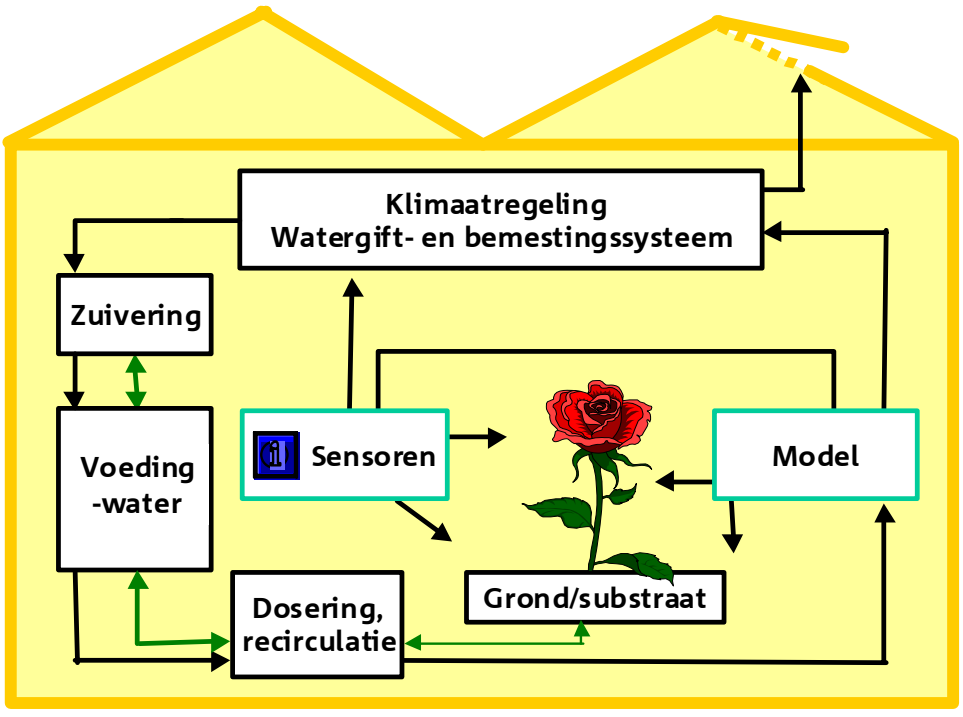
WAGENINGEN UR
For quality of life

Hydrion-line III:
On-line monitoring- en besturingssysteem voor proceswater in gesloten teeltsystemen in de glastuinbouw

Th. H. Gieling & M.A. Bruins



economieecologietechnologie
Productschap Tuinbouw
Voor een bloeiende zaak
landbouw, natuur en voedselkwaliteit
PRIVA
HortiMax growing solutions

Nota 504

WAGENINGEN UR
For quality of life

Hydrion-line III

On-line monitoring- en besturingssysteem voor proceswater in gesloten teeltsystemen in de glastuinbouw

Th.H. Gieling & M.A. Bruins

Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen
december 2007

Nota 504

© 2007 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw
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 enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen UR Glastuinbouw

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 permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for inaccurancies in this report.

Projecttitel:	Hydrion-line III: On-line monitoring- en besturingssysteem voor proceswater in gesloten teeltsystemen in de glastuinbouw
Auteur(s)	Th. H. Gieling en M.A. Bruins met behulp van alle deelprojectleiders
EET projectnummer:	EET/K02032
Looptijd:	1 juli 2003 – 30 juni 2007
Penvoerder:	WUR Glastuinbouw, Th. H. Gieling
Projectleider:	**Hortimax BV**, A.N.M. de Koning, plv **Priva BV**, D. Zwartveld

Openbaar eindrapport EET K021032 (Hydrionline III)

EET /K02032
Het project is uitgevoerd met financiële ondersteuning van Productschap Tuinbouw, subsidie van het Ministerie van LNV en van het Programma E.E.T. (Economie, Ecologie en Technologie) een gezamenlijk initiatief van de Ministeries van Economische Zaken, Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen en Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Het programma wordt uitgevoerd door het Programmabureau E.E.T., een onderdeel van SenterNovem.

This project is supported with a grant of the Productschap Tuinbouw, the Ministery of Agriculture, Nature Management and Food Quality and the Dutch programme EET (Economy, Ecology, Technology), a joint initiative of the Ministries of Economic Affairs, Culture and Sciences and Housing, Spatial Planning and the Environment. The programme is run by the EET Programme Office, a partnership of Senter and Novem.

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Bornsesteeg 65, 6708 PD Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

Abstract 1

Summary 3

Samenvatting (uitgebreid) 5

Samenwerkende partijen 7

Trefwoorden 8

1 Resultaten en perspectief voor toepassing 9

1.1 Doelstelling 9
1.1.1 Wensen van de partners 9
1.1.2 Werkwijze 10
1.2 Sensoren 10
1.2.1 Sensoren & Monitoringsystemen 10
1.2.2 Ionsensoren en -analysers 10
1.2.3 Modelgoot 12
1.2.4 Softsensoren voor opname van water en nutriënten 13
1.2.5 Lichtonderscheppingsensor 14
1.2.6 Fotosynthesesensor 16
1.3 Regelsystemen 17
1.3.1 Simplex optimalisatie 18
1.3.2 Basale regelaar watertoediening 19
1.3.3 Basale regelaar nutriënttoediening 20
1.3.4 Model-based feedforward regelaar 22
1.3.5 Model-based optimal controller 23
1.3.6 Adviessystemen 26
1.3.7 Productie & kwaliteit in relatie tot wateren nutriënten 26
1.3.8 Marktintroductie 27
1.3.9 Algemene marktactiviteiten 27
1.3.10 PR en Publicaties 27
1.3.11 Marktactiviteiten Priva BV 27
1.3.12 Marktactiviteiten Hortimax BV 30
1.3.13 Marktactiviteiten Hydrion BV 31
1.4 De proof-of-principle test en de praktijkproeven 32
1.4.1 De Proof-of-pinciple test 32
1.4.2 De praktijkproeven 33

2 Publicaties 35

Bijlage I. Contactpersonen 1 p.

Abstract

Doel

Hydrionline III, het derde Hydrionline-project op rij, startte met als doel de toepassing van gesloten teeltsystemen in de glastuinbouw te bevorderen. Een geïntegreerd monitoring- en besturingssysteem voor optimale besturing van de hoeveelheid en samenstelling van de voedingsoplossing werd gerealiseerd.

Methode

Hydrionline III gebruikt de op labschaal behaalde ontwikkelde kennis en resultaten van de voorafgaande Hydrionline projecten, om op praktijk niveau in de kas sensoren, monitoring-, advies- en regelsystemen te realiseren.

Samenwerking in onderzoek en ontwikkeling

Het Hydrionline III project werd geleid door een team van ondernemers en onderzoekers. De coördinator uit het bedrijf Hortimax b.v. en de secretaris van het coördinatieteam uit het bedrijf Priva b.v.. De onderzoekaansturing door Wageningen UR, m. n. de instituten Wageningen UR Glastuinbouw, Alterra en leerstoelgroepen van WUR-AFSC en WUR-PSG.

De bedrijven Priva BV en Hortimax BV hebben praktijktests uitgevoerd van de apparatuur die tuinders die samen met Productschap Tuinbouw speciaal daarvoor waren geselecteerd.

De tuinders Jakom in Huissen (Komkommer), Van de burg in Est (Paprica), Van de Berg in Est (Paprica), Van de Lans Westland (Tomaat), Ammerlaan Rijzenhout (Rozen) en GreenQ in Bleiswijk werden bereid gevonden apparatuur in hun kas te testen. Wageningen UR PPO-Glastuinbouw heeft de praktijkproeven bij tuinders begeleid.

Resultaten

1. Een ionen-meetsysteem waarmee nauwkeurig on-line de samenstelling van de circulerende voedingsoplossingen kan worden gecontroleerd. Hiermee kunnen temperatuur, pH en EC en macro-ionen worden gemeten: Na^+, K^+, Ca^{2+}, NH_4^+, Cl^-, NO_3^-, HCO_3^-, $H_2PO_4^-$/HPO_4^{2-} en SO_4^{2-}.
2. Een on-line meetsysteem voor het meten van fysische en fysiologische parameters van een gewas, zoals actuele en potentiële fotosynthese, verdamping, plantgewicht en bladdichtheid, groei, drain hoeveelheid/plant, gietwater hoeveelheid/plant . Een softsensor voor water- en nutriënt opname door de plant.
3. Een installatie waarbij de verschillende voedingselementen afzonderlijk kunnen worden gedoseerd om 'real-time' aanpassingen van de voedingsoplossing te kunnen realiseren
4. Een substraatmodel om de effecten op de beschikbaarheid van water en meststoffen voor de plant te voorspellen veroorzaakt door verandering in de fertigatie of fertigatie strategie.
5. Gewas specifieke groeimodellen (met feed-back van on-line plantensensoren), waarmee doelstellingen t.a.v. productiviteit, kwaliteit, milieueisen en energieverbruik kunnen worden gekozen, om tot een ecologisch en economisch verantwoorde productie te komen.
6. Simpele basale regelaars voor water- en nutriëntentoediening, waarbij de drain flow en de specifieke ionconcentraties in de drain op een vooringestelde waarde worden gehouden.
7. Een geïntegreerd model-based optimal control systeem dat in staat is 'real-time' metingen en de uitkomsten van simulatie berekeningen van zowel het gewasgroeimodel als het substraat-model te integreren tot zinvolle besturingsopdrachten terwijl deze op verschillende tijdshorizonnen effect hebben op het productieproces.
8. Een datamanagement systeem waarin resultaten van teelten in het verleden samen met toen geldende interne en externe teeltomstandigheden worden geïntegreerd tot een adviserend productie management systeem. Het kan automatische regelacties genereren of handbediende besturing via instructies aan de tuinder.

Summary

Aim

The goal of Hydrionline III, the third Hydrionline-project on a row, is to realize in horticulture practice new instruments equipments and methods to minimize the waste output of plant production in greenhouses by enabling a true closed growing system.

Modern control technology keeps the use of recycled return water from the plants in close gear with the supply of nutrients and water.

Method

Closed growing systems are enhanced with sensors connected to an integrated monitoring- and control system to realize optimal uptake of nutrients and water by the plants, by means of model-based optimal control of the solution flow and of the concentration of each nutrient ion.

Collaboration in R&D

Managed by a team of entrepreneurs and researchers, the R&D project team of Hydrionline III realized a set of products that are available for further development and commercialization by the three participating commercial firms Priva BV De Lier, Hortimax BV Pijnacker and Hydrion BV Wageningen.

Results

1. Ion analyzers to determine temperature, pH, EC, Na^+, K^+, Ca^{2+}, NH_4^+, Cl^-, NO_3^-, HCO_3^-, $H_2PO_4^-$/HPO_4^{2-} and SO_4^{2-} of the drain and supply water in greenhouses.
2. A measuring system to determine on-line physical and physiological parameters of a crop in a greenhouse (i.e. actual and potential photosynthesis, evaporation, fresh weight of the plants, growth, yield, LAI, drain amount/plant, supply amount/plant). A softsensor for water- and nutrient uptake.
3. A dispenser/diluter for high concentration horticultural nutrient fluids to prepare a balanced nutrient solution for plants. The dispenser set is able to change the recipe of the solution “real time”.
4. A substrate model to predict the effect on availability of water and nutrients to the plants caused by changes in the nutrient solution or a changed fertigation strategy.
5. Self-learning adaptive crop specific plant growth models (with feedback by on-line plant sensors), used to set goals related to productivity, quality, environmental demands and energy use, in order to achieve an ecological sustainable and economical viable production.
6. Basal simple controllers for water- and nutrient application to the crop, based on keeping the drain flow and specific ion concentrations in the drain at a preset value.
7. An integral model-based optimal control system able to combine feedback of ‘real-time’ measurements and results of simulation calculations of both growth model and substrate model into useful control actions with effects on production on different time horizons.
8. A data management system to integrate results and historical data from crops in the past and actual data into an production management advisory system. It can generate automatic control actions or enable manual control by instructing the grower.

Samenvatting (uitgebreid)

Achtergrond

De bewuste burger eist dat de productie van voedsel op een maatschappelijk geoorloofde wijze plaatsvindt. Duurzaamheid, productveiligheid en levering van precies dat wat de consument vraagt aan kwaliteit t.o.v. prijs zijn hierbij belangrijke onderdelen. Veelbelovende initiatieven en innovaties grenzend aan de voedselketen mislukken vaak omdat randverschijnselen van de vernieuwing de (terechte) argwaan van de gebruiker/consument oproepen. Om hierop te kunnen inspelen hebben de overheid en de tuinbouwsector afspraken gemaakt om de milieubelasting te verminderen (Convenant Glastuinbouw en Milieu). Zo zijn vergaande eisen gesteld aan het energiegebruik en de CO_2-uitstoot en moet in 2010 de emissie van stikstof en fosfaat met 95% gereduceerd zijn t.o.v. het referentiejaar 1985. Hoewel deze afspraken tussen de sector en de overheid zijn vastgelegd in een convenant, is het aan de technologische innovatie om hierop een antwoord te geven, zodat de productie van veilig voedsel wordt gewaarborgd en de tuinder een kans krijgt zijn bedrijf te continueren. Automatiseringsbedrijven die toeleverancier van de glastuinbouw zijn, zijn de aangesproken instanties om een deel van deze innovatieve technologieën in de markt te zetten. Voor een deel van de problematiek zijn inmiddels oplossingen voorhanden. Voor een aantal probleemgebieden is de ontwikkeling nog niet ver genoeg om alle economische doelstellingen en alle milieu- en veiligheidsdoelstellingen te kunnen halen.

Voorafgaande projecten

De serie Hydrionline-projecten is in drie fasen opgezet. Fase één -**Hydrionline I**- was vooral de onderzoekfase, waarin mogelijkheden en onmogelijkheden op fysisch, fysiologisch en techno-logisch gebied werden verkend. Ideeën, die konden voldoen aan de EET vraagstelling, werden gegenereerd en op laboratoriumschaal uitgeprobeerd. In deze fase waren er nog geen belemmerende gedachtes of de ideeën buiten het lab zou kunnen functioneren.
In **Hydrionline II** werd vooral de praktische haalbaarheid van de resultaten van Hydrionline I onderzocht. Omdat de betrokken bedrijven vanuit commercieel oogpunt duidelijk belangstelling toonden voor bepaalde onderwerpen, werd het onderzoek op een beperkt aantal ideeën uit Hydrionline I toegespitst en werd de verdere ontwikkeling op die onderwerpen gefocust. Eerste pogingen werden ondernomen om in een praktijknabije kas een proof-of-principle te leveren voor met name de levensvatbare ideeën. Hydrionline II was eigenlijk te kort. De overgang van lab naar kas en het testen in een kas bleek moeilijker dan in eerste instantie was ingeschat. De proof-of-principle kon niet voor alle onderwerpen goed worden uitgewerkt. Na Hydrionline II werd overwogen om hetzij verlenging van het project aan te vragen dan wel een vervolgproject aan te vragen. Inmiddels bleek de belangstelling van bedrijven voor de eindresultaten te zijn toegenomen. Dat maakte het mogelijk om, met nieuwe commerciële partners, een nieuw Hydrionline project in te dienen bij het Senter-Novem bureau van het Ministerie van Economische Zaken.

Hydrionline III

In de oorspronkelijke doelstelling staat centraal:

- Het ontwikkelen van een geïntegreerd monitoring- en besturingssysteem voor optimale besturing van de voedingsstromen, toepasbaar in gesloten teeltsystemen in de glastuinbouw-praktijk, waarvan de basis wordt gevormd door een gewasmodel en een substraatmodel.
- Het toepassen van de Hydrionline III-resultaten in de praktijk leidt tot een optimaal functioneren van gesloten teeltsystemen in relatie tot water- en nutriëntentoediening. Voeding en hergebruik van recirculatiewater kunnen hiermee zodanig op elkaar worden afgestemd dat de afvalstroom tot aan de grens van het fysisch haalbare wordt beperkt.
- De Hydrionline-producten worden gebruikt om in te spelen op het productieniveau en de kwaliteit van het product.

De projectresultaten, in de vorm van producten, brengen een directe koppeling tot stand tussen de volgende grootheden en processen in de kas:

- een plant-substraatmodel wordt voorzien van on-line informatie via het meten van het (micro)klimaat, de fysiologische respons en de status van het gewas met on-line plantsensoren voor lichtonderschepping en fotosynthesecapaciteit en de concentratie van individuele meststoffen in het wortelmilieu
- het plant-substraatmodel berekent on-line de groeipotentie en de hiermee verbonden vraag naar meststoffen en water
- een meetgoot meet per plant: de wateropname, de verdamping, de hoeveelheid gietwater en de hoeveelheid drain
- toegepast op een model van het gootsegment bepaalt een softsensor de momentane wateropname en de momentane nutriëntopname per ion. Hierbij wordt gebruik gemaakt van dynamische state-space evaluaties uit de moderne systeemtechniek
- een beslissingondersteunend systeem baseert zich op het on-line plant-substraatmodel, en adviseert over de verwachte hoeveelheid water en nutriënten die gedurende de komende dag wordt opgenomen
- doseerapparatuur voor meststoftoediening wordt bestuurd door een regelaar, die op basis van optimal model-based control het water en de nutriënten toedient, via een chemisch haalbaar en technisch uitvoerbaar bemestingsrecept, aan een mengsel van hergebruikt retourwater en schoon water
- integratie van (meet)gegevensstromen en besturingsdata in een software- en hardware omgeving voor procesbesturing en beslissingsondersteuning in een z.g. SCADA (supervisory control and data acquisition system)

Status van de producten

Wat werd opgeleverd: Tal van wetenschappelijke publicaties, posterpresentaties, publicaties in vakbladen en presentaties voor tuinders en bezoekers werden gerealiseerd naar aanleiding van R&D in kassen, werkplaatsen en laboratoria. De rapporten en de publicaties beschrijven hoe, binnen de grenzen van economische haalbaarheid, ecologische uitgangspunten kunnen worden bereikt. In Hydrionline III werd de wetenschappelijke uitdaging en de uiteindelijke EET-ambitie gevonden in het geïntegreerd inzetten van innovatieve technologie in een totaalsysteem in praktijkomstandigheden.

Tijdens proof-of-principle experimenten werd vastgesteld dat milieubesparing samen met kwaliteit- en productiesturing mogelijk is en dat de oorspronkelijke ambitieuze doelstellingen haalbaar zijn. Zowel proof-of-principle experimenten als experimenten bij tuinders toonden aan, dat verschillende producten het stadium hebben bereikt van een haalbaar praktisch toepasbaar eindresultaat. Het betreft hier: ionspecifieke concentratiemeting, lichtreflectiemeting, fotosynthese monitor, wateropname en drainhoeveelheid meting via een meetgoot, reconstructie van de wateropname door de plant via een softsensor en de basale regelaars voor water en nutriënten. Ook het beslissingsondersteunende adviessysteem toont markt-potentie. Dit kwam naar voren tijdens een evaluerende workshop waar Hydrionline III resultaten werden gepresenteerd en deelnemende tuinders daar positief op reageerden.

Wat werd er niet bereikt: De technologische haalbaarheid van de onderdelen “reconstructie van ionopname door de plant” en “optimal model-based regelaars” werd aangetoond zowel in proof-of-principle experimenten als in praktijknabije kassen. Momenteel is het stadium van praktische toepassing nog niet bereikt. Wel zijn ze door de commerciële partners als zeer perspectiefvol aangemerkt. Praktische toepassing van deze producten is vooral afhankelijk van het beschikbaar zijn van een voor tuinders betaalbare ionconcentratie meetset per kascompartiment. Het uiteindelijke resultaat voor de tuinder wordt bepaald door wat de bedrijven werkelijk op de markt gaan brengen.

Samenwerkende partijen

Het samenwerkingsverband binnen Hydrionline III is uniek voor de Nederlandse glastuinbouw. Twee automatiseringsbedrijven, Hortimax BV en Priva BV en een bureau voor meettechniek, Hydrion BV, het Productschap Tuinbouw en vier kennisinstellingen van Wageningen UR pakken gezamenlijk de handschoen op om de EET-uitdagingen te realiseren.

Samenwerkende partijen	Postadres	Telefoon en Fax
WAGENINGEN UR	Wageningen UR Glastuinbouw Postbus 16 NL - 6700 AA Wageningen	T+31 (0) 317 48 05 27 F+31 (0) 317 42 31 10
HortiMax growing solutions	HortiMaX B.V. Postbus 65 NL - 2640 AB Pijnacker	T+31 (0) 15 3620300 F+31 (0) 15 3693038
PRIVA	PRIVA B.V. Postbus 18, NL - 2678 ZG de Lier	T+31 (0) 174 52 26 00 F+31 (0) 174 52 27 00
Hydrion	Hydrion B.V. Vadaring 70B, NL - 6702 EA Wageningen	T+31 (0) 317 41 55 51 F+31 (0) 317 41 53 84
WAGENINGEN UNIVERSITEIT	Wageningen Universiteit Vakgroep MRS/SCO, Postbus 43, NL - 6700 AA Wageningen	T+31 (0) 317 482 124 F+31 (0) 317 484 957
WAGENINGEN UR	Alterra Postbus 47 6700 AA Wageningen	T+31 (0) 317 48 18 72 F+31 (0) 317 41 90 00
WAGENINGEN UNIVERSITEIT	Wageningen Universiteit Vakgroep TPK/HPC, Postbus 9101, NL- 6700 HB Wageningen	T+31 (0) 317 47 74 77 F+31 (0) 317 48 48 48
economieecologietechnologie	Programmabureau EET Postbus 8242, NL - 3503 RE Utrecht	T+31 (0) 30 239 36 85 F+31 (0) 30 231 64 91
landbouw, natuur en voedselkwaliteit	Ministerie LNV, DK Bennekomseweg 41 6717 LL Ede	T+31 (0) 318 822500
Productschap Tuinbouw Voor een bloeiende zaak	Productschap Tuinbouw Louis Pasteurlaan 6 2719 EE Zoetermeer	T+31 (0) 79 3470707 F+31 (0) 79 3470404



De medewerkers van Hydrionline III:
F. Assinck, R.v.d. Boogaard, M. Bruins, J. Budding, M. Clement, F. Corver, G.v .Dijk, R. Dijxhoorn, T. Dueck, A. Elings, T. Gieling, D.de Haan, M. Heinen, E. Heuvelink, H. Janssen, J. Klap, A. de Koning, O.v. Kooten, J. Kornet, L. Marcelis, E. Meinen, B. Meurs, F. Mulckhuijse, R.v. Ooteghem, Reinhold, E. Roscam Abbing, J. Ruijsch, V. Sarlikioti, C. Stanghellini, J. Steenhuizen, H. Stigter, G.v. Straten, M. Teofanovic, D. Uenk, B. Vanthoor, J. Veenman, M.v.d. Vlugt, W. Voogt, J. Westra, M. Wijnvoort, G. Wieringa, G.v. Willigenburg, R.Zeelen, D. Zwartveld.

Trefwoorden

Trefwoorden: ionconcentratiesensor, monitoring, fertigatie, lichtonderschepping, fotosynthesemonitor, modelgoot, bladoppervlakte, basale regelaar watertoediening, basale regelaar nutriëntentoediening, modelgebaseerde voorwaartsgekoppelde regelaar, model gebaseerde teruggekoppelde regelaar, water- en nutriëntenkringloop, meetgoot, productie, productkwaliteit

Keywords: ion concentration sensor, monitoring, fertigation, light interception , photosynthesis monitor, measuring trench, leaf area, basal controller for water supply, basal controller for nutrient supply, model-based feedforward controller, model based feedback controller, water and nutrient recirculation, production, product quality

1 Resultaten en perspectief voor toepassing

1.1 Doelstelling

Het doel van het Hydrionline III project zoals het is af te leiden uit de EET opdracht:

- Het Hydrionline III project richt zich op een geïntegreerd monitoring- en besturingssysteem voor nutriënten en water bij kasteelt, dat het mogelijk maakt voor de commerciële partners hun marktaandeel wereldwijd te consolideren en uit te bouwen.
- Het project Hydrionline III richt zich hierbij op volledige sluiting van de kringloop van water en nutriënten waarbij geen stoffen weglekken naar de bodem en het grond- of oppervlaktewater.
- De technologische innovatie moet resulteren in een planmatige productie in de kas, zodat veiligheid, kwaliteit en hoeveelheid product voortdurend via informatie uit de keten kunnen worden afgestemd op de eisen van de overheid en op de veranderende consumentenvraag.

Bij de uitvoering van het project zijn 4 deelprojecten te onderscheiden:

1. Sensoren (techniekontwikkeling),
2. Monitoringsystemen (concepten en software om sensoren te gebruiken)
3. Plantmodellen en Besturingssystemen (basale, uitgebreide en model-based besturing)
4. Advies en waarschuwingssystemen (hoe kan de tuinder het systeem inzetten).

Voor het bereiken van deze doelstellingen is het samenwerkingsverband t.o.v. Hydrionline II uitgebreid met het automatiseringsbedrijf PRIVA BV, waardoor een bredere toepassing van de resultaten gewaarborgd is. Het team van partners is uitgebreid met Praktijkonderzoek Plant en Omgeving en Productschap Tuinbouw om tegemoet te komen aan de behoefte van de bedrijfs-partners tot verificatie van de concepten en testen van β-releases in de praktijk.

1.1.1 Wensen van de partners

De commerciële partners hebben, met het oog op de doelstelling, bij aanvang van het project Hydrionline III een beperkte lijst met wensen geformuleerd. Gedurende de looptijd van Hydrionline III is gewerkt de realisering ervan. De onderzoekinstellingen breidden deze lijst uit met enkele wetenschappelijk innovatieve producten om nieuwe technologie in te brengen, die in concept was ontstaan gedurende de looptijd van Hydrionline I en II. De lijsten “praktijk” en “wetenschap” samen leverden het totale pakket aan producten op waar uiteindelijk aan is gewerkt.
Producten haalbaar voor een marktintroductie (1 t/m 4) en haalbaar op lange termijn (5-6):

1. Het kunnen meten van flow en nutriëntenconcentraties on-line in drain en aanvoer.
2. Het regelen van water- en nutriëntengift (basale regelaar) op basis van directe terugkoppeling van de drain flow en nutriëntenconcentraties in de drain.
3. Vaststellen van de dagelijkse opname van het gewas.
4. Adviessysteem voor nutriënttoediening
5. Referentiekader voor de variabelen en instellingen
   a) tuinders creëren een kader door het vergelijken van cijfers
   b) modellen geven aan wat dit kader is.
6. Model-based regelaar voor water en nutriënten.

De werkwijze tijdens het onderzoektraject was er op gericht ieder product zijn eigen autonome ontwikkelingskans te gunnen, echter wel volledig ingebed in de prioriteitstelling van het eisenpakket van de commerciële partners.
Bij vragen rondom prioritering was aan hen het laatste woord.

De tuinbouwpraktijk was door deelname van tuinders in twee workshops betrokken bij het project. Daarbij werd vooral de mening van de tuinder gehoord die daarna werd ingebracht in het onderzoek, vlak voor en tijdens de evaluatie in de praktijkkassen. Met name hun mening over de implementatie, praktijkbenadering, hanteerbaarheid,

manier van inzet en economische- en (teelt-)technische haalbaarheid was van belang. Ook de wenselijke prijsstelling van de producten werd meegenomen met daaraan verbonden het economische rendement voor de tuinder.

1.1.2 Werkwijze

De hoofdlijn van Hydrionline III richt zich op:
- sensoren, analysers en monitoren
- inzet van een plant-substraatmodel bij besturing en advisering
- basale en modelgebaseerde automatische besturing van toediening van water en nutriënten
- een beslissingsondersteunend systeem voor water en nutriënttoediening dat zijn advisering baseert op een model van plant en substraat
- marktintroductie van de producten en wetenschappelijke output van het onderzoek

De mogelijkheid om de resultaten in praktijk te brengen werd vergroot door toetreden van een nieuwe commerciële partner in het project.

1.2 Sensoren

1.2.1 Sensoren & Monitoringsystemen

Het meten aan planten, (micro)klimaat, water- en nutriëntentoediening, proces installatiedelen en buitenklimaat gebeurt gewoonlijk met meetopnemers, ook wel aangeduid als sensoren. Sensoren kunnen voor een bepaald doel worden bijeengezet in een centrale, gemeenschappelijke (geconditioneerde) kast waar monsters van de te bemeten stof aan worden toegevoerd. Voorbeelden zijn: de klimaatmeetbox in de kas, de CO_2-analyser, de meteo-mast met opnemers voor het waarnemen van het buitenklimaat en de ionconcentratie-analyser.

Er is sprake van een monitoringsystemen wanneer aan sensoren en analysers een softwareomgeving wordt gekoppeld, waarmee meetdata worden opgeslagen in een database. De meetdata kunnen worden omgezet van een ruwe meetwaarde naar een fysisch betekenisvol getal (mV ➔ ^oC). Deze getallen kunnen zichtbaar worden gemaakt in grafieken en hun betekenis kan worden geïnterpreteerd voor de gebruiker. Hiervoor wordt de term SCADA systeem gebruikt (Supervisory Control and Data Acquisition).

Het SCADA-systeem ten behoeve van het Hydrion III-project beschikt over de volgende eigenschappen:
- Het is een real-time database, die op afstand via internet te benaderen is. De database bevat de meetdata, de berekende waarden van parameters, de uiteindelijke regelacties en de nutriëntrecepten.
- Het bevat de meetprotocollen voor het gebruik van sensoren. Hierbij wordt aangegeven hoe te meten, met welke sensor, op welke plaats, aan hoeveel planten op welk tijdstip, etc.
- Software voor presentatie van en interpretatie door de gebruiker van de sensorgegevens en de registraties.

Het SCADA systeem is na het project voor de gebruikers beschikbaar. De ion-analyser van Hydrion BV is er mee uitgerust en is hiermee een toegankelijk en goed hanteerbaar instrument geworden.

1.2.2 Ionsensoren en -analysers

Het meten van de concentratie van meststofionen werd uitgevoerd met sensoren die zijn ingebouwd in ion-analysers en ion-monitoren. Hydrion BV en Priva BV ontwikkelden beiden binnen het Hydrionline project ionconcentratiesensoren, die zij in de eigen analysers toepasten.

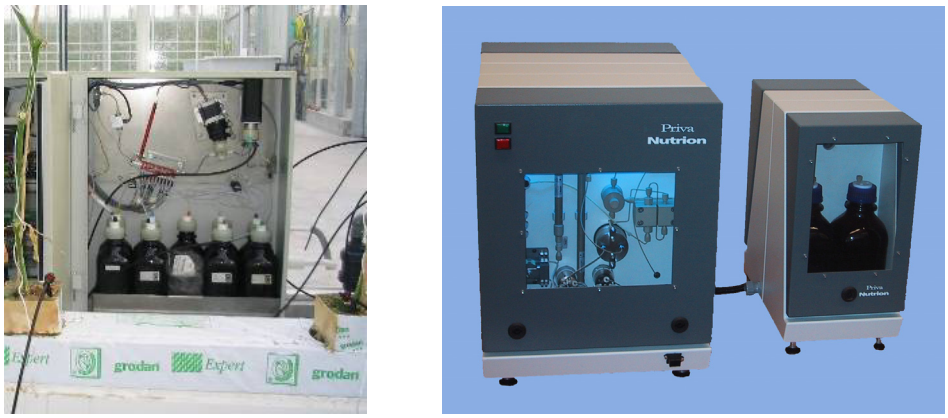


Figuur 1. *Hydrion BV sensoren op basis van ISE (links) en kunstwortels voor het nemen van een sample uit de substraatmat.*

Hydrion BV paste zijn reeks van ISE elektroden aan met extra elektronica tot “smart” ion-sensoren (Figuur 1 links). De sensoren beschikken nu over een verbeterd output signaal (output impedantie en signaalspanning) en instelbare fine-tune parameters. De sensoreigenschappen worden via een ijkprocedure in het fabricagelab op elke individuele sensor vastgelegd in een PROM-geheugen. De analyser van Hydrion BV is voorzien van extra appendages voor het schakelen tussen de aanvoer van verschillende watermonsters en voor het verzamelen van watermonsters uit de aanvoer- en de retourleidingen. Er zijn “kunstwortels” ontwikkeld voor het nemen van watermonsters uit de substraatmat (Figuur 1 rechts).

Status van het product

De analyser, de kunstwortels en de sensorensets zijn bij Hydrion BV inmiddels commercieel verkrijgbaar. Toelevering van de analysers gebeurt vooral richting bewaking van de drinkwaterkwaliteit en richting onderzoeklaboratoria. De prijsstelling van de analyser is een drempel voor toelevering aan de glastuinbouw.



Figuur 2. *Ion analyser op basis van ISFET sensoren (links) en HPLC-techniek (rechts).*

Priva BV ontwikkelde binnen Hydrionline III een ionconcentratiesensor op basis van ISFET technologie. De sensor is toegepast in een analyser die is getest in de proefkas en bij tuinders in praktijkomstandigheden. Het (massa)productieproces rondom de ISFET-sensor bleek uiteindelijk geen betrouwbare sensoren op te leveren voor toepassing in een kasomgeving (Figuur 2 links). Als alternatief is daarna door Priva BV binnen het Hydrionline project

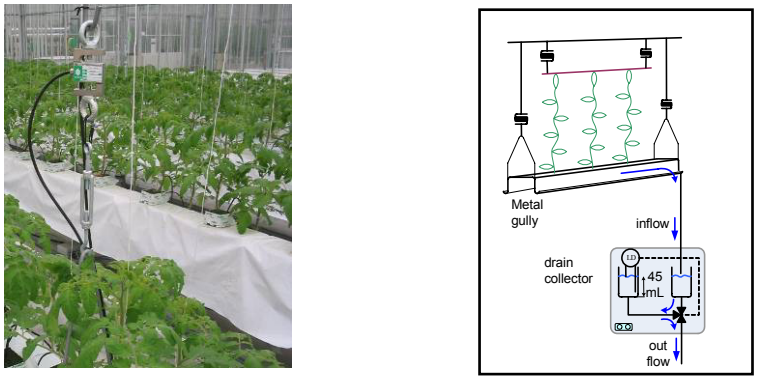
een tweede analyser ontwikkeld op basis van het HPLC-principe. Deze analyser is in een kleine serie in productie genomen. (Figuur 2 rechts).

Status van het product

De HPLC-analyser van Priva BV is in het laatste stadium van productontwikkeling.
De verschillende tussenvormen van het product zijn in 2005 en 2006 aan de tuinbouwwereld voorgesteld op de tuinbouw techniekbeurs Hortifair. Of deze analyser in de tuinbouwmarkt met succes kan worden geplaatst is twijfelachtig. Het verwachte prijsniveau is zodanig dat dit niet haalbaar lijkt voor een brede toepassing in de tuinbouw.

1.2.3 Modelgoot

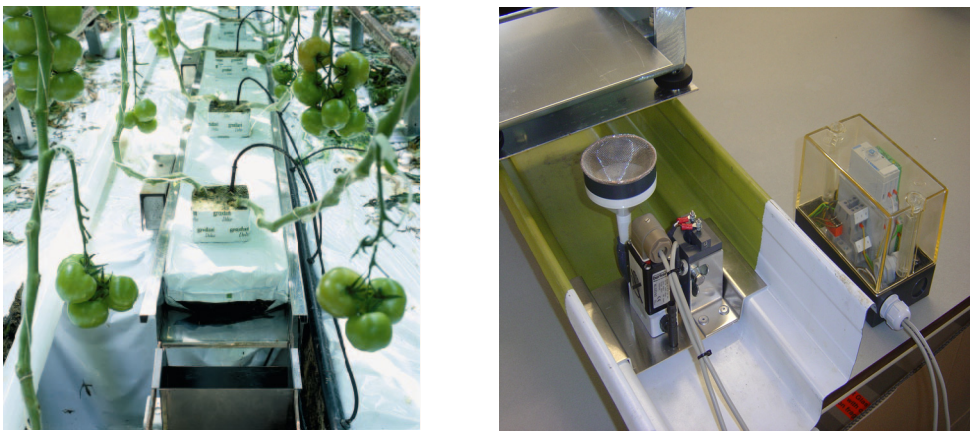
De bedrijven Priva en Hortimax ontwikkelden elk een prototype meetgoot die past bij hun eigen productenpalet. Overwogen wordt om voor onderdelen hiervan bescherming via een octrooi aan te vragen. Ideeën uit de Hydrionline III ontwikkelingen, resultaten van eerdere onderzoekprojecten en inbreng via patentovername werden aangevuld met ontwikkelingen uit de eigen ontwikkelafdelingen van de bedrijven. Ze leidden tot praktijkwaardige prototypen. Software en hardware werd zodanig toegankelijk ontwikkeld dat dit niet alleen goed aansloot bij de proefinstallaties binnen het Hydrionline III project, maar vooral ook goed past binnen de eigen commerciële systemen en productlijnen.



Figuur 3. Schematische weergave van de ProDrain modelgoot (rechts) en een realistische opstelling in een kas bij een tuinder-gebruiker.

De ProDrain modelgoot van Hortimax BV is een uitbreiding van de standaardgoot, waarmee het mogelijk wordt om door meting van het gewicht van de goot en de daarop geplaatste planten een aantal belangrijke plantvariabelen te bepalen (Figuur 3).

Zo kunnen als meetwaarde worden vastgesteld:
- de hoeveelheid water in het substraat (relatief ten opzichte van het verzadigingsgewicht van de substraatmat),
- de watergift aan de planten,
- de wateropname van de planten, de hoeveelheid drain,
- de verdamping van de planten, de groei van de planten.



Figuur 4. *Opstelling van de drain-sampler in combinatie met matgewichtmeting van de firma Priva BV op basis van weegschalen (rechts), en een realistische opstelling in een kas van een tuinder-gebruiker (links).*

De firma Priva B.V. ontwikkelde een meetgoot op basis van gewichtsmeting, mede naar aanleiding van de onderzoekresultaten van Hydrionline III. Met de meetgoot worden gemeten:

- Gewasgroei,
- Matgewicht,
- Drainhoeveelheid per tijdseenheid

De gemeten grootheden worden ingezet om regeling van het watergehalte in de mat te optimaliseren en de verdamping van het gewas te bepalen als stuurparameter voor het wortelmilieu.

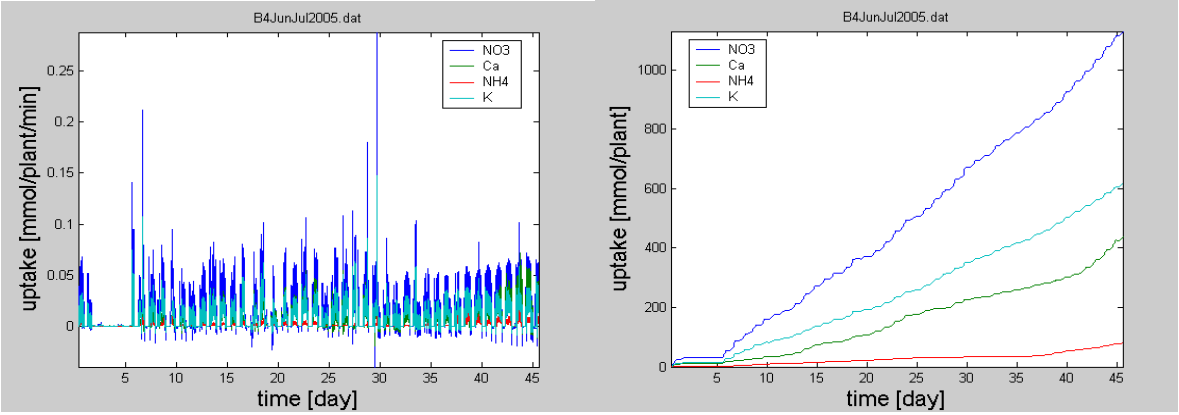
Status van het product

De meetgoot van de firma Hortimax is getoond op de tuinbouwtechniekbeurs Hortifair 2005 en is inmiddels commercieel verkrijgbaar. De meetgoot werkt bij enkele tuinders in de praktijk.
De weeggoot van de firma Priva is in een laatste fase van productontwikkeling en wordt op kleine schaal uitgetest bij een select aantal tuinders en een proefbedrijf.

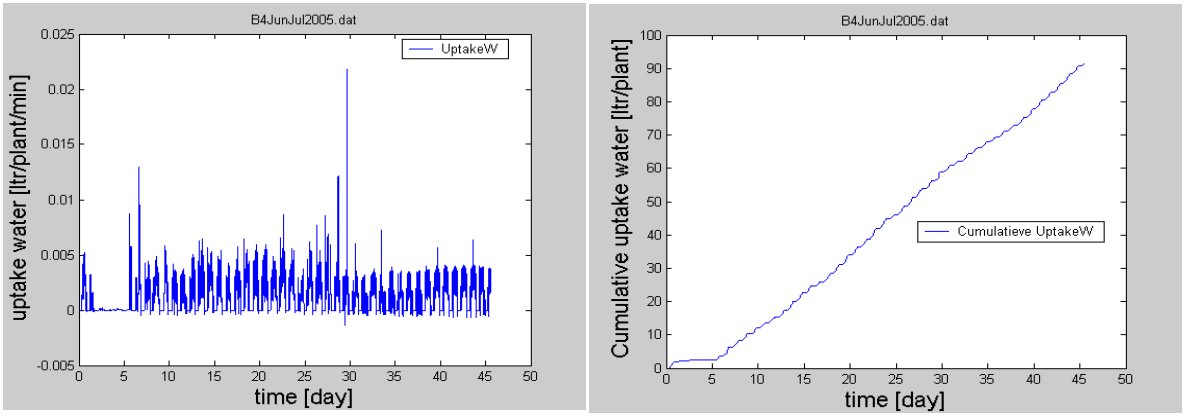
1.2.4 Softsensoren voor opname van water en nutriënten

Data van supply en drain, ionconcentraties in de aanvoer- en de drain van de modelgoot (komkommerplanten op substraat) werden gemeten. Met de meetdata werd via een recursive-prediction error algoritme de opnamesnelheid berekend voor elk ion apart (Figuur 5) en voor water (Figuur 6).

De resultaten van simulaties met werkelijk gemeten data op het ontworpen model komen overeen met wat mag worden verwacht. Dit geldt zowel voor de onderlinge verhouding van de opname van verschillende ionen als voor de beoordeling van tuinbouwkundigen. Soms vertonen de data negatieve opnamesnelheden. De mogelijke oorzaak is het uitspoelen van de nutriënten bij de eerste watergeefbeurt s'ochtends. De nutriënten accumuleren tijdens de nacht en spoelen dan uit.



Figuur 5. Bepaling van de ionopname via reconstructie met behulp van de meetgootdata.



Figuur 6. Bepaling van de wateropname via reconstructie met behulp van de meetdata.

Status van het product

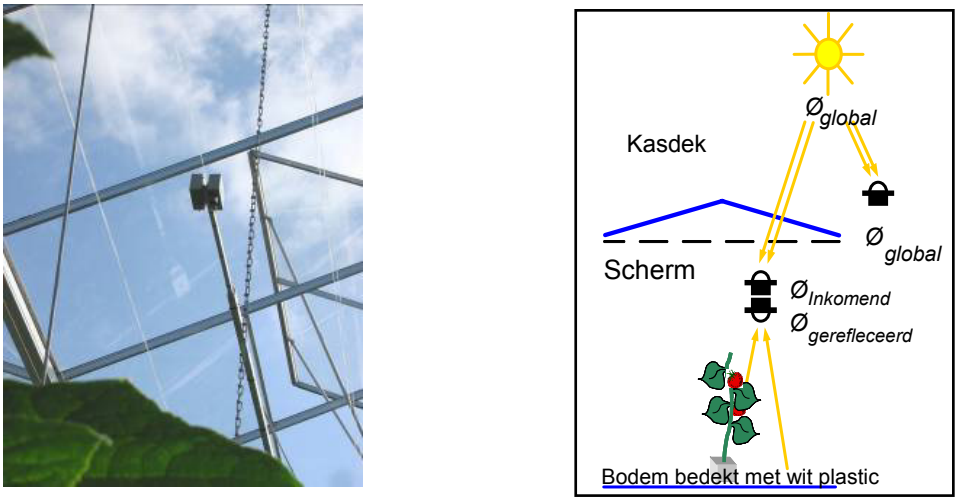
Het model kan worden uitgebreid met water en nutriëntenhoeveelheid opgeslagen in de mat als extra parameter, waarvan de waarde kan worden geschat m.b.v. een recursive parameter estimation procedure.
Voordat resultaten in de praktijk bruikbaar zijn, is nader onderzoek naar deze uitbreiding. Verbetering van de resultaten wordt mogelijk door verbeteringen in de meetresultaten van de ionsensoren.

1.2.5 Lichtonderscheppingsensor

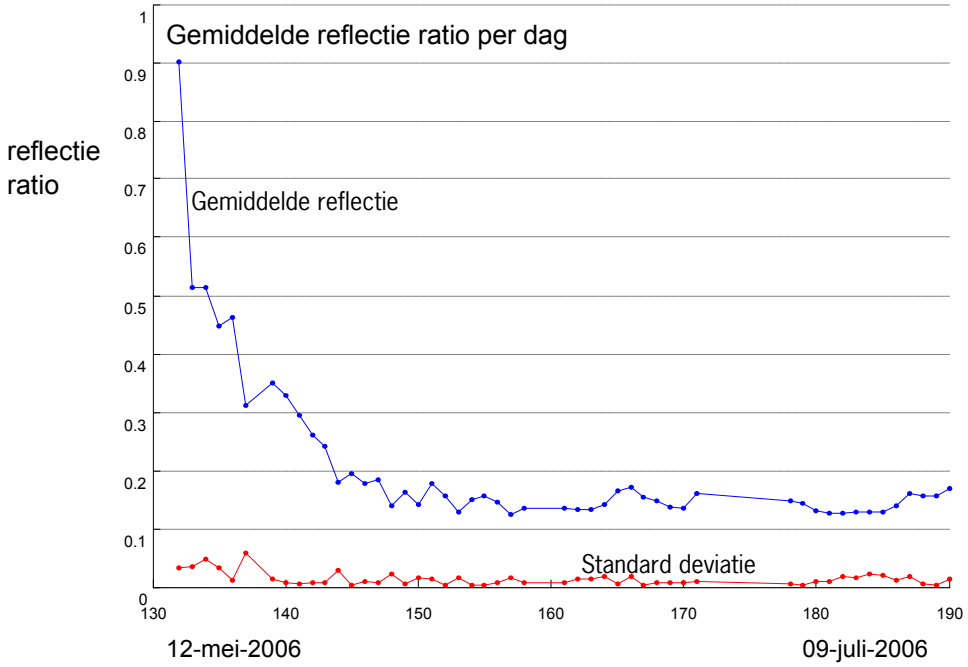
De lichtonderscheppingssensor is een instrument met een relatief eenvoudige mechanische en elektronische uitvoering voor het meten van gereflecteerde straling in één bepaalde golflengte.

Een uitvoerig product-deelrapport beschrijft de opbouw van het instrument, de elektronische uitvoering, de componenten en de mathematische methoden voor het uitfilteren van de signalen. In Figuur 7 is een globale schematische weergave gegeven van de toepassing van het instrument (rechts) met daarnaast een realistische weergave van een proefopstelling bij een tuinder-gebruiker. Figuur 8 toont het meetresultaat van de sensor over een deel van het teeltseizoen met door filteralgoritmen bewerkte data.

De sensoren werden getest in de praktijk bij een viertal tuinders en bij GreenQ.



Figuur 7. *Lichtonderscheppingsensor gemonteerd in de kas.*



Figuur 8. *Ratio van de gereflecteerde- en de globale straling bij 460nm.*

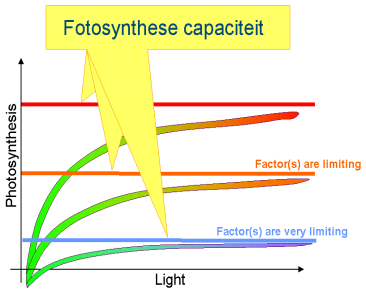
Status van het product

De firma Priva BV ontwikkelde een eerste serie instrumenten, als prototype, die werden gebruikt voor testdoeleinden in het Hydrionline III project. Marktintroductie hangt af van een marktverkenning van de bedrijven Priva BV en Hortimax BV.

1.2.6 Fotosynthesesensor

Naast volledige sluiting van de kringloop van water en nutriënten richtte Hydrionline III zich tevens op planmatige productie. Veiligheid, kwaliteit en hoeveelheid van het product moeten voortdurend via informatie uit de keten kunnen worden afgestemd op de veranderende consumentenvraag en op de eisen van de overheid.





Figuur 9. Fotosynthese metingen tijdens het onderzoek (links) en de relatie straling/fotosynthese bij verschillende limiterende factoren (rechts)

Monitoring van fotosynthese past in de huidige trend om plant-based informatie steeds meer te betrekken bij:
- het opbouwen van ervaring van de tuinder,
- de sturing van het kassysteem en
- de ondersteuning van off-line beslissingen.

Fotosynthese en ademhaling worden sterk beïnvloed door zowel momentane klimaatomstandig-heden als door het water- en nutriëntengehalte van de bladeren (stikstof, N in het bijzonder).
Goede redenen voor een tuinder om de assimilatie te willen monitoren (en te sturen) zijn:
- voorkomen van suboptimale klimaatomstandigheden
- besturen van de watergift
- op-maat toediening van nutriënten
- inzicht verkrijgen in de effecten van klimaatsturing, zoals CO_2-injectie, kunstlicht, ventilatie en verwarming
- optimale toepassing van zulke ingrepen, gezien de (energie)kosten van kunstlicht en CO_2-toediening, in relatie tot de te verwachten opbrengst.

Momentane fotosynthese is een moeilijk interpreteerbare grootheid, o.a. door de vele plant- en klimaatfactoren die de fotosynthesesnelheid kunnen beïnvloeden. De fotosynthesecapaciteit (de fotosynthesesnelheid wanneer licht niet limiterend is) lijkt om die reden de meest geschikte parameter voor dit doel (Figuur 9). Het geeft informatie of andere klimaatfactoren (zoals CO_2) of plantfactoren (zoals beschikbaarheid van water en of nutriënten) suboptimaal zijn.

De conclusies zijn:
- de fluorescentiemetingen zijn te gebruiken als indicator van de fotosynthese. De vertaling kan d.m.v. een simpel model, dat slechts rekening houdt met CO_2 concentratie en luchttemperatuur in de kas. De parameters van de fluorescentie/lichtresponscurve verschaffen hierbij de gezochte informatie over de fotosynthesecapaciteit van het gewas. Regelmatige metingen van chlorofylfluorescentie zijn mogelijk in een praktijkkas en ze kunnen dienen als input voor een dosering van nutriënten gebaseerd op plantbehoefte.
- de fotosynthesecapaciteit van gezonde planten kan goed worden voorspeld uit klimaat-/gewasgegevens. Dit biedt perspectief voor de toepassing van fluorescentie-metingen in expertsystemen en beslissingsondersteunende systemen, om mogelijke afwijkingen vroegtijdig op te sporen.

- Het is mogelijk om een chlorofylfluorescentie responscurve als functie van stralings-hoeveelheid op een semi-automatische wijze in een commerciële kas te meten. Voor toepassing in een adviessysteem is een meting per één à twee dagen aan te bevelen.
- Een bezwaar is dat de nauwkeurigheid van de meting vereist dat de afstand tot het blad bepalend is voor de meting en dat bij de onderzochte instrumenten om die reden het blad wordt ingeklemd voorafgaande aan de meting (Figuur 10). Dit bemoeilijkt een continue on-line meting.



Figuur 10. Het commercieel verkrijgbare instrument FL2LP van de firma QUBIT, zoals gebruikt in het Hydrionline III onderzoek. Een blad van een plant wordt gefixeerd t.o.v. de meetkop en een lichtbron.

Status van het product

Een uitgebreid eindrapport beschrijft hardware, software en het gebruikte model. Er is een marktverkenning uitgevoerd t.a.v. commercieel verkrijgbare producten. De potentiële markt voor fluorescentiemetingen in de commerciële kastuinbouw wordt vooralsnog beperkt door de prijsklasse van de sensors en door het genoemde bezwaar in het laatste conclusiepunt wat de hanteerbaarheid sterk beperkt. Automatische meting van de bladafstand komt hieraan enigszins tegemoet, maar verhoogt de prijs van het instrument.

1.3 Regelsystemen

Het kunnen meten en het beschikbaar hebben van sensoren of monitoring- en adviessystemen, verdiepen kennis en inzicht van de tuinder over wat er in zijn kas en rondom zijn planten afspeelt. Echter, sensoren en monitoringsystemen zijn op zichzelf niet voldoende om daadwerkelijk geautomatiseerd in te grijpen in de processen die zich afspelen in de kas. Daarvoor zijn machines en apparaten nodig die als “actuator” in staat zijn het proces te beïnvloeden. Bij het toedienen van water- en nutriënten is dat de watergeefapparatuur, gekoppeld aan de doserings-apparatuur voor nutriënten. Deze apparatuur moet in staat zijn de gewenste hoeveelheid water en kunstmest tijdig bij de wortels van de plant te brengen, waarbij de eigenschappen van de installatie en het substraat een grote rol spelen.

In de bestaande situatie is snelheid van reageren meestal niet een beperkende factor. Echter bij de hier voorgestelde manier van toepassen wordt de optimale situatie pas echt goed benut wanneer limiterende omstandigheden voor water en nutriënten worden voorkomen. Tijdigheid en snelheid van reageren zijn dan juist wel bepalende factoren.

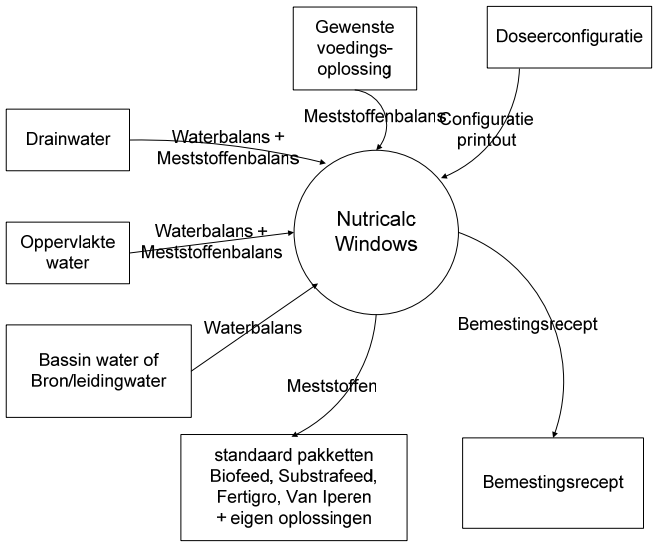
Hoe deze apparatuur moet reageren, om te voldoen aan de vraag van de plant naar water en nutriënten, wordt mede bepaald door de besturing in dit totale systeem van plant-opnameproces-sensor-regelaar-doseerapparatuur. De moderne regeltechniek vertaalt dit naar eisen die moeten worden gesteld aan de dynamica van het totale

systeem: meetsysteem, besturing, proces. Na het ontwerp van kas, teeltsysteem en doseerapparatuur heeft de ontwerper de beschikking over de dynamische eigenschappen van de regelaar. Hiermee kan hij de tijdsgerelateerde acties van de actuatoren instellen, om de automatische besturing optimaal af te stemmen op eisen van stabiliteit en nauwkeurigheid van het totale systeem.

Voor dit doel werd in het Hydrionline III onderzoek aandacht besteed aan een viertal regelaars. De regelaars waren ontworpen voor besturing van de water- en nutriëntentoediening en voor het uitbalanceren van de meststof-ionen uit verschillende voorraadbronnen in een waterige oplossing (de z.g. Simplex optimalisatie):
i) simplex optimalisatie, ii) basale regelaar voor water, iii) basale regelaar voor nutriënten, iv) model-based feedforward regelaar voor water en nutriënten, v) model-based optimal feedback controller voor water en nutriënten,.

1.3.1 Simplex optimalisatie

De firma's Priva en Hortimax pasten gezamenlijk software aan (Nutricalc Windows) op het berekenen van de dosering van vloeibare of poedervormige meststoffen in een waterige oplossing (Figuur 11). De software gaat uit van een opgegeven recept van het gietwater en benadert de gewenste concentratie van alle ionen zo dicht mogelijk.



Figuur 11. Gemeenschappelijk ontwikkelde software voor het aansturen van de meststofdosering.

De berekeningen worden uitgevoerd op basis van de gegeven samenstelling van de enkelvoudige meststoffen in de voorraadtanks. Dit wordt gecombineerd met de gewenste samenstelling van het gietwater per ion, onder randvoorwaarde van chemische compatibiliteit en het bereiken van de juiste zuurgraad (pH) en geleidbaarheid (EC) van het gietwater.

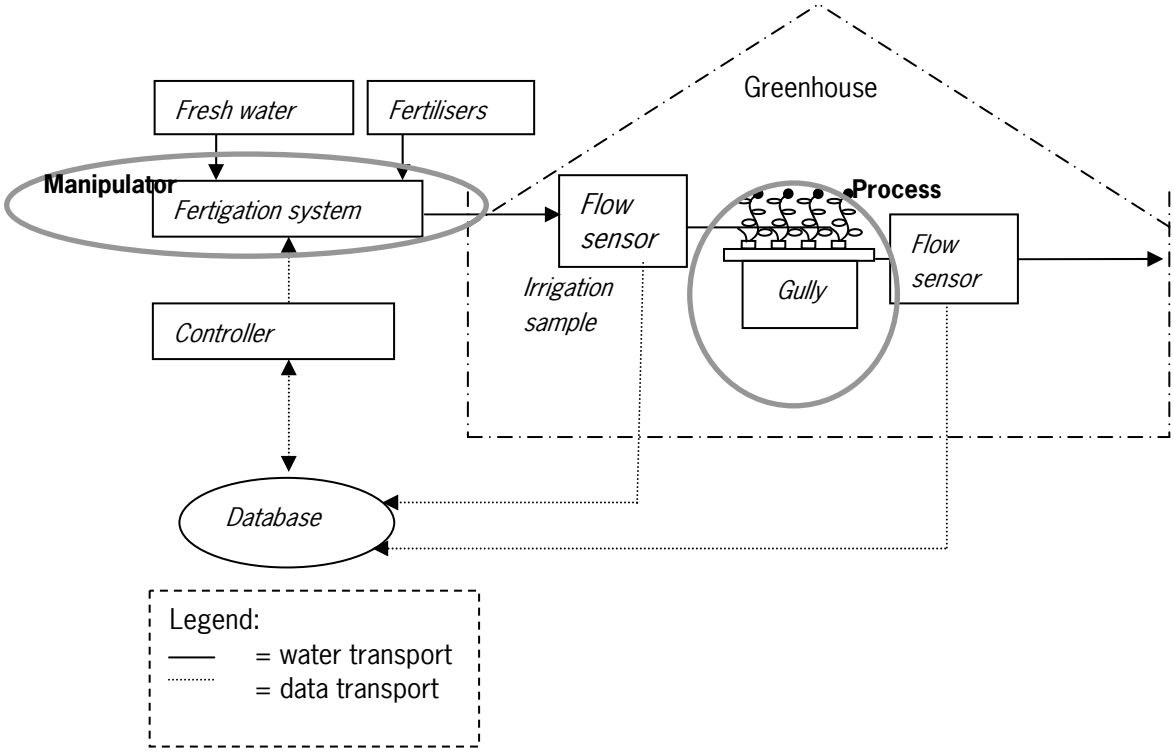
De berekening ligt niet zomaar voor de hand, omdat sommige ionen gecombineerd in één voorraadvat zitten en ook in sommige gevallen in meer dan één voorraadvat voorkomen. Voor beide situaties worden optimale combinaties van doseringen per meststofbron gevonden, zodat het gewenste recept zo dicht mogelijk wordt benaderd. Oplossingen voor dit optimalisatieprobleem zijn gebaseerd op onderzoek bij Proefstation Naaldwijk (Sonneveld en Spaans). Wegens de directe commerciële belangen van beide firma's Priva BV en Hortimax BV is rapportage en documentatie door beide bedrijven onderling geregeld.

De meststofoplossingen kunnen zowel de via meststoffabrikanten geleverde bekende vloeibare meststoffen zijn, als de lokaal gemengde oplossingen via poedervormige zouten. Een doseer-schema van een willekeurige combinatie aan basis oplossingen kan via berekening met dit programma worden samengesteld.

Status van het product

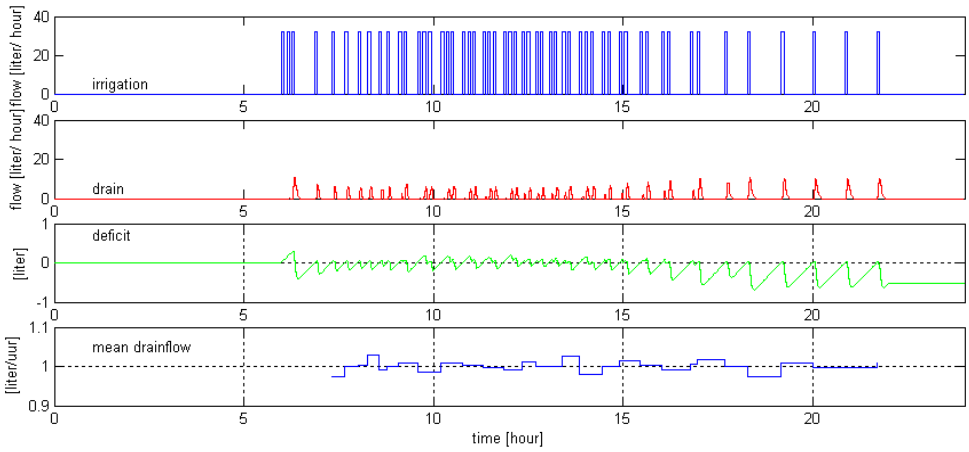
Het softwareproduct wordt nu door beide firma's in hun commerciële toedieningapparatuur voor water- en nutriënten toegepast.

1.3.2 Basale regelaar watertoediening



Figuur 12. Schematische voorstelling van het geregelde proces in relatie tot water geven.

De werking van de basale regelaar is zodanig dat de hoeveelheid drain (de drainflow) op een vast setpoint wordt gehouden (Figuur 13 onderste diagram, bijv. 1L/h). Wanneer teveel drain van de planten terugkomt t.o.v. het setpoint, dan wordt minder water gegeven. Wanneer te weinig drain terugkomt t.o.v. het setpoint, dan wordt meer water gegeven. Zo wordt automatisch de wateropname door de plant gecompenseerd. De terugkoppeling van het drainflow meetsignaal bepaalt de regelactie.



Figuur 13. Watergeefpulsen (bovenste figuur) met als resultaat een gemiddelde drain van 1 L/h met een variatie tussen 0,95 en 1,05 L/h (onderste figuur).

Figuur 12 laat zien dat het watergeefsysteem zich baseert op meten van de hoeveelheid water die daadwerkelijk wordt toegediend en op meten van de hoeveelheid drain. Het is voor de regelaar niet belangrijk welk soort instrument voor het meten van beide variabelen wordt toegepast. Dit kan met flowmeters of met behulp van de meetgoot uit de vorige paragraaf.

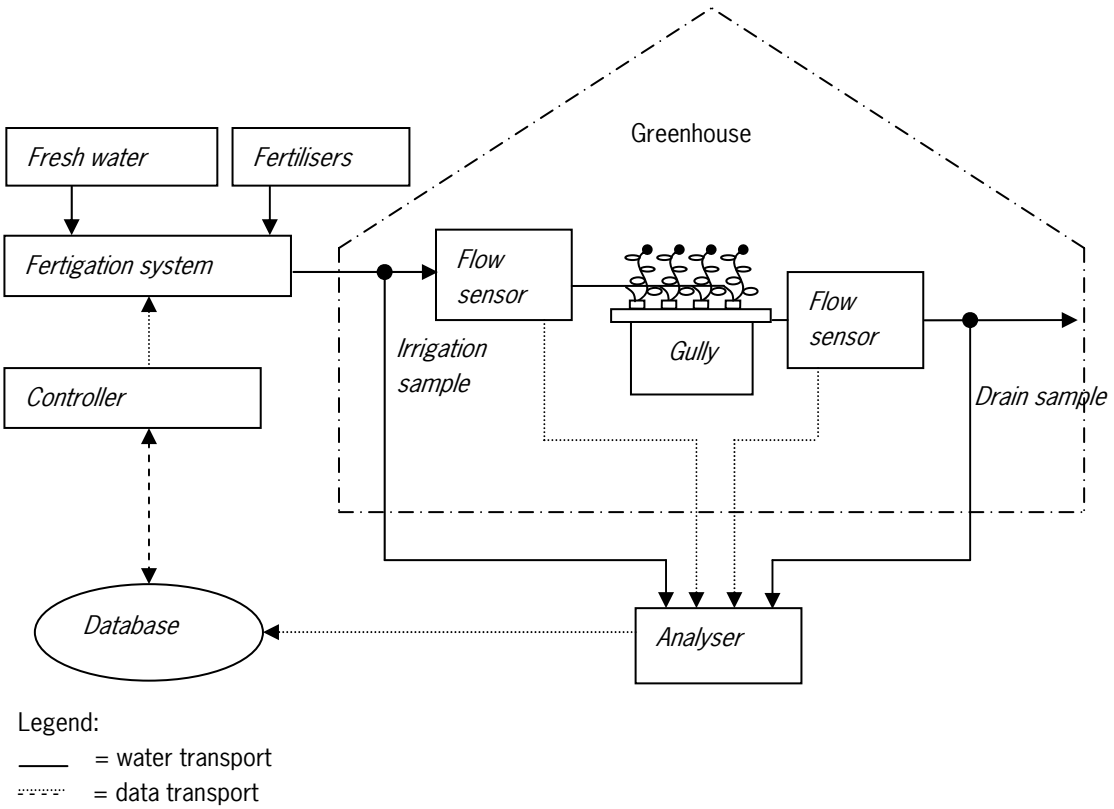
De regelaar haalt de meetwaarden uit de database, berekent de volgende regelactie en zet dit terug in de database. Zoals in figuur 13 te zien is, krijgt de watergeefapparatuur op tijdstippen, die door de regelaar zijn vastgelegd in de database, de opdracht tot het toedienen van een bepaalde hoeveelheid water.

Status van het product

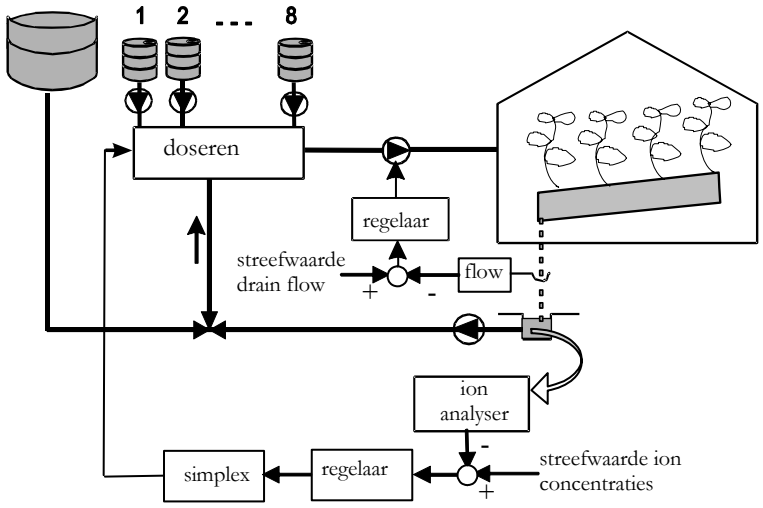
Er zijn verschillende regeltechnische varianten van de basale water regelaar uitgewerkt. De systeemkundige werking, fine-tuning en validatie is uitgebreid vastgelegd in een technische rapportage, inclusief programmastatements en flowdiagrammen van de besturingssoftware. Tijdens de proof-of-principle tests functioneerden deze regelaars goed. De methode van werken was voor de bedrijven aanleiding ook de besturing van hun standaardapparatuur te herzien. In de glastuinbouwpraktijk zijn de tuinders sinds jaar en dag gewend te werken met een vast drainpercentage i.p.v. de hier nagestreefde vaste hoeveelheid drain. Het ontwikkelde principe werkt mogelijk ook goed voor een vast drainpercentage. Niet werd onderzocht of één van de twee principes (vast drainpercentage óf vaste hoeveelheid drain) beter werkt.

1.3.3 Basale regelaar nutriënttoediening

In aanvulling op Figuur 13 is in het schema van Figuur 15 ook de regellus voor toediening van nutriënten gegeven. Een ion analyser meet van elk van de te regelen ionen de concentratie in aanvoer- en retourwater. Samen met de hoeveelheidmetingen van aanvoerwater en drainwater worden de gemeten concentraties opgeslagen in de database.
Voor elk ion wordt er een vergelijkbare regelaar opgezet als bij de hoeveelheid regeling. De concentratie van elk ion in de sampler voor drainwater wordt op een vaste waarde gehouden. Wanneer een te hoge concentratie in de drain wordt geconstateerd, brengt de regelaar dit omlaag door de aanvoerconcentratie te verlagen (Figuur 15). Bij te lage concentratie in de drain werkt het precies andersom. Deze manier van regelen compenseert automatisch de opname door de plant.



Figuur 14. Schematische weergave van het geregelde proces in relatie tot de toediening van meststoffen.



Figuur 15. Schematische weergave van het basale regelsysteem voor nutriënten.

Status van het product

Er zijn verschillende regeltechnische varianten van de basale nutriënten regelaar uitgewerkt. De systeemkundige werking, fine-tuning en validatie werden vastgelegd in een technische rapportage, inclusief de programmastatements

en flowdiagrammen van de besturings-software. Tijdens de proof-of-principle tests hebben deze regelaars goed gefunctioneerd.

Om goed te kunnen werken moet deze regeling kunnen beschikken over een ionconcentratie-analyser per geregeld kascompartiment. Uit de eerdere paragrafen bleek dat dit uit prijsoverwegingen (voorlopig) niet haalbaar is voor brede toepassing in de praktijk.

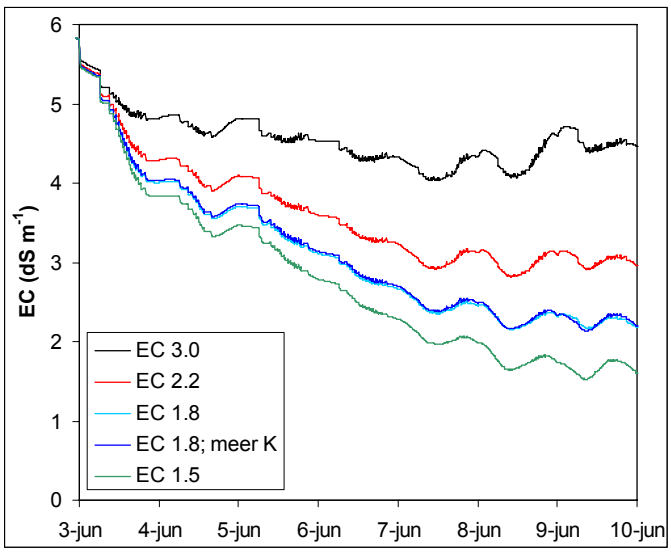
1.3.4 Model-based feedforward regelaar

Het doel van dit projectonderdeel is het ontwikkelen van een feedforward model-based besturing systeem die de dosering van water en nutriënten baseert op een voorspelling van de plantopname, waarbij gewasgroei en productkwaliteit worden gemaximeerd en kosten en milieubelasting worden geminiseerd. In een praktijk-nabije kas zijn succesvol validatie-experimenten uitgevoerd. Het experiment kende drie behandelingen: de controle, de feedforward en de feedback besturing. Er traden geen grote groeiverschillen op tussen de behandelingen. Wel was het drogestofpercentage van de geoogste vruchten was bij feedforward behandeling hoger dan bij de controle. De werkwijze van de feedforward-regeling is zodanig dat binnen de gestelde grenzen de waarde van de kostenfunctie wordt geoptimaliseerd. Op basis van de uitkomst van deze optimalisatie wordt een keuze gemaakt uit verschillende fertigatieregimes (scenario's Figuur 16). Deze fertigatieregimes worden gedurende de dan volgende dag ten uitvoer gebracht.

Iedere dag, vlak na middernacht, werd met de meteo-data van de voorbije dag het "gewas + substraat model" doorgerekend ('status update').

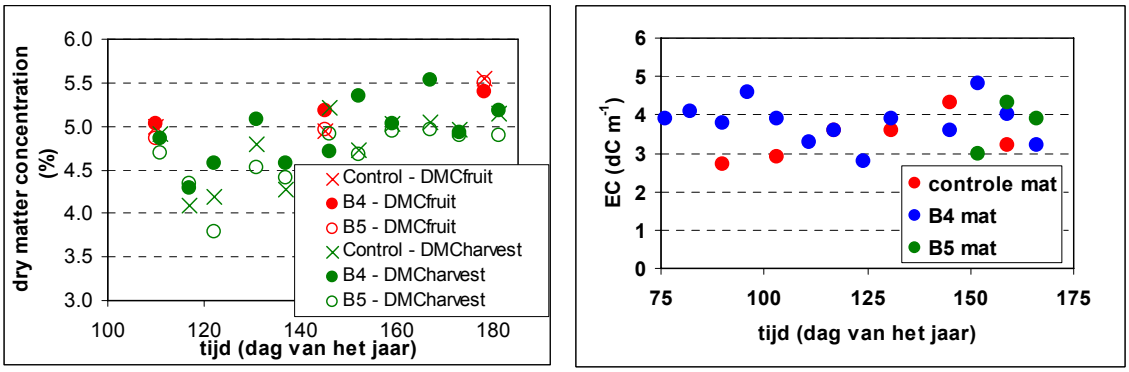
Na de dagelijkse status update werden, gebruik makend van weersverwachtingen, 100 korte-termijn scenario's doorgerekend, bestaande uit combinaties van water- en nutriëntengiften. De resultaten van de scenario's werden getoetst aan de doelfunctie, waarna het best passende recept aan het automatische doseersysteem werd doorgegeven.

De randvoorwaarde ten aanzien van de minimale en maximale nutriëntenconcentratie in de voedingsoplossing waren in het begin erg strak gesteld. De proef toonde aan dat ze veel ruimer konden worden gesteld of zelfs geheel worden uitgeschakeld. Sensorinformatie wordt gebruikt om ongeveer wekelijks handmatige modelkalibraties uit te voeren, voornamelijk fotosynthesemetingen, lichtreflectiemetingen en drogestof bepalingen.



Figuur 16. Een aantal gesimuleerde EC scenario's van de mat op basis van verschillende opgelegde fertigatieregimes.

In dit deelproject is aangetoond dat het geïntegreerde pakket van soft- en hardware, samen met het Plant-Substraatmodel, in staat is om een in overeenstemming met de doelfunctie passend scenario te adviseren (Figuur 17). De passende scenario's kunnen via een automatisch regelsysteem worden toegediend aan het gewas. Ook kunnen ze via advisering aan de tuinder handmatig door hem worden ingevoerd in bestaande fertigatie-apparatuur. De model-based feedforward software kan ook worden ingezet in "what-if" benaderingen in adviseringssystemen (zie paragraaf Adviseringssystemen).



Figuur 17. *Links: drogestof concentraties van alle vruchten aan de plant (rood) en van geoogste vruchten (groen); rechts: mat-EC; van de controle, de B4 en B5 behandelingen tijdens het validatie-experiment in een praktijk-nabije kas in 2005.*

Status van het product:

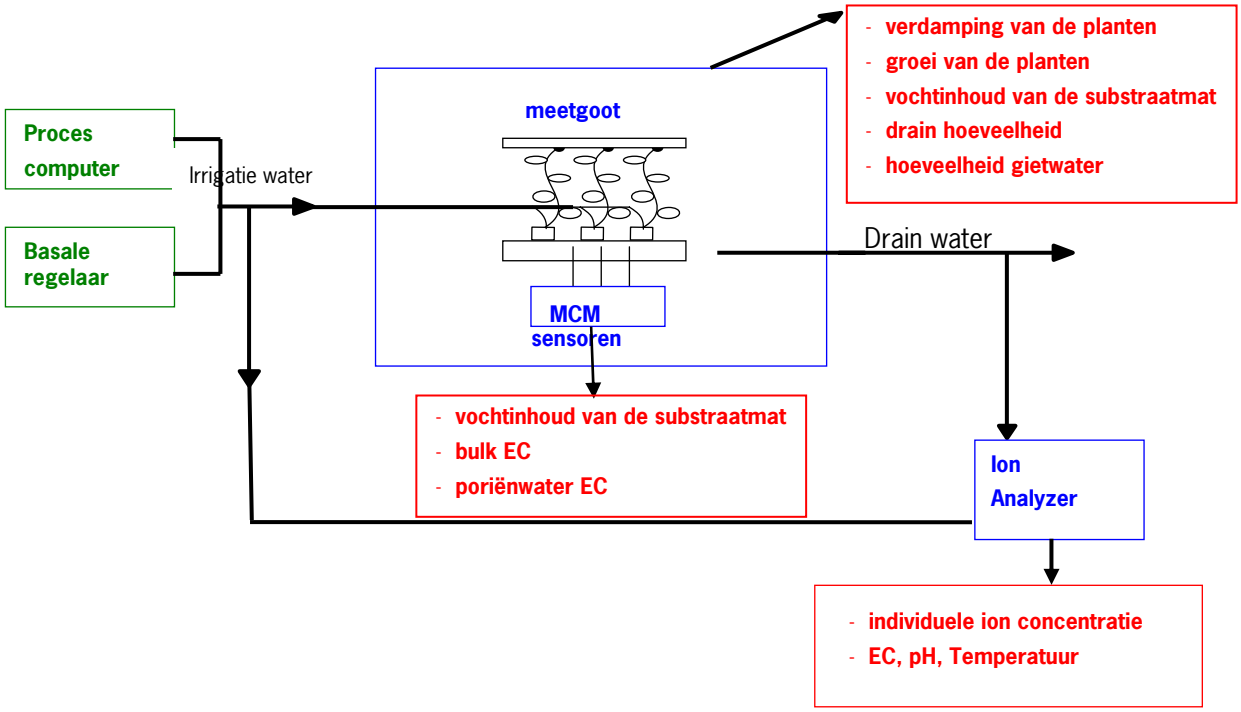
- bij de proof-of-principle van de feedforward regeling werden minder nutriënten toegediend dan bij een parallel uitgevoerde controleproef
- tussen de controle proef en de feedforward proef werden geen grote productieverschillen waargenomen. In termen van productieverhoging werd er weinig winst aangetoond.
- het drogestof percentage in de vrucht was voor feedforwardproef gelijk aan, of hoger dan dat van de controleproef. Als gevolg daarvan gaf een (op niet-wetenschappelijke basis bepaalde) smaakbeoordeling een lichte voorkeur voor de feedforward tomaten.
- deze oplossing van het besturingsprobleem staat dicht bij de huidige manier van werken van tuinders. De verwachting is dat de drempel laag is om hier op over te schakelen. Toedienen op basis van modellen lijkt ook praktisch haalbaar, indien eerst de berekende output als advies in een interactief adviseringsysteem naar de tuinder wordt gebracht.

1.3.5 Model-based optimal controller

Tuinders zouden beter de invloed van individuele nutriënten op productie, productkwaliteit en misschien zelfs smaak (geur) in kunnen schatten wanneer ze meer zouden weten over het gedrag van individuele meststoffen in substraat en drainwater.

De ionanalysers in het Hydrionline-project zijn in staat om on-line de ionconcentratie te meten in het giet- en het drainwater. Ook monsters die uit de substraatmat zijn ontrokken met zogenoemde "kunstwortels" kunnen worden geanalyseerd. Echter het gedrag van ionvariaties in (onderdelen van) de plant kunnen niet worden gemeten (Figuur 18).

Een extra probleem voor een goede besturing vormt de lange tijd die de doseerunit nodig heeft om een nieuwe batch gietwater samen te stellen met een nieuw recept. Dit probleem doet zich vooral voor tijdens snelle veranderingen in de kasprocessen, zoals bijv. dag/nacht overgangen en snel variërende weercondities.
In dit projectonderdeel werd een water- en nutriëntenmonitor/controller ontwikkeld die de toediening van water en nutriënten optimaliseert. Deze modelgebaseerde monitor/controller geeft online het tijdsgerelateerde gedrag van de nutriënten in het gietwater, in de substraat- mat, in de verschillende delen van de plant en in het drainwater. Deze extra informatie werd ontleend aan het model van het gewas.



Figuur 18. Schematisch overzicht van de installatie voor het meten.

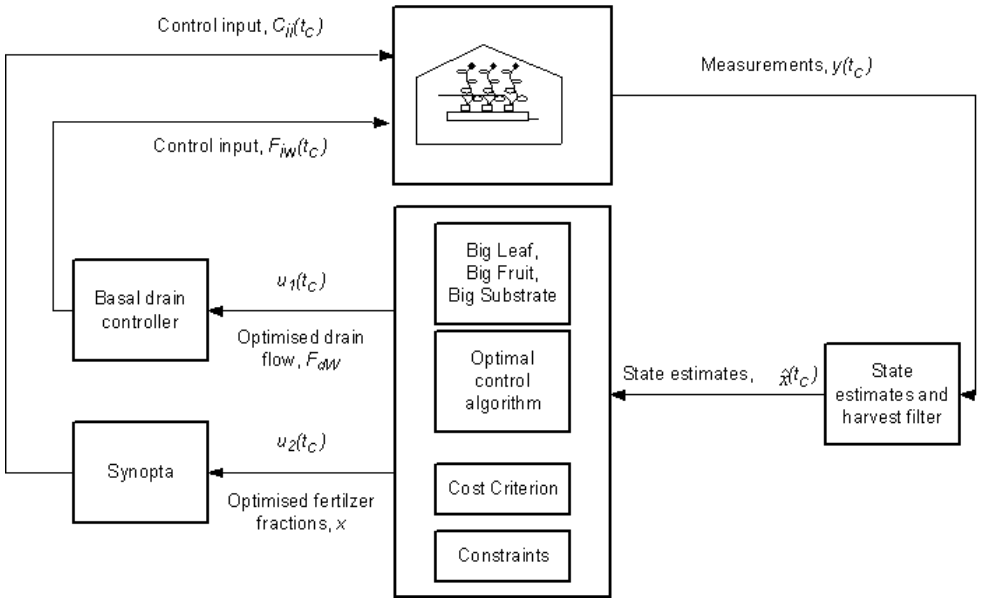
De on-line ionconcentratiemeting brengt de tijd voor terugmelden van ionmeetwaarden terug van eens per twee weken naar eens per uur. Doorrekenen van recepten wordt ook naar die korte tijdsbasis teruggebracht. Dit verschaft de tuinder op zeer korte tijdbasis informatie over het gedrag van de plant t.a.v. nutriëntopname. De tweewekelijkse labanalyses dienen nu alleen nog als welkome aanvulling op de bewaking van de on-line metingen. Een z.g. “receding horizon optimal control” algoritme is toegepast om de algehele fertigatie te besturen. Dit algoritme staat o.a. toe dat (noodgedwongen tijd verschoven) weersvoorspellingen als gewone invloeden van buitenaf kunnen worden meegenomen.

De regelaar optimaliseert de hoeveelheid drain en de individuele ionconcentraties in de drain. Ook het betrekken van doses uit de verschillende voorraadtanks voor de meststoffen wordt door het algoritme automatisch zo bepaald dat een het gewenste recept zo goed mogelijk wordt benaderd.

Bij de optimal-control methode wordt met een z.g. kostencriterium weergeven hoe en welke inputs van het systeem moeten worden geoptimaliseerd. De feitelijke optimaliserende stuuracties worden vastgesteld door het minimaliseren van dit kostencriterium (Figuur 19). In de fertigatiebesturing, zoals hier omschreven, bevat het kostencriterium de bijdrage aan de kosten door desinfecteren, de bijdrage aan de kosten door de hoeveelheid drain en de inkomsten via de productieopbrengst (incl. randvoorwaarden als prijsstelling, kwaliteit, etc.). Het mooie van deze techniek is dat wijziging in de doelen van de tuinder, of veranderingen in prijzen voor hulpstoffen, milieubelasting of gewasopbrengst direct kunnen worden ingebracht.

Elk uur berekent het algoritme het optimale traject voor de komende 48 uur met de bijbe-horende beschikbare weersvoorspellingen. Alleen de berekende optimale doseertrajecten voor het eerstvolgende uur worden daadwerkelijk uitgevoerd door de doseerunit, waarbij na één uur weer een nieuwe optimalisatieberekening voor de volgende 48 uur start.

Het receding horizon optimal control algoritme gebruikt een model in state space vorm. Dit model beschrijft het nutriëntgedrag in het gietwater, in de substraatmat, in het drainwater en in de verschillende onderdelen van de plant.



Figuur 19. Schematische weergave van de toegepaste receding horizon optimale regelaar.

Om realistische rekentijden van de besturingscomputer te hebben, moeten de toestanden (de states) in aantal worden beperkt. Dit is hier gerealiseerd door het systeem van de kasteelt op te vatten als één grote substraatmat met daarop één grote plant met één grote vrucht en één groot blad, dit alles gerelateerd aan de werkelijke afmetingen in de te regelen kas (z.g. Big leaf, Big fruit, Big substrate model).

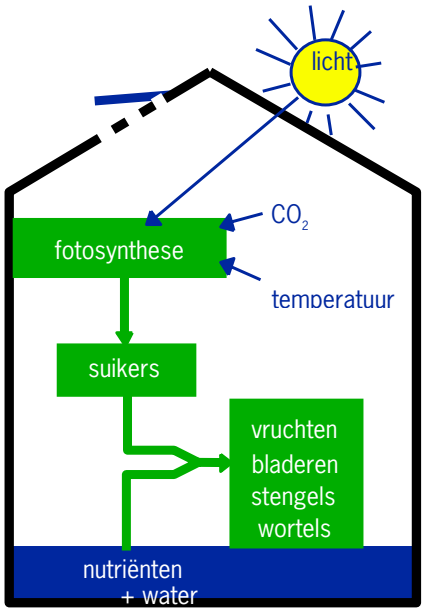
In dit z.g. 3Bigs-model (Figuur 19) worden bekende deelmodellen voor plant en substraatmat gecombineerd, in de goede regeltechnische vorm gesteld (o.a.state-space) en opgewaardeerd met nieuwe kennis omtrent systeemdynamica. Het 3Bigs-model beschrijft naast het nutriëntgedrag de volgende processen: vegetatieve en generatieve groei, drogestofinhoud van de vrucht, groei-inhibitie door nutriëntentekorten en het gedrag van de drain in substraat en goot. 3Bigs is gekalibreerd en gevalideerd met data uit het Hydrionline II-experiment.

Status van het product

- Het 3Bigs model produceert betrouwbare informatie over de veranderingen in de variabelen die de verschillende toestanden beschrijven.
- De model-based feedback water- en nutriënt monitor/controller berekende gedurende het gehele experiment acceptabele waarden voor de water- en nutriënttoediening. Deze waarden zijn in overeenstemming met wat mag worden verwacht.
- Een succesvolle toepassing van de optimal model-based water- en nutriënt monitor/controller hangt af van de volgende bottlenecks en kansen: performance van de sensoren, aanpassing van de wetgeving en eisen van de consument.
- De daadwerkelijke toepassing van de model-based feedback water- en nutriënt monitor/controller in de praktijk moet noodgedwongen wachten op het beschikbaar zijn van geschikte en betaalbare sensoren/analysers voor ionconcentratie per geregelde fertigatie-sectie van de kas.

1.3.6 Adviessystemen

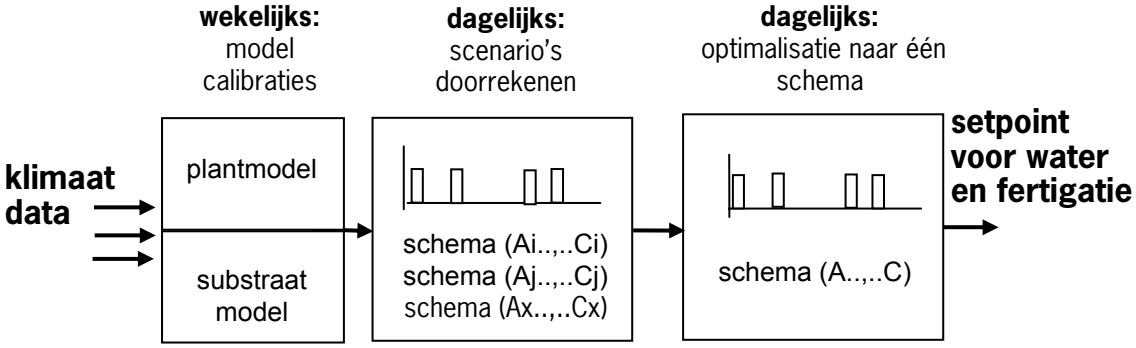
1.3.7 Productie & kwaliteit in relatie tot wateren nutriënten



fysiologie	optimalisatie
Opnamehoeveelheid Opnameconc. Verdamping Groei Productie	Winst Kosten Randvoorwaarden Aantal opties Informatie

Figuur 20. Plantmodel met ingangsvariabelen en constraints.

Aan het Plant-Substraatmodel wordt informatie uit kas, substraat en gewas toegevoerd (Figuur 20). Een optimalisatieslag bepaalt aan de hand van een aantal constraints (weersvoorspelling, prijsvooruitzichten, kosten) die voor die dag gelden, wat de nutriënten- en de waterbehoefte zal zijn. Om te bepalen welk schema het best aan de planten kan worden toegevoerd wordt een keuze gemaakt uit een aantal haalbare en maakbare schema's: Schema(A_i …C_i) … Schema(A_j …C_j) … Schema(A_x …C_x) (Figuur 21). Het resultaatschema, Schema(A …C), dat de uitgangspunten het dichtst benaderd, zal uiteindelijk voor die dag gaan gelden.
Het resultaatschema bevat informatie over de hoeveelheid water die moet worden toegediend en over de receptuur van de ionen die daarin naar de planten wordt gevoerd. Het schema kan als advies aan de tuinder worden gegeven of als opdracht aan de setpoints van de automatische doseerunit worden aangereikt (Figuur 21).



Figuur 21. Het resultaatschema bevat informatie over de hoeveelheid water en over de receptuur van de ionen daarin, als een advies aan de tuinder of als een opdracht aan de automatische doseerunit.

1.3.8 Marktintroductie

1.3.9 Algemene marktactiviteiten

Als algemene activiteit ter bevordering van de marktintroductie van de resultaatproducten van het Hydrionline III project zijn door de drie bedrijven marketingactiviteiten ondernomen.
De tuinbouwtechnologiebeurs Hortifair werd in 2005 en 2006 benut voor presentatie van resultaatproducten van Hydrionline III.

- Priva BV presenteerde de ISFET ionanalyser, de Nutrion HPLC ion analyser (Figuur 23) en de verbeterde apparatuur voor dosering van meststoffen (Figuur 22).
- Hortimax BV presenteerde de PRODRAIN model meetgoot, de handion meetset Hydrion 10 (Figuur 24) en de verbeterde apparatuur voor dosering van meststoffen (Figuur 25).
- Hydrion heeft een aantal keren de Hydrionline Analyser aan de potentiële klanten kunnen presenteren tijdens demonstraties van de apparatuur in de proefkassen van Plant Research International.

De marktintroductie werd begeleid met publicaties in vakbladen door Hortimax BV en Plant Research International en door gerichte power-point presentaties aan uitgenodigde toehoorders tijdens de Hortifair door Priva en door Plant Research International.

De internationale markt werd bereikt door presentaties van Hortimax (België, Turkije), Priva (China, België) en Plant Research International (Turkije, China, België, Denmarken, Frankrijk, Italië). Naar aanleiding van deze presentaties verschenen er begeleidende publicaties in vakbladen, in proceedings en in peer refereed journals.

Tijdens diverse contacten met bedrijven en onderzoekinstellingen tijdens open dagen en presentaties aan gasten werd door Plant Research International de apparatuur en het onderzoek van Hydrionline III gepresenteerd, met name aan bezoekers uit Taiwan, China, Spanje en Italië.

Tijdens twee acties “Kom in de kas” werd het algemene publiek bereikt.

1.3.10 PR en Publicaties

Tijdens verschillende symposia en conferenties werden door onderzoekers papers en posters gepresenteerd (zie Hoofdstuk 2 Publicaties pp 35). Tijdens tentoonstellingen, beurzen en conferenties werden door de bedrijven (deel)producten van Hydrionline III getoond.

In verschillende vakbladen is door medewerkers van de bedrijven gepubliceerd over het Hydrionline III onderzoek en over de deelresultaten.

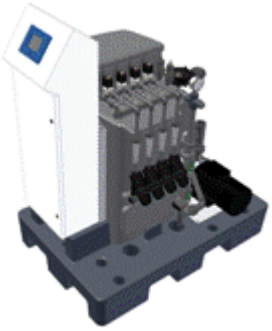
1.3.11 Marktactiviteiten Priva BV

Priva BV heeft het Hydrionline-project benut om met kennis en ondersteuning van de onderzoekinstellingen nieuwe hardware en software beschikbaar te krijgen voor de markt. Hiervoor zijn nieuwe apparaten, sensoren en software ontwikkeld en verbeteringen aangebracht aan bestaande apparaten en software.

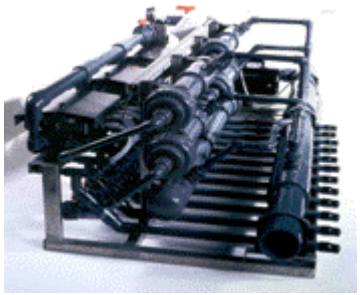
- Smart I/O **Export product** (Figuur 22)
- NutriFit doseerunit **Export product** (Figuur 22)
- Nutronic VLM injectieunit **Export product** (Figuur 22)
- Rootoptimizer **Export product** (Figuur 23)
- Nutrion Ion C. Analyzer (Figuur 23)
- Lichtonderscheppingssensor (Figuur 23)
- Groscale Plantgewicht en matgewicht (Figuur 23)



Smart I/O
- Veldbus aansluiting
- Smart EC en pH sensor
- Geintroduceerd in NutriFit
- Proces en ICT infrastructuur



NutriFit doseerunit
- Vol-kunststof design
- Smart I/O, EC en pH
- Smart Touchscreen display

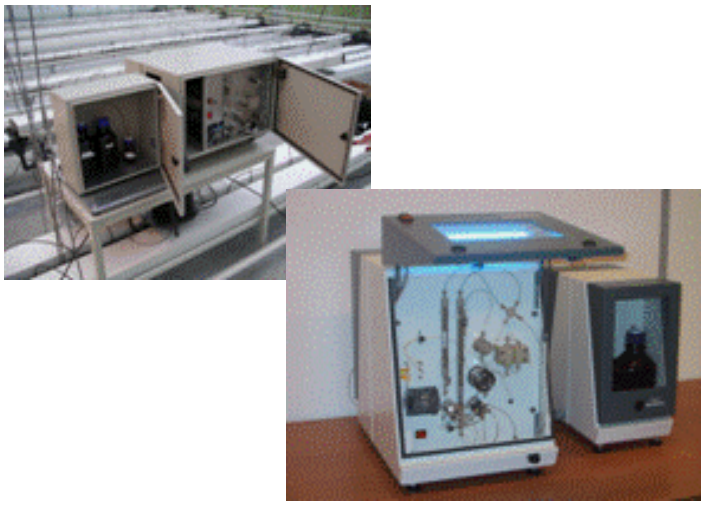


Nutronic VLM injectieunit
- Directe recept aanpassing
- Aantal doseerkanalen
- Opschaling capaciteit
- Chemische eigenschappen
- Nutricalc rekenmodel

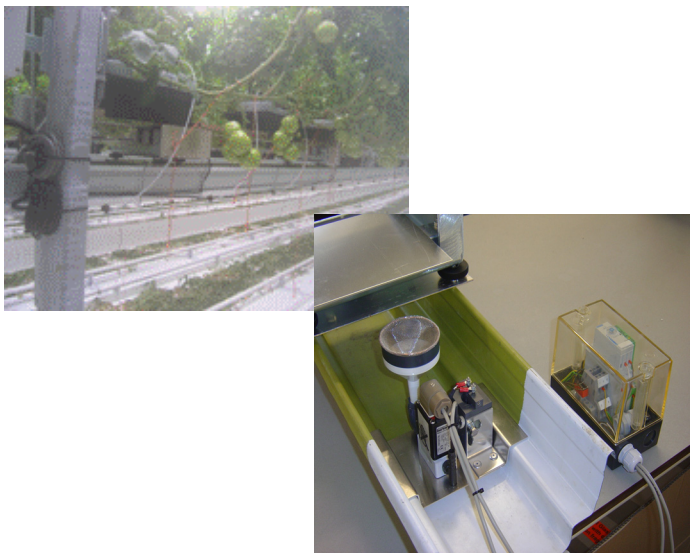
Figuur 22. bestaande apparatuur die naar aanleiding van ervaringen in het Hydrionline project zijn ontwikkeld of verbeterd.



Lichtonderscheppingssensor
- 3 Werkende prototypen
- Ingezet in diverse praktijk proeven, tomaat komkommer en paprika



Nutrion Ion Concentratie Analyzer
- 3 Werkende prototypen
- Ingezet in diverse praktijk proeven



Rootoptimizer (combinatie van)
- Meetgoot
- Snelle drain sensor
- Groscale matgewicht sensor
- Groscale Plantgewicht
- Verdampingsmodel

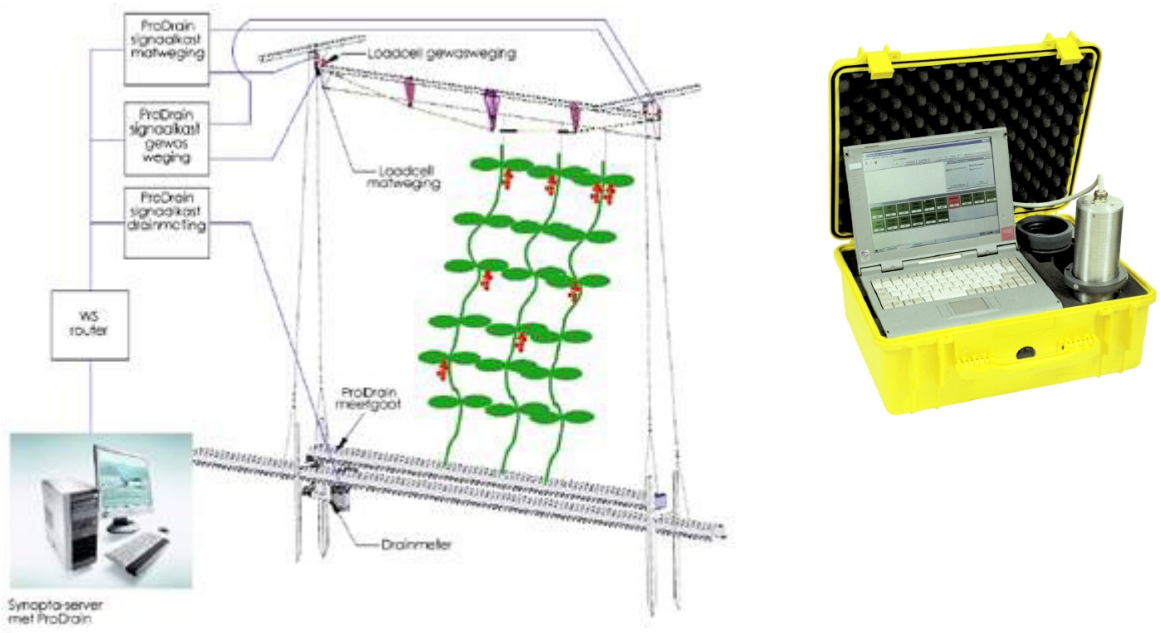
Figuur 23. Een aantal nieuwe instrumenten die in het kader van het Hydrionline project zijn ontwikkeld, uitgetest en op de markt gebracht.

1.3.12 Marktactiviteiten Hortimax BV

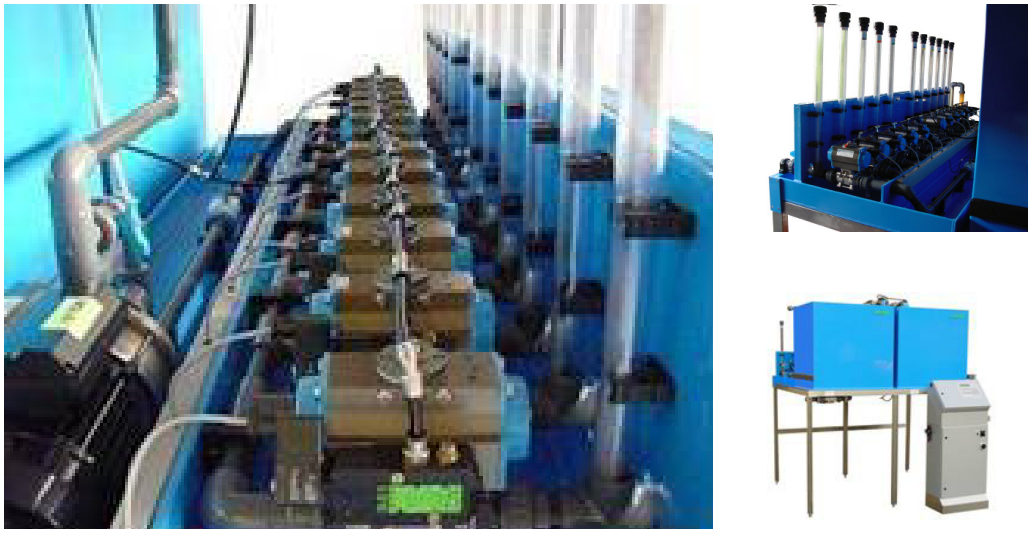
Hortimax heeft n.a.v. het Hydrionline project twee nieuwe producten op de markt gebracht:

- een handmatig bediende ion-analyser van het fabrikaat Hydrion (Figuur 24) **Export product**
- de PRODRAIN meetgoot (Figuur 24) **Export product**

Ook werden aanzienlijke vernieuwingen en verbeteringen aan software en hardware van de FertiFill doseerunit voor meststoffen doorgevoerd. (Figuur 25) **Exprt product**



Figuur 24. Nieuwe apparatuur op de prijslijst van het bedrijf Hortimax. Links de PRODRAIN meetgoot en rechts de Hydrion 10 handion analyser.



Figuur 25. De verbeterde doseerunit voor meststoffen FertiFill.

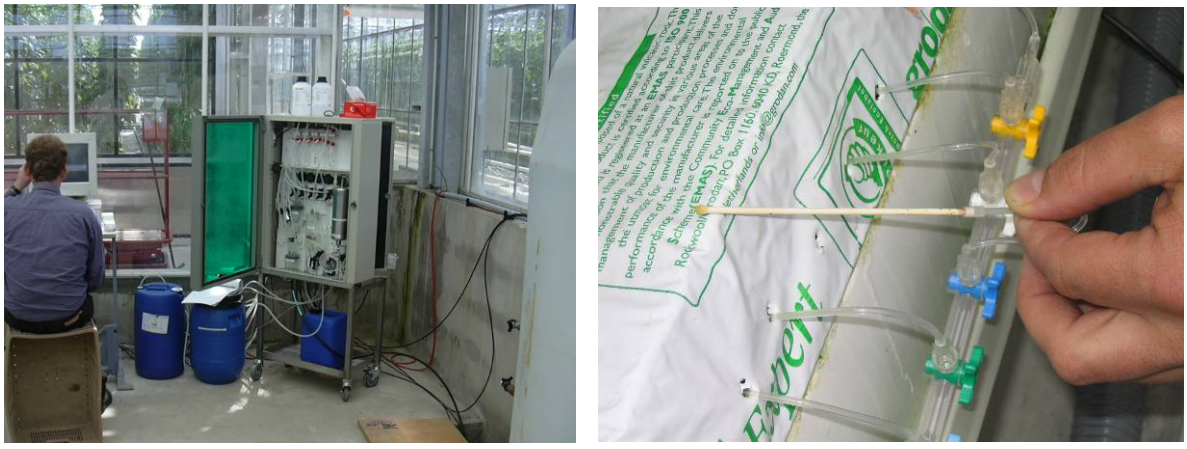
1.3.13 Marktactiviteiten Hydrion BV

Hydrion heeft een aantal producten voor de markt gereed:

- Een verbeterde database voor het verzamelen van de meetgegevens, bereikbaar via het internet (Figuur 26).
- Een smart uitbreiding op de ion ISE sensoren. De smart uitbreiding is terug te vinden in de multisensor meetkop die onderdeel is van alle analysers (Figuur 26).
- De grote Hydrionline Analyser geschikt voor het ophalen via meerdere te bemeten samples via gemultiplexte sampleaanvoerslangen. Analyser kan voorbewerkingen uitvoeren op de samples (Figuur 27). **Export product**
- Z.g. kunstwortels, die in het substraat of de potgrond kunnen worden gestoken om samples poriënwater te ontrekken aan de wortelomgeving (Figuur 27).



Figuur 26. Smart sensor voor ionconcentratie (links vormt de basis voor een meetkop met sensoren (rechts) die is opgenomen in de Hortimax Hydrion 10 (zie Figuur 24) en de Hydrionline analyser.



Figuur 27. Analyser Hydrionline (links) en zo genoemde kunstwortels (rechts).

1.4 De proof-of-principle test en de praktijkproeven

1.4.1 De Proof-of-pinciple test

Tijdens het onderzoek t.b.v. Hydrionline III werden de kassen van Plant Research International op het proefbedrijf “De Haaff” gebruikt (Figuur 28).

In eerste instantie werd een inhaalslag gemaakt op de proof-of-principle test van de basale regelsystemen voor water en nutriënten. Daarna werd de kas in gereedheid gebracht voor de proof-of-principle parallelle test van de onderdelen Model-based Feedforward Control, Model-based Feedback OptimaLControl en voor een Controle Proef als referentie.

De sensoren, de ion analysers, de meetgoten, de ICT-software omgeving met database en de regelprogrammatuur van de verschillende soorten regelaars werden tijdens deze proeven daadwerkelijk uitgeprobeerd in zowel een tomaten- als een komkommergewas.

De tijd voor gebruik van de kassen zoals gepland bij de aanvraag van het project werd aanzienlijk overschreden, maar was naar oordeel van de onderzoekers toch weer veel tekort.

Met inzet van vrijwel alle bij Hydrionline betrokken onderzoekers en staf van “de Haaff” werden de proeven dagelijks begeleid, gecontroleerd op werken van de apparaten, voorkomen van calamiteiten en op gezonde ontwikkeling van het gewas. Ook gedurende het weekend werd de proef intensief door de onderzoekers begeleid en in het oog gehouden.



Figuur 28. Het kascompartiment op het kascomplex “De Haaff” met daarin de verschillende stadia van het gewas tijdens de proef.

1.4.2 De praktijkproeven

De bedrijven Priva BV en Hortimax BV hebben praktijktests uitgevoerd van de apparatuur die door hen is ontwikkeld. Daarvoor werden de apparaten geplaatst bij tuinders die samen met Productschap Tuinbouw speciaal daarvoor waren geselecteerd.

De tuinders Jakom in Huissen (Komkommer), Van de Burg in Est (Paprika), Van de Berg in Est (Paprika), Van der Lans Westland (Tomaat) en Ammerlaan Rijzenhout (Rozen) werden hiervoor benaderd en bereid gevonden apparatuur in hun kas te testen. Bij het bedrijf GreenQ werd door Priva BV in een proefkas extra experimenten uitgevoerd ter aanvulling van de experimenten in de kassen van Plant Research International.

2 Publicaties

De Koning, A.N.M., 2004.
Real time computer control for optimum plant growth. FlowerTech Vol.7-3

Elings, A., Marcelis L.F.M. & Gieling, Th.H. 2006.
Workshop met telers bij het Productschap Tuinbouw over adviessystemen voor water en nutriëntenmanagement. Mei

Elings, A., M. Heinen, B.E. Werner, P. de Visser, H.A.G.M. van den Boogaard, Th.H. Gieling & L.F.M. Marcelis, 2004.
Feed-forward control of water and nutrient supply in greenhouse horticulture: development of a system. Acta Horticulturae 654, p 195-202

Elings, A., M. Heinen & F.B.T. Assinck, 2006.
Het Hydrion PlantSubstraat Model, gebruikers-handleiding versie 007. PRI & Alterra, Wageningen, 56 pp

Fanasca, S., A. Martino, E. Heuvelink & C. Stanghellini, 2007.
Effect of electrical conductivity, fruit pruning, and truss position on quality in greenhouse tomato fruit. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, Volume 82, Number 3, May, p 488-494(7)

Gieling, Th.H., G. van Straten, , H.J.J. Janssen and H. Wouters, 2005.
ISE and Chemfet sensors in greenhouse cultivation. Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 105, Issue 1, 14-02, p 74-80

Gieling, Th.H., G.J. van Dijk, H.J.J. Janssen, R.J.C. van Ooteghem & G. van Straten, 2004.
Hydrion-line, towards a closed system for water and nutrients: feedback control of water and nutrients in the drain. Greensys 2004, Leuven. Acta Horticulturae 691, p 259-266

Gieling, Th.H., 2005.
Presentatie van resultaten Hydrionline III op de 3e NewAg Conference in Antalya Turkije. Hydrionline: Towards a closed system for water and nutrients.

Gieling Th.H., 2005.
Hydrionline: Towards a closed system for water and nutrients. Proc. of the International Conference on water and fertilizers in horticulture, Antalya Turkije.

Gieling Th.H., 2005.
Hydrionline: Towards a closed system for water and nutrients. Samen-vatting van presentatie en paper, Antalya Turkije. NewAg-Intern. Journal, June, 46 pp

Gieling Th.H., Interview artikel met J.P. Leymonie, 2004.
Closed cropping systems: Improving the delivery of water and nutrients. NewAgInternational, December. Vol. 4, p 64-69

Gieling Th.H., 2005.
Hydrionline: Control of water and nutrient supply in greenhouses. Presentatie van Hydrionline III resultaten op de Conference Annex aan de “China International Horticultural Exhibition” in Shanghai China.

Gieling Th.H., 2005.
Hydrionline: Control of water and nutrient supply in greenhouses. Presentatie van de Hydrionline III resultaten bij bezoek aan Jing Peng Greenhouse Company in Beijing China.

Gieling, Th.H., G. van Straten, H.J.J. Janssen and G-J. van Dijk, 2004.
Ion specific monitoring and control of fertigation in closed growing systems. Proceedings of the NJF seminar no. 355, Nutrient and Resource Management in Greenhouse Production, May 12-15, Dalum Agricultural College, Odense Denmark

Gieling, Th. H., F.J.M. Corver, H.J.J. Janssen G. van Straten, R.J.C. van Ooteghem, 2005.
Towards closed systems for water and nutrients in greenhouses: feedback control of water and nutrients in the drain. Oral Presentation at the Pisa Conference on Plant Nutrition.

Gieling, Th.H., P. Sonneveld.
Literatuurstudie: “LIBS als meetprincipe voor ionconcentratie”. gepresenteerd bij PRIVA bv.

Gijzen, H. & A. Elings, 2006.
Handleiding voor HortiTransp, model voor de berekening van momentane fotosynthese en verdamping. PRI, Wageningen, 16 pp

Marcelis, L.F.M. 2006.
Presentatie voor de Studiekring Plantenteelt zonder aarde. Modellen, monitoring en adviessystemen voor water en nutrienten.
Marcelis, L., A. Evans, 2005.
Sensors support a self-learning plant model. Interview artikel, Flowertech 2005, Vol 8/1, Cover en p 14-16.
Marcelis, L.F.M., G. van Straten, C. Stanghellini & E. Heuvelink (Eds.). 2006.
Proc. of the 3rd International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation HORTIMODEL, Acta Hort. 718. Leuven: ISHS.
Van Straten, G., G.J van Dijk, R.J.C. van Ooteghem, Th.H. Gieling, H.J.J. Janssen and W.F. Mulckhuijse, 2005.
Identification for Ion-based Fertigation Control in Soilless Greenhouse Cultivation. 16th IFAC World Congress, Prague July 3-8, paper no. 05123.
Van Straten. G. and Th. H. Gieling, 2004.
Controller Settings for Closed Systems Ion Control in Greenhouses. CIGR Electronic Journal.
Van Straten, G. and Th. H. Gieling, 2004.
Ion control in closed growing systems with inert media: controller settings and modes of operation. Agricultural Engineering International: CIGR e-Journal of Scientific Research and Development. Vol. VI. Paper BC 03 016, 14 pp
Van Straten, G., G.J. van Dijk, R.J.C. van Ooteghem, Th. H. Gieling, H.J.J. Janssen and W.F. Mulckhuijse, 2005.
Identification for ion-based fertigation control in soilless greenhouse cultivation. the IFAC World Congress, Prague in 2004
Van Straten G., B. Vanthoor, L.G. van Willigenburg, A. Elings, 2006.
A 'Big Leaf, Big Fruit, Big Substrate' Model for Experiments on Receding Horizon Optimal Control of Nutrient Supply To Greenhouse Tomato. Acta Horticulturae 718, 147-155
Van Straten, G., J.D. Stigter and Th. H. Gieling, 2007.
Behaviour of cycle averaging drain controllers for irrigation in greenhouses. Pre-limenary Proceedings of the 2nd IFAC International Conference on Modeling and Design of Control Systems in Agriculture, September 2007, Osijek Croatia. p35 (232)
Vanthoor, B.H.E., 2005.
Modelling and optimal control of water and nutrient supply to crops. MSc Thesis Systems and Control, Wageningen University
Wieringa, G., M. Arkesteijn, 2005.
Meststofdosering naar behoefte. Onder Glas, nr 3, maart

Poster

Elings, A., M. Heinen, F.B.T. Assinck, G.J. van Dijk, T.H. Gieling & L.F.M. Marcelis, 2006.
Hydrion-line: an advanced model-based feed-forward control of water and nutrient supply. Poster en software gepresenteerd op 3rd Int. Symp. On Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation (HortiModel2006), Wageningen, October 29 - November 2,
Gieling, Th.H., L.F.M. Marcelis, A.N.M. de Koning, D. Zwartveld, G. van Straten, 2006.
Hydrionline III, Model-based control of water supply and nutrient application in closed growing systems. HortiModel2006, 3rd Int. Symp. On Models for Plant Growth, Environmental Control & Farm Management in Protected Cultivation, Wageningen
Gieling, Th.H., L.F.M. Marcelis, H.J.J.Janssen, E. Meinen, C. Stanghellini, W. Voogt, A. Elings, M. Bruins, 2007.
Hydrionline: on-line monitoring en besturing voor gesloten teeltsystemen. Presentatie van onderzoek tijdens de opening van locatie Bleiswijk van WUR Glastuinbouw.
Sarlikioti, V., L.F.M. Marcelis, E. Meinen, E.J.J.Meurs & P.H.B. De Visser, 2006.
Sensor for non-destructive measurement of leaf area index and light interception of greenhouse grown crops. Poster tijdens Symposium Hortimodel. Wageningen, IAC, oktober 2006.

Samenwerking met externe wetenschappelijke partners/instellingen

PhD, S. Fanasca, Universiteit van Viterbo, Italie.
PhD, V. Sarlikioti, University of Thessaly, Griekenland.

BSc, C. Reinhold, Hogere Agrarische School Den Bosch, BSc Thesis: Moisture content measurements to represent water and nutrient behaviour in rock wool slabs.

MSc, B.H.E. Vanthoor, WUR leerstoelgroep AFSG-MRS. MSc Thesis: Modelling and optimal control of water and nutrient supply to crops.

Confidentiële Rapporten

Janssen H.J.J., Th.H. Gieling, G. van Straten, G.J. van Dijk & R.J.C. van Ooteghem, 2006.
Hydrionline III: Basal Nutrients Controller. Eindrapport onderdeel B3.

Janssen H.J.J., Th.H. Gieling, G. van Straten & G.J. van Dijk, R.J.C. van Ooteghem, 2006.
Hydrionline III: Basal Water Controller. Eindrapport onderdeel B2.

Janssen H.J.J., G.J.van Dijk & C. Reinhold, 2005.
Hydrionline III Handbook Control System.

Vanthoor, B., 2005.
Hydrionline III: Modelbased feed back regeling. Eindrapport onderdeel B5

H.J.J. Janssen, Th.H. Gieling, V.Sarlikioti, B. Meurs, J. Ruijsch van Dugteren & J. Budding, 2006.
Hydrionline III: A Prototype Light Interception Sensor. Eindrapport onderdeel SM4

Stanghellini C. & E. Otma, 2007.
Hydrionline III: Fototosynthesemonitor. Eindrapport van onderdeel SM5.

Bijlage I.
Contactpersonen

Hortimax BV, Pijnacker

Dr. A.N.M. de Koning (Coördinator)

Priva BV De Lier

Projectleiders:
Ing. D. Zwartveld (Secretaris)
Dr. J. Westra

Hydrion BV Wageningen

Projectleider
F. Mulckhuijse

Wageningen Universiteit en Research Center

Penvoerder:
Dr. Ing. Th. H. Gieling

Projectleiders:

Dr. L.F.M. Marcelis
Dr. Ing. Th.H. Gieling
Dr. C. Stanghellini

Contactpersoon bij EET

M. Clement

Contactpersoon bij Productschap Tuinbouw

J. Klap