f)

Tabel 3 Waterbalans voor geheel Voorne-West (8500 ha) voor de periode mei 1994 t/m april 1995 (12 maanden)

	N	$f \cdot E_{ref}$	Q_{in}	Q_{uit}	ΔB	K-W
Waterhoeveelheden (10^6 m^3)	79,6	42,4	37,2	75,7	0,0	+1,3
Waterhoeveelheden (mm)	936	499	438	890	0	+15

Tabel 4 Waterbalans voor Voorne-West als geheel en voor de vijf subgebieden, voor de periode juli 1994 t/m april 1995 (10 maanden)

(Sub)gebied	Oppervl. (ha)	N 10^6 m^3	$f \cdot E_{ref}$ 10^6 m^3	Q_{in} 10^6 m^3	Q_{uit} 10^6 m^3	ΔB 10^6 m^3	K-W 10^6 m^3
Voorne-West	8500	70,9	30,2	30,5	66,3	5,1	0,2
I	750	6,9	2,7	4,1	8,1	0,5	0,3
II	2700	22,6	9,6	22,3	30,2	1,6	-3,5
III	2400	20,0	8,5	30,1	36,9	1,4	-3,3
IV	1800	14,9	6,4	45,9	59,2	1,1	5,9
V	850	7,8	3,0	2,4	7,0	0,5	0,3

(Sub)gebied	Oppervl. (ha)	N (mm)	$f \cdot E_{ref}$ (mm)	Q_{in} (mm)	Q_{uit} (mm)	ΔB (mm)	K-W (mm)
Voorne-West	8500	834	355	359	780	60	2
I	750	916	355	552	1078	60	25
II	2700	836	355	827	1119	60	-129
III	2400	834	355	1290	1537	60	-172
IV	1800	830	355	2550	3291	60	326
V	850	916	355	279	827	60	47

4.2 Chloride- en nutriëntenhuishouding

Het verloop van de Cl-, N- en P-concentraties voor zes monsterpunten is weergegeven in figuur 4. Het gaat om de waterinlaat vanuit het Brielse Meer, de waterafvoer via gemaal Trouw en de afvoer via de automatische stuwen S03, S01 en S06 (fig. 1). De drie stuwen betreffen de belangrijkste afvoerstromen vanuit subgebied I, subgebied II en vanuit het gebied Stuifakker tegen de binnenduinrand.

In figuur 5 zijn de EGV-waarden van het oppervlaktewater binnen de subgebieden I en II verwerkt. Het gaat om het gemiddelde voor de ca. 50 resp. 100 monsterpunten die in de periode april 1994 t/m januari 1995 in totaal tien keer zijn bemeten.

Uit de gegevens over de ingelaten en afgevoerde hoeveelheden water volgens figuur 3 en de concentraties in die waterstromen volgens figuur 4(a,b,c) zijn massabalansen berekend voor Cl, N en P voor geheel Voorne-West. Die berekeningen zijn uitgevoerd op weekbasis, voor de periode vanaf mei 1994 t/m april 1995.

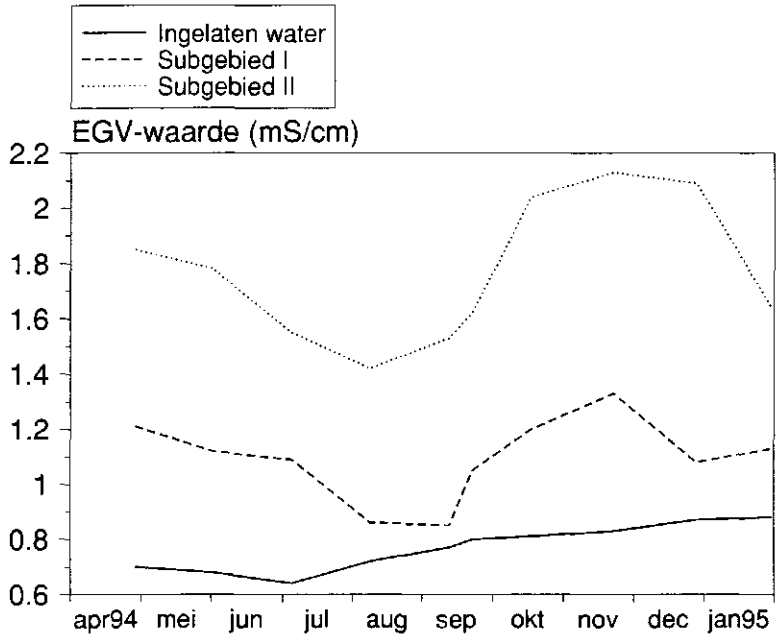


Fig. 5 Verloop van de EGV-waarde van het ingelaten water en van het oppervlaktewater binnen subgebied I (gemiddelde van ca. 50 monsterpunten) resp. subgebied II (gemiddelde van ca. 100 monsterpunten)

Voor het berekenen van de toevoer van chloride zijn per week de ingelaten hoeveelheden water over alle inlaatpunten gesommeerd en vermenigvuldigd met de Cl-concentraties van het water bij inlaatpunt I01 (Molenhavensluis, fig. 4(a)). De afvoer van chloride is berekend op basis van de lozingen vanuit de bemalingsgebieden Groot Voorne-West en Klein Voorne-West via gemaal Trouw en de desbetreffende Cl-concentraties volgens figuur 4(a).

Voor N en P is uitgegaan van het concentratieverloop volgens figuur 4(b,c). Bij het berekenen van hoeveelheden per week zijn de concentratiegegevens volgens de maandelijkse bemonstering toegepast op vier opeenvolgende weekperioden. De berekeningen voor N en P zijn daardoor globaler dan die voor chloride. Resultaten van de balansberekeningen zijn verwerkt in figuur 6 en opgenomen in tabel 5.

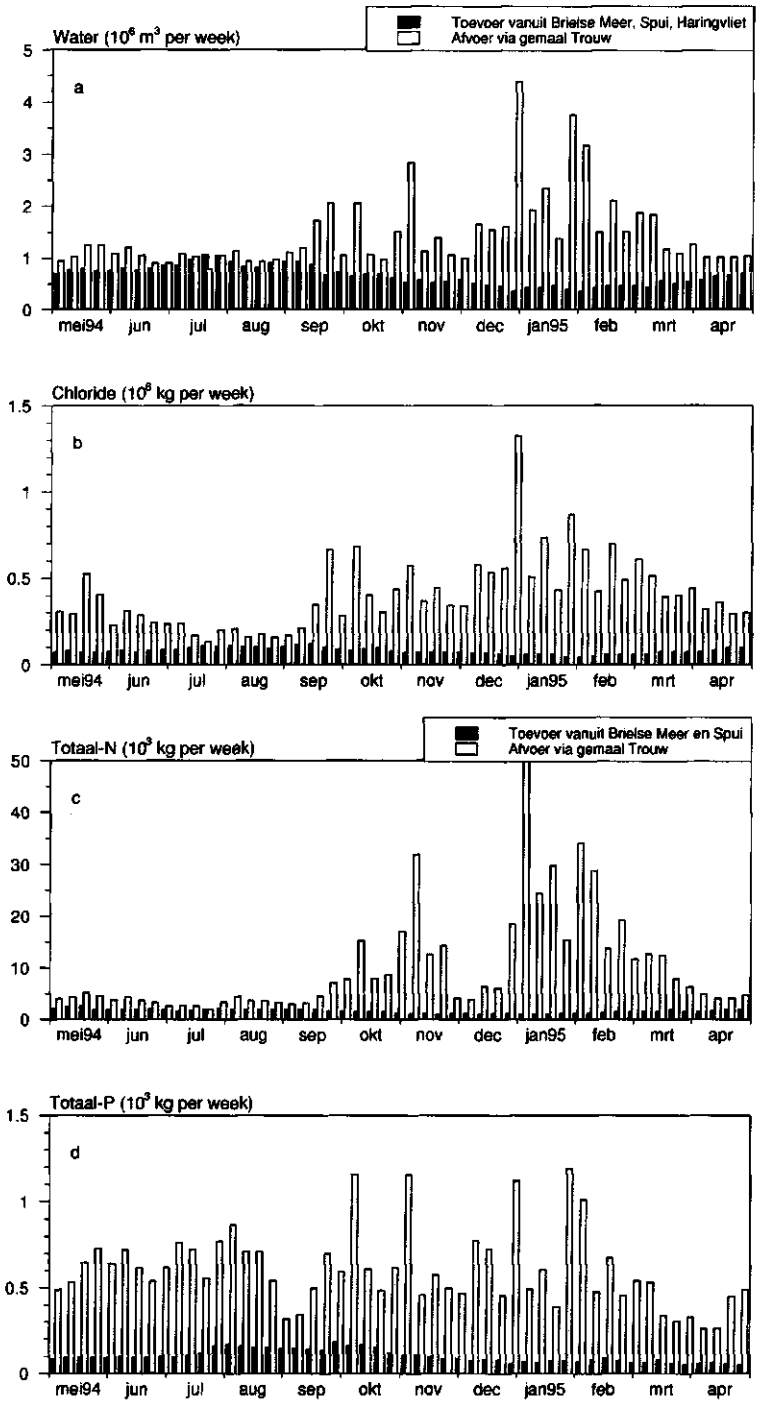


Fig. 6 Toevoer en afvoer van water, chloride en nutriënten per week, voor geheel Voorne-West

Tabel 5 Water-, chloride- en nutriëntenbalansgegevens voor Voorne-West (8500 ha), voor het zomer- en winterhalfjaar en voor de gehele balansperiode vanaf mei 1994 t/m april 1995, voor de bestaande situatie (scenario 00)

	Water		Chloride (Cl)		Stikstof (N)		Fosfor (P)	
	10^6 m^3	mm	10^6 kg	kg/ha	10^3 kg	kg/ha	10^3 kg	kg/ha
Balans *zomer*halfjaar (april t/m september)								
Afvoer via bemaling	28,8	340	7,3	860	104	12,2	15,1	1,7
Toevoer via inlaat	23,0	270	2,6	305	50	5,9	2,9	0,3
Interne belasting	5,8	70	4,7	555	54	6,3	12,2	1,4
Balans *winter*halfjaar (oktober t/m maart)								
Afvoer via bemaling	46,9	550	14,0	1650	423	49,8	16,4	1,9
Toevoer via inlaat	14,2	165	1,9	225	32	3,8	2,3	0,3
Interne belasting	32,7	385	12,1	1425	391	46,0	14,1	1,7
Jaarbalans 1994-1995								
Afvoer via bemaling	75,7	890	21,3	2505	527	62,0	31,5	3,7
Toevoer via inlaat	37,2	435	4,5	530	82	9,6	5,2	0,6
Interne belasting	38,5	455	16,8	1975	445	52,3	26,3	3,1

4.3 Modelcalibratie en scenarioberekeningen

Voorafgaand aan de scenarioberekeningen zijn de resultaten van de berekeningen met het SWAP-model getoetst aan de resultaten van de water- en chloridebalansberekeningen als afgeleid uit de gegevens van het veldonderzoek. Het DUFLOW-model is gecalibreerd op basis van gegevens uit het debietmeetprogramma.

De met het SWAP-model per dag en per eenheid van 25 ha berekende belasting van het oppervlaktewater is over alle eenheden voor opeenvolgende perioden van zeven dagen gesommeerd tot een totale water- en Cl-belasting per week voor geheel Voorne-West. Volgens de SWAP-berekeningen werd de belasting in de periode juli-augustus *negatief* omdat grondwaterstanden dan overal dalen tot beneden polderpeil, zodat infiltratie plaatsvindt. Dit stemde *niet* overeen met de resultaten van het veldonderzoek. Zo ligt blijkens figuur 4(a) de Cl-concentratie van de afvoer via gemaal Trouw gedurende de *gehele* zomerperiode *boven* de concentratie van het ingelaten water wat wijst op een blijvend *positieve* belasting. Ook het verloop van de EGV-waarde van het oppervlaktewater binnen de subgebieden I en II volgens figuur 5 wijst daarop. Deze discrepantie tussen resultaten van de SWAP-berekeningen en de realiteit is belangrijk. Immers, bij een *negatieve* belasting van het oppervlaktewatersysteem zou *geen* doorspoeling hoeven plaats te vinden om aan Cl-concentraties volgens de functietoekenning te voldoen. In werkelijkheid blijkt de belasting positief te blijven zodat doorspoeling wèl noodzakelijk blijft. Daarom is een correctie toegepast op de belasting volgens de SWAP-berekeningen om overeenstemming te bereiken met de *werkelijke* belasting. In de scenarioberekeningen met het DUFLOW-model is steeds uitgegaan van de resultaten van de SWAP-berekeningen ná correctie.

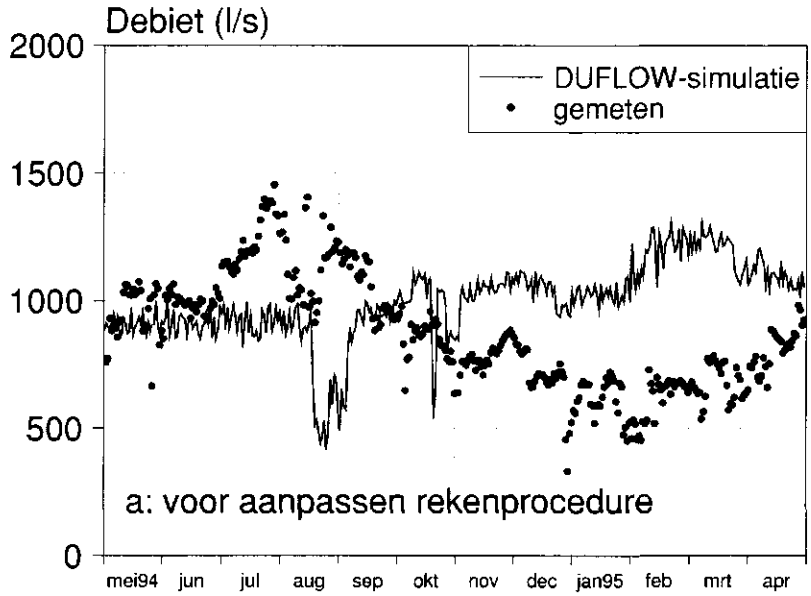
Bij het calibreren van het DUFLOW-model bleek de noodzaak enkele aanpassingen in de rekenprocedure door te voeren. Een belangrijke aanpassing betrof het simuleren van de toevoer van water via inlaatpunt I01 bij Molenhavensluis. De klepstand van de inlaatduiker ter plaatse wordt *niet* gestuurd door het peil bovenstrooms in het Brielse Meer maar door het peil benedenstrooms in het hoofdaanvoersysteem. Het DUFLOW-rekenprogramma voorzag niet in die mogelijkheid. Figuur 7 illustreert de resultaten van de calibratieberekeningen *voor* en *na* aanpassing van de rekenprocedure. Voor verdere details wordt verwezen naar de uitgebreide rapportversie.

Resultaten van de scenarioberekeningen, uitgevoerd na afronding van de modeltoetsing en calibratie, zijn opgenomen in tabel 6. Het gaat voor scenario 00 (bestaande situatie) om de totale toevoer en afvoer van water en chloride voor de periode mei 1994 t/m april 1995, voor de scenario's 01 t/m 04 om de *veranderingen* ten opzichte van scenario 00.

In *alle* scenario's is gerekend met een vast debiet van 200 l/s (ca. 6 miljoen m^3 per jaar) dat ter plaatse van gemaal Weijerse naar de hoger gelegen peilgebieden tegen de binnenduinrand tussen Oostvoorne en Rockanje wordt verpompt (gebieden Stuifakker en Helhoek). Dat komt overeen met de bestaande praktijk. Gezien de grote afvoer vanuit dat gebied via stuw S06 (fig. 1) en gezien de lage Cl-concentraties in die afvoerstroom (fig. 4d) moet met minder doorspoelen kunnen worden volstaan. De wateraanvoerbehoefte voor peilhandhaving in dit gebied is *niet* als zodanig onderzocht maar zal beperkt zijn. Zo wijzen de lage Cl-concentraties op het ontbreken van zoute kwel in dat gebied. Op grond daarvan is aangenomen dat de toevoer naar en doorspoeling daar beperkt kan blijven tot 3 miljoen m^3 per jaar. Dat betekent een reductie ten opzichte van de bestaande situatie (scenario 00) met 50%. Die reductie is voor de scenario's 01 t/m 04 alsnog in rekening gebracht op de resultaten van de scenarioberekeningen volgens tabel 6. Tabel 7 geeft het uiteindelijke resultaat.

Tabel 6 Toevoer (via inlaatpunten) en afvoer (via gemaal Trouw) van water en chloride volgens berekeningen met het DUFLOW-model voor de periode vanaf mei 1994 t/m april 1995; cursieve getallen voor de scenario's 01 t/m 04 geven de ***vermindering*** *van de toe- en afvoer van water en chloride ten opzichte van de bestaande situatie (scenario 00)*

Scenario	Water, toevoer		Water, afvoer		Chloride, toevoer		Chloride, afvoer	
	(10^6 m^3)	(%)	(10^6 m^3)	(%)	(10^6 kg)	(%)	(10^6 kg)	(%)
00	41,1	100	82,2	100	5,1	100	21,3	100
01	*-4,4*	*-11*	*-5,0*	*-6*	*-0,5*	*-11*	*-0,5*	*-2*
02	*-14,1*	*-34*	*-13,6*	*-17*	*-1,7*	*-34*	*-1,5*	*-7*
03	*-15,7*	*-38*	*-15,3*	*-19*	*-1,9*	*-38*	*-1,8*	*-8*
04	*-15,8*	*-38*	*-15,4*	*-19*	*-1,9*	*-38*	*-1,8*	*-8*



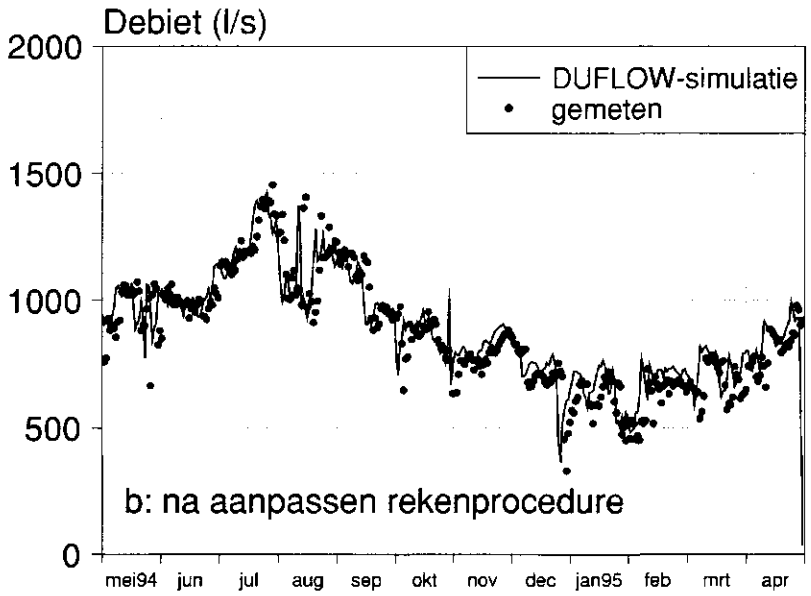


Fig. 7 Verloop van het gemeten en gesimuleerde debiet via inlaatpunt I01 bij Molenhavensluis, ***vóór*** *en* ***na*** *aanpassing van de procedure voor het rekenen met het DUFLOW-model*

Tabel 7 Reducties van de waterinlaat voor de scenario's 01 t/m 04 ten opzichte van de bestaande situatie (scenario 00), op basis van berekeningen met het DUFLOW-model voor de periode vanaf mei 1994 t/m april 1995, gecorrigeerd voor gemaal Weijerse (zie tekst)

Scenario	Inlaat (10^6 m^3)	Reductie ($10^6 m^3$)	Reductie (%)
00	41,0	0,0	0
01*	33,5	7,5	18
02*	24,0	17,0	41
03*	22,5	18,5	44
04*	22,5	18,5	44

*) Doorspoeling via gemaal Weijerse met 50% gereduceerd van 6 miljoen tot 3 miljoen m^3/jr

5 Evaluatie van de resultaten

Dit hoofdstuk geeft een evaluatie van de resultaten van het onderzoek. Par. 5.1 heeft betrekking op de resultaten van het (veld)onderzoek met betrekking tot de waterkwantiteit en kwaliteit in de bestaande situatie. In par. 5.2 komen de scenarioberekeningen aan de orde. Par. 5.3 gaat over de gevolgen van het beperken van de waterinlaat en doorspoeling voor de kwaliteit van het oppervlaktewater. Aspecten van het waterbeheer, de belangen van land- en tuinbouw en de kosten en baten krijgen aandacht in par. 5.4, 5.5 en 5.6. Tenslotte zijn in par. 5.7 conclusies op hoofdpunten geformuleerd.

Het is belangrijk voor ogen te houden dat het onderzoek zich heeft beperkt tot de periode 1994-1995. Dat geldt zowel voor het veldonderzoek als voor de modelberekeningen. Voor andere perioden gelden andere randvoorwaarden. Volgens tabel 3 kwam de totale neerslag *N* voor de periode vanaf mei 1994 t/m april 1995 uit op 936 mm. Dat is ca. 150 mm (12%) meer dan de gemiddelde jaarneerslag voor Voorne-West. Wat de verdeling betreft wordt opgemerkt dat de neerslaghoeveelheden in het zomerhalfjaar normaal waren en dat vooral het winterhalfjaar aan de natte kant was.

5.1 Bestaande situatie

5.1.1 Waterbalansen

De waterkwantiteitsaspecten voor de bestaande situatie worden besproken aan de hand van figuur 3 en de tabellen 2, 3 en 4. Figuur 3(a) laat zien dat *inlaat* van water gedurende het gehele jaar plaatsvindt en gelijkmatig verloopt. Het niveau van de inlaat is in het zomerhalfjaar duidelijk hoger dan in het winterhalfjaar. Als gevolg van de neerslag verloopt de *afvoer* ongelijkmatig, met extreme pieken in het winterhalfjaar. Uit figuur 3(b) blijkt dat de (over alle inlaatpunten gesommeerde) inlaat en afvoer in de periode juli-augustus vrijwel aan elkaar gelijk zijn.

De balansberekeningen geven voor Voorne-West als geheel een redelijk betrouwbaar beeld van de waterhuishouding voor zover het de neerslag, verdamping, inlaat en afvoer betreft, vooral doordat er in het kader van dit onderzoek veel aandacht is besteed aan het kwantificeren van de waterinlaat vanuit het Brielse Meer en het Spui van Brielle en van de waterafvoer via gemaal Trouw. Uit de balans volgens tabel 3 volgt een netto kwel van 15 mm per jaar (0,05 mm/d) als restpost. Dat is duidelijk minder dan de gewogen gemiddelde kwel van 50 mm per jaar volgens eerder onderzoek (ICW, 1988). Blijkens tabel 3 is de als restpost berekende netto kwel minimaal in verhouding tot de neerslag, verdamping, inlaat en afvoer. Als wordt uitgegaan van een betrouwbaarheid van de gemeten neerslag, verdamping, inlaat en afvoer van 5%, dan komt de standaardafwijking van de restpost *(K-W)* uit op ca. 70 mm. Dat betekent dat het niet mogelijk is om via de waterbalans vast te stellen of er sprake is van kwel

of wegzijging binnen Voorne-West, laat staan hoe groot de kwel of wegzijging is. Het komt er in feite op neer dat de kwel of wegzijging een zó kleine balanspost is dat het berekenen ervan als restpost nooit tot een realistisch resultaat kan leiden.

De balansgegevens volgens tabel 4 voor geheel Voorne-West voor de periode juli 1994 t/m april 1995 (10 maanden) liggen in lijn met de gegevens volgens tabel 3. Het berekenen van de netto kwel als restpost wordt nu verder bemoeilijkt doordat óók ΔB in rekening moet worden gebracht.

Voor de vijf subgebieden gaven de balansberekeningen eveneens problemen: de resultaten voor de periode van 10 maanden volgens tabel 3 zouden wijzen op wegzijging in de subgebieden II en III en op kwel in de subgebieden I, IV en V. Gezien de geohydrologische situatie ligt wegzijging als berekend voor de subgebieden II en III niet erg voor de hand, evenmin als het hoge niveau van de kwel voor subgebied IV. Het is aannemelijk dat met name de waterstromen via de grote automatische stuwen weinig betrouwbaar zijn. Dat betreft de posten Q_{in} en Q_{uit} die blijkens tabel 3 een overheersende invloed op de grootte van de restpost *(K-W)* hebben. In dit verband wordt verder opgemerkt dat de balansen voor de subgebieden niet los van elkaar staan. Zo zijn de belangrijke *afvoer*stromen vanuit subgebied II via de stuwen S01 en S06 *aanvoer*stromen voor subgebied III. In feite wordt de post Q_{in} van subgebied III dus in sterke mate bepaald door de post Q_{uit} van subgebied II. Op dezelfde manier zijn ook de subgebieden III en IV aan elkaar gekoppeld. Systematische afwijkingen in de debietmetingen zullen in die situatie de balans van *beide* aan elkaar grenzende subgebieden negatief beïnvloeden. Het ligt daarbij voor de hand dat een *onder*schatting van de kwel (of wegzijging) in het ene subgebied een *over*schatting van de kwel (of wegzijging) in het aangrenzende subgebied tot gevolg heeft, of omgekeerd. Dat zou de relatief grote wegzijging voor subgebied III tegenover de relatief grote kwel voor subgebied IV kunnen verklaren.

Uit het voorgaande is geconcludeerd dat de berekende waterbalansen voor de subgebieden *geen* betrouwbare uitspraken toelaten over de verdeling van kwel en wegzijging binnen Voorne-West. In dát opzicht heeft het meetprogramma niet het gewenste resultaat opgeleverd. Anderzijds hebben de resultaten van het meetprogramma met betrekking tot de waterkwantiteit wèl een belangrijke rol gespeeld bij het calibreren van het DUFLOW-model en daarmee ook de resultaten van de scenarioberekeningen positief beïnvloed.

5.1.2 Waterinlaat, waterverbruik en doorspoeling

De volgende schattingen met betrekking tot het *verbruik* van oppervlaktewater binnen het gebied voor de balansperiode mei 1994 t/m april 1995 leiden tot een nadere interpretatie van de tabellen 2 en 3:

- beregening glastuinbouw: verbruik oppervlaktewater van ca. 1,0 miljoen m^3 per jaar (op basis van 100 ha glas met gebruik van oppervlaktewater als gietwater, beregening van 1000 mm per jaar);

- beregening akkerbouw en tuinbouw in de open grond: verbruik oppervlaktewater van ca. 0,1 miljoen m^3 per jaar (beregening van 100 mm in de voorjaars- en zomerperiode, over een oppervlakte van 100 ha);
- compensatie verliezen door open-waterverdamping: ca. 1,5 miljoen m^3 (3% open water oftewel ca. 250 ha, verdamping van 600 mm per jaar);
- compensatie infiltratie in zomerhalfjaar: minder dan 1,0 miljoen m^3 volgens de SWAP-berekeningen.

Uit deze schattingen volgt dat:
- van de totale toevoer van water van 37 miljoen m^3 volgens tabel 2 (gesteld op 100%) hooguit 3 à 4 miljoen m^3 (ca. 10%) binnen Voorne-West verbruikt wordt voor beregening en het handhaven van polderpeilen volgens peilbesluiten;
- de resterende 33 à 34 miljoen m^3 (ca. 90%) dient voor het doorspoelen ter bestrijding van de interne verzilting.

De naar verhouding zeer beperkte benutting van het ingelaten water voor beregening en peilhandhaving illustreert de betekenis van de zoute kwel binnen Voorne-West waar, op grond van de functietoekenning gietwater glastuinbouw, hoge eisen worden gesteld aan de Cl-concentratie van het oppervlaktewater.

5.1.3 Chloride- en nutriëntenhuishouding

Figuur 6 en tabel 5 geven resultaten van berekeningen met betrekking tot de *toevoer* en *afvoer* van water en stoffen en de daaruit afgeleide *interne belasting*. De toevoer vindt voor het overgrote deel plaats via de inlaatpunten I01 en I08 (samen 85% van totaal: zie tabel 2). De *afvoer* loopt volledig via gemaal Trouw (90% vanuit bemalingsgebied Groot Voorne-West, resterende 10% vanuit Klein Voorne-West).

Gegevens uit dit onderzoek, waar nodig aangevuld met gegevens uit eerder onderzoek (ICW, 1988; Werkgroep Midden West-Nederland, 1976) hebben geleid tot de volgende interpretatie:
- de interne *Cl-belasting* is voor meer dan 90% toe te schrijven aan kwel en voor minder dan 10% aan uitspoeling vanuit het niet-verhard landelijk gebied (gebruik van Cl-houdende meststoffen, invloed van chloride in regenwater);
- de interne *N-belasting* is voor 80 à 90% toe te schrijven aan uitspoeling vanuit het landelijk gebied en voor 20 à 10% aan kwel;
- de betekenis van kwel tegenover uitspoeling voor de interne *P-belasting* is onzeker; uitgaande van literatuurgegevens over de P-concentratie van zoute kwel elders in het westen van Nederland zou de *P-belasting* voor 50% aan kwel en voor 50% aan uitspoeling moeten worden toegeschreven.

Kwel blijkt dus de belangrijkste bijdrage te leveren tot de Cl-belasting van het oppervlaktewater. Voor stikstof is *uitspoeling* veruit het belangrijkst en voor fosfor zouden de bijdragen van kwel en uitspoeling van vergelijkbare betekenis zijn. *Kwel* is een gegeven dat bepaald wordt door de (geo)hydrologie van Voorne-West, *uitspoeling* wordt vooral bepaald door het bemestingsniveau in de land- en tuinbouw. De

bijdragen van kwel en uitspoeling zijn daarmee *on*afhankelijk van het inlaten van water en het doorspoelen. Dat leidt tot de belangrijke conclusie dat bij het verminderen van het inlaten van water en het doorspoelen de betekenis van deze posten in de balans *absoluut* gezien niet zal veranderen maar *relatief* gezien zal toenemen.

Tabel 5 en vooral figuur 6 laten verder duidelijk zien dat de *verdeling* van de toevoer, afvoer en interne belasting niet gelijkmatig over het jaar verdeeld zijn. De toevoer via het inlaten van water vindt gedurende het gehele jaar plaats maar is in het zomerhalfjaar duidelijk groter dan in het winterhalfjaar vanwege de grotere waterinlaat in die periode. Als gevolg van de verdeling van neerslag en verdamping over het jaar is de interne belasting en afvoer voor chloride en vooral voor stikstof sterk op het winterhalfjaar geconcentreerd. Dit wordt nog geaccentueerd door de relatief grote neerslag in de winterperiode van 1994-1995. Voor fosfor is dat minder duidelijk het geval, waarschijnlijk vooral doordat processen van vastlegging in en mobilisatie vanuit het bodemslib een grote rol spelen.

5.2 Scenarioberekeningen

De resultaten van de scenarioberekeningen worden besproken aan de hand van tabel 7. De inlaat van 41,0 miljoen m^3 volgens scenario 00 (bestaande situatie) is ca. 10% hoger dan de gemeten inlaat van 37,2 miljoen m^3 volgens tabel 2. Bij het uitvoeren van de calibratieprocedure werd dit verschil van 10% aanvaardbaar geacht, mede gezien de vereiste inspanning om een nog betere afstemming te realiseren.

De rekenresultaten voor de scenario's 01 t/m 04 ten opzichte van scenario 00 volgens tabel 7 kunnen als volgt verwoord worden:

- het sturen van de inlaat van water en doorspoeling op Cl-concentraties van 200 mg/l voor de glastuinbouw binnen *geheel* Voorne-West (voor zover de hydrologische infrastructuur dat mogelijk maakt maar *zonder* verdere restricties ten aanzien van de ligging van de bedrijven), in combinatie met het sturen op concentraties van 600 en 1000 mg/l elders op basis van de functietoekenning aan het oppervlaktewater volgens het IWBP-ZHZ (fig. 2) leidt tot een reductie van de waterinlaat en doorspoeling met bijna 20% ten opzichte van scenario 00 (waarvan ca. 60% is toe te schrijven aan het strikt toepassen van de richtwaarden voor de Cl-concentratie en de resterende 40% aan het verminderen van de toevoer naar en doorspoeling van het gebied tegen de binnenduinrand);
- het sturen van de waterinlaat en doorspoeling op Cl-concentraties van 200, 600 en 1000 mg/l, geheel in overeeenstemming met de functietoekenning aan het oppervlaktewater volgens het IWBP-ZHZ (fig. 2), leidt tot een reductie van de waterinlaat en doorspoeling met ca. 40% (waarvan ca. 80% is toe te schrijven aan het toepassen van de richtwaarden voor de Cl-concentratie en de resterende 20% aan het verminderen van de toevoer naar en doorspoeling van het gebied tegen de binnenduinrand);
- het geheel vervallen van de richtwaarde van 200 mg/l voor de glastuinbouw in de scenario's 03 en 04 leidt volgens de modelberekeningen *niet* tot significante verdere vermindering van de inlaat van water.

Het laatste punt is in strijd met de logica en vereist nadere toelichting. In par. 5.1.2 is plausibel gemaakt dat voor alléén het handhaven van polderpeilen volgens de peilbesluiten voor Voorne-West met een inlaat van 3 à 4 miljoen m^3 per jaar zou kunnen worden volstaan. Het gaat daarbij om het inlaten van water ter compensatie van de open-waterverdamping, infiltratie en beregening in de akkerbouw en tuinbouw in de open grond. Voor het beperken van Cl-concentraties tot maximaal 600 respectievelijk 1000 mg/l in de zomerperiode zou een aanvullende hoeveelheid water van hooguit enkele miljoenen m^3 water nodig zijn. Deze grove benadering leidt tot een geschatte aanvoerbehoefte van *hooguit* 10 miljoen m^3 per jaar voor de scenario's 03 en 04. Dat is dus minder dan de helft van de 22,5 miljoen m^3 volgens tabel 7 voor deze scenario's.

Bij nadere analyse van de uitkomsten van de scenarioberekeningen is gebleken dat het DUFLOW-model voor Voorne-West alléén realistische en dus bruikbare resultaten geeft bij het doorrekenen van scenario's die slechts in beperkte mate afwijken van de situatie waarop het model is gecalibreerd, dat wil zeggen, die slechts in beperkte mate afwijken van de bestaande situatie (scenario 00). Dat is het geval voor de scenario's 01 en 02 maar *niet* voor de scenario's 03 en 04. Voor het doorrrekenen van de laatste twee scenario's zou in feite een DUFLOW-model ontwikkeld moeten worden, uitgaande van een geheel *andere* strategie van peilbeheersing in de wateraanvoersystemen. In het kader van *deze* studie was dat niet haalbaar.

Vanwege deze beperkingen is in de verdere evaluatie voor de scenario's 03 en 04 *niet* uitgegaan van de getallen in tabel 6 maar van een geschatte haalbare beperking van de inlaat tot 10 miljoen m^3, als eerder beredeneerd. Dat betekent voor deze twee scenario's een vermindering van de inlaat met ca. 70% ten opzichte van de bestaande situatie.

5.3 Waterkwaliteitsaspecten

Uit het concentratieverloop volgens figuur 4(a,b,c) blijkt voor de bestaande situatie en voor de periode waarin het onderzoek plaatsvond dat:

- de Cl-concentratie van het ingelaten water duidelijk *beneden* de richtwaarde van 200 mg/l voor de functietoekenning gietwater glastuinbouw ligt;
- de Cl-concentratie van de afvoer via gemaal Trouw *boven* die richtwaarde ligt, afgezien van de periode juli-augustus;
- de N- en P-concentraties van het ingelaten water steeds redelijk dicht bij de grenswaarden van 2,2 mg/l voor N en 0,15 mg/l voor P volgens de Evaluatienota Water (1994) liggen;
- de N- en P-concentraties van de afvoer via gemaal Trouw duidelijk boven die grenswaarden liggen.

Figuur 4(d,e,f) laat zien dat binnen Voorne-West duidelijke verschillen in waterkwaliteit voorkomen en dat concentratieniveaus in de tijd grote fluctuaties vertonen. Cl- en N-concentraties zijn in het winterhalfjaar hoger dan in het zomerhalfjaar. Dat hangt samen met het neerslagoverschot in de winterperiode tegenover het

verdampingsoverschot in de zomer. De invloeden van kwel en uitspoeling uiten zich daardoor vooral in het winterhalfjaar. Voor fosfor zijn de concentraties plaatselijk juist in de zomermaanden hoger. Dat moet waarschijnlijk worden toegeschreven aan de mobilisatie van P vanuit een (grote) buffervoorraad in het bodemslib.

De volgende vuistregels zijn van toepassing als het gaat om het vertalen van EGV-waarden volgens figuur 5 in Cl-concentraties en omgekeerd:
- EGV-waarde van ca. 1,2 mS/cm bij een Cl-concentratie van 200 mg/l;
- EGV-waarde van ca. 2,7 mS/cm bij een Cl-concentratie van 600 mg/l;
- EGV-waarde van ca. 3,7 mS/cm bij een Cl-concentratie van 1000 mg/l.

Uit figuur 5 blijkt dat de gemiddelde EGV-waarde voor de 50 meetpunten in subgebied I alléén bij de meting in november 1994 het niveau van 1,2 mS/cm bereikte. Het gemiddelde voor de 100 meetpunten in subgebied II daarentegen lag bij *alle* metingen duidelijk boven dat niveau. De verschillen tussen meetpunten zijn binnen subgebied I veel kleiner dan binnen subgebied II. Voor het gebied met functietoekenning glastuinbouw binnen subgebied II (zie fig. 1 en 2) zijn de EGV-waarden veel lager dan de gemiddelden volgens figuur 5 voor subgebied II als geheel.

Uit de balansgegevens volgens tabel 5 zijn gewogen gemiddelde concentraties voor chloride, stikstof en fosfor van het ingelaten water en van de afvoer via gemaal Trouw berekend. Deze concentraties zijn verwerkt in tabel 8. De gewogen gemiddelde Cl-concentratie van het ingelaten water voor de periode 1994-1995 komt uit op 121 mg/l en ligt dus ver onder de richtwaarde van 200 mg/l voor glastuinbouw. De gewogen gemiddelde N-concentratie is 2,2 mg/l en de P-concentratie 0,14 mg/l. Deze concentraties aan nutriënten blijken daarmee precies samen te vallen met de grenswaarden volgens de Evaluatienota Water (1994). Vervolgens zijn balansberekeningen uitgevoerd voor situaties overeenkomend met de scenario's 01 t/m 04 om globaal inzicht te geven in de gevolgen van het verminderen van de inlaat en doorspoeling voor de kwaliteit van het oppervlaktewater in termen van concentraties aan chloride en nutriënten. De berekening gaat uit van (afgeronde) reducties van de waterinlaat en doorspoeling ten opzichte van bestaande situatie met 20% voor scenario's 01, 40% voor scenario 02 en 70% voor de scenario's 03 en 04. Verder is uitgegaan van concentraties van het ingelaten water van 121 mg/l voor chloride, 2,2 mg/l voor stikstof en 0,14 mg/l voor fofor, overeenkomend met de gemiddelden voor de bestaande situatie. Voor de interne Cl-, N- en P-belasting is gerekend met de gegevens voor de jaarbalans volgens tabel 4, aannemende dat die belasting *on*afhankelijk is van de waterinlaat en doorspoeling.

Tabel 8 geeft het resultaat. Het reduceren van de inlaat en doorspoeling leidt tot een vermindering van zowel de toevoer als de afvoer van chloride, stikstof en fosfor. De berekende gewogen gemiddelde concentraties in de afvoer nemen echter toe en geven een indicatie van de gevolgen van het verminderen van het inlaten van water en het doorspoelen op de concentraties in het oppervlaktewater binnen Voorne-West. Gaande van scenario 00 naar de scenario 03 en 04 is de (constant veronderstelde) interne belasting in toenemende mate bepalend.

Tabel 8 Toevoer en afvoer van water, chloride en nutriënten en gewogen gemiddelde concentraties van de afvoerstroom via gemaal Trouw, gebaseerd op procentuele reducties van de waterinlaat met 20%, 40% en 70% voor resp. de scenario's 01, 02 en 03/04 en op het (constant veronderstelde) niveau van interne belasting volgens de bestaande situatie (scenario 00)

Scenario	Water		Chloride	Stikstof	Fosfor	Cl	Totaal-N	Totaal-P
	(10^6 m^3)	(%)	(10^6 kg)	(10^3 kg)	(10^3 kg)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
Toevoer								
00	37,2	100	4,5	82,4	5,2	121	2,2	0,14
01	29,8	80	3,6	65,9	4,2	121	2,2	0,14
02	22,3	60	2,7	49,4	3,1	121	2,2	0,14
03/04	11,2	30	1,4	24,7	1,6	121	2,2	0,14
Afvoer								
00	75,7	100	21,3	526,8	31,5	281	7,0	0,42
01	68,3	90	20,4	510,3	30,5	298	7,5	0,45
02	60,8	80	19,5	493,8	29,4	321	8,1	0,48
03/04	49,7	66	18,2	469,1	27,9	366	9,4	0,56

De toename van Cl-concentraties en de eutrofie bij het verminderen van de inlaat en doorspoeling is plaatsafhankelijk. Plaatselijk zal het effect gering zijn of zelfs geheel afwezig. Elders echter zullen de effecten duidelijk merkbaar zijn, bijvoorbeeld in watergangen langs glastuinbouwbedrijven *buiten* de gebieden met functietoekenning gietwater glastuinbouw aan het oppervlaktewater volgens figuur 2. In de bestaande situatie en in scenario 01 worden die watergangen doorgespoeld maar in de scenario's 02, 03 en 04 valt die doorspoeling grotendeels of geheel weg. Overigens moet voor ogen gehouden worden dat bij het berekenen van de N- en P-concentraties van de afvoer voor de scenario's 02 t/m 04 geen rekening is gehouden met processen die in het oppervlaktewater of het bodemslib plaatsvinden. De betekenis van die processen kan veranderen bij beperking van de inlaat en doorspoeling, bijvoorbeeld doordat verblijftijden van het water in het gebied toenemen.

5.4 Waterbeheersaspecten

5.4.1 Beheersen van de vegetatie in de wateraanvoersystemen

In de bestaande situatie (scenario 00) levert het waterschap een grote inspanning om de plantengroei in speciaal de wateraanvoersystemen onder controle te houden en de toevoer van water naar belanghebbenden zeker te stellen . Het ingelaten water is helder zodat licht tot de bodem van de watergangen doordringt. Dat is van grote invloed op de groei van waterplanten (Querner, 1993). De concentraties aan nutriënten in het ingelaten water voldoen aan de grenswaarden volgens de Evaluatienota Water (1994) maar door de grote debieten is de toevoer van nutriënten geen beperkende factor voor de groei. Pas bij extreme reductie van de inlaatdebieten zou de nutriëntenvoorziening beperkend kunnen worden.

Toch is het aannemelijk dat de onderhoudsinspanning verminderd kan worden bij een reductie van het inlaten van water volgens de doorgerekende scenario's. Momenteel wordt in de hoofdaanvoerwatergangen elke drie weken gemaaid om de obstructie zodanig te

beperken dat het vereiste verhang voor het watertransport niet te groot wordt. Bij een verminderde waterinlaat kan een hogere obstructiegraad getolereerd worden. Het volgende rekenvoorbeeld maakt dit duidelijk. Indien in de bestaande situatie maaien noodzakelijk is bij obstructiegraad van 30% betekent dit dat 70% van het natte profiel vrij van vegetatie moet zijn om de waterhoeveelheden volgens scenario 00 door te laten. Indien in een toekomstige situatie de waterinlaat met 40% gereduceerd zou worden (scenario 02), dan is slechts zestiende deel van die oorspronkelijke 70% vrije doorgang noodzakelijk om de gereduceerde waterinlaat onder hetzelfde verhang te laten stromen. Dit zou betekenen dat er pas gemaaid hoeft te worden als de obstructiegraad een waarde van ca. 60% heeft bereikt (30% + 0,4 x 70% = 58%). Uitgaande van een lineaire groei van 10% per week zou dan slechts één keer in de zes weken gemaaid te hoeven worden in de plaats van eens in de drie weken.

De juistheid van deze redenatie is niet te bewijzen omdat de groei en ontwikkeling van de vegetatie in de watergangen wordt bepaald door een complex van factoren: licht, temperatuur, nutriënten, concentratie aan kooldioxide, totale zoutconcentratie en stroming spelen een rol. Daarom zal bij het verminderen van de waterinlaat een aangepaste maaistrategie in de praktijk proberendewijs ontwikkeld moeten worden.

5.4.2 Sturen van de inlaat vanuit de wateraanvoersystemen

In de bestaande situatie (scenario 00) wordt het inlaten van water vanuit de aanvoersystemen naar de poldergebieden via handbediende inlaatduikers en stuwen geregeld door medewerkers van het waterschap. Praktijkervaring en de vraag naar water vanuit het gebied, met name van de zijde van de glastuinbouw, spelen daarbij een belangrijke rol. In de praktijk komt het erop neer dat de toevoer royaal plaatsvindt zodat Cl-concentraties bij de desbetreffende glastuinbouwbedrijven meestal ruim *beneden* het niveau van 200 mg/l blijven. Bij het werken volgens de scenario's 01 en 02 wordt in principe op een concentratie van 200 mg/l gestuurd. Het gevolg zal zijn dat bij het toenemen of afnemen van de Cl-belasting van het oppervlaktewater (onder invloed van wisselende weersomstandigheden) het concentratieniveau van 200 mg/l voortdurend dreigt overschreden of juist onderschreden te worden. In de praktijk zullen overschrijdingen van de richtwaarde snel gesignaleerd worden door belanghebbende glastuinders. Het waterschap zal daar direct op aangesproken worden. Het gevolg is dat de doorspoeling veelvuldig bijgestuurd zal moeten worden via het aanpassen van klepstanden van vaste stuwen en van inlaatduikers. Dit betekent een extra inspanning voor het waterschap ten opzichte van de bestaande situatie om de modelmatig *berekende* reductie van de waterinlaat volgens de scenario's 01 en 02 ook daadwerkelijk te realiseren.

De extra inspanning zal bij het werken volgens scenario 01 groter zijn dan bij het werken volgens scenario 02. Dat houdt verband met het aantal inlaatduikers en stuwen waar de richtwaarde van 200 mg/l van toepassing is. Bij het geheel vervallen van de norm van 200 mg/l volgens de scenario's 03 en 04 zal de inspanning sterk teruggebracht kunnen worden: meer dan de helft van het aantal inlaatduikers zal dan vrijwel permanent gesloten kunnen blijven.

5.5 Belangen van de land- en tuinbouw

De gevolgen van het verminderen van het inlaten van water en het doorspoelen voor de land- en tuinbouw op Voorne-West spitsen zich toe op de glastuinbouw voor zover oppervlaktewater als gietwater wordt gebruikt. Het gaat daarbij binnen Voorne-West om een geschatte totale teeltoppervlakte onder glas van ca. 85 ha.

De glastuinbouw in het gebied tegen de binnenduinrand dat via gemaal Weijerse en het vijzelgemaal ter plaatse van water wordt voorzien zal naar verwachting geen problemen ondervinden bij het verminderen van de toevoer van 6 miljoen naar 3 miljoen m^3 per jaar als aangegeven in par. 5.1. Elders zullen bij het werken volgens de scenario's 01 en 02 de verschillen in Cl-concentraties van plaats tot plaats binnen het gebied en de fluctuaties in de tijd groter worden. Glastuinbouwbedrijven, die direct bij de punten liggen waar water vanuit de aanvoersystemen wordt ingelaten, zullen weinig merken van het verminderen van de inlaat. Daarentegen zullen bedrijven op grotere afstand van de inlaatpunten te maken krijgen met een duidelijk merkbare verslechtering van de gietwaterkwaliteit. Het zijn ook *die* bedrijven die in de eerste plaats te maken krijgen met overschrijdingen van de richtwaarde van 200 mg/l, als aangegeven in par. 5.4.2.

Bij de scenario's 03 en 04 valt het oppervlaktewater als bron van gietwater voor de glastuinbouw in principe geheel weg zodat op andere manier in de behoefte zal moeten worden voorzien. Daarvoor komen op Voorne-West alléén regenwater en leidingwater in aanmerking, al dan niet in combinatie met elkaar. Het volledig dekken van de behoefte met regenwater is alléén mogelijk voor glasteelten met een beperkte waterbehoefte en vereist dan nog het aanleggen van grote regenwaterbassins. De verplichte aanleg van bassins met een capaciteit van 500 m^3 per ha glas volgens het Lozingenbesluit Glastuinbouw (1994) is daartoe in ieder geval verre van toereikend.

Er is nog een ander aspect dat met hogere Cl-concentratie van het gietwater samenhangt. In de bestaande situatie (scenario 00) zal bij het gebruiken van oppervlaktewater als gietwater bij teelten onder glas steeds méér water gegeven worden dan nodig is voor alléén het compenseren van de gewastranspiratie. Dat is noodzakelijk om een zekere doorspoeling van het wortelmilieu te handhaven zodat geen zoutophoping plaatsvindt tot niveaus die schadelijk zijn voor de productiviteit van het gewas. De noodzaak daartoe zal bij hogere Cl-concentraties in het gietwater alleen maar groter worden.

Het voorgaande impliceert dat glastuinbouwbedrijven die oppervlaktewater als gietwater gebruiken meer zullen gaan beregenen bij het werken volgens scenario 01 of 02 dan nu het geval is. De extra beregening zal leiden tot een toename van het meststoffenverbruik en een toename van de uitspoeling van nutriënten. Uiteindelijk geeft dat een hogere nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater, althans zolang de lozingen van drainwater vanuit de glastuinbouw nog niet op de riolering plaatsvinden overeenkomstig het Lozingenbesluit Glastuinbouw (1994).

Tenslotte wordt opgemerkt dat de richtwaarde van 200 mg/l voor de Cl-concentratie bij de functietoekenning gietwater voor de glastuinbouw ter discussie staat. De

bedrijfstak glastuinbouw zelf gaat al sinds jaren uit van een norm van 160 mg/l (4,5 mmol/l) voor de *minst* zoutgevoelige en een norm van 105 mg/l (3,0 mmol/l) voor meer gevoelige gewassen (Sonneveld en de Kreij, 1986). Deze strengere normen houden zowel verband met de algehele toename van het productieniveau in de glastuinbouw (waterkwaliteit als beperkende factor) als met de noodzaak de emissies door uitspoeling van nutriënten (en bestrijdingsmiddelen) naar grond- en oppervlaktewater te beperken.

5.6 Kosten en baten

5.6.1 Waterbeheer

Bij de kosten en baten, die met het inlaten van water en het verminderen daarvan samenhangen, moeten de volgende posten in rekening worden gebracht:
- afvoer overtollig water door bemaling;
- maaionderhoud in de aanvoerwatergangen;
- inzet van menskracht in het operationele waterbeheer.

Bij de waterafvoer moet zowel de bemaling van Voorne-West door gemaal Trouw als de bemaling van het Kanaal door Voorne door gemaal Gorzeman in rekening worden gebracht. Het waterschap heeft de *variabele* kosten van bemaling becijferd op ca. *f* 1700,-- per miljoen m^3 water. Het werken volgens scenario 01 of 02 leidt daarmee, op basis van de verminderde inlaat volgens tabel 6, tot een besparing op de bemalingskosten van ca. *f* 13 000 resp. *f* 29 000 per jaar. Bij de scenario's 03 en 04 zouden die besparingen oplopen tot ca. *f* 45 000 per jaar.

De besparingen die samenhangen met het verminderen van het maaionderhoud bij een verminderde waterinlaat zijn niet goed te kwantificeren. Dat hangt samen met de onzekerheden over het onderhoud dat bij het werken volgens de verschillende scenario's noodzakelijk blijft om een aanvaardbare graad van obstructie te handhaven.

Ook de inzet van menskracht in het operationeel waterbeheer is een onzekere factor. Zoals aangegeven in par. 5.4.2 zal bij het werken volgens scenario 01 waarschijnlijk een grotere inzet noodzakelijk zijn dan in bestaande situatie. Die extra inspanning betreft enerzijds het meten van Cl-concentraties (meer meetpunten, vaker meten), anderzijds is er de extra inspanning met betrekking tot het regelen van de waterstromen via het bedienen van inlaatduikers en stuwen. Dat geldt speciaal voor scenario 01. Bij het werken volgens scenario 02 geldt dat in mindere mate omdat het sturen op een Cl-concentratie van 200 mg/l dan beperkt blijft tot de glastuinbouwgebieden bij Vierpolders en tussen Brielle en Oostvoorne.

5.6.2 Land- en tuinbouw

Het verminderen van de inlaat van water en doorspoeling zal voor de land- en tuinbouw extra kosten tot gevolg hebben, speciaal voor de glastuinbouwbedrijven die in de bestaande situatie geheel of gedeeltelijk op het oppervlaktewater als bron van gietwater zijn aangewezen.

In scenario 01 blijft oppervlaktewater als gietwater beschikbaar voor zover de hydrologische infrastructuur toevoer van water naar de desbetreffende bedrijven mogelijk maakt. Wèl krijgen de bedrijven, die verder van de hoofdaanvoersystemen af liggen, te maken met hogere Cl-concentraties dan in de bestaande situatie. Om directe zoutschade te voorkomen of in ieder geval te beperken zal de beregening en doorspoeling van het wortelmilieu worden opgevoerd. Dat leidt in ieder geval tot een hoger meststoffenverbruik en dus tot extra kosten. Daarnaast moet, zeker voor de meer zoutgevoelige teelten en daar waar de Cl-concentraties het niveau van 200 mg/l benaderen, ook rekening gehouden worden met opbrengstreducties.

In scenario 02 zullen de bedrijven *buiten* de gebieden met functietoekenning glastuinbouw op andere bronnen van gietwater moeten overgaan. Dat brengt aanzienlijke kosten met zich mee. Voor zover het regenwater betreft gaat het om de kosten die samenhangen met het aanleggen van regenwaterbassins en met de voorzieningen die nodig zijn om het regenwater vanaf het kasdek in het bassin op te vangen. Bij het overgaan op gebruik van leidingwater gaat het om de kosten van het aansluiten op het leidingnet en de m^3-prijs van het leidingwater.

Bij het werken volgens de scenario's 03 en 04 zullen in principe *alle* glastuinbouwbedrijven die nú oppervlaktewater gebruiken op regenwater en/of leidingwater zijn aangewezen en dus met extra kosten geconfronteerd worden. Een uitzondering hierop vormt de glastuinbouw in de gebieden Stuifakker en Helhoek. Er is daar geen zoute kwel van betekenis zodat met aanvoer van water voor peilhandhaving kan worden volstaan. De aanvoer van 3 miljoen m^3 per jaar (par. 5.2) via gemaal Weijerse is ruim voldoende om ook in de behoefte van de glastuinbouw te voorzien.

5.7 Eindconclusie

Als hoofddoelstelling van het onderzoek is in hoofdstuk 1 geformuleerd: het vaststellen van concrete mogelijkheden tot het verminderen van de waterinlaat en doorspoeling zonder de bestaande belangen op onaanvaardbare wijze te schaden. De eindconclusies in relatie tot die doelstelling zijn hier toegespitst op scenario 02 omdat dát scenario direct is gebaseerd op chlorideconcentraties overeenkomstig de functietoekenning aan het oppervlaktewater volgens het IWBP-ZHZ.

Uit het veldonderzoek en de modelberekeningen voor scenario 02 blijkt dat de waterinlaat en doorspoeling ten opzichte van de bestaande situatie met 40% teruggebracht kan worden (van 35 à 40 miljoen m^3 per jaar naar 20 à 25 miljoen m^3 per jaar), waarbij blijvend voldaan wordt aan de richtwaarden voor de

Cl-concentratie van het oppervlaktewater volgens de functietoekenning. Voor de glastuinbouw betekent dit dat binnen de twee gebieden, waar de functie gietwater glastuinbouw aan het oppervlaktewater is toegekend, blijvend gerekend kan worden op Cl-concentraties van maximaal 200 mg/l, tenminste voor zover de bestaande infrastructuur wateraanvoer en doorspoeling mogelijk maakt. Buiten die gebieden echter is oppervlaktewater dan niet langer een zekere bron van gietwater.

Het verminderen van de waterinlaat met 40% volgens scenario 02 heeft de volgende consekwenties:

- een toename van de Cl-concentraties van het oppervlaktewater;
- een toename van de eutrofie van het oppervlaktewater en een grotere kans op het optreden van de negatieve gevolgen daarvan: algenbloei, vorming van kroosdekken, vissterfte en stankoverlast;
- een mogelijke besparing op de kosten van bemaling en van maaionderhoud van met name de wateraanvoersystemen;
- gelijkblijvende, mogelijk zelfs stijgende kosten van het operationeel waterbeheer die samenhangen met bemonstering en analyse van het oppervlaktewater en met het regelen van handbediende kunstwerken om de waterstroming binnen het gebied optimaal te sturen;
- een toename van het gebruik van meststoffen, een toename van de uitspoeling van nutriënten en mogelijk het optreden van opbrengstreducties door zoutschade voor díe glastuinbouwbedrijven die *binnen* de grenzen van de gebieden met functietoekenning gietwater glastuinbouw liggen en die oppervlaktewater als gietwater zullen blijven gebruiken;
- een toename van de kosten van de gietwatervoorziening voor díe glastuinbouwbedrijven die *buiten* de grenzen van de gebieden met functietoekenning gietwater glastuinbouw liggen en die in de *bestaande* situatie oppervlaktewater als gietwater gebruiken maar bij het verminderen van de waterinlaat en doorspoeling noodgedwongen op andere bronnen van gietwater zullen moeten overgaan.

Per saldo lijken de gevolgen van het verminderen van de waterinlaat en doorspoeling negatief uit te pakken: tegenover mogelijke kostenbesparingen staat een verslechtering van de kwaliteit van het oppervlaktewater, zowel in termen van de eutrofie als van Cl-concentraties. De negatieve gevolgen voor de eutrofie kunnen op termijn gedeeltelijk of zelfs geheel gecompenseerd worden door het verminderen van het gebruik en de uit- en afspoeling van meststoffen overeenkomstig één van de doelstellingen uit het IWBP-ZHZ.

Literatuur

CBS, 1991. Landbouwtelling. 's-Gravenhage, Staatsuitgeverij.

Derde Nota Waterhuishouding (1989). Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 's-Gravenhage, Staatsuitgeverij.

Evaluatienota Water (1994). Regeringsbeslissing. Aanvullende beleidsmaatregelen en financiering 1994-1998. Tweede Kamer, vergaderjaar 1993-1994, 21 250, nrs 27-28.

Hamaker, Ph., W.H.B. Aarnink en J.M.P.M. Peerboom, 1997. Gevolgen van het beperken van de waterinlaat en doorspoeling van het gebied Voorne-West. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 435.1 (uitgebreide versie).

Lozingenbesluit Glastuinbouw, 1994. Lozingenbesluit WVO Glastuinbouw. Uitgave van Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage.

Meerjarenplan, z.j. Meerjarenplan waterschap De Brielse Dijkring (onderdeel van het Integraal Waterbeheersplan Zuid-Holland Zuid). Provincie Zuid-Holland in samenwerking met TAUW Infra Consult BV te Deventer.

Querner, E.P., 1993. Aquatic weed control within an integrated water management framework. Proefschrift, Landbouwuniversiteit Wageningen.

Sonneveld, C. en C. de Kreij, 1986. Normen voor waterkwaliteit in de glastuinbouw. Serie Voedingsoplossingen Glastuinbouw, nr. 11. Proefstation voor de Tuinbouw onder Glas (Naaldwijk), Proefstation voor de Bloemisterij in Nederland (Aalsmeer), Consulentschap voor de Tuinbouw (Naaldwijk).

Steenvoorden, J.H.A.M., Ph. Hamaker, L.C.P.M. Stuyt en L. Lyklema, 1993. Onderzoek naar de optimalisering van de waterinlaat voor het beheersgebied van het waterschap De Brielse Dijkring. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport nr 264.

Waterbeheersplan, z.j. Integraal Waterbeheersplan Zuid-Holland Zuid. Provincie Zuid-Holland in samenwerking met TAUW Infra Consult BV te Deventer.

Waterhuishoudingsplan, 1991. Waterhuishoudingsplan 1991-1995. 's-Gravenhage, Provincie Zuid-Holland.

Werkgroep Midden West-Nederland, 1976. Hydrologie en Waterkwaliteit van Midden West-Nederland. Regionale studies 9. Instituut voot Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.

Niet-gepubliceerde bronnen

ICW, 1988. Wateraanvoerbehoefte Zuidhollandse Eilanden en Waarden. Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Nota 1801.