

1911-4176-5 ~~191~~

Onderzoek geïntegreerde wateropslag met biologische reiniging recirculatiewater en energie-opslag

*Research of integrated water storage with
biological purification of recirculation water
and energy storage*

Ing. E.A. van Os
Ing. G. Klomp
Ir. N.J. van de Braak

imag-dlo



rapport 93-26
oktober 1993
prijs f 35,-

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0935 5310

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Os, E.A. van

Onderzoek geïntegreerde wateropslag met biologische reiniging recirculatiewater en energieopslag / E.A. van Os, G. Klomp, N.J. van de Braak – Wageningen : IMAG-DLO. – III. – (Rapport / Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen ; 93-26)

Met lit. opg. – Met samenvatting in het Engels.

ISBN 90-5406-055-7 geb.

NUGI 849

Trefw.: waterreservoirs ; landbouw / energieopslag ; landbouw

© 1993

IMAG-DLO

Postbus 43 – 6700 AA Wageningen

Telefoon 08370-76300

Telefax 08370-25670

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enig andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

Abstract

Research of integrated water storage with biological purification of recirculation water and energy storage

In a feasibility study the prospects were examined for practical application of an integrated nursery layout to store rainwater in a concrete cellar below the growing area in combination with biological purification of the recirculation water by slow sand filtration and energy storage in the water.

It proved that an integrated setup is not economical. There are prospects for slow sand filtration and day/night energy storage. Storage of rainwater in concrete cellars below the growing surface is too expensive if there is enough space beside the nursery. Metal tanks and foil basins are cheaper alternatives for both the storage of rainwater and sand filtration.

Slow sand filtration may be a cost-effective alternative to purify the recirculation water. Having a filtering speed of 0.1 m/h, the filter area varies from an average of 15 m² disinfecting drainwater of trickle irrigation to 1 250 m² disinfecting the circulating water of the ebb and flood watering system. The technical layout of the filter should be improved to increase the effectiveness of the treatment.

Energy storage in a covered concrete cellar with recirculation water is not interesting for seasonal storage, but with day/night storage approx. 5 % energy can be saved. Opposite extra investments in an additional heating system are necessary.

Keywords: substrates, water storage, energy, purification, slow sand filtration

Research of integrated water storage with biological purification of recirculation water and energy storage

Voorwoord

Voor u ligt het rapport over de technische en economische perspectieven van wateropslag in betonnen kelders onder het teeltoppervlak. Dit project is uitgevoerd als deskstudie met medefinanciering door NOVEM.

De ruimtenood in met name het Westland noodzaakt tot creatieve oplossingen voor het omgaan met de beschikbare ruimte. Wateropslag in betonnen kelders onder het teeltoppervlak vergroot de efficiency van het ruimtegebruik. Indien deze kelders bovendien voor andere toepassingen (biologische reiniging van het recirculatiewater via langzame zandfiltratie en energieopslag) gebruikt kunnen worden, is een optimale benutting van de kostbare ruimte gerealiseerd.

De uitkomsten van deze haalbaarheidsstudie geven aan dat een geïntegreerde opzet niet rendabel is. Wel zijn er voldoende perspectieven om via aanvullend onderzoek onderdelen als langzame zandfiltratie en dag/nachtenergieopslag verder uit te werken zodat toepassing in de praktijk op termijn mogelijk is.

Met name langzame zandfiltratie kan gezien worden als een schone energie-arme ontsmettingsmethode voor drainwater. Het maakt toepassing van gesloten systemen in de glastuinbouw rendabeler mits de plantenziektekundige aspecten kunnen worden opgelost.

Ik hoop dat de resultaten uit deze studie zullen bijdragen aan een verdere ontwikkeling van gesloten bedrijfssystemen en een vermindering van het energieverbruik.

Ir. A.A. Jongebreur
directeur

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Doel en werkwijze	12
2.1 Doel	12
2.2 Werkwijze	12
3 Bepaling bedrijfskundige randvoorwaarden	13
3.1 Gietwaterkwaliteit	13
3.2 Bassinggrootte	13
3.3 Gewaskeuze	13
3.4 Watergeefmethoden	14
3.5 Berekening ontsmettingscapaciteit	14
3.5.1 Invloed gietwaterkwaliteit, bassinggrootte en gewas	15
3.5.2 Invloed dekkingspercentage	16
3.5.3 Invloed ontsmetten totale hoeveelheid gietwater	16
3.6 Vaststelling randvoorwaarden	16
4 Langzame zandfiltratie	17
4.1 Inleiding	17
4.2 Filterontwerp	17
4.3 Werkingsmechanisme	19
4.4 Ervaringen in de glastuinbouw	20
4.5 Filtergrootte en watergeefmethode	20
5 Bouwkundig ontwerp opslagbassins	22
5.1 Ontwerp en investeringen opslagbassins	22
5.2 Investerings- en jaarkosten van langzame zandfilters in betonnen opslagbassins	23
6 Energieopslag	24
6.1 Seizoenopslag	24
6.2 Dag/nachtopslag	24
7 Bedrijfskundige perspectieven	26
8 Conclusies	29
9 Aanbevelingen voor onderzoek	30
Summary	31
Literatuur	33

Bijlage A:	Benodigde ontsmettingscapaciteit in m ³ /uur voor het gewas tomaat bij verschillende watergeefmethoden en voor variërende gietwaterkwaliteiten en bassingrootten	34
Bijlage B:	Benodigde ontsmettingscapaciteit in m ³ /uur voor het gewas paprika bij verschillende watergeefmethoden en voor variërende gietwaterkwaliteiten en bassingrootten	35
Bijlage C:	Invloed van het dekkingspercentage op het doorspoelpercentage en de ontsmettingscapaciteit bij tomaat en paprika bij één gietwaterkwaliteit	36
Bijlage D:	Investerings- en jaarkosten langzame zandfilters in betonnen kelders	37
Bijlage E:	Investerings- en jaarkosten bij geïntegreerde wateropslag en zandfiltratie in betonnen kelders	38
Bijlage F:	Investerings- en jaarkosten bij wateropslag in foliebassins en zandfiltratie in silo's	39

Samenvatting

In deze haalbaarheidsstudie is onderzocht of een geïntegreerde bedrijfsopzet van wateropslag in een betonnen kelder onder het teeltoppervlak in combinatie met een biologische reiniging van het recirculatiewater via langzame zandfiltratie en energieopslag in de met water gevulde kelders, perspectieven biedt voor de praktijk.

Voor vier watergeefmethoden (druppelbevloeiing, wortelberegening, voedingsfilm en eb/vloed) is berekend wat in dat geval de ontsmettingscapaciteit moet zijn. Bij druppelbevloeiing is rekening gehouden met het ontsmetten van uitsluitend drainwater en met de totale hoeveelheid gietwater. Tevens is berekend of factoren als gewaskeuze, bassin-grootte voor regenwateropslag en de kwaliteit van het gietwater van invloed zijn op de benodigde capaciteit. Afhankelijk van de hiervoor genoemde factoren is de grootte van het zandfilter bepaald en zijn de bouwkundige eisen die moeten worden gesteld aan wateropslag in kelders onder het teeltoppervlak bepaald.

De benodigde ontsmettingscapaciteit blijkt vrijwel uitsluitend afhankelijk te zijn van de watergeefmethode. Als basis voor de berekeningen voor de bouw van betonnen kelders en voor energieopslag is daarom uitgegaan van de genoemde watergeefmethoden. Steeds is gewerkt met een minimum, een gemiddelde en een maximum waarde voor de hoeveelheid te ontsmetten water, zodat is aan te geven welke perspectieven er zijn voor toepassing van langzame zandfiltratie, energieopslag en wateropslag in betonnen kelders onder het bedrijf.

Een langzaam zandfilter bestaat uit een 80-120 cm dikke, uniforme zandlaag die geen klei of organische stof bevat. Onder de zandlaag bevindt zich een drainagelaag. Het te zuiveren water komt in eerste instantie tot rust in een ca. 1 m dikke waterlaag boven op het zand om vervolgens langzaam door het zand te zakken. De snelheid is belangrijk en mag niet meer dan $2,4 \text{ m}^3$ per m^2 filteroppervlak per etmaal bedragen, ofwel 0,1 m per uur. Het filteroppervlak varieert van gemiddeld 15 m^2 voor het ontsmetten van drainwater bij druppelbevloeiing tot gemiddeld 1250 m^2 bij eb/vloed. Overigens blijken de resultaten in enkele praktijkinstallaties nog tegen te vallen. Niet altijd worden alle pathogenen gedood.

De opslag van regenwater in een betonnen kelder onder het bedrijfsoppervlak is bij voldoende ruimte naast het bedrijf niet rendabel. In vergelijking met de min of meer traditionele methode van wateropslag in foliebassins en ontsmetten via verhitten, heeft geïntegreerde wateropslag en langzame zandfiltratie in betonnen kelders bij wortelberegening, voedingsfilm en eb/vloed aanzienlijk lagere jaarkosten. Gebruik van foliebassins voor wateropslag en metalen silo's voor langzame zandfiltratie geeft bij dezelfde watergeefmethoden nog weer aanmerkelijk lagere jaarkosten, ook in vergelijking met foliebassins voor wateropslag in combinatie met ontsmetten via verhitten. Aanvullend onderzoek naar de feitelijke werking en een optimaal ontwerp van het langzame zandfilter is nodig voordat advisering naar de praktijk mogelijk is.

Seizoenopslag van energie in een overdekte betonnen kelder met recirculatiewater is niet interessant. Dag/nachtopslag daarentegen biedt betere perspectieven, vooral bij eb/vloed. Ca. 3 m^3 gas per m^2 oppervlak (5%) zou op jaarbasis bespaard kunnen worden.

Hiertegenover staan echter wel investeringen in een extra verwarmingsnet met een groot verwarmend oppervlak om het (eb/vloed)water 's nachts door de kas te laten stromen.

Verdere studie is gewenst naar de praktische toepasbaarheid van dag/nachtopslag van energie. Daarbij dient met name aandacht te worden besteed aan de randvoorwaarden van toepassing (bassingrootte, watergeefmethode, energievraag).

Samenvattend kan worden gesteld dat wateropslag in een betonnen kelder onder het teeltoppervlak in combinatie met biologische reiniging van het recirculatiewater en energieopslag in een geïntegreerde opzet niet rendabel is. Op onderdelen zijn er wel perspectieven: langzame zandfiltratie en dag/nachtopslag van energie.

1 Inleiding

Het areaal substraatteelt in de Nederlandse glastuinbouw is in de afgelopen 10 jaar fors toegenomen en bedraagt ca. 3 000 ha van de in totaal bijna 10 000 ha aan glasopstanden (Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw (KwIn), 1992). In eerste instantie waren de argumenten voor omschakelen vooral besparing op energie, ziektevrij starten en betere stuurbaarheid. Later zijn daar in de groenteteelt bijgekomen de hogere produkties, en voor groente- en bloementeelt efficiënter gebruik van water en meststoffen.

In de groenteteelt worden vooral de gewassen tomaat, komkommer, paprika en aubergine (ca. 78% van het areaal) in substraat geteeld. Gemiddeld staat meer dan 85% van deze gewassen in substraat (totaal staat 65% van het glasgroente areaal in substraat). Dit zijn voornamelijk gewassen met weinig planten per m². Hiervoor was en is het sneller rendabel om naar substraatteelt over te schakelen.

In de bloementeelt (potplanten zijn hier buiten beschouwing gelaten, omdat deze al voor 100% los van de ondergrond worden geteeld) is slechts 18% van het areaal overgeschakeld op substraat (KwIn, 1992). Anthurium en orchideeën voor 100%, maar de grote gewassen roos en gerbera voor maar respectievelijk 25 en 33%. Andere belangrijke gewassen als chrysant en freesia worden in het geheel niet op substraat geteeld, enkele proeven uitgezonderd. Redenen voor de geringe overschakeling naar substraat zijn gelegen in het feit dat niet of nauwelijks hogere produkties konden worden bereikt, dat er bij veel gewassen veel planten per m² staan (lage rentabiliteit door grote investeringen in substraat) en dat veel gewassen problemen toonden op substraat gedurende de donkere wintermaanden.

De toegepaste teeltsystemen zijn in de groenteteelt gebaseerd op steenwol met druppelbevloeiing en vrije drainage van overtollig water naar grond- en oppervlaktewater. In de bloementeelt worden meerdere substraten gebruikt (naast steenwol, polyfenolschuim, oxygrow-mengsels, kleikorrels en veen). Ook hier stroomt het overtollige water naar de ondergrond weg.

Recirculatie van water met meststoffen wordt slechts met grote aarzeling toegepast. Redenen zijn de problemen rond het verspreiden van ziekten, teeltkundige problemen door o.a. de slechte kwaliteit van het uitgangswater en extra investeringen. De ziekteproblematiek werd verminderd door het toepassen van ontsmettingsapparatuur: verhitte (Van Os, 1987), ozon en UV-straling. Toch vond geen snelle overgang plaats naar recirculerende systemen: er was niet direkt een noodzaak, het was duur, er waren risico's. De ontsmettingsmethoden zijn alleen rendabel bij relatief kleine hoeveelheden te ontsmetten water. Dit is alleen het geval bij het toepassen van druppelbevloeiing. Toepassen van andere watergeefmethoden, wortelberegening, voedingsfilm of eb/vloed leidt tot veel grotere hoeveelheden te ontsmetten water.

De noodzaak om vanuit milieukundige overwegingen te besparen op water en meststoffen verhoogde de belangstelling en inzet van tuinders en onderzoek om tot goede "gesloten" teeltsystemen te komen. De doelstellingen uit de Structuurnota Landbouw (1989) spreken voor zich: glastuinbouwbedrijven moeten "in 2000 voor een zeer groot deel in nagenoeg gesloten bedrijfssystemen produceren". Voor het streefjaar 1994 zijn

de doelstellingen nader gespecificeerd:

- glasgroenten en potplanten: op 80 % van het areaal vindt de teelt niet meer rechtstreeks in de grond plaats en op 30% van het areaal wordt recirculatie toegepast met opvang van het restant aan voedingsoplossing;
- snijbloementeelt: op 30% van het areaal vindt de teelt los van de ondergrond plaats en op 30% van het areaal vindt recirculatie plaats.

Recent onderzoek bij verschillende gewasgroepen naar milieuvriendelijkere teeltsystemen (Ruijs, 1990a en 1990b; Van Os, 1991) leidt tot de volgende conclusies:

- bij vruchtgroenten is recirculatie goed mogelijk en zijn er geen problemen op teeltkundig en economisch terrein;
- bij eenmalig oogstbare groenten (sla, radijs) is substraatteelt met of zonder recirculatie onrendabel;
- bij eenmalig oogstbare snijbloemen (chrysant) moeten vooral de te verwachten teeltkundige voordelen volledig worden uitgebuit om rendabel in substraat te kunnen telen.

Eén van de grootste problemen bij het toepassen van recirculatie is de kwaliteit van het gietwater. Door selectieve opname van ionen door de planten (teeltomstandigheden, tijdstip van het jaar) kan bij recirculatie een verstoorde ionenbalans in de voedingsoplossing ontstaan, wat kan leiden tot toxische niveau's voor de planten. Dit gebeurt sneller indien er ionen in het gietwater aanwezig zijn die niet door de planten worden opgenomen. Met name natrium levert hierbij grote problemen. Eisen die aan gietwater worden gesteld hebben daarom het meest betrekking op dit element. Bij te hoog oplopende natrium-cijfers moet er worden doorgespoeld. Bij de systemen met vrije drainage gebeurt dat continu al op een natuurlijke manier. Bij de gesloten systemen met recirculatie moet op een bepaald moment en plaats worden geloosd. In beide gevallen verdwijnt veel kostbaar water met meststoffen in het milieu.

De gietwater problematiek wordt zoveel mogelijk verkleind door regenwater (kwalitatief het beste gietwater) in bassins of silo's op te slaan. Behalve dat met de opslag kosten zijn gemoeid, moet ook rekening worden gehouden met opbrengstderving door beslaglegging op grondoppervlak dat anders voor de teelt kan worden gebruikt. Terecht moet hiervoor een bedrag worden opgenomen omdat ruimte (grondoppervlak) bijna altijd een beperkende factor is (Nienhuis, 1989). KwlN (1992) gaat hiervoor uit van f 15,- per m².

Recent is afgekondigd dat nieuwe glastuinbouwbedrijven moeten beschikken over een minimale opslag van 500 m³ (CUWVO VI, 1992) om op deze wijze een eerste dekking van gietwater uit regenwater mogelijk te maken en het percentage lozing naar het milieu te verminderen. Uit het onderzoek van Nienhuis (1989) blijkt dat 1500 m³ opslag per ha het meest optimaal is. Grotere bassins worden echter ook toegepast. De noodzaak van wateropslag en de daarmee verband houdende kosten doen de vraag ontstaan of opslag in silo's onder het bedrijfsoppervlak tot de mogelijkheden behoort.

Uit het onderzoek van Ruijs (1990a en 1990b) en Van Os (1991) blijkt dat verschillende perspectiefvolle teeltsystemen zeer hoge watergiften hebben. Watergeven via eb/vloed, voedingsfilm of wortelberegening vergen veel meer circulerend water dan bij druppelbevloeiing. Door deze hoge watergiften is ontsmetting van de voedingsoplossing met de

huidige technieken economisch niet aantrekkelijk. Een goedkope ontsmettingsmethode, waarbij toch voor 100% en continu kan worden ontsmet, zou een uitkomst zijn.

Langzame zandfiltratie is een al oude methode om drinkwater te zuiveren. De kosten zijn laag, maar het ruimtebeslag is vrij groot. Er blijken nauwelijks ervaringen te zijn met het verwijderen van plantpathogenen uit recirculerend water. Plaatsing van een langzaam zandfilter naast het bedrijf leidt tot extra ruimtebeslag. Combinatie met wateropslag in een bassin onder het teeltoppervlak kan misschien een goede oplossing zijn. De aanwezigheid van en een overdekte wateropslag en een overdekt bassin voor zandfiltratie doet de vraag rijzen of deze bassins niet gebruikt kunnen worden voor het opslaan van overtollige warmte. De mogelijkheden hiervoor zijn nagegaan voor seizoenopslag en voor opslag van de eventuele dagelijkse overtollige warmte.

2 Doel en werkwijze

2.1 Doel

Het doel van het project is om via een haalbaarheidsstudie te onderzoeken of een geïntegreerde bedrijfsopzet van wateropslag in een betonnen kelder onder het teeltoppervlak in combinatie met biologische reiniging van het recirculatiewater via langzame zandfiltratie en energieopslag in een van de opslagbassins perspectieven biedt voor de praktijk.

Tevens is nagegaan of afzonderlijke toepassing van betonnen bassins, langzame zandfiltratie of energieopslag tot praktische oplossingen voor de praktijk leidt.

2.2 Werkwijze

Bij de uitvoering van het onderzoek zijn een aantal fasen te onderscheiden:

1 *Bepaling bedrijfskundige randvoorwaarden*

Uit de literatuur zijn bedrijfskundige gegevens verzameld en omgerekend om de invloed van gewas, kwaliteit van het gietwater en de watergeefmethode na te gaan op de benodigde grootte van het zandfilter in afhankelijkheid van een gekozen watergeefmethode (druppelbevloeiing, wortelberegening, voedingsfilm en eb/vloed). Daarbij is ook rekening gehouden met een variabele grootte van de regenwateropslag. De uitkomsten hiervan zijn in hoofdstuk 3 weergegeven.

2 *Bepaling ontwerp langzaam zandfilter*

Nagegaan is wat er bekend is over langzame zandfilters, zowel wat betreft ontwerp als effect. In hoofdstuk 4 wordt hierover gerapporteerd.

3 *Bouwkundig ontwerpen opslagbassins*

Aan de hand van de in fase 1 en 2 opgedane resultaten kan met inbegrip van een aantal varianten een bouwkundig ontwerp worden gemaakt. Een overzicht hiervan staat in hoofdstuk 5.

4 *Mogelijkheden van energieopslag*

Nagegaan is wat de mogelijkheden zijn van het opslaan van energie in een van de opslagbassins. De mogelijkheden hiervan zijn aangegeven in hoofdstuk 6.

5 *Bedrijfskundige perspectieven*

Naar aanleiding van de resultaten in de fasen 1 t/m 4 zijn de mogelijkheden nagegaan om tot een praktijkopstelling te komen. Dit staat in hoofdstuk 7.

6 *Conclusies*

In hoofdstuk 8 worden de conclusies uit deze haalbaarheidsstudie weergegeven.

7 *Aanbevelingen voor onderzoek*

In hoofdstuk 9 worden aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek, voortgekomen uit vragen die tijdens de haalbaarheidsstudie naar voren kwamen.

3 Bepaling bedrijfskundige randvoorwaarden

Voor het bepalen van de bedrijfskundige randvoorwaarden is van een aantal onderdelen nagegaan in hoeverre deze invloed hebben op de grootte van de ontsmettingscapaciteit en dus op de grootte van het zandfilter. Hieronder vallen de gewaskeuze, de bassin-grootte voor regenwateropslag en de kwaliteit van het gietwater. Dit is nagegaan voor vier watergeefmethoden: druppelbevloeiing, wortelberegening, voedingsfilm en eb/vloed. Aan de hand van deze uitkomsten zijn de uitgangspunten voor de bouwkundige berekeningen vastgesteld.

3.1 Gietwaterkwaliteit

Gietwater wordt bijna altijd samengesteld uit regenwater en leidingwater. De kwaliteit van beide is wisselend, zowel per gebied als in de tijd.

In regenwater zit in het westen vaak nog tot 0,5 mmol natrium (Na) per l, doordat zeewind zout vanuit zee meeneemt. Elders is 0,3 mmol/l een reële waarde.

Het natriumgehalte van leidingwater is sterk afhankelijk van de waterleidingmaatschappij. Het varieert veelal tussen 2 en 2,5 mmol/l. Zou vooraf leidingwater gemengd kunnen worden met water waar het zout is uitgehaald, dan is 1,1 mmol/l mogelijk.

3.2 Bassingrootte

De bassingrootte varieert sterk per bedrijf. Per ha varieert dit van 0 tot 4000 m³. Geen opslag treft men alleen aan als men over ander goed gietwater kan beschikken waarmee recirculatie mogelijk is: leidingwater, bronwater of oppervlaktewater. Dit komt in het westen van het land niet voor en elders maar zeer sporadisch. Een opslag van 500 m³ is minimaal en gebeurt meestal in een metalen silo met foliebekleding. Vanaf 1500 m³ bouwt men meestal aarden bassins met folie bekleed.

Door te kiezen voor een groter bassin kan meer regenwater worden benut en kan langer gebruik worden gemaakt van kwalitatief beter water. Lozing is minder snel noodzakelijk. Het dekkingspercentage van een bassin is afhankelijk van de neerslag per jaar. KwIn (1992) geeft hiervoor bepaalde percentages voor een jaar met een gemiddelde neerslag en een waterbehoefte van 6500 m³ zonder doorspoeling.

3.3 Gewaskeuze

Het moment van lozen wordt bij elk gewas bepaald door het bereiken van de voor dat gewas specifieke toxische waarde. Deze waarde ontstaat doordat het toevoegen van natrium via het gietwater groter is dan het onttrekken van natrium door het gewas (andere elementen leiden in de Nederlandse situatie niet snel tot problemen).

Natrium wordt toegevoegd via het gietwater en via de meststoffen. In meststoffen zit nu nog maar gemiddeld 0,15 mmol natrium per liter. Bij de start van de substraatteelt was dit aanzienlijk hoger, maar door kwaliteitsverbeteringen door de kunstmestfabrikanten en

recentelijk de overgang naar vloeibare meststoffen kon dit lage niveau worden bereikt. Aangezien de onttrekking per gewas sterk kan verschillen is bij de berekening gekozen voor twee uitersten: een zeer zoutgevoelig gewas (paprika) en een redelijk zouttolerant gewas (tomaat). De Na-opname van paprika en hiermee vergelijkbaar chrysant, bedraagt gemiddeld 0,1 mmol/l, de schadegrens bedraagt 6 mmol/l. Voor tomaten zijn deze cijfers respectievelijk 0,8 en 8 mmol/l.

3.4 Watergeefmethoden

Bij de ontwikkeling van gesloten teeltsystemen (Ruijs, 1990a en 1990b; Van Os, 1991) komen steeds vier watergeefmethoden naar voren:

* *druppelbevloeiing*

Elke plant krijgt afzonderlijk water en op jaarbasis wordt ervoor gezorgd dat een overgift van 30% is gegeven.

* *wortelberegening*

De voedingsoplossing wordt zeer frequent tegen de wortels aangesproeid. Uit de verschillende kleine proeven die hiermee zijn gedaan is een waterverbruik berekend van 2 l/m².h.

* *voedingsfilm*

De dunne, continu stromende laag voedingsoplossing veroorzaakt een watergift van 5 l/m².h.

* *eb/vloed*

Bij eb/vloed is de totale watergift sterk afhankelijk van de frequentie van watergeven. Voor groente- en bloemgewassen is uitgegaan van één keer watergeven per uur waarbij 2 cm voedingsoplossing op het totale teeltoppervlak komt te staan.

3.5 Berekening ontsmettingscapaciteit

Voor het berekenen van de ontsmettingscapaciteit is uitgegaan van de watergift in het zomerhalfjaar. Juist in die periode wordt veel water gegeven en verbruikt. Dit is vooral bij druppelbevloeiing van belang, omdat daar gegeven wordt naar behoefte. Dit in tegenstelling tot de andere watergeefmethoden waar gedurende het jaar min of meer dezelfde hoeveelheid wordt gegeven en waarbij het water dus moet worden ontsmet. Voor een bedrijf van 1 ha zijn aan de hand van de in hoofdstuk 3.4 genoemde frequenties van watergeven in tabel 1 de te ontsmetten hoeveelheden berekend.

Tabel 1 Berekende ontsmettingscapaciteit in m³ per ha bij verschillende watergeefmethoden.

Table 1 Calculated disinfection capacity for different watering methods in m³ per ha.

Watergeefmethoden	ontsmettingscapaciteit		
	per jaar (m ³)	per dag (m ³)	per uur (m ³)
Druppelbevloeiing	4710	12,9	0,5
Wortelberegening	151300	480	20
Voedingsfilm	388900	1200	50
Eb/vloed	982900	3000	125

3.5.1 Invloed gietwaterkwaliteit, bassingrootte en gewas

Vervolgens zijn voor bovenstaande watergeefmethoden de invloed van gietwaterkwaliteit, bassingrootte en gewaskeuze op de berekende ontsmettingscapaciteit nagegaan. Hiervoor kunnen de volgende formules worden gebruikt (Nienhuis, 1989):

$$L = (C_w - C_e) / (C_d - C_e)$$

waarbij: L = doorspoelfractie

C_w = hoeveelheid Na in gietwater (mmol/l)

C_e = hoeveelheid Na opgenomen door gewas (mmol/l)

C_d = hoeveelheid Na in drainwater (mmol/l)

De hoeveelheid natrium in het gietwater is afhankelijk van het natriumgehalte in regen- en leidingwater en in de meststoffen. De verhouding tussen regen- en leidingwater is afhankelijk van het dekkingspercentage behorend bij een bepaalde bassingrootte. C_w kan op de volgende wijze worden berekend:

$$C_w = DPB * [Na]_r + (1 - DPB) * [Na]_l + [Na]_m$$

waarbij: DPB = dekkingspercentage bij een bepaalde bassingrootte

$[Na]_r$ = hoeveelheid Na in regenwater (mmol/l)

$[Na]_l$ = hoeveelheid Na in leidingwater (mmol/l)

$[Na]_m$ = hoeveelheid Na in meststoffen (mmol/l)

Voor regenwater zijn de volgende gehalten opgenomen: 0,3; 0,5 en 0,7 mmol/l. Voor leidingwater: 1,1; 2,0; 2,5 en 3,0 mmol/l. In de meststoffen zit 0,15 mmol/l natrium. Bij de bassingrootten zijn 7 afmetingen opgenomen: 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 en 4000 m³. De dekkingspercentages zijn respectievelijk: 47, 55, 60, 65, 68, 71 en 80%. Deze percentages zijn lager dan Nienhuis (1989) en KwlN (1992) aanhouden. Dit wordt veroorzaakt door een hoger waterverbruik 7100 i.p.v. 6500 m³ (Van Os, 1991) en door rekening te houden met doorspoeling (vóór lozing is dit water regelmatig ontsmet).

In de bijlagen A en B zijn de resultaten weergegeven; hieronder volgt een samenvatting:

- * het doorspoelpercentage (het gedeelte dat moet worden geloosd in het milieu) varieert bij tomaat van 1% bij heel goed water ($[Na]_{\text{regenw.}} = 0,3$ mmol/l, $[Na]_{\text{leid.w.}} = 0,1$ mmol/l) en een klein bassin (500 m³) tot 17% bij slecht gietwater ($[Na]_{\text{regenw.}} = 0,7$ mmol/l, $[Na]_{\text{leid.w.}} = 3,0$ mmol/l) en van 0% bij goed gietwater met een groot bassin (4000 m³) tot 7% bij slecht gietwater;
- * bij paprika varieert het doorspoelpercentage van 13% bij heel goed water ($[Na]_{\text{regenw.}} = 0,3$ mmol/l, $[Na]_{\text{leid.w.}} = 0,1$ mmol/l) en een klein bassin (500 m³) tot 33% bij slecht gietwater ($[Na]_{\text{regenw.}} = 0,7$ mmol/l, $[Na]_{\text{leid.w.}} = 3,0$ mmol/l) en van 8% bij goed gietwater met een groot bassin (4000 m³) tot 20% bij slecht gietwater;
- * de benodigde ontsmettingscapaciteit verschilt enorm per watergeefmethode, maar per watergeefmethode nauwelijks bij verschillende bassingrootten;
- * bij variërende gietwaterkwaliteit en één bassingrootte verschilt de ontsmettingscapaciteit ca. 18% bij een klein bassin (500 m³), en ca. 12% bij een groot bassin (4000 m³).

3.5.2 Invloed dekkingspercentage

De invloed van het dekkingspercentage is voor één gietwaterkwaliteit ([Na] regenw. = 0,5 mmol/l, [Na]leid.w. = 2,0 mmol/l) apart nagegaan. De resultaten zijn in bijlage C weer-gegeven. Hieruit kan worden geconcludeerd dat:

- * de doorspoelpercentages bij een oplopend dekkingspercentage minder worden bij tomaat en paprika;
- * de ontsmettingscapaciteiten per watergeefmethode weinig verschillen bij een wisselend dekkingspercentage.

3.5.3 Invloed ontsmetten totale hoeveelheid gietwater

In bovenstaande hoofdstukken is er steeds vanuit gegaan dat alleen het retourwater, drainwater genoemd, wordt ontsmet. De laatste paar jaar gaan er echter ook stemmen op om ook het opgeslagen regenwater voor gebruik te ontsmetten. In feite is dit de hoeveelheid water die door het gewas wordt verdampt. Dit bedraagt 7100 m³ per jaar en deze hoeveelheid moet worden opgeteld bij de te ontsmetten hoeveelheden per jaar genoemd in tabel 1.

Voor druppelbevloeiing neemt de te ontsmetten hoeveelheid het meest toe: 250%. Voor de andere watergeefmethoden is de toename maar gering: wortelberegening 5%, voedingsfilm 2% en eb/vloed 1%.

Dit leidt tot de conclusie om voor druppelbevloeiing ook het ontsmetten van de totale hoeveelheid gietwater mee te nemen in de verdere berekeningen.

3.6 Vaststelling randvoorwaarden

Bovenstaande berekeningen zijn de basis voor het bouwkundig ontwerp van filter en opslagbassins en voor de mogelijkheden van energieopslag. In het vervolg wordt daarom uitgegaan van de volgende watergeefmethoden met de benodigde ontsmettingscapaciteiten voor een bedrijf van 1 ha:

- 1 Druppelbevloeiing met ontsmetten drainwater: 0,5 - 1,5 - 2,5 m³/uur
- 2 Druppelbevloeiing met ontsmetten gietwater: 1,25 - 3,75 - 6,25 m³/uur
- 3 Wortelberegening: 16 - 20 - 24 m³/uur
- 4 Voedingsfilm: 40 - 50 - 60 m³/uur
- 5 Eb/vloed: 100 - 125 - 150 m³/uur

Aangezien dit onderzoek het karakter heeft van een haalbaarheidsstudie, is getracht met bovenstaande drie ontsmettingscapaciteiten per watergeefmethode het totale bereik aan te geven waarbinnen elke tuinder met zijn specifieke gewas, waterkwaliteit en bassingrootte inzicht moet krijgen in zijn mogelijkheden voor het toepassen van langzame zandfiltratie, wateropslag onder het bedrijf of energieopslag.

4 Langzame zandfiltratie

4.1 Inleiding

Langzame zandfiltratie bestaat al sinds het begin van de 19^e eeuw en is de eerste water-reinigingstechniek die op grote schaal is toegepast. Momenteel wordt nog steeds veel gebruik gemaakt van dit type filters: 20% van het drinkwater in Groot-Brittannië en 80% van het Londense drinkwater worden op deze wijze gezuiverd. Ook in de Derde Wereld vervullen ze een belangrijke taak. Dit komt mede door de mogelijkheden om de verspreiding van Bilharzia tegen te gaan (Ellis, 1985). Het infiltreren van Rijn- en Maaswater in de duinen bij Wassenaar en Bloemendaal voor het verkrijgen van drinkwater berust op dezelfde werkingsprincipes.

Kenmerken van langzame zandfiltratie zijn: verwijdering van alle troebelheid, verwijdering van organische stof, verbeteren van de kleur van het water, verwijdering van bacteriën en virussen. Nadelen die worden genoemd zijn: groot ruimtebeslag, hoge kosten van schoonmaken en de lange tijd nodig voor het zuiveren (Ellis, 1985). Door Heide (1984) worden als voordelen genoemd: eenvoudig, goede desinfectie. Nadelen ziet hij ook: ruimtebeslag, reinigen van de bovenlaag is arbeidsintensief, gevoelig voor variaties in temperatuur. Beiden constateren dat er relatief weinig kennis beschikbaar is zeker in vergelijking met gewone (snelle) zandfilters.

In de glastuinbouw zijn in het buitenland slechts enkele ervaringen opgedaan (Wohanka, 1991; Friedel, 1991). In Nederland zijn bij twee glastuinders een langzaam zandfilter geïnstalleerd, dit echter zonder voldoende achtergrondkennis.

In de volgende paragrafen zal op de verschillende aspecten van het langzame zandfilter en de praktijkervaringen nader worden ingegaan.

4.2 Filterontwerp

Langzame zandfilters bestaan in principe uit drie lagen: van onder naar boven zijn dat een drainagelaag, een grindlaag en een zandlaag (fig. 1). De feitelijke zuivering van het water vindt alleen plaats in de zandlaag.

De drainagelaag dient ervoor om het gezuiverde water, zonodig via een drainagenet, af te voeren voor gebruik. De laagdikte is meestal 10 cm en bestaat uit grof grind (7-15 mm). Hier bovenop ligt een grindlaag om het water goed uit het zand te kunnen laten stromen en om te voorkomen dat het zand in het drainagesysteem terecht komt en daar de afvoer blokkeert. Ellis (1985) en ook Frijns (persoonlijke mededeling, 1992) adviseren een laagdikte van 40 cm. Wohanka ging in eerste instantie uit van 10 cm (Wohanka, 1991). Later adviseert hij een laagdikte van 20 tot 40 cm (Wohanka, 1992). De zandlaag is het belangrijkste onderdeel van het filter en moet dan ook aan hoge eisen voldoen. Geadviseerd wordt een zandfractie tussen 0,15 en 0,35 mm. Wohanka (1991) gaat uit van een fractie van 0,3 tot 2 mm. Als de fractie te grof is, bestaat de mogelijkheid van kanaalvorming, dit moet worden voorkomen. Daarnaast moet ook de uniformiteit van het zand (fractieverdeling) aan hoge eisen voldoen. Verder is het belangrijk dat het zand vrij is van klei, leem of andere organische stof.

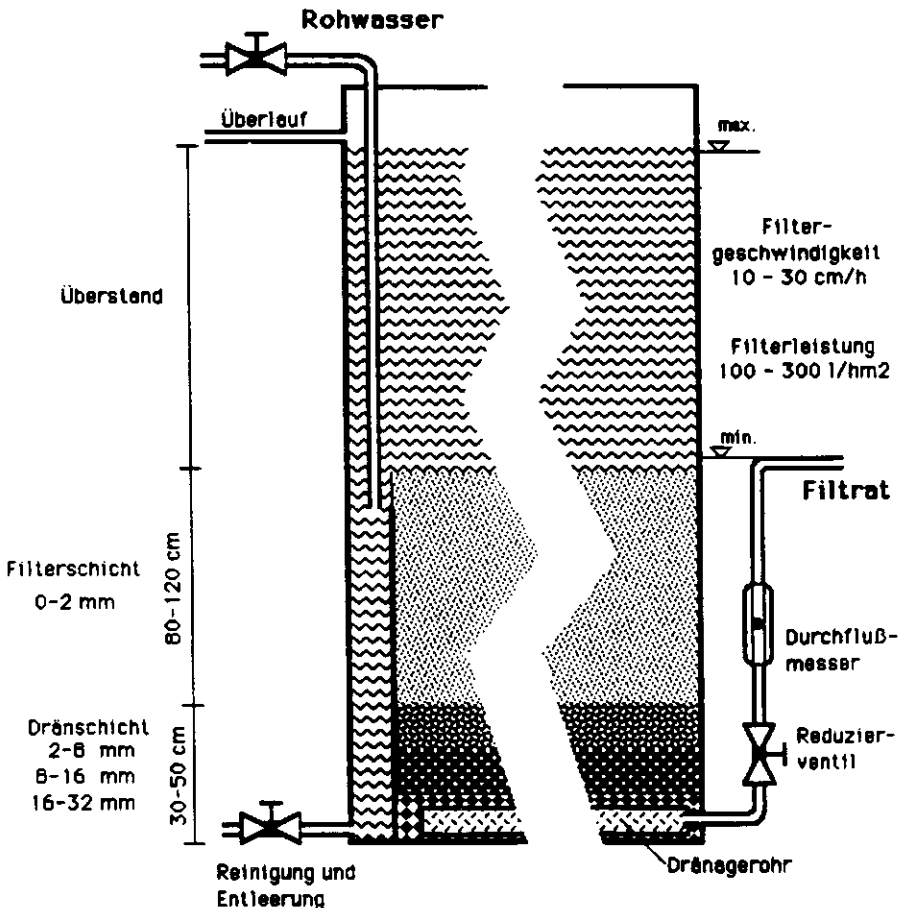
Het filtratie-effect hangt niet alleen af van de fijnheid en uniformiteit van het zand,

maar ook van de dikte van de laag. De laatste zou tussen de 120 en 140 cm moeten zijn, terwijl een diepte van 60 cm minimaal is (Ellis, 1985). Wohanka (1991, 1992) heeft in zijn eerste filter een laagdikte van 80 cm, later adviseert hij 80-120 cm. In het algemeen kan worden gezegd dat hoe slechter het te filteren water is, hoe dikker de zandlaag moet zijn. Kiezen voor een dikkere zandlaag is voordeliger dan het verkleinen van de zandfractie.

Wohanka (1991) gebruikt in zijn eerste proeven in plaats van zand een keramisch sinterglas. Het blijkt beter te werken. Hiervoor is geen duidelijke verklaring, mogelijk dat de filtersnelheid lager is door een fijnere en/of uniformere poriënverdeling. Er is geen poriënverdeling van het sinterglas bekend.

Boven de zandlaag staat altijd een laag water. Ellis adviseert een laagdikte van 100 tot 150 cm. Deze waterlaag heeft tot doel om de verblijftijd te verhogen en grove delen te laten bezinken. Tevens dient de laag als hydrostatische druk.

Bij een optimaal opgebouwd filter ontstaat een filtersnelheid die varieert tussen 2 en 5 m³ per m² oppervlak per dag. Gemiddeld wordt een filtersnelheid aangehouden van 2,4 m³ per m² per dag ofwel 0,1 m/h.



Figuur 1 Schema langzaam zandfilter (uit: Wohanka, 1992)

Figure 1 Scheme of slow sand filter (from: Wohanka, 1992)

4.3 Werkingsmechanisme

De werking van een langzaam zandfilter berust op drie mechanismen (Ellis, 1985):

- * zeven of filteren: een fysisch proces dat sterk afhankelijk is van de grootte van de zandkorrels en van het organisme;
- * adsorptie aan zand of slijm laag: door ladingsverschillen tussen organisme en zand of door de op het zand aanwezige slijm laag kan het organisme worden 'gevangen';
- * ongunstig milieu: temperatuur, aanwezigheid van zuurstof, pH en/of aanwezigheid van andere organismen kan leiden tot doding van pathogenen.

Zeven werkt niet bij schimmels en virussen, zij zijn te klein en spoelen dus door de zandlaag heen (Frijs, persoonlijke mededeling, 1992). Als belangrijkste mechanisme moet adsorptie worden genoemd. Na adsorptie aan het zand vindt afbraak plaats door tijd of door de aanwezigheid van andere organismen. Temperatuur, afwezigheid van zuurstof of pH hebben over het algemeen geen invloed op het overleven van schimmelsporen en virussen.

Andere organismen die voor doding van pathogenen kunnen zorgen in het zandfilter zijn bacteriën (nitrobakter, nitrosomonas) of specifieke antagonisten (protozoën of b.v. variëteiten van de schimmel *Trichoderma*). Deze werken in hoofdzaak tegen schimmels en niet tegen virussen. De laatste zijn te klein en hebben nauwelijks voedingswaarde.

Onmiddellijk na het in werking treden van een langzaam zandfilter ontstaat er op de scheidingslaag van water en zand een afzetting van fijn slib en organisch afval (bacteriën, algen). In deze laag (filter skin of Schmutzdecke genoemd) heerst een grote biologische activiteit, omdat er ook o.a. bacteriën, schimmels, protozoën, plankton en algen gaan groeien. Naar beneden toe in het zandbed neemt de biologische activiteit steeds verder af. Afhankelijk van de temperatuur is er activiteit van 40 tot 70 cm in de zandlaag. Door deze activiteit wordt stikstofhoudend materiaal eerst omgezet in ammoniak en vervolgens tot nitriet en nitraat. Bij een goed werkend zandfilter bevindt zich geen ammoniak in het filtraat.

Voor een optimale biologische activiteit moet er zuurstof in het water aanwezig zijn. Een minimum waarde van 3,0 mg/l water wordt genoemd (Ellis, 1985).

Het vullen van een langzaam zandfilter gebeurt van onder naar boven met een lage snelheid (gelijk of lager dan de doorstromingsnelheid). Er is een periode, afhankelijk van de temperatuur, van ca. 40 dagen nodig om een goede biologische activiteit in het filter op te bouwen. Afhankelijk van de situatie (kwaliteit van water, filtersnelheid, grootte van de zandkorrels) moet na 30 of soms pas na meer dan 100 dagen de schmutzdecke worden verwijderd. In het algemeen wordt de schmutzdecke verwijderd als de filtersnelheid te laag wordt. Het reinigen kan met de hand of machinaal gebeuren, maar er moet voor worden gezorgd dat het filter niet meer dan 24 uur droog staat om afsterven van de bacteriepopulaties te voorkomen.

Bij het afscheppen van de schmutzdecke gaat ook zand mee. Dit moet na verloop van tijd weer worden aangevuld. Dit kan door de biologisch actieve toplaag te verwijderen, dan het verse zand te storten en hierop de biologisch actieve laag weer aan te brengen.

Totale vervanging van het zand komt niet vaak voor, sommige filters werken al meer dan 100 jaar met hetzelfde zand. Alleen bij hoge carbonaatgehalten van het water kunnen zich rond de zandkorrels onoplosbare kristallen vormen, die tevens een blokkering van het filter veroorzaken.

4.4 Ervaringen in de glastuinbouw

De ervaringen in de glastuinbouw met langzame zandfilters zijn alle gebaseerd op het ontwerp van Wohanka (fig. 1). Friedel (1991) gebruikt het zandfilter in een proef om *Phytophthora* te bestrijden bij een buitenteelt van Erica's in goten. Hij is hier zeer tevreden over. Wohanka (1991) gaat in zijn overzichtsartikel over ontsmetten van drainwater in op de verschillende ontsmettingsmethoden. Langzame zandfiltratie ziet hij als een mogelijkheid voor het verwijderen van schimmels uit drainwater. Met de micronidiën van *Fusarium* had hij in zijn eerste proeven nog de meeste problemen: deze passeerden het filter. Bij gebruik van een poreus keramisch sinterglas kon hij deze sporen echter ook verwijderen. *Phytophthora* leverde geen problemen op bij het verwijderen.

Momenteel continueert Wohanka zijn onderzoek (mondelinge communicatie, 1992). Hierbij wordt gekeken naar de invloed van pH en gewasbeschermingsmiddelen (o.a. Fongarid) die in het water zitten. De laatste kunnen namelijk zowel worden afgebroken als het biologisch evenwicht in het zandfilter verstoren. In het ontwerp van het filter zijn inmiddels enkele kleine aanpassingen aangebracht (Wohanka, 1992). Het vlies bovenop de schmutzdecke wordt niet meer toegepast. Dit bleek geen goede resultaten op te leveren. De grindlaag is verhoogd naar 30-50 cm in plaats van 10 cm. De waterlaag boven de zandlaag is variabel in hoogte gemaakt (10-100 cm).

Wohanka had zelf nog geen ervaringen met het verwijderen van de schmutzdecke. Hij wist van een rozenteelt op steenwol waar het in twee jaar niet was gebeurd, maar bij een bedrijf in Berlijn moest elke drie weken de schmutzdecke worden verwijderd omdat deze dicht was gaan zitten door ijzerafzettingen.

In Zwitserland is een bedrijf met 5000 m² gerbera dat al twee jaar naar tevredenheid langzame zandfiltratie toepast. In plaats van zand wordt keramisch sinterglas gebruikt (Van Oosten en Van Steekelenburg, 1991).

In Nederland zijn er momenteel twee bedrijven die een zandfilter in gebruik hebben. Een potplantenteler heeft een filter met een oppervlak van 5,5 m². Hiermee kan hij volgens eigen zeggen ca. 36 m³ per dag ontsmetten. Dit betekent een filtersnelheid van bijna 0,3 m/h. Vóór het filter vangt hij het drainwater op in een 50 m³ silo en leidt hij het water door een gewoon zandfilter. Na het filter wordt het water weer opgevangen in een 50 m³ silo. Het ontwerp is gebaseerd op Wohanka (1991).

Metingen van Runia (PTG, persoonlijke mededeling, 1992) tonen aan dat alleen *Phytophthora* wordt verwijderd.

4.5 Filtergrootte en watergeefmethode

In hoofdstuk 3.6 is per watergeefmethode de benodigde ontsmettingscapaciteit aangegeven. Hieronder worden de overige randvoorwaarden vastgesteld aan de hand waarvan het bouwkundig ontwerp kan worden gemaakt.

Uitgaande van een filtersnelheid van 0,1 m/uur kan het benodigd oppervlak van het langzame zandfilter worden berekend. Daar de hoogte van het filter nog niet exact vastligt, is rekening gehouden met twee hoogten: 150 en 250 cm.

Het drainwater komt op onregelmatige tijden en in ongelijke hoeveelheden in het filter. Daarom is een tussenopslag noodzakelijk. Ook na het zandfilter is een tussenopslag gewenst om een buffer te hebben die vervolgens met schoonwater kan worden bijgemengd. De grootte van de tussenopslag komt ongeveer overeen met een halve dagvoorraad. In tabel 2 is een totaal overzicht gegeven.

In tabel 2 komt naar voren dat bij de watergeefmethoden via druppelbevloeiing het filteroppervlak nog redelijk klein is, maar dat bij de overige methoden de filters fors groter worden.

Tabel 2 Overzicht randvoorwaarden filterontwerp per watergeefmethode
Table 2 *Review of conditions for filter design per watering method*

watergeef- methode	ontsmett. cap. (m³/u)	benodigd filter oppervl. (m²)	tussen opslag (m²)	inhoud filter (m³)		benodigde hoeveelheid zand en grind	
				1,5 m	2,5 m	1,5 m	2,5 m
druppelbevl. (drainwater)	0,5	5	10	7,5	12,5	5	7,5
	1,5	15	10	22,5	37,5	15	22,5
	2,5	25	10	37,5	62,5	25	37,5
druppelbevl. (gietwater)	1,3	12,5	10	18,8	31,3	12,5	18,8
	3,8	37,5	10	56,3	93,8	37,5	56,3
	6,3	62,5	10	93,8	156,3	62,5	93,8
wortelbereg.	16	160	10	240	400	160	240
	20	200	10	300	500	200	300
	24	240	10	360	600	240	360
voedingsfilm	40	400	10	600	1000	400	600
	50	500	10	750	1250	500	750
	60	600	10	900	1500	600	900
eb/vloed	100	1000	125	1500	2500	1000	1500
	125	1250	125	1875	3175	1250	1875
	150	1500	125	2250	3750	1500	2250

5 Bouwkundig ontwerp opslagbassins

5.1 Ontwerp en investeringen opslagbassins

Door Swierstra & Van Ooijen (1992) zijn investeringen en jaarkosten van betonnen opslagbassins berekend. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- * opslag onder het teeltoppervlak;
- * grootte variërend van 50 tot 3000 m³;
- * kelderdek berekend op een aslast van 50 of 150 kN;
- * diepte bassin 1,5 of 2,5 m.

Bij de berekeningen is uitgegaan van betonconstructies die voldoen aan BRM en HBRM eisen (Handleiding bij bouwtechnische richtlijnen mestbassins; Frénay en Van Ooijen, 1991). Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de opslagbassins 'mestdicht' zijn.

De betonnen kelder heeft een fundering in een zettingsongevoelige ondergrond (op staal). Er is rekening gehouden met een grondwaterstand van 1 m beneden het maai-veld. De zware belasting van het kelderdek (aslast 150 kN) maakt het dek geschikt voor berijding door vrachtauto's en kan dus b.v. onder het schuuroppervlak of onder het erf liggen. Bij de lichte deklast (aslast 50 kN) is uitgegaan van ligging onder het teeltopper-vlak waar alleen licht transport (buis/rail systemen, vorkheftruck) wordt gebruikt.

Behalve kelders van beton is ook gerekend aan foliebassins die naast het bedrijf liggen. Ook hier is rekening gehouden met de BRM en HBRM eisen (Frénay en Van Ooijen, 1991). De grondbalans is in evenwicht, hetgeen wil zeggen dat de uitgegraven grond wordt gebruikt om de dijken van het bassin te maken.

In fig. 2 zijn de investeringen per m³ inhoud weergegeven voor betonnen kelders en voor foliebassins. De jaarkosten per m³ inhoud geven eenzelfde beeld. Bij de berekening van de jaarkosten is rekening gehouden met een afschrijvingsperiode voor de kelder van 20 jaar en voor het foliebassin van 10 jaar, een rentepercentage van 9% en onderhoudskosten van 2% op terrein en bouwkundige werken en van 3% op installaties.

Uit de berekeningen van Swierstra & Van Ooijen blijkt dat:

- * kleine kelders relatief veel duurder zijn dan grote kelders: f 494,- tot f 141,- per m³;
- * foliebassins veel goedkoper zijn dan betonnen kelders: f 164,- voor kleine tot f 17,- per m³ voor grote bassins;
- * bij dezelfde inhoud een diepere kelder (2,5 m) goedkoper is dan een kelder van 1,5 m diep: verschillen van ca. 10% bij kleine kelders tot ca. 30% bij grote kelders;
- * bij eenzelfde kelderdiepte een licht dek goedkoper is dan een zwaar dek: verschillen tot ca. 5%.

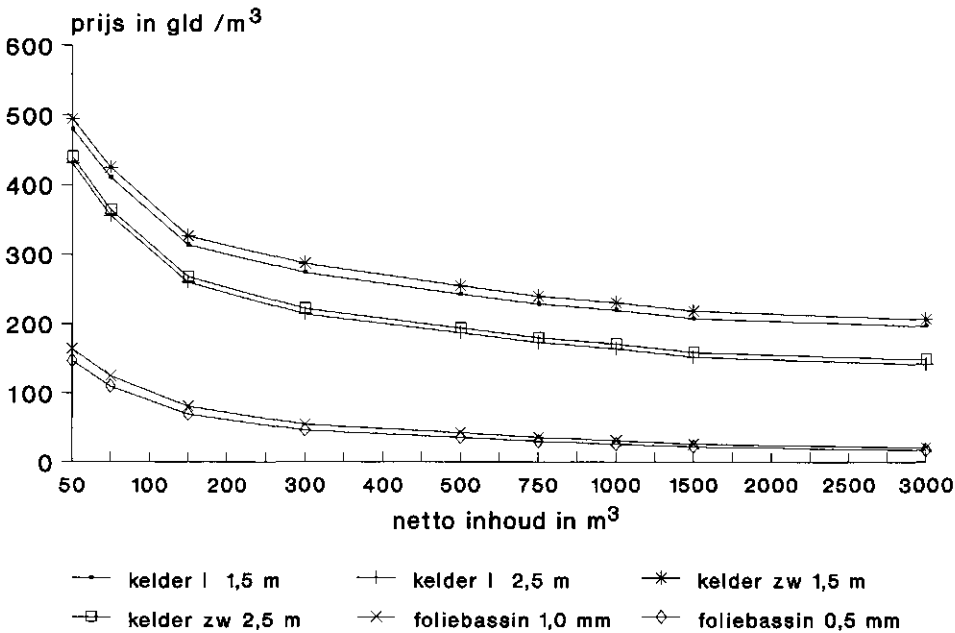
Bij het bouwkundig ontwerp is rekening gehouden met de aanwezigheid van grondwater. Indien er geen grondwater is, kunnen de kelders wat goedkoper zijn: ca. 6%. In plaats van beton kan voor kleine kelders ook metselwerk worden toegepast. Dit levert een prijsverlaging op van ca. 11%. Het voordeel van metselwerk is dat iedere aannemer het kan uitvoeren, betonwerk moet daarentegen door specialistische bedrijven worden uitgevoerd.

Bij eenzelfde diepte variëren de lengte en de breedte van de kelder bij het groter worden van de inhoud. Bij 1,5 m diepte is een kelder van 50 m³ 11 m lang en 3 m breed en een van 3000 m³ 111 m lang en 19 m breed. Een meer vierkante vorm van de kelder heeft nauwelijks financiële voordelen, omdat in de kelder betonnen steunen in de lengterichting van de kelder moeten worden toegepast om de vereiste sterkte te realiseren.

De door Swierstra en Van Ooijen (1992) gehanteerde bedragen voor foliebassins zijn wat hoger dan de cijfers voor dezelfde bassins in KwIn (1992). Hiervoor zijn een aantal oorzaken. Swierstra en Van Ooijen rekenen met prijzen inclusief BTW, afrastering en folie van 1 mm dik. De prijzen in KwIn zijn exclusief BTW en afrastering en gebruik van 0,5 mm folie. Daarnaast zijn regionale verschillen niet verdisconteerd.

5.2 Investerings en jaarkosten van langzame zandfilters in betonnen opslagbassins

Betonnen kelders kunnen ook worden gebruikt voor de opslag van het zandfilter. In bijlage D is een overzicht gegeven van de investeringen en jaarkosten per watergeefmethode bij twee filterhoogten (1,5 en 2,5 m). Behalve de betonnen opslagkelder is rekening gehouden met kosten voor tussenopslag van niet en wel ontsmet water, regelapparatuur, zand en drainage. Geen rekening is gehouden met arbeid en kosten voor het (regelmatig) vervangen van de schmutzdecke.



Figuur 2 Overzicht investeringen betonnen kelders en foliebassins in relatie tot de inhoud in m³ (l = deksterkte tot 50 kN per as; zw = deksterkte tot 150 kN per as; 1,5 m en 2,5 m = diepte kelder; 1,0 en 0,5 mm = foliedikte).

Figure 2 Review investments in concrete cellars and foil basins in relation to the contents in m³ (l = cover strength to 50 kN per ax; zw = cover strength to 150 kN per ax; 1.5 and 2.5 = depth of cellar; 1.0 and 0.5 mm = thickness of plastic foil).

6 Energie-opslag

De mogelijkheden van energie-opslag in de aanwezige bassins wordt reëel op het moment dat deze worden afgedekt en de warmte niet direct aan de omgeving wordt afgestaan. Nagegaan is of seizoenopslag en/of dag/nachtopslag mogelijk is.

6.1 Seizoenopslag

Uitgaande van een waterbassin variërend in grootte van 500 tot 3000 m³ is de warmtecapaciteit te berekenen. Daarnaast is een zandfilter aanwezig variërend in grootte van 5 tot 3000 m³. Ook hiervan is de warmtecapaciteit (zand en water) berekend. Dit resulteert in een totale warmtecapaciteit variërend tussen 2,1 en 18,6 GJ/K.

Teeltkundig is gesteld dat de temperatuurvariatie van het water tussen 20 en 25 °C moet blijven. Dit is gebaseerd op de temperatuur van het water dat rond de wortels stroomt.

Voor een optimale groei zijn lagere en hogere temperaturen niet aanvaardbaar.

Uitgaande van bovenstaande warmtecapaciteiten en temperatuurvariaties kan tussen de 10,4 en 93 GJ aan energie worden opgeslagen, overeenkomend met respectievelijk 299 en 2644 m³ gas. Voor een bedrijf van 1 ha is dit respectievelijk 0,03 en 0,26 m³/m².

Deze waarden zijn te klein om aan seizoenopslag te denken.

6.2 Dag/nachtopslag

Bij dag/nachtopslag wordt verondersteld dat het teveel aan warmte overdag kan worden opgeslagen en 's nachts weer kan worden gebruikt.

Uitgaande van een maximale waterstroom van 150 m³/h (eb/vloedsysteem voor vruchtdragende groenten in afgedekte goten, zie 3.6) kan 3,14 GJ aan energie uit de kas worden afgevoerd als het water van 20 naar 25 °C stijgt. Hierbij is er van uit gegaan, dat er nauwelijks verdamping is uit het vrijwateroppervlak naar de lucht. Hierdoor zou namelijk geen opwarming maar afkoeling plaatsvinden. Het kleinste reservoir van 500 m³ kan dan in 3 uur worden opgewarmd en het grootste in 30 uur. Bij de andere watergeefmethoden wordt minder water gerecirculeerd en zal de tijd om het reservoir op te warmen navenant toenemen.

Uit het warmtebehoefte- en zoninstralingsverloop is te berekenen dat bij een tomatenteelt zonder scherm per ha in het kleinste reservoir 938 GJ en in het grootste 1014 GJ jaarlijks kan worden opgeslagen. Dit komt overeen met respectievelijk 2,4 en 3,2 m³ gas per m² oppervlak. Om hiervan nuttig gebruik te kunnen maken zijn voorzieningen nodig om het water uit het reservoir 's nachts door de kas te laten circuleren.

Het maximale warmte overschot is niet meer dan 1,8 MJ/m² per dag. Een maximale opslagcapaciteit van 20 GJ, overeenkomend met ca. 1000 m³ water, is voor een kas van 1 ha voldoende.

Voor praktijktoepassing moet dan worden gedacht aan een extra verwarmingsnet van b.v. 3 buizen van 51 mm per m² ofwel 10 buizen extra per 3,20 m kap. Hier moet dus aan een ander verwarmingssysteem worden gedacht met een groter verwarmend oppervlak, bijv. vloerverwarming.

Verlaging van de jaarkosten moet in eerste instantie dus niet worden verwacht, wel een besparing op energie van ca. 5%. Bovengenoemde is berekend voor een waterstroom van 150 m³/h, dus voor een eb/vloed watergeefstelsel. Is de waterstroom kleiner dan wordt de energiebesparing navenant kleiner.

Praktisch zal echter nog eens naar de mogelijkheden moeten worden gekeken, omdat:

- * het waterbassin niet altijd vol is, waardoor bovengenoemde benutting misschien niet altijd kan worden gehaald;
- * de verschillende watergeefmethoden verschillende warmte-opslag mogelijkheden en dus besparingen hebben;
- * het zandfilter altijd met een langzame snelheid in beweging is en dus waarschijnlijk moet worden uitgesloten van energie-opslag.

7 Bedrijfskundige perspectieven

Voor verschillende bedrijfssituaties is nagegaan in hoeverre geïntegreerde wateropslag en langzaam zandfiltratie mogelijk is.

In bijlage E is een overzicht per watergeefmethode gegeven van investeringen en jaar-kosten van opslag in betonnen kelders. Hierbij is uitgegaan van regenwateropslag in een kleine (500 m³), een 'optimale' (1500 m³) en een grote (3000 m³) betonnen kelder in combinatie met verschillende filtergrootten. Zowel voor wateropslag als zandopslag is uitgegaan van een diepte van 1,5 m. Voor een diepte van 2,5 m zullen de investeringen en jaarkosten ca. 25% lager liggen.

Bij kleine filtergrootten (druppelbevloeiing) worden investeringen en jaarkosten bepaald door de grootte van de wateropslag. Bij de grotere filters (eb/vloed) bestaat een gelijk-waardigere verdeling van de kosten.

Aangezien bij gebruik van betonnen kelders wordt uitgegaan van opslag onder het teelt-oppervlak mag een bedrag van f 15,-/m² oppervlak (KwIn, 1992) van deze kosten worden afgetrokken, omdat bij aanleg naast het teeltoppervlak uitgegaan mag worden van opbrengstderving. In tabel 3 is een overzicht gegeven.

Tabel 3 Oppervlaktebeslag van bassins naast het teeltoppervlak met de daaraan verbonden opbrengstderving (1 ha).

Table 3 Demanded area of basins beside the cultivation area resulting in lower financial benefits (1 ha).

Bassingrootte in m ³	Oppervlaktebeslag in m ²	Opbrengstderving in guldens per m ²
500	225	0,34
1500	1100	1,65
3000	1750	1,93

Als de bedragen in bijlage E, verminderd met de overeenkomstige bedragen uit tabel 3, worden vergeleken met de huidige uitgaven in de praktijk voor wateropslag en ontsmetting via verhitte (Van Os, 1991) ontstaat een beeld dat in tabel 4 is weergegeven (omgerekend naar een bedrijf van 1 ha; uitgegaan is van een wateropslag van 1500 m³/ha).

Hieruit kan worden geconcludeerd dat geïntegreerde wateropslag met langzame zandfiltratie in betonnen kelders bij druppelbevloeiingssysteem iets duurder is, maar bij wortelberegening, voedingsfilm en eb/vloed goedkoper is dan de huidige methode van opslag met ontsmetting via verhitten.

Opgemerkt dient te worden dat op dit moment voor wateropslag met langzame zandfiltratie goedkopere alternatieven beschikbaar zijn in de vorm van foliebassins of/en silo's. Naar aanleiding hiervan is nagegaan wat de prijs is van regenwateropslag in een foliebassin in combinatie met langzame zandfiltratie in een metalen silo. Aangezien de investeringen alleen berekend konden worden na extrapoleren van enkele waarden uit KwIn

Tabel 4 Vergelijking jaarkosten wateropslag in foliebassins met ontsmetten via verhitten, geïntegreerde wateropslag met langzame zandfiltratie in betonnen kelders en wateropslag in foliebassins en langzame zandfiltratie in silo's in gld/m² (1500m³ regenwateropslag, 1 ha).

Table 4 Comparison of annual costs (Dfl/m²) of water storage in foil basins and water disinfection by heat treatment with integrated water storage with slow sand filtration in concrete cellars and water storage in foil basins in combination with slow sand filtration in storage tanks (1500m³ rainwater storage, 1 ha).

Watergeef methode	foliebassin + verhitten				geïntegreerde wateropslag + zandfiltratie in betonnen kelders				foliebassin + zandfiltratie in silo			
	jaark. ontsmet.	water opslag *)	(+) opbr. derving	Totale jaark.	jaark. ontsmet.	water opslag	Totale jaark.	jaark. ontsmet.	water opslag *)	(+) opbr. derving	Totale jaark.	Totale jaark.
Druppelbev. (drainw.)	0,50	0,20	1,65	2,35	0,30	3,45	3,75	0,15	0,20	1,65	2,00	
Druppelbev. (gietw.)	–	–	–	–	0,55	3,40	3,95	0,30	0,20	1,65	2,15	
Wortelbev.	5,05	0,20	1,65	6,90	1,15	3,35	4,50	0,50	0,20	1,95	2,65	
Voed.film	12,20	0,20	1,65	14,05	2,35	3,30	5,65	0,95	0,20	2,35	3,50	
Eb/vloed	28,20	0,20	1,65	30,05	5,60	3,45	9,05	1,95	0,20	3,45	5,60	

*) Van Os (1991), indien Swierstra & Van Ooijen (1992) worden gevolgd dan zijn kosten f0,60.

(1992) zijn de in bijlage F weergegeven cijfers slechts richtwaarden. In vergelijking met de jaarkosten van geïntegreerde opslag in betonnen kelders (bijlage E) is duidelijk dat de investeringen en jaarkosten aanzienlijk lager zijn. In tabel 4 is een samenvatting gegeven.

De conclusie uit deze tabel is dat wateropslag in foliebassins in combinatie met langzame zandfiltratie in silo's voor de praktijk de meest economische oplossing is. Indien alleen naar de kosten voor ontsmetting wordt gekeken blijkt dat langzame zandfiltratie ook voor grote hoeveelheden water (wortelberegening, voedingsfilm en eb/vloed) goede perspectieven biedt. Hierbij moet in ogenschouw worden genomen dat in verschillende bedrijfssituaties er geen keus is tussen opslag naast het bedrijf of onder het teeltoppervlak, omdat er geen ruimte naast het bedrijf is.

Toepassing van energieopslag zal, zoals in hoofdstuk 6.2 al is geconstateerd, alleen interessant worden, als de gasprijs stijgt of als er een energieheffing komt. Een eis voor energieopslag is het overdekt zijn van de opslagkelder. Aangezien hierboven wordt geconstateerd dat opslag onder het teeltoppervlak in een overdekte kelder niet haalbaar lijkt, biedt energieopslag ook veel minder perspectieven.

8 Conclusies

Uit deze studie zijn de volgende conclusies te trekken:

- * Geïntegreerde wateropslag in betonnen kelders onder het teeltoppervlak in combinatie met langzame zandfiltratie en energie-opslag is momenteel economisch nog geen aantrekkelijke optie voor de tuinbouw.
- * Geïntegreerde wateropslag in betonnen kelders onder het teeltoppervlak in combinatie met langzame zandfiltratie is bij wortelberegening, voedingsfilm en eb/vloed aanzienlijk goedkoper en heeft meer perspectieven dan de huidige methode van wateropslag en ontsmetten door verhitten. Voor kleine ontsmettingscapaciteiten (druppelbevloeiing) is deze methode iets duurder. Goedkoper is wateropslag in foliebassins in combinatie met langzame zandfiltratie in metalen silo's.
- * Wateropslag in betonnen kelders is te duur om momenteel te adviseren. Slechts bij grote ruimtenood is deze wijze van opslag te overwegen.
- * Langzame zandfiltratie biedt bedrijfseconomisch goede perspectieven voor alle nu toegepaste watergeefmethoden. Ontwerp van het filter moet worden aangepast om fythopathologisch altijd goede resultaten te verkrijgen.
- * Energie-opslag op basis van dag/nachtopslag kan leiden tot energiebesparing. Het leidt echter tot verhoging van de jaarkosten door installatie van een extra verwarmingsnet met een zeer groot verwarmend oppervlak. Voor seizoenopslag van energie zijn de besparingen te gering.

9 Aanbevelingen voor onderzoek

Aanbevelingen voor onderzoek kunnen worden gedaan naar de afzonderlijke deelaspecten:

* Langzame zandfiltratie

- Onderzoek naar de feitelijke werking van het langzame zandfilter (het proces van doden en verwijderen van plantpathogenen);
- Onderzoek naar een optimaal ontwerp van het filter (hoogte, zandfractie etc.) voor het verwijderen van plantpathogenen;
- Onderzoek naar de invloed van milieufactoren (zuurstof, temperatuur, pH, gewasbeschermingsmiddelen) op het doden van plantpathogenen.

Voortgezet onderzoek zal in samenwerking met de LU-Milieutechnologie, LU-Fytopathologie, Forschungsanstalt Geisenheim en PGB kunnen plaatsvinden. Gezien de perspectieven, de vragen en de milieuproblematiek in de glastuinbouw vraagt dit onderzoek om een hoge urgentie.

* Energie-opslag

- Onderzoek naar de praktische toepassing van dag/nachtopslag van energie waarbij rekening wordt gehouden met bassingrootten, benutting van het bassin, jaarbelastingduurkromme, gewas en watergeefmethode.

Summary

An integrated nursery layout of water storage in a concrete cellar below the growing surface in combination with biological purification of recirculation water by slow sand filtration and energy storage was subject to research. In this feasibility study the prospects for practical application were examined.

For the above-mentioned situation, the disinfection capacity was calculated for four watering methods (trickle irrigation, aeroponics, nutrient film technique (NFT) and ebb and flood). For trickle irrigation two variants were examined: disinfection of drainwater and disinfection of the total amount of supply water. Besides it was calculated if factors such as crop, size of rainwater storage basin and quality of supply water, influenced the necessary disinfection capacity. After this the size of the slow sand filter could be calculated, and so could the construction demands for water storage in cellars below the growing surface.

The necessary disinfection capacity highly depends on the watering method, which was therefore used as a basis for designing concrete cellars and the possibilities of energy storage. Per watering method a minimum, an optimum and a maximum disinfection capacity has been calculated to show the prospects for most growers for application of slow sand filtration, energy storage and water storage in concrete cellars below the nursery.

A slow sand filter consists of a 80-120 cm thick, uniform sand layer without any clay or organic matter. Below the sand layer there are two gravel layers for drainage. First the water to be purified settles down in an approx. 1-m- thick water layer above the sand, then to move slowly through the sand layer. The speed is important and shall not exceed 2.4 m³ per m² filter area, or 0.1 m per hour. The filter area varies between an average of 15 m² for disinfecting drainage water of trickle irrigation and 1 250 m² for disinfecting ebb and flood systems. Apart from that, the results in some practical installations are disappointing. Not all pathogens were always killed.

The storage of rainwater in a concrete cellar below the growing surface is not cost-effective if there is sufficient space beside the nursery. Compared with the more or less traditional way of water storage in foil basins with disinfection by heat treatment, integrated water storage with slow sand filtration in concrete cellars have considerable lower annual costs using the watering methods of aeroponics, NFT or ebb and flood. Usage of foil basins for water storage and metal tanks for slow sand filtration decreases the annual costs even much more, also if compared with foil basins with a heat treatment.

Additional research is necessary on the real effects and to find the optimum design of the slow sand filter before the filter can be recommended for practical use.

Seasonal storage of energy in a covered concrete cellar with recirculation water is not an interesting option as it saves too less energy. Day/night storage offers better prospects, especially for ebb and flood. Approx. 3 m³ natural gas per m² area (5 %) per year could

be saved. On the other hand, extra investments are necessary in an extra heating system with a large heating surface to flow the (warm ebb and flood) water through the greenhouse at night.

Additional studies are necessary to find a practical way for application of day/night storage of energy. Special attention is demanded to the conditions for application (size of water basin, watering method and energy demand).

Summarized it can be said that water storage in a concrete cellar below the growing area in combination with biological purification of the recirculation water and energy storage is not economical in an integrated layout. For parts of it there are prospects: slow sand filtration and day/night storage of energy.

Literatuur

- CUWVO VI (1992). Tussenrapportage glastuinbouw, aanbevelingen voor WVO-vergunningverlening aan nieuwe bedrijven. CUWVO VI Subwerkgroep Glastuinbouw. Lelystad, 17 p.
- Ellis, K.V. (1985). Slow sand filtration. CRC Critical Reviews in Environmental Control. Volume 15, Issue 4, pag. 315-354.
- Friedel, S. (1991). Erica: Phytophthora in Fließbrinnen bekämpfen. Gärtnerbörse & Gartenwelt 91(1991)2, pag. 69-72.
- Heide, B.A. (1984). Alternatieve methoden voor desinfectie van afvalwater. Rapport A 182, IMG-TNO, Delft.
- Frénay, J.W. en J.H. van Ooijen (1991). Handleiding bij bouwtechnische richtlijnen: mestbassins, HBRM 1991. IMAG-DLO rapport 91-13, Wageningen.
- Kwantitatieve Informatie voor de glastuinbouw, 1992-1993 (1992). IKC-AT, Naaldwijk/Aalsmeer.
- Nienhuis, J.K. (1989). Waterkwaliteit en de kosten van water. Verslag nr. 1, PTG-Naaldwijk, 24p.
- Oosten H.J. van, N.A.M. van Steekelenburg (1991). Studiereis naar Duitsland en Zwitserland, hoofdthema geïntegreerde productie. PTG-Naaldwijk, intern verslag nr. 26, 34 p.
- Os, E.A. van (1987). Het ontsmetten van drainwater door middel van verhitting. IMAG-rapport 92, IMAG-Wageningen, 16 p.
- Os, E.A. van (1991). Simulatie van milieuvriendelijkere bedrijfssystemen in de glastuinbouw. Gewasgroep meermalig oogstbare groenten. Verslag nr.4, PTG-Naaldwijk, 36 p.
- Ruijs, M.N.A. (1990a). Simulatie van milieuvriendelijkere bedrijfssystemen in de glastuinbouw. Gewasgroep eenmalig oogstbare bloemen. Verslag nr.2, PTG-Naaldwijk, 45 p.
- Ruijs, M.N.A. (1990b). Simulatie van milieuvriendelijkere bedrijfssystemen in de glastuinbouw. Gewasgroep eenmalig oogstbare groenten. Verslag nr.4, PTG-Naaldwijk, 34 p.
- Structuurnota Landbouw (1989). Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag, 174 p.
- Swierstra & Van Ooijen (1992). Bouwkosteninformatie bassins voor geïntegreerde wateropslag. IMAG-DLO nota P93-39, 20 p.
- Wohanka, W. (1991). Wasserentkeimung bei der Hydrokultur von Zierpflanzen. Gartenbau 38(1991)1, p. 43-46.
- Wohanka, W. (1992). Krankheitserreger in Geschlossenen Systemen. Gärtnerbörse & Gartenwelt 92(1992)8, p. 407-409.

Bijlage A: Benodigde ontsmettingscapaciteit in m³/uur voor het gewas tomaat bij verschillende watergeefmethoden en voor variërende gietwaterkwaliteiten en bassingrootten.

[Na] in regenwater (mmol/l)	[Na] in leidingwater (mmol/l)	Doorspoelpercentage		Druppelbevloeiing		Wortelberegning		Voedingsfilm		Eb/vloed	
		Bassingrootte *		Bassingrootte *		Bassingrootte *		Bassingrootte *		Bassingrootte *	
		500 m³	4000 m³	500 m³	4000 m³	500 m³	4000 m³	500 m³	4000 m³	500 m³	4000 m³
0,3	1,1	1	0	0,54	0,52	17	17	45	44	113	110
0,3	2,0	8,1	0	0,58	0,54	19	17	48	44	121	112
0,3	2,5	11,3	1,3	0,60	0,54	19	17	49	45	125	114
0,3	3,0	15,0	2,6	0,62	0,55	20	18	51	46	129	115
0,5	1,1	2,3	0	0,55	0,54	18	17	45	44	115	112
0,5	2,0	9,0	2,2	0,59	0,55	19	18	48	45	122	115
0,5	2,5	12,6	3,5	0,61	0,56	19	18	50	46	126	116
0,5	3,0	16,3	4,9	0,63	0,56	20	18	52	47	131	118
0,7	1,1	3,6	1,8	0,56	0,55	18	18	46	45	116	114
0,7	2,0	10,3	4,3	0,59	0,56	19	18	49	46	124	117
0,7	2,5	13,9	5,7	0,61	0,57	20	18	51	47	128	119
0,7	3,0	17,6	7,1	0,63	0,58	20	18	52	48	132	120

*) De tussenliggende bassingrootten zijn weggelaten gezien de geringe verschillen.

Bijlage B: Benodigde ontsmettingscapaciteit in m³/uur voor het gewas paprika bij verschillende watergeefmethoden en voor variërende gietwaterkwaliteiten en bassingrootten.

[Na] in regenwater (mmol/l)	[Na] in leidingwater (mmol/l)	Doorspoelpercentage		Druppelbevloeiing		Wortelberegening		Voedingsfilm		Eb/vloed	
		Bassingrootte *		Bassingrootte *		Bassingrootte *		Bassingrootte *		Bassingrootte *	
		500 m ³	4000 m ³	500 m ³	4000 m ³	500 m ³	4000 m ³	500 m ³	4000 m ³	500 m ³	4000 m ³
0,3	1,1	13,1	8,6	0,56	0,53	20	19	50	48	127	122
0,3	2,0	21,2	11,7	0,60	0,55	22	20	54	50	136	125
0,3	2,5	25,7	13,4	0,62	0,56	22	20	56	50	141	127
0,3	3,0	30,2	15,1	0,64	0,57	23	20	58	51	146	129
0,5	1,1	15,0	11,8	0,57	0,55	20	20	51	50	129	125
0,5	2,0	22,8	14,4	0,60	0,56	22	20	55	51	138	128
0,5	2,5	27,3	16,1	0,63	0,57	23	21	57	52	143	130
0,5	3,0	31,8	17,8	0,65	0,58	23	21	59	52	148	132
0,7	1,1	16,3	14,1	0,57	0,56	21	20	52	51	131	128
0,7	2,0	24,4	17,1	0,61	0,58	22	21	55	52	140	131
0,7	2,5	28,9	18,8	0,63	0,58	23	21	57	53	145	133
0,7	3,0	33,7	20,5	0,66	0,59	24	21	59	54	150	135

*) De tussenliggende bassingrootten zijn weggelaten gezien de geringe verschillen.

Bijlage C: Invloed van het dekkingpercentage op het doorspoelpercentage en de ontsmettingscapaciteit bij tomaat en paprika bij één gietwaterkwaliteit ($[Na]_{regenw.} = 0,5$; $[Na]_{leid.w.} = 2,0$)

Bassin- grootte in m ³	Dekkings- percentage	Doorspoelpercentage		Ontsmettingscapaciteit tomaat (in m ³ /uur) 1)				Ontsmettingscapaciteit paprika (in m ³ /uur) 1)			
		tomaat	paprika	drupp.- bevl.	wortel- bereg.	voed. film	eb/ vloed	drupp. bevl.	wortel- bereg.	voed. film	eb/ vloed
500	47	9,0	22,8	0,59	19	48	122	0,65	21	55	138
1000	55	7,3	20,8								
1500	60	6,2	19,5								
2000	65	5,2	18,2								
2500	68	4,5	17,5								
3000	71	3,9	16,7								
4000	80	2,1	14,4	0,55	18	45	115	0,61	20	51	128
500	60	6,3	19,5	0,57	18	47	119	0,64	21	53	134
1000	70	4,2	16,9								
1500	75	3,1	15,7								
2000	80	2,1	14,4								
2500	83	1,5	13,6								
3000	86	0,8	12,9								
4000	95	0	10,6	0,53	17	44	111	0,60	19	49	124
500	70	4,2	16,9	0,55	18	46	117	0,62	20	52	131
1000	80	2,1	14,4								
1500	85	1,0	13,1								
2000	90	0	11,9								
2500	93	0	11,1								
3000	95	0	10,6								
4000	96	0	10,3	0,53	17	44	111	0,60	19	49	124

1) Alleen de minimum en maximum waarden zijn weergegeven

Bijlage D: Investerings en jaarkosten langzame zandfilters in betonnen kelders in guldens (1 ha).

Hoogte filter (m ¹)	opp. filter (m ²)	inhoud filter (m ³)	hoev. h. zand + grind (m ³)	tussen-opslag 2 st. van: (m ³)	Investeringen					Jaarkosten		
					betonnen kelder	regel-app.	zand + grind 1)	drainage 2)	totaal	per m ² kasopp.	totaal	per m ² kasopp.
1,5	5	8	5	10	16500	5000	200	15	21715	2,20	2500	0,25
	15	23	15	10	21250	5000	600	45	26895	2,70	3100	0,30
	25	38	25	10	26500	5000	1000	75	32575	3,30	3700	0,35
	12,5	19	13	10	19500	5000	500	40	25040	2,50	2900	0,30
	37,5	56	38	10	31500	5000	1500	110	38110	3,80	4400	0,45
	62,5	94	63	10	41250	5000	2500	190	48940	4,90	5600	0,55
	160	240	160	10	75500	5000	6400	480	87380	8,70	10000	1,00
	200	300	200	10	84750	5000	8000	600	98350	9,80	11300	1,15
	240	360	240	10	97000	5000	9600	720	112320	11,20	12900	1,30
	400	600	400	10	145750	5000	16000	1200	167950	16,80	19300	1,95
	500	750	500	10	176250	5000	20000	1500	202750	20,30	23300	2,35
	600	900	600	10	203250	5000	24000	1800	234050	23,40	26900	2,70
	1000	1500	1000	125	360500	5000	40000	3000	408500	40,80	47000	4,70
	1250	1875	1250	125	429250	5000	50000	3750	488000	48,80	56100	5,60
	1500	2250	1500	125	495000	5000	60000	4500	564500	56,40	64900	6,50
2,5	5	13	8	10	17750	5000	300	15	23065	2,30	2700	0,25
	15	38	23	10	26500	5000	900	45	32445	3,20	3700	0,35
	25	63	38	10	33000	5000	1500	75	39575	4,00	4600	0,45
	12,5	31	19	10	24500	5000	750	40	30290	3,00	3500	0,35
	37,5	94	56	10	41250	5000	2250	110	48610	4,90	5600	0,55
	62,5	156	94	10	54000	5000	3750	190	62940	6,30	7300	0,75
	160	400	240	10	105000	5000	9600	480	120080	12,00	13800	1,40
	200	500	300	10	124750	5000	12000	600	142350	14,20	16400	1,65
	240	600	360	10	145750	5000	14400	720	165870	16,60	19100	1,90
	400	1000	600	10	224500	5000	24000	1200	254700	25,50	29300	2,95
	500	1250	750	10	271750	5000	30000	1500	308000	30,80	35500	3,55
	600	1500	900	10	316250	5000	36000	1800	359050	35,90	41300	4,15
	1000	2500	1500	125	541750	5000	60000	3000	609750	61,00	70100	7,00
	1250	3125	1875	125	658000	5000	75000	3750	741750	74,20	85300	8,55
	1500	3750	2250	125	772000	5000	90000	4500	871500	87,10	100200	10,00

1) f 40,-/m³ 2) f 3,-/m³

Bijlage F: Investerings en jaarkosten bij wateropslag in foliebassins en zandfiltratie in silo's in gld/m² (1 ha); afgerond op 5ct.

watergeef methode	opp. filter (m ²)	inhoud filter (m ³)	water opslag (m ³)	zandfilter		zandfilter en wateropslag	
				investerings	jaarkosten	investerings	jaarkosten
druppelbevl. (drainwater)	5	8	500	1,00	0,10	2,80	0,45
			1500			4,25	0,70
			3000			6,10	1,05
	15	23	500	1,10	0,15	2,90	0,50
			1500			4,35	0,75
			3000			6,20	1,05
	25	38	500	1,20	0,15	3,00	0,50
			1500			4,45	0,75
			3000			6,30	1,05
druppelbevl. (gietwater)	12,5	31	500	1,25	0,20	3,05	0,50
			1500			4,50	0,75
			3000			6,35	1,10
	37,5	94	500	1,80	0,30	3,60	0,60
			1500			5,05	0,85
			3000			6,90	1,15
	62,5	156	500	2,20	0,40	4,00	0,70
			1500			5,45	0,95
			3000			7,30	1,25
wortel-beregening	160	240	500	2,60	0,45	4,40	0,75
			1500			5,85	1,00
			3000			7,70	1,30
	200	300	500	2,90	0,50	4,70	0,80
			1500			6,15	1,05
			3000			8,00	1,35
	240	360	500	3,10	0,55	4,90	0,85
			1500			6,35	1,10
			3000			8,20	1,40
voedingsfilm	400	600	500	4,50	0,75	6,25	1,05
			1500			7,75	1,30
			3000			9,55	1,60
	500	750	500	5,45	0,95	7,25	1,25
			1500			8,70	1,50
			3000			10,55	1,80
	600	900	500	6,45	1,10	8,20	1,40
			1500			9,70	1,65
			3000			11,50	1,95
eb/vloed	1000	1500	500	9,50	1,60	11,30	1,90
			1500			12,80	2,15
			3000			14,60	2,50
	1250	1875	500	11,60	1,95	13,40	2,30
			1500			14,85	2,55
			3000			16,70	2,85
	1500	2250	500	13,70	2,35	15,50	2,65
			1500			16,95	2,90
			3000			18,80	3,20

Bijlage E: Investerings en jaarkosten bij geïntegreerde wateropslag en zandfiltratie in betonnen kelders uitgaande van een deklast van 50 kN en 1,5 m diepte, in gld/m² (1ha); afgerond op 5ct.

watergeef methode	opp. filter (m ²)	inhoud filter (m ³)	water opslag (m ³)	zandfilter		zandfilter en wateropslag	
				investerings	jaarkosten	investerings	jaarkosten
druppelbevl. (drainwater)	5	8	500	2,15	0,25	13,30	1,55
			1500			32,30	3,70
			3000			59,75	6,85
	15	23	500	2,70	0,30	13,70	1,60
			1500			32,65	3,75
			3000			60,10	6,90
	25	38	500	3,25	0,35	14,10	1,60
			1500			33,00	3,80
			3000			60,45	6,95
druppelbevl. (gietwater)	12,5	31	500	3,05	0,35	13,90	1,60
			1500			32,85	3,80
			3000			60,30	6,95
	37,5	94	500	4,85	0,55	15,60	1,80
			1500			34,30	3,95
			3000			61,65	7,10
	62,5	156	500	6,30	0,75	17,30	2,00
			1500			35,75	4,10
			3000			63,05	7,25
wortel-beregening	160	240	500	8,75	1,00	19,25	2,20
			1500			37,75	4,35
			3000			64,95	7,45
	200	300	500	9,85	1,15	20,75	2,40
			1500			39,20	4,50
			3000			66,30	7,60
	240	360	500	11,20	1,30	22,25	2,55
			1500			40,60	4,65
			3000			67,65	7,80
voedingsfilm	400	600	500	16,80	1,95	27,75	3,20
			1500			45,90	5,30
			3000			72,95	8,40
	500	750	500	20,30	2,35	31,25	3,60
			1500			49,15	5,65
			3000			76,30	8,75
	600	900	500	23,40	2,70	34,40	3,95
			1500			52,40	6,05
			3000			79,65	9,15
ebvloed	1000	1500	500	40,85	4,70	51,55	5,95
			1500			70,30	8,10
			3000			97,30	11,20
	1250	1875	500	48,80	5,60	60,05	6,90
			1500			78,75	9,05
			3000			105,60	12,15
	1500	2250	500	56,45	6,50	68,30	7,85
			1500			86,90	10,00
			3000			113,65	13,05

Verschenen rapporten

- 93-1 Huis in 't Veld, J.W.H., Kroodsmā, W. en S. van Westreenen – Vermindering ammoniakemissie uit een ligboxenstal door spoelen van de roosters.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 16 pp., f 25,00
- 93-2 Elzing, A. en D. Swierstra. – Ammoniakemissiemetingen in een modelsysteem van een varkensstal; de invloed van vloerbevuilding en het vloertype.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp., f 25,00
- 93-3 Elzing, A. en W. Kroodsmā – De relatie tussen ammoniakemissie en stikstofconcentratie in de urine van melkvee.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 22 pp., f 25,00
- 93-5 Dieën, J.H. van – Functional load of the low back.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 150 pp., f 40,00
- 93-6 Boer, W.J. de – Box Jenkins tijdreeksanalyse, toegepast op de resultaten van ammoniakemissiemetingen in een rundveestal.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 32 pp., f 30,00
- 93-7 Hoeksma, P., Scholtens, R. en A.J. van den Berg – Een milieuvriendelijk bedrijfs-systeem voor de varkenshouderij.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 26 pp., f 30,00
- 93-8 Smits, M.C.J., Kroodsmā, W., Swierstra, D. en W.J. de Boer – Opzet van het onderzoek inzake beperking van de ammoniakemissie in de Milieu-onderzoekstal.
Wageningen, IMAG-DLO-rapport, 32 pp., f 35,00
- 93-9 Drost, H. en D. van der Drift – Vergelijkend arbeidshygiënisch onderzoek in twee huisvestingssystemen voor leghennen. Onderzoek naar omgevingscomponenten en ODTs-symptomen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 54 pp., f 40,00
- 93-10 Uenk, G.H., Demmers, T.G.M. en M.G. Hissink – Luchtsamenstelling onder de overkapping van mestilo's vóór en na het mixen van de mest.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 22 pp., f 25,00
- 93-11 Aarnink, A.J.A., Houwers, H.W.J., Ouwerkerk, E.N.J. van en P.B. Hangelbroek – Vooronderzoek naar een milieu- en welzijnsvriendelijk huisvestingssysteem voor vleesvarkens. Mestscheiding, vloerkoeling en grote groepen dieren.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 41 pp., f 40,00
- 93-15 Loeffen, H. – CO₂-productiesnelheid als maat voor groei van de champignon *Agaricus bisporus*.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 75 pp. f 35,-
- 93-16 Swierstra, D. en M.J.M. van den Elzen. – Verhardingen voor containerteelt buiten: technische eisen en ontwerpvarianten.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 61 pp. f 35,00
- 93-23 Hoeksma, P., Oosthoek, J., Verdoes, N. en J.A.M. Voermans. – Reductie van ammoniakemissie uit varkensstallen door mestspoelen met beluchte spoelvloeistof.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 56 pp. f 40,00

De rapporten kunt u **schriftelijk** bestellen door overmaking van het genoemde bedrag op

Postbanknummer 3514771 ten name van IMAG-DLO te Wageningen, onder vermelding van het rapportnummer.

Reports must be ordered by transferring the appropriate amount (in Dutch Guilders) to the IMAG-DLO account, no. 3514771, at the Postbank, Wageningen, quoting the relevant report number(s)