

Project in het kader van het energieprogramma
'Kas als Energiebron'
Ministerie van EL&I - Productschap Tuinbouw

Grenzen voor Luchtkwaliteit



PT projectnummer: 14089

Status: DEFINITIEF

Datum: 21 november 2011



Dit onderzoek is financieel ondersteund door het Productschap Tuinbouw, ministerie van EL&I en GasTerra i.h.k.v. het Programma Kas als Energiebron.

PROJECTTEAM

Stichting CropEye

Postbus 184, 2665 ZK Bleiswijk

Projectleider: Jolanda Heistek

jolanda.heistek@cropeye.com tel: 06 13608752



Wageningen UR Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG, Bleiswijk

Contactpersoon: Tom Dueck

tom.dueck@wur.nl tel: 0317 483207



EMS

Postbus 51, 4697 ZH Sint Annaland

Contactpersoon: Jan Kees Boerman

boerman@macview.nl tel: 06 53227854



Achmea Interpolis

Louis Braillelaan 100, 2719 EK Zoetermeer

Contactpersoon: Peter van der Sar

pg.vd.sar@interpolis.nl tel: 06 53805837



Praktijkbedrijven

Dit project kon alleen tot stand komen door de intensieve samenwerking met praktijkbedrijven. Het feit dat zij openheid van zaken hebben gegeven heeft het mogelijk gemaakt dat de data-analyse verwerkt kon worden in praktische aanbevelingen die voor hun eigen bedrijf en voor de gehele sector van toegevoegde waarde is. Dit rapport is ook gebaseerd op kennis uit eerdere meetprojecten bij bedrijven, zoals W. Tas, Wijnen, Nouweland Rozen, Themato en Kleiplateau.

Noord-Holland: Paprika

Kwekerij Het Grootslag
Nieuwe Dijk 8, 1619 PK Andijk
Contactpersoon: Toine van den Bosch



Zuid-Holland: Phalaenopsis en Roos

SO Natural
Bredeweg 62, 2752 AB Moerkapelle
Contactpersoon: Wouter Smaal



Marjoland
Bredeweg 1a, 2742 KS Waddinxveen
Contactpersoon: Joop van den Nouweland



Noord-Limburg: Roos

Saris vof Rozenkwekerij
De Mooyweg 64, 5916 RL Venlo
Contactpersoon: Koen Saris



Drenthe: Tomaat

Gardener's Pride
Oude zwarteweg 16, 7891 XG Klazienaveen
Contactpersoon: Martin van der Lubbe



Participanten

Naast het projectteam hebben andere bedrijven een actieve rol gespeeld door data en/of kennis c.q. middelen beschikbaar te stellen.

DLV Plant

Rol in project: Analyse data naar praktijkimplementatie voor Saris
Postbus 7001, 6700 CA Wageningen
Contactpersoon: Edwin van der Knaap



Hanwell

Rol in project: Beschikbaar stellen van gasdata van RGR/WKK
Postbus 304, 7500 AH Enschede
Contactpersoon: Fred de Klerk



Horti Support

Rol in project: Analyse data naar praktijkimplementatie voor
Het Grootslag
Jan Poortmanweg 18 2651 NB Berkel en Rodenrijs
Contactpersoon: Rop Petit



IRAS UU

Rol in project: Expert visie irt humane gezondheid over
gasanalyse data en arbeid
Jenalaan 18d, 3508 TD Utrecht
Contactpersoon: Dick Heederik



LetsGrow.com

Rol in project: Data koppeling
Postbus 108, 3130 AC Vlaardingen
Contactpersoon: Dennis van Dijk



INHOUDSOPGAVE

	Blz
1. Samenvatting	7
2. Inleiding	9
3. Doelstelling	11
4. Werkwijze	12
4.1. Experimentele begassing	12
4.2. Luchtkwaliteit in de praktijk (AirQ5)	13
4.2.1. Praktijkmetingen	14
4.2.2. Omschrijving meetbedrijven	15
4.2.3. Kennisuitwisseling vanuit praktijkmeting	17
4.3. Techniekscan en CO ₂ dosering Checklist	17
5. Resultaten	19
5.1. Experimentele begassing	19
5.2. Luchtkwaliteit in de praktijk (AirQ5)	22
5.2.1. Verwerkingsruimte	22
5.2.1.1. Phalaenopsis (SO Natural)	22
5.2.1.2. Snijbloemen (Marjoland)	24
5.2.1.3. Samenvatting luchtkwaliteit vs risicogrenswaarden	26
5.2.2. Kassen	28
5.2.2.1. Gemeten concentraties in relatie tot risicogrenswaarden Overzicht van alle praktijkbedrijven	29
5.2.2.2. Gemeten concentraties in relatie tot risicogrenswaarden analyse per meetbedrijf	33
5.2.2.3. Overzicht NOx / etheen metingen en specifieke dagverlopen per bedrijf	36
5.2.3. Techniekscan	52
5.2.4. Praktijkervaring en do's en don'ts	53
6. Evaluatie en Aanbevelingen	56
7. Kennisoverdracht	59
7.1. Interactieve praktijkbijeenkomsten	59
7.2. Presentaties en publicaties	60
8. Literatuur	62

Onderliggende rapporten en documenten:

- 1: Effecten op paprika na discontinue blootstelling aan etheen en stikstofoxiden,
C.J. van Dijk, E. Meinen & Th. A. Dueck, WUR-rapport, augustus 2011
- 2: Grenzen voor Luchtkwaliteit, Gasmetingen in en rondom kassen,
J.K. Boerman & L. van der Hart, EMS-rapport 201106012, juni 2011
- 3: Checklist CO₂ dosering rookgassen, Interpolis/Achmea,
P.G. vd Sar & B. Looijen, juli 2011

1. SAMENVATTING

De belangrijkste bron van schadelijke gassen in de glastuinbouw is waarschijnlijk de CO₂ dosering uit rookgassen, afkomstig van de ketel of in gereinigde vorm afkomstig van de WKK. Relevante gassen die uit de WKK komen zijn naast CO₂, NO_x, etheen, HF, SO₂ en aldehyden. Er zijn risicogrenswaarden (drempelwaarden) voor het gewas voor het veilig doseren van CO₂ middels het rookgaskanaal bekend. Deze waarden zijn afgeleid uit literatuurdata (Dieleman *et al.*, 2007) en uit onderzoek van Wageningen UR Glastuinbouw. Concentraties van gassen in het rookgaskanaal worden al gemeten. Bij overschrijding van deze waarden dient de CO₂ dosering stopgezet te worden of een andere maatregel te worden genomen, echter zelfs voordat dit gebeurt kan er al sprake zijn van een forse toename van het risico door overschrijding van de gasconcentraties in de kas. De bewaking van de luchtkwaliteit in het rookgaskanaal of CO₂-voeding blijkt vaak betrekkelijk, omdat er verontreinigingen mee gezogen kunnen worden op een punt in de installatie voorbij het meetpunt van de luchtbewaking. Trends in de glastuinbouw zoals het meer geconditioneerd telen (zoals Het Nieuwe Telen) kan resulteren in minder vrije uitwisseling van kaslucht met de buitenlucht. Hiermee neemt het risico toe dat eventueel schadelijke gassen in de kas ophopen waardoor schadedrempels voor het gewas overschreden worden en daadwerkelijke schade optreedt. Ook voor de medewerkers in de kas kan NO dan ook met name in de wintermaanden een potentiële risicofactor zijn.

CropEye, EMS en Wageningen UR Glastuinbouw hebben intensief samengewerkt met vier praktijkbedrijven (roos, phalaenopsis, tomaat en paprika). In zowel de kas als de verwerkingsruimte zijn de relevante gassen gemeten. Verder is er in begassings-experimenten onderzoek verricht naar discontinue begassing bij paprika. Door Interpolis is een CO₂ dosering checklist opgesteld die alle aandachtspunten in relatie tot de technische installatie inzichtelijk maakt op basis van bestaande kennis en praktijkervaring in dit project. Dit onderzoek is financieel ondersteund door het Productschap Tuinbouw, Ministerie van EL&I en GasTerra i.h.k.v. het Programma Kas als Energiebron.

De berekende risicogrenswaarden voor planten zijn laag (NO_x 40 ppb en etheen 11 ppb; Dieleman *et al.*, 2007) en liggen op een niveau dat in de praktijk, met name in de wintermaanden en bij lage ventilatievoud, regelmatig overschreden wordt.

Begassingsonderzoek is voorheen uitgevoerd met continue concentraties van gassen. In dit project is het effect van piekconcentraties op de plant (modelgewas paprika) onderzocht. Het blijkt dat kortdurende blootstellingen aan relatief hoge concentraties (acute blootstelling) leidt tot minder negatieve effecten ten opzichte van langere blootstelling aan lagere concentraties (chronische blootstelling). Het uitblijven van negatieve effecten bij discontinue blootstellingen kunnen mogelijk toegeschreven worden aan het onvermogen om

een plant (zeer) hoge concentraties van een toxische stof in korte tijd op te nemen, of aan een herstel vermogen van de plant bij voldoende tijd tussen (discontinue) blootstellingen.

Bij voorkeur spreken we, onder praktijkomstandigheden, in plaats van 'effectgrenswaarden' over risicogrenswaarden. Effectgrenswaarden is een wetenschappelijke term, waarbij in onderzoek significante effecten aangetoond zijn bij een bepaalde concentratie van een component onder vaste condities. Voor de praktijksituatie is het beter om over het begrip risicogrenswaarde te spreken. Het optreden van een effect is van veel meer parameters afhankelijk dan alleen de gasconcentraties, maar ook gewas (cultivar) en klimaatomstandigheden zijn bepalend. Boven de grenswaarde hoeft geen directe schade te ontstaan, maar het risico neemt wel toe, afhankelijk van de omstandigheden.

Op alle deelnemende bedrijven zijn gedurende de winterperiode en het vroege voorjaar NOx gasconcentraties boven de risicogrenswaarde van 40 ppb gemeten. Pieken NOx of etheen kunnen meer dan 2-3x hoger uitvallen dan de daggemiddelden. De verschillen tussen de bedrijven zijn groot. Zowel de WKK met RGR als de ketel kunnen bronnen van verontreiniging zijn. Er is een verband tussen CO₂ doseeracties en gemeten NOx maar het verband is niet altijd even duidelijk, waarbij deze onduidelijkheid door een externe bron veroorzaakt dan wel verstoord kan worden. Alleen bij het gebruik van zuiver CO₂ worden de risicogrenswaarden voor NOx en etheen niet overschreden.

Van kennis naar praktijk

Door het gebruik van de CO₂-checklist en aandacht bij het vrachtverkeer rond de laadruimte kunnen externe verontreinigingsbronnen worden verwijderd of sterk gereduceerd.

In het begassingsonderzoek zijn de 'praktijk' pieken gesimuleerd. De resultaten geven voor de praktijk een meer gunstig toepasbare blootstelling aan rookgassen voor planten. Het lijkt voor de praktijk dat kortdurende blootstellingen aan relatief hoge concentraties (acute blootstelling) leidt tot minder negatieve effecten dan verwacht op basis van de generieke risicogrenswaarden. Echter dit is gewas (en cultivar) en bedrijfsspecifiek en kan alleen bepaald worden op basis van kasmetingen van NOx en Etheen.

Kasluchtmetingen naar ongewenste concentraties verontreinigingen in de kas zouden regelmatig moeten worden uitgevoerd. In de praktijk wordt hier alleen aandacht aan besteed bij twijfel over de gewasgroei. Voordat deze twijfel duidelijk naar voren komt is in een grijs gebied van wel of geen zichtbaar schadebeeld wellicht al een behoorlijke schade in productie ontstaan. Continue monitoring gedurende het gehele teeltseizoen zou hierbij kunnen helpen. De gemiddelde gasconcentraties over de dag zijn bepalend voor de toename van het risico. Van belang is wel dat de informatie snel en overzichtelijk beschikbaar is waardoor nader onderzoek naar de bron steeds snel en doeltreffend kan worden ingezet.

2. INLEIDING

De positieve effecten van het doseren van CO₂ zijn algemeen bekend: hogere productie en/of betere kwaliteit. Er zijn echter aanwijzingen dat CO₂ uit rookgassen resulteert in negatieve effecten op groei en productkwaliteit (van Dijk *et al.*, 2003). Deze negatieve effecten worden met name toegeschreven aan de verontreinigingen in rookgassen uit installaties met warmtekrachtkoppeling (WKK's) of ketel. WKK's zijn belangrijk in de Nederlandse glastuinbouw voor het verwarmen van de kas, de CO₂ productie ten behoeve van gewasgroei en -productie en de opwekking van elektriciteit voor belichting en levering aan het net. Ondanks het reinigen van de rookgassen uit WKK's komen gasvormige componenten in de kas die potentieel schadelijk zijn voor het gewas (van Dijk *et al.*, 2003, 2009, Dueck *et al.*, 2008). Bij onvolledige verbranding in de ketel kunnen ook hier ongewenste gassen de kas in komen.

De bedrijven met WKK (totaal oppervlak circa 6000 ha.) worden veelal gekenmerkt door een (energie-) intensieve teelt en hoge doseerconcentraties van CO₂. Met name in de winter, wanneer de noodzaak tot luchten beperkt is, kan dan verhoging van de concentratie aan schadelijke gassen plaatsvinden zonder direct oorzakelijke verschijnselen.

Gewasschade kan grote gevolgen voor het rendement van de bedrijven hebben. Naast het werkelijke risico speelt ook de risicobeleving door de tuinder een rol. Tuinders zijn meestal onwetend over de risico's van schadelijke gasvormige componenten voor de gewassen.

Daarnaast zijn er aanwijzingen dat grenswaarden voor NO voor de mens (MAC-waarde) incidenteel worden overschreden door CO₂-dosering uit rookgassen (Heistek *et al.*, 2008, 2010a). Dit probleem doet zich met name 's winters voor, wanneer kassen relatief weinig tot niet geventileerd worden. Het gebruik van Pulsfog systemen, bladblazers, overzetwagens, e.d. in de kas dragen mogelijk ook bij aan te hoge concentraties van schadelijke gasvormige componenten. De kans op overschrijdingen van grenswaarden in werkruimten en los/laadruimten is door heftrucks met verbrandingsmotoren, vrachtwagens e.d. hoger.

In het onderzoek van Dueck *et al.* (2008) en Heistek *et al.* (2010a, b) zijn concentraties van schadelijke rookgascomponenten gemeten in de kassen, bij het doseren van CO₂, die nadelige gevolgen kunnen hebben voor het gewas. De belangrijkste componenten die hierbij een rol spelen zijn stikstofoxiden (NO en NO₂, samen NO_x) en etheen (C₂H₄). Met enige regelmaat worden door tuinders negatieve effecten op groei en productkwaliteit van kasgewassen gemeld, waarbij men vermoedt dat het niet goed functioneren van de WKK-rookgasreinigings (RGR)-installatie een rol heeft gespeeld. Gebruik van andere processen zoals CO₂ dosering uit de ketel of apparatuur met een verbrandingsmotor, in en om de kas, kan hier ook een oorzaak van zijn. Er zijn aanwijzingen dat de gewasschade toegeschreven kan worden aan NO_x en/of etheen, maar het is niet uitgesloten dat ook andere

componenten hierbij een rol spelen zoals benzeen, zwaveldioxide (SO₂), aldehyden (verzamelgroep) die ook in rookgassen kunnen voorkomen of Fluorwaterstof (HF) uit biovergisters (van Dijk *et al.*, 2009).

Bij Het Nieuwe Telen wordt t.b.v. energiebesparing nog meer gesloten geteeld. Hierdoor is bij rookgasdosering de kans op relatief hoge concentraties van schadelijke gasvormige componenten groter. Bij ontvochtiging, waarbij de kaslucht ververst wordt door buitenlucht-aanzuiging, kan de concentratie schadelijke gassen mogelijk gereduceerd worden door verdunning met buitenlucht. Hierbij wordt aangenomen dat de aangezogen buitenlucht lage concentraties van schadelijke gassen bevat. De mogelijke gevolgen hiervan zijn beschreven bij het opnieuw vaststellen van risicogrenswaarden voor NO_x en etheen (Dieleman *et al.*, 2007). Echter, deze risicogrenswaarden zijn gebaseerd op continue blootstellingen aan NO_x of etheen, terwijl rookgas een cocktail van componenten is die vaak in piekconcentraties wordt waargenomen. In de praktijk worden de concentraties van NO_x en etheen alleen direct achter de reiniger in het rookgaskanaal gemeten, en niet in de kas op plantniveau, omdat daar tot op heden geen meetapparatuur staat. Er bestaat ook nog geen goede in de praktijk bruikbare relatie tussen rookgaskwaliteit na de reiniger en concentraties in de kas. Al met al hebben telers nog geen informatie over concentraties van schadelijke rookgas-componenten in de kas. Daarom kunnen telers niet goed inschatten wanneer het gewas risico loopt. Bovendien weten zij niet wanneer zij welke maatregelen moeten nemen.

In dit project zijn;

- a) Experimentele begassingens uitgevoerd, waarbij gekeken is naar het effect van continue en discontinue begassingens, en begassingens met meerdere schadelijke componenten tegelijk.
- b) In vier regio's praktijkmetingen uitgevoerd voor kennisverhoging en -verbreding. Voor de kennisoverdracht zijn de praktijkdata en analyse direct teruggekoppeld naar de praktijkbedrijven. De kennisopbouw bij de praktijkbedrijven is tot stand gekomen door de tuinders te informeren over risicogrenswaarden op basis van experimentele begassingens, uitleg analyse van metingen in de praktijk, en toepassing van techniekscan en CO₂-dosering checklist.
- c) Diverse workshops op praktijklocaties en artikelen in diverse media geplaatst om de bewustwording van een brede groep tuinbouwondernemers te vergroten.

3. DOELSTELLING

Doelstelling van het hier beschreven project betrof de kennisopbouw en de bewustwording van de luchtkwaliteit op de glastuinbouwbedrijven, monitoring van luchtkwaliteit in kassen, werkruimten en effecten van maatregelen ter verbetering van de luchtkwaliteit op de glastuinbouwbedrijven. Centraal stond het voorkomen van ongewenste luchtkwaliteit voor mens en gewas. Waardoor de glastuinbouwondernemer de risico's van het gebruik van rookgas-CO₂ beter kan bepalen en daardoor meer verantwoord weet om te gaan met de CO₂ dosering uit rookgassen.

Om deze verbetering van bedrijfsrendement te behalen is kennis over onderstaande punten noodzakelijk:

- Praktijkgegevens van de concentraties en patronen van de belangrijkste schadelijke rookgascomponenten: NO en NO₂ (NO_x), etheen (C₂H₄), in de kas op plantniveau en zwaveldioxide (SO₂), waterstoffluoride (HF), aldehyden en benzeen in de laad-, los- en werkruimte.
- Het effect van discontinue (piekconcentraties) en continue blootstellingen, waardoor risicogrenswaarden beter gerelateerd kunnen worden aan realistische blootstellingen van rookgassen in de kas.
- Het effect van de combinatie NO_x en etheen op planten.

Bovenstaande punten zijn onderzocht in dit project en beschreven in dit rapport en in meer detail in de onderliggende rapporten (zie index).

4. WERKWIJZE

Het project is onderverdeeld in drie aandachtspunten:

1. Experimentele begassing
2. Praktijkmetingen luchtkwaliteit
3. Techniekscan en Checklist CO₂-dosering

Effectgrenswaarden vs risicogrenswaarden

Effectgrenswaarden is een wetenschappelijke term, waarbij in onderzoek significante effecten aangetoond zijn bij een bepaalde concentratie van een component onder vaste condities. Voor praktijkomstandigheden is het beter om over het begrip risicogrenswaarde te spreken. Het optreden van een effect is van veel meer parameters afhankelijk dan alleen de gasconcentraties, maar ook gewas (cultivar) en klimaatomstandigheden zijn bepalend. Boven de grenswaarde hoeft geen directe schade te ontstaan, maar het risico neemt wel toe, afhankelijk van de omstandigheden.

4.1. Experimentele begassing

Omdat de wijze van blootstelling van rookgas aan het gewas in kassen sterk afwijkt van die bij experimentele begassing, werd de wijze van blootstelling in de praktijk nagebootst. De begassing is uitgevoerd bij Wageningen UR Glastuinbouw (WUR-Glastuinbouw). Het gewas paprika is gekozen als modelgewas, omdat (1) de respons voor rookgassen (met name etheen en NO_x) bekend is uit eerder onderzoek, en (2) paprika voor wat betreft etheen een relatief gevoelig gewas is en voor NO_x de effecten duidelijk zichtbaar zijn, zodat een goede vergelijking gemaakt kan worden. Voor uitgebreide beschrijving van de experimenten zie van Dijk *et al.* 2011.

Hieronder is een overzicht gegeven van de aandachtspunten:

- Effecten van **piekconcentraties vergeleken met continue blootstellingen** om een betere basis te kunnen geven voor risicogrenswaarden bij realistische typen blootstellingen. De huidige effectgrenswaarden zijn gebaseerd op continue (chronische) blootstellingen. In de praktijk komen echter ook kortdurende piekconcentraties regelmatig voor. Om aan te tonen of er verschillen zijn in plantgevoeligheid tussen blootstellingen aan sterk variërende concentraties (pieken) en gelijkblijvende (continue) concentraties worden planten blootgesteld aan verschillende regimes, waarbij concentratie vermenigvuldigd met de tijdsduur constant is. De effecten worden vergeleken met een blootstelling aan een continue concentratieniveau.
- **Effect van een combinatie van NO_x en etheen** op het gewas en vergelijking met de effecten van de afzonderlijke componenten. De huidige effectgrenswaarden zijn

gebaseerd op continue (chronische) blootstellingen aan één component. Uit de literatuur is bekend dat combinaties van componenten elkaars effect kunnen versterken (meer dan additief) of afzwakken (minder dan additief). Planten worden blootgesteld aan voor de glastuinbouw realistische concentraties aan NO_x en etheen, zowel afzonderlijk als in combinatie.

- **Invloed van CO₂ én etheen samen.** Bij dosering van rookgassen in de kas worden hoge CO₂ -concentraties nagestreefd. Voorgaande experimenten zijn uitgevoerd bij atmosferische CO₂ concentratie zonder extra dosering. De vraag is of CO₂ invloed heeft op het effect van rookgassen?
- **Effect van het rookgas-cocktail op de fotosynthese.** Onder praktijkomstandigheden, in een kas bij hoog CO₂ niveau, en dus hoge concentratie aan rookgascomponenten wordt de fotosynthese van individuele planten gemeten en vergeleken met de fotosynthese gemeten bij dezelfde concentratie (puur) CO₂.

4.2. Luchtkwaliteit in de praktijk (AirQ5)

Welke gassen kunnen we verwachten?

Zowel NO alsook NO₂ komen vrij uit rookgassen. De verhouding waarin deze gassen vrijkomen hangt af van veel factoren van de motor, zoals motorafstelling, -temperatuur (koude start), -vermogen en de efficiëntie van de verbranding. Het vermoeden is dat bij meer onvolledige verbranding meer NO₂ vrijkomt. NO₂ is meer reactief dan NO.

NO₂ ontstaat over het algemeen bij hoge verbrandingstemperaturen. Bij lagere verbrandingstemperaturen wordt meestal eerst NO gevormd. Dit kan zowel plaatsvinden in de WKK alsook in de ketel. Katalysatoren zijn er over het algemeen op gericht om de totale hoeveelheid NO en NO₂ (NO_x) zo ver mogelijk te reduceren.

In Nederlands aardgas komt geen zwavel voor. Er wordt aan Nederlands aardgas een zwavelhoudende geurcomponent toegevoegd (18 mg/m³ tetrahydrothiofeen). Het grootste deel van de SO₂ die uit de rookgas komt is afkomstig van de verbranding van deze tetrahydrothiofeen. SO₂ is als gas met name bekend om de veroorzaker van zure regen. Een onderwerp dat in de jaren 80 met name hoog op de agenda stond. In de loop van de tijd zijn de zwavelcomponenten uit fossiele brandstoffen fors gereduceerd.

Aldehyden staan bekend als restproduct van fossiele verbrandingsprocessen. Verder staat HF (waterstoffluoride) bekend als gas dat als restproduct voor fossiele verbrandingsprocessen geldt en is ook in het onderzoek meegenomen.

In ideale omstandigheden is de verbranding van een brandstof (b.v. aardgas) volledig en wordt er alleen CO₂ en water (H₂O) geproduceerd. De omstandigheden in een WKK motor of brander zijn meestal wel optimaal, maar nooit ideaal. Onvolledige verbranding vindt plaats als er een tekort is aan zuurstof om alle brandstof volledig te laten verbranden. De

onvolledige verbranding resulteert in de vorming van bijproducten. Specifieke componenten uit rookgas door niet ideale verbranding zijn het voor de mens giftige koolmonoxide, etheen, aldehyden, zwaveldioxide en benzeen.

4.2.1. Praktijkmetingen

In 4 regio's in Nederland is meetapparatuur van EMS geïnstalleerd op bedrijven waar CO₂ wordt gedoseerd door middel van rookgassen uit aardgasgestookte WKK-installaties of ketel. Op de bedrijven is in de kas intensief gemonitord en de data zijn via LetsGrow.com beschikbaar gesteld aan alle deelnemers. De data zijn door WUR-Glastuinbouw geanalyseerd. Analyse van de monitoring in de werk en losruimte is door EMS uitgevoerd.

De inzet van de meetsystemen is gekozen op de volgende parameters:

In de kas: Op elke bedrijf is in de productieruimte de volgende meting uitgevoerd; NO, NO₂ (samen NO_x) en C₂H₄ (etheen). Ook is CO (koolmonoxide) gemeten, maar omdat er geen risicogrenswaarden voor planten bekend zijn en de waarden in het algemeen relatief laag waren, in relatie tot de humane MAC-waarden, wordt dit niet in deze rapportage vermeld. Op één bedrijf (Marjoland) is extra gemonitord op: SO₂ (zwaveldioxide), aldehyden en HF (waterstoffluoride).

In de werk(laad/los) ruimte is op twee bedrijven NO, NO₂ (NO_x), C₂H₄ en CO gemeten. De extra monitoring bestond uit: SO₂, benzeen, aldehyden en HF. Dit laatste met name vanwege de kans op uitlaatgassen van het vrachtverkeer rondom dokstations. Gekozen is voor een potplantenbedrijf, aangezien daar in de werk (laad en los) ruimte sprake is van mogelijke opslag van product gedurende enkele dagen. Daarnaast is ook gemeten bij een snijbloemenbedrijf (roos), waarbij het gewas, over het algemeen korter in deze ruimte verblijft.



Via een koppeling (LetsGrow.com) zijn de actuele concentratieniveaus van de meetapparatuur uit de kas en werkruimte in beeld gebracht voor de tuinder en het projectteam. Ook gegevens rondom het kasklimaat, CO₂-dosering, ventilatie e.d. vanuit de klimaatcomputer zijn met LetsGrow.com gekoppeld. Gedurende het najaar/winter

(november t/m april), een periode waarin weinig wordt geventileerd en eventueel wordt geschermd, werden de data geanalyseerd en bewerkt. De tuinder heeft zijn gewas zelf visueel beoordeeld, om te bezien of eventuele hoge concentraties aan rookgassen in de kas overeen komen met het beeld dat de tuinder van zijn gewas heeft.

Direct achter de WKK werden met behulp van de al bestaande systemen de parameters gemeten: NO, NO₂ en etheen. Wanneer de tuinder gebruik maakte van een Hanwel rookgasreiniger, en deze data beschikbaar waren, dan zijn deze data beschikbaar gesteld voor het project. Dit is bij één bedrijf gebeurd (zie separaat rapport EMS).

4.2.2. Omschrijving meetbedrijven

Laad/Los c.q. Werkruimte;

In de Laad/los-verwerkingsruimte bij zijn aanvullende metingen van SO₂, HF, Aldehyden en benzeen uitgevoerd.

Potplanten (Phalaenopsis); laadruimte aansluitend aan verwerkingshal met medewerkers, plantmateriaal dat enkele dagen in verwerkingsruimte blijft staan.

Snijbloemen (Roos): laadruimte aansluitend aan verwerkingshal met medewerkers, plantmateriaal maximaal 1 dag in verwerkingsruimte.

De EMS-Meetbox voor meting van NO, NO₂, C₂H₄ en CO is gedurende de winterperiode geplaatst bij SO natural, Saris, Het Grootslag en Gardener's Pride in de kassen.

Bedrijf	Gewas	WKK	RGR	CO ₂ Strategie	Belichting	Meetlocatie Kas	Opmerkingen
Het Grootslag	Paprika (rood)	Jenbacher 3 en 4 MW 2009	Hanwell	Winter standaard ketel. Na eerste vrucht zetting en mogelijkheid ventilatie WKK (14 februari 2011).	geïnstalleerd vermogen 5000 lux		3 Mw kan 70% deellast draaien.
SO natural	Phalaenopsis 9 ha, diverse rassen	Jenbacher 2.2 MW 2009	Hanwell	180 kg/ha/uur van de RGR. Eventueel doseren met ketel.	2 installaties van 60 µmol/sec/m ²	Afkweek midden in afdeling bij meetbox.	70% deellast is mogelijk
Gardener's Pride	Tomaat 3.8 ha	Deutz (TCG 2020 v20) 2 MW 1998	Hanwell	240 kg/ha/uur van de RGR. Winter standaard WKK. Eventueel ketel. Geen zuiver CO ₂	geïnstalleerd vermogen 4500 lux	rechts Pad 95 spant 5.	CO ₂ strategie
Saris Rozen	4,8 ha Grand Prix	Deutz AG (MWM) (TCG 2020 V16) 1,5 MW 2004	Codinox: hugengineering Coditheen: Hanwell	160 kg/ha/uur van de RGR, plus 40 kg/ha/uur vlb CO ₂ . 20 hr doseren/dag. Bij storing ketel CO ₂ .	2x80 mmol	kas 2 (2,55 ha) (afdeling 5, tralie 5 en 6 spant 8, ter hoogte van klimaatmeetbox)	Niet deellast draaien
Marjoland	Roos 20 ha, cv Passion, White Noami, Sweet Dolimiti	9 details hieronder		Jaarrond CO ₂ met WKK en Ocap. CO ₂ 180 kg/ha/uur van de RGR, plus 120 kg/ha/uur vlb CO ₂ . 20 hr doseren/dag. Ocap 200 kg/ha/uur. Bij storing CO ₂ van ketel.	installatie van 235 µmol/sec	Boven verwerkingsruimte, Het Nieuwe Telen	

WKK	Merk:	Vermogen	Aanschafjaar	RGR
1	Guascor HPC 930 G	930	2000	nee
2	Guascor HPC 930 G	930	2000	ja
3	Guascor HPC 930 G	930	2000	nee
4	Guascor HPC 930 G	930	2000	ja
5	Guascor HPC 525 G5	525	2000	nee
6	Cummins HPC 2040 Cu6	2040	2005	Ja
7	Cummins HPC 2040 C7	2040	2005	Ja
8	Catepillar HPC 1030 C2	1030	2005	Ja
9	Jenbacher J620 GS F200	3340	2009	Ja

4.2.3. Kennisuitwisseling vanuit praktijkmeting

Op basis van de gegevens van de gassensoren is per bedrijf inzicht verkregen in de luchtkwaliteit in de kas. De onderlinge samenhang en de invloed op de door de sensoren gegenereerde meetwaarden zijn geanalyseerd. Een expert van WUR-GTB heeft de gegenereerde kennis (plant/energie) samen met EMS omgezet in praktische handvaten. Waarbij de vertaling naar en toepasbaarheid in de praktijk leidend is. De adviezen zijn afgestemd met de teeltbegeleider van de deelnemende praktijkbedrijven.

Hiervoor zijn dagelijks grafische overzichten aan de deelnemende bedrijven en projectteam verstuurd (zie als voorbeeld figuur 19). Het inzicht dat daaruit is verkregen kan leiden tot optimalisatie van de productie (kwaliteit vs. aantallen) met minimale inzet van middelen.

De aanbevelingen zijn weergegeven in paragraaf 5.2.4.

4.3 Techniekscan en CO₂ dosering Checklist

Bij alle deelnemende bedrijven heeft een technisch specialist van Achmea/Interpolis een visuele inspectie van de technische installaties in relatie tot CO₂ dosering uitgevoerd, samen met de verantwoordelijke persoon van het praktijkbedrijf, waarbij direct oplossingsrichtingen zijn besproken. Daarbij is aandacht besteedt aan de apparatuur en de omgeving. De algemene leerpunten uit deze scan zijn beschreven in paragraaf 5.2.3.

De algemene conclusies die vanuit deze inspecties, voorgaande AirQ(1-4)projecten en brede praktijk kennis van Interpolis beschikbaar is, zijn verzameld in een checklist voor CO₂ dosering (Sar en Looijen, juni 2011).

Deze checklist is voor gebruikers van installaties t.b.v. CO₂-dosering in de glastuinbouw. De checklist bevat aandachtspunten voor zowel nieuw aan te leggen installaties als bestaande installaties. De lijst gaat uit van de meest gebruikelijke situatie, dat wil zeggen een WKK/installatie met rookgasreiniger als primaire CO₂-bron. Voor het eerste gebruik is het belangrijk om de lijst door te nemen en vast te stellen welke punten relevant zijn. Eénmalig wordt vastgesteld welke punten terugkerend van toepassing zijn.

Deze checklist is beschikbaar gesteld aan alle deelnemende praktijkbedrijven en deelnemers van de workshops om te gebruiken op het eigen bedrijf. Aanbevelingen vanuit de praktijk zijn opgenomen in de huidige versie. In een later stadium zal deze checklist door PincAgro via hun risicomangement web applicatie beschikbaar komen.

Bij de Techniekscan is gebruikt gemaakt van de volgende aandachtspunten. Deze punten zijn ook nader uitgewerkt in de CO₂-dosering checklist (bijlage 3).



Opstelling

- Binnen/buiten de omkasting
- Scheiding t.o.v. teeltruimte
- Bijmengvoorziening CO₂- ventilator/collector
- Onderdruk beveiliging op CO₂-collector
- CO₂ systeem volledig afgesloten (condensafvoer)
- Omkasting op over- of onderdruk
- Opstellingsruimte voldoende geventileerd
- Buitenluchtaanzuiging op de juiste plek
- Positie en hoogte van de schoorsteen
- Positie mogelijk trafohuis

Onderhoud

- (Automatische) ijking goed ingesteld c.q. uitgevoerd
- Grenswaarden bewaking juist ingesteld
 - C₂H₄ = 450 ppb / NO = 20 ppm / NO₂ = 13 ppm
- Jaarlijks onderhoud
 - Etheenbewaking / vervangend exemplaar
 - de NO/(NO₂)/CO sensoren
 - meetslangen

Gebruik

- Beoordeel steeds of doseren verantwoord is
- Monitoren meetgegevens
 - C₂H₄ / NO / NO₂
 - Smeerolieverbruik
- Wees alert op rookgaslekkages



5. RESULTATEN

5.1 Experimentele begassing

Een gedetailleerd rapport van de experimentele begassing door Wageningen UR Glastuinbouw (van Dijk et al., 2011) wordt hieronder samengevat.

Om het effect van deze typen blootstellingen te kunnen vergelijken met de kennis over ongewenste effectieve concentraties (effectgrenswaarden), zijn paprikaplanten geplaatst in begassingsfaciliteiten van Wageningen UR in Wageningen. Daarin zijn ze continu en discontinu blootgesteld aan de twee belangrijkste rookgassen, NO_x en etheen om het effect van piekconcentraties in de kas na te bootsen. Daarnaast zijn paprikaplanten blootgesteld aan etheen samen met NO_x of CO₂ om het effect van rookgassen (cocktail of mengsel van gasvormige componenten) na te bootsen.

De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat blootstelling aan zowel continue als discontinue etheenconcentraties van 40 ppb of hoger al na enkele dagen tot zichtbare effecten leiden. Etheen had ook een sterk negatief effect op de knoppen die tijdens de blootstellingsperiode werden gevormd; deze vielen grotendeels af waardoor ook geen bloemen en vruchten tot ontwikkeling kwamen. De effecten waren bij continue blootstelling groter dan bij discontinue blootstellingen.



Effecten van discontinue (piek)blootstellingen

In het eerste experiment was duidelijk waarneembaar (al na 4 dagen) dat er sterkere effecten waren bij blootstelling van paprika aan etheen in de lichtperiode t.o.v. de donkerperiode.

De lengte van het tijdsinterval waarin geen etheen wordt gedoseerd lijkt belangrijker in termen van effecten dan de absolute hoogte van de etheenconcentraties, ofwel kortdurende blootstellingen aan relatief hoge concentraties (acute blootstelling) leidt tot minder

negatieve effecten ten opzichte van langere blootstelling aan lagere concentraties (chronische blootstelling). Het uitblijven van negatief effecten bij discontinue blootstellingen kunnen mogelijk toegeschreven worden aan het onvermogen om een plant (zeer) hoge concentraties van een toxische stof in korte tijd op te nemen, of aan een herstel vermogen van de plant bij voldoende tijd tussen (discontinue) blootstellingen.

Dit onderzoek toont aan dat paprikaplanten minder sterk reageren op discontinue blootstellingen van etheen dan op continue, mogelijk als gevolg van het optreden van herstelmechanismen. Op grond daarvan is toetsing aan de bestaande effectgrenswaarde een *worst case* benadering. De effectgrenswaarde is namelijk gebaseerd op onderzoek waarin planten continu werden blootgesteld aan etheen, terwijl in de praktijk blootstelling van planten aan rookgassen als gevolg van CO₂ dosering over het algemeen een discontinu karakter heeft. Hierdoor kan vroegtijdige signalering mogelijk worden.

Phalaenopsis planten zonder symptomen zijn gedurende zeven dagen blootgesteld aan verschillende etheen en NO_x concentraties van het lopende begassingsexperiment. Symptomen aan de bloembladeren zoals die op de kwekerij zijn geconstateerd zijn niet waargenomen. Wel bleken, na drie dagen blootstelling aan 40 of 80 ppb etheen ongeacht de aanwezigheid van NO_x, de steeltjes van de knoppen te vergelen waarna de knoppen na zeven dagen begonnen af te vallen.

Effect van een combinatie van NO_x en etheen op het gewas.

Eerder onderzoek wees uit dat paprika minder gevoelig is voor NO_x dan andere gewassen, en dat werd in deze studie bevestigd. Al waren er bij zowel middelmatige als hoge concentraties van NO_x in combinatie met etheen grote negatieve effecten op paprika, de effecten verschilden weinig van die met etheen alleen, waaruit blijkt dat paprika zeer gevoelig is voor etheen. Voorzichtigheid blijft daarom geboden bij doseren van CO₂ uit rookgassen in paprika.

De betekenis voor de praktijk is dat tuinders mogelijk meer CO₂ kunnen doseren dan op basis van de bestaande effectgrenswaarden voor mogelijk werd gehouden. Mits men de concentraties aan NO_x en etheen in de kas kan meten, lijkt het mogelijk om de bovengrens van CO₂ dosering verder te verkennen.

Doseren van CO₂ met rookgassen; Invloed van CO₂ én etheen samen.

Vertaald naar de praktijk betekent het dat tuinders die CO₂ doseren met rookgassen geen vermindering van de etheeneffecten hoeven te verwachten als gevolg van de positieve effecten van additioneel CO₂ op de gewasontwikkeling.

De resultaten tonen ook aan dat eerder onderzoek bij atmosferische CO₂ concentraties waarop de effectgrenswaarden van etheen zijn gebaseerd geen onder- of overschatting is

geweest. Ook eventueel vervolgonderzoek naar de effecten van etheen hoeft niet noodzakelijkerwijs plaats te vinden bij verhoogde CO₂ concentraties.

Effect van het rookgas-cocktail op de fotosynthese.

Voor het krijgen van meer inzicht in het effect van de volledige cocktail aan componenten die in rookgassen kunnen voorkomen op de fotosynthese zijn een aantal fotosynthesemetingen uitgevoerd. Hiervoor is een hoeveelheid rookgas uit een CO₂ darm opgevangen in een kunststof monsterzak. Fotosynthese werd gemeten aan blad van *Spatiphyllum* planten met 'controle' lucht en met 'rookgas' afkomstig van de WKK.

Uit de oriënterende metingen blijkt dat de fotosynthese geremd kan worden door rookgassen maar de verschillen in fotosynthese (CO₂ opname) zijn relatief gering. Om een effect van rookgassen op de fotosynthese aan te kunnen tonen is het aan te bevelen om de planten voor een langere tijd aan de rookgassen bloot te stellen, conform de praktijksituatie.



5.2 Luchtkwaliteit in de praktijk (AirQ5)

Hieronder is een samenvatting van de resultaten gegeven. Een gedetailleerde omschrijving is weergegeven in een separaat rapport (Boerman en van der Hart, 2011). De resultaten geven inzicht in de praktijksituatie in de glastuinbouw, de hoogte van de meetwaarden zijn afhankelijk van de bedrijfsspecifieke situatie.

5.2.1 Verwerkingsruimte

5.2.1.1 Phalaenopsis (SO Natural)

NOx en etheen

In de verwerkingsruimte zijn in de periode van 18-11-2010 tot 07-04-2011 metingen uitgevoerd om de invloed van het laden / lossen en andere logistieke bewegingen te kunnen monitoren. Omdat de opkweekruimte als vloer direct boven de verwerkingsruimte ligt, is lekkage van de verwerkingsruimte naar de opkweek denkbaar.

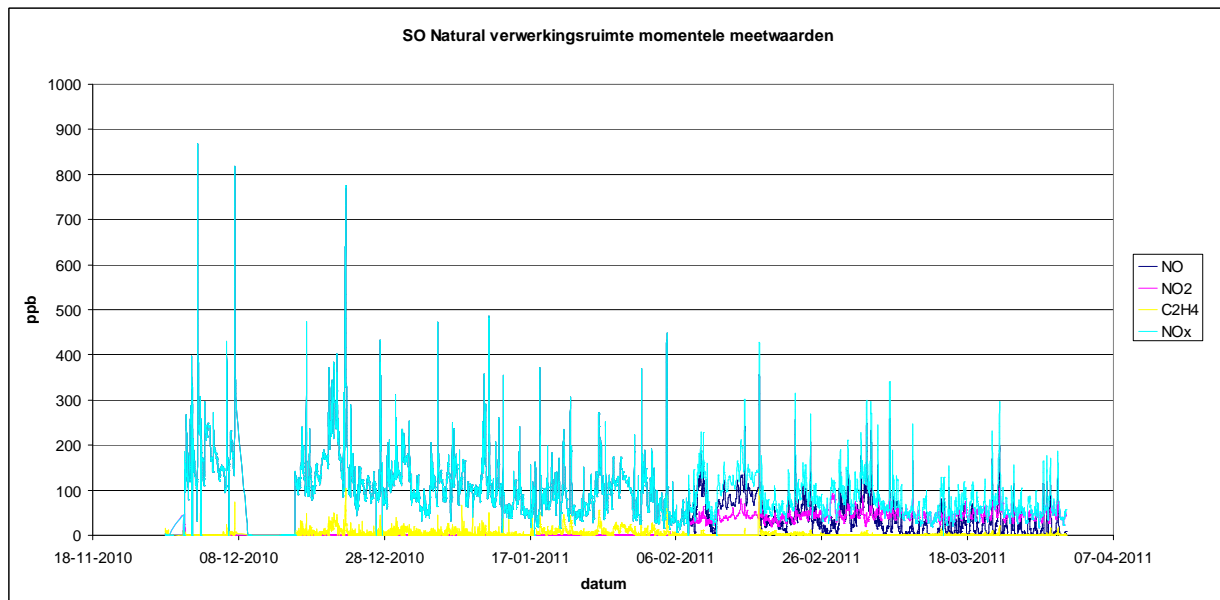
Voor etheen valt op dat er veel piekbelastingen aanwezig zijn, met name tijdens het lossen van bark en ophalen van vuilcontainers. De vrachtwagen moet de op de vrachtwagen gemonteerde lopende band draaiend houden. Om uitlaatgassen in de verwerkingsruimte te reduceren wordt de uitlaat van de vrachtwagen aangesloten op het centrale afzuigstelsel. Na het zien van deze resultaten is men daar nu meer alert op.



Figuur 1 Op 6 december 2010 tussen 8:00 uur en 9:30 uur en tevens op dinsdag 7 december 2010 tussen 10:00 uur en 12:00 uur vinden er bark lossingen plaats. Naast grote NO (blauw) pieken zijn er ook grote etheen (rood) pieken waarneembaar.

Laaddeuren die in verbinding staan met een afgesloten ruimte waarin vrachtwagens parkeren om te laden en te lossen zijn vaak open. Het openen van deze deuren geeft een structurele verhoging op de NOx en de etheen waarden in de verwerkingsruimte. De oorzaak is dat de ruimte voor de vrachtwagens dicht is zonder afzuiging waardoor de rookgassen bij het inparkeren en het uitrijden blijven hangen. Een oplossing zou zijn om een afzuigstelsel aan te brengen, of om ervoor te zorgen dat de deuren aan de zijde van de verwerkingsruimte zoveel als mogelijk dicht blijven en de deuren naar buiten toe af en toe op een kier gezet worden om te luchten.

Verder is er door de meetperiode heen een verlaging te zien van de NO waarden en vooral van de hoogte van de pieken. In de tussentijd is er een ventilatiesysteem aangebracht in de verwerkingsruimte. Het is niet op de datum te noemen, maar de afname van de gasconcentraties lijkt een relatie te hebben met de ingebruikname van dit ventilatiesysteem.



Figuur 2 Overzicht van de gasconcentratie in de meetperiode met real-time meetpunten van SO-Natural in de verwerkingsruimte.

De mobiele NOx/etheen analyser die is gebruikt, in de eerste periode in de verwerkingsruimte van SO natural, heeft problemen gehad met de verwerking van de NO₂ data. Dit is begin februari opgelost. De NO₂ data tot die tijd in de verwerkingsruimte zijn niet opgenomen in de dataset.

De gasconcentraties die in deze periode gemeten zijn, zijn voor NOx allemaal hoger dan de risicogrenswaarde. Opvallend is dat de verhouding van de pieken in relatie tot de daggemiddelden voor NOx een factor 3 lager hoger uitvallen. Voor etheen is deze factor nog hoger. Vooral de pieken tot 800 ppb NOx en tot 100 ppb etheen zijn zeer hoog.

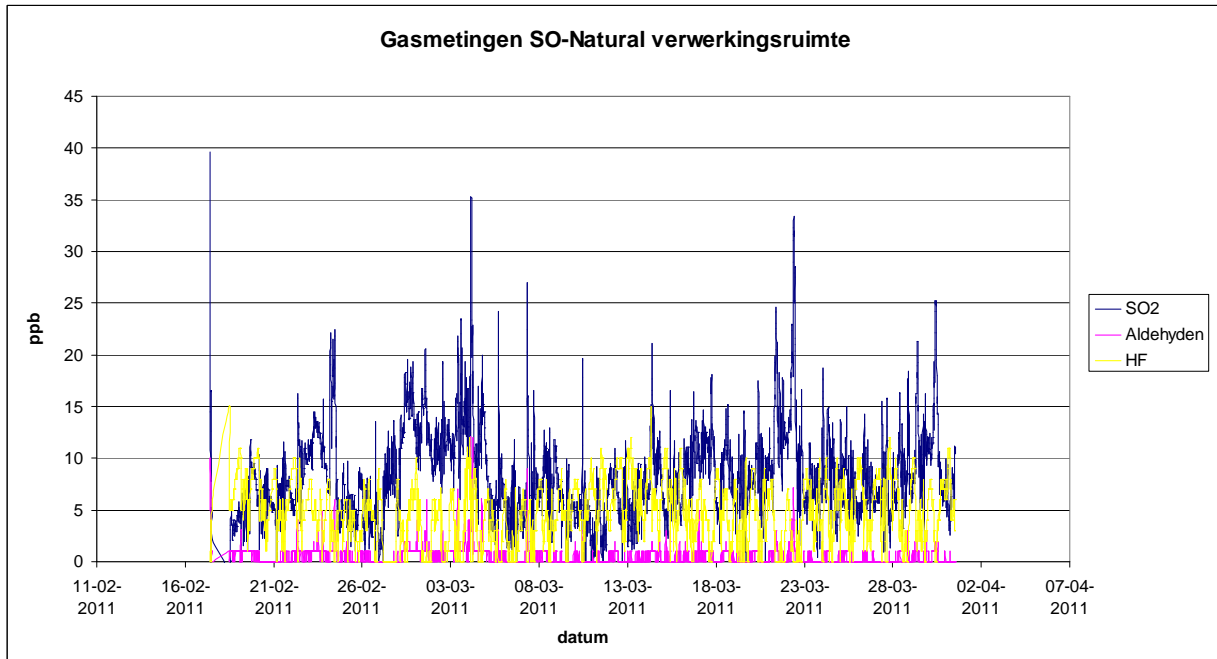
HF / SO₂ / Aldehyden en benzeen metingen

Gedurende de winterperiode is er gemeten aan een aantal andere gassen dan de bekende NOx/etheen gassen. Doel was om een verkennend onderzoek uit te voeren en de blootstelling van andere componenten die aanwezig kunnen zijn in rookgas in kaart te brengen.

SO₂ is als gas met name bekend als de veroorzaker van zure regen. Een onderwerp dat in de jaren 80 met name hoog op de agenda stond. In de loop van de tijd zijn de zwavelcomponenten uit fossiele brandstoffen fors gereduceerd. Er zijn tevens aldehyden (als verzamelgroep) en HF (fluorwaterstof) gemeten. Deze gassen staan

bekend als restproduct van fossiele verbrandingsprocessen.

Er is gemeten of benzeen in de verwerkingsruimte aanwezig was. Ook is er gemeten tijdens het bark lossen, zodat de invloed van een draaiende vrachtwagenmotor bepaald kon worden. Deze meting vond plaats op 17-02-2011. Er is in principe geen benzeen in de lucht, met gasmeting, aangetoond (detectielimiet van de gebruikte apparatuur is 1 ppb). Er is een serie van negen metingen, binnen een tijdsduur van 4 uur, uitgevoerd.



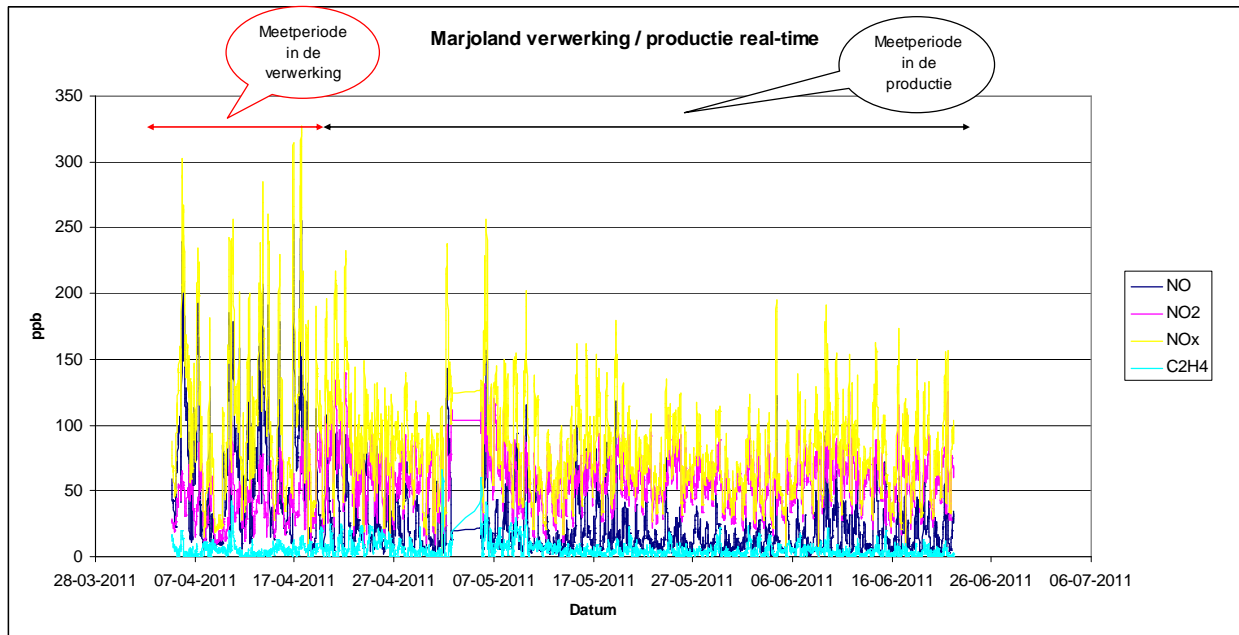
Figuur 3 Gasmetingen SO₂, Aldehyden (verzameling) en HF in de verwerkingsruimte van SO natural.

5.2.1.2. Snijbloemen (Marjoland)

NO_x / etheen metingen in de verwerkingsruimte en in de kas

Bij Marjoland is gemeten in de verwerkingsruimte (05-04-2011 tot 19-04-2011) en in de kas (19-04-2011 tot 26-06-2011). De verwerkingsruimte is gelegen onder de kas.

Opvallend is dat de NO en NO_x piekconcentraties van de meetperiode in de verwerkingsruimte (zie figuur 4) hoger lijken te zijn. Een vergelijking is niet goed te maken omdat er in verschillende periodes is gemeten. Het is mogelijk dat lucht en dus de gemeten gasconcentraties van de verwerkingsruimte uitwisselen met de lucht in de productie. Ook hier waren de plafonds niet perfect gesloten.

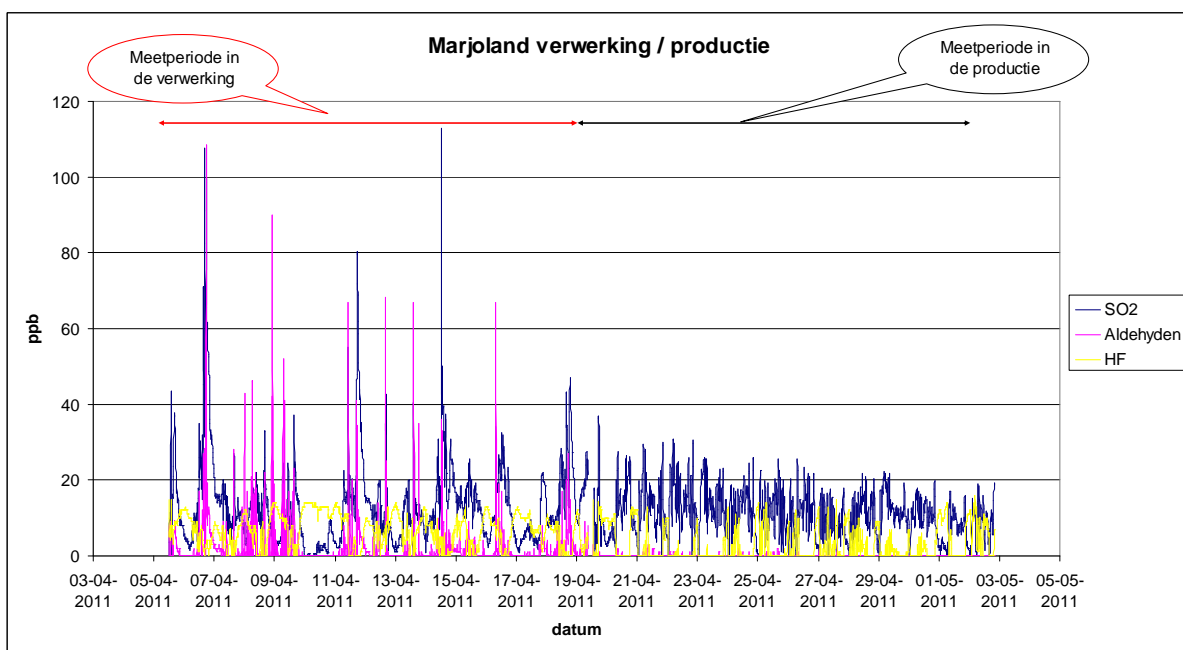


Figuur 4 Overzicht van de gasconcentratie in de meetperiode met real-time meetpunten van Marjoland in de productie (kas) en in de verwerkingsruimte.

HF / SO₂ / Aldehyden en benzeen metingen verwerking en kas

Gedurende de meetperiode is er ook bij Marjoland zowel in de verwerkingsruimte als ook in de kas gemeten. Opvallend is dat vooral de aldehyden en SO₂ hogere pieken geven in de verwerkingsruimte dan in de productieruimte. Aangenomen wordt dat de uitstoot van vrachtverkeer de oorzaak is. De verwachting is niet dat de WKK deze pieken veroorzaakt. Anders waren deze pieken ook terug te vinden in de kas.

Op 28-04-2011 is éénmalig een benzeen meting uitgevoerd. Er is, net als in het potplanten bedrijf, geen benzeen in de lucht, met gasmeting, aangetoond (detectielimiet van de gebruikte apparatuur is 1 ppb). De metingen bestonden uit vier metingen, binnen een tijdsduur van twee uur.



Figuur 5 Gasmetingen SO₂, aldehyden (verzamelings) en HF in de verwerkingsruimte (links) en kas (rechts).

5.2.1.3 Samenvatting luchtkwaliteit vs risicogrenswaarden

Tabel 1 Gemiddelde gasconcentraties (ppb) over de meetperiode vs effectgrenswaarden (ppb)
*jaargemiddelde

Vergelijking potplanten/snijbloemen			
	SO₂	Aldehyden	HF
Potplant verwerking	8.3	0.5	4.8
Snijbloem verwerking	12.8	2.2	7.1
Snijbloem kas	10.7	0.0	3.2
Effectgrenswaarde	11*	16.0	1.2-3.7

Bij beide bedrijven zijn geen benzeen concentraties in de lucht, met gasmeting, aangetoond (detectielimiet van de gebruikte apparatuur is 1 ppb).

Bij beide bedrijven zijn concentraties SO₂, Aldehyden en HF gemeten. Van de gemeten (lage) concentraties aldehyden is geen effect te verwachten.

De gemeten concentratie van SO₂ en HF in de kassen is relatief hoog. De gemiddelde concentraties over de meetperiode liggen rondom de effectgrenswaarden.

Effectgrenswaarden

De effectgrenswaarde van aldehyden (verzamelnaam) en formaldehyde is op dit moment 20ug/m³. (16 ppb). Aldehyden zijn potentieel toxisch voor planten. Van de gemeten (lage) concentraties in de kassen in relatie tot aldehyden is geen effect te verwachten.

Van benzeen is er geen exacte data beschikbaar van een effectgrenswaarde die gehanteerd wordt en die dus bruikbaar is voor de glastuinbouw. De niveaus die in de literatuur genoemd worden (100 µg/m³) liggen in alle gevallen ver boven de niveaus die gemeten zouden kunnen zijn in de verwerkingsruimten. Rekening houdende met de detectielimiet van 1 ppb.

De effectgrenswaarden van SO₂ is door de WHO vastgesteld op 30 µg/m³ (jr gemiddelde) en 100 µg/m³ (24 hr gemiddelde) voor planten algemeen (WHO, 2001). SO₂ in de kas komt voornamelijk uit de verbranding van de toevoeging van tetrahydrofeen dat als additief wordt toegevoegd aan aardgas. De toevoeging van tetrahydrofeen wordt elk jaar verder teruggebracht waardoor de verwachting is dat door de jaren heen de uitstoot van SO₂ steeds minder zal worden. In Nederlands aardgas bevindt zich geen hoge concentraties zwavelcomponenten. Desondanks is de gemeten concentratie SO₂ in de kassen relatief hoog.

Tabel 5. Effectgrenswaarden ter voorkoming van negatieve effecten op planten als gevolg van blootstelling aan SO₂ volgend WHO (WHO, 2001) en UNECE (Ashmore & Wilson, 1994).

Blootstellingsduur	Effectgrenswaarde (µg m ⁻³)	
	WHO	UNECE
Kortdurend (24-uurs gemiddelde)	100	
Langdurend (jaargemiddelde)	30	
Wintergemiddelde (oktober-maart)		
- landbouwgewassen		30
- bossen, natuurlijke vegetaties		20

Figuur X Overgenomen uit: Risico-evaluatie toepassing Groen Gas in de Nederlandse Glastuinbouw. C.J. van Dijk, Th. A. Dueck, & W. Burgers. 2009

Uit een deskstudie van Th. A. Dueck en C. van Dijk (2009) is de effectgrenswaarde voor HF vastgesteld op 0.1 µg/m³ (24 hr) en bij middelmatig gevoelige planten op 1-3 µg/m³ (lange termijn). De gemeten waarden in de kas liggen dicht rondom de effectgrenswaarde ligt. Wat betreft de verwerkingsruimte zijn de gemeten HF concentraties duidelijk hoger dan de effectgrenswaarde. HF heeft een extreme toxiciteit op planten. HF wordt voornamelijk gevormd bij een volledige verbranding van biogas in ketels en gasturbines. (Bron: Risico-evaluatie toepassing Groen Gas in de Nederlandse Glastuinbouw, C.J. van Dijk, Th. A. Dueck, & W. Burgers, 2009). HF kan daarom beschouwd worden als een risicofactor. In hoeverre dat problemen met HF in kassen kunnen spelen is niet bekend.

Vanuit de voorgenoemde rapportage wordt een waarschuwing gegeven dat het gebruik van biogas brandstoffen een verhoogd risico meebrengt door de verhoogde aanwezigheid van HF, SO₂ en benzeen. Terecht wordt genoemd dat er door de aanwezigheid van deze stoffen niet per definitie negatieve effecten zullen optreden aan het gewas. Naar de toekomst toe zullen er meer nieuwe initiatieven ontstaan op het gebied van biogas (CO₂ neutraal), waarbij er wel degelijk rekening zal moeten worden gehouden met deze componenten.

5.2.2. Kassen

Meetsysteem EMS (MACView GA)

Het gebruikte meetsysteem van EMS is een nieuwe gasdetectiemonitor voor de glastuinbouw. Separaat aan de praktijkmetingen en oplossen van 'kinderziektes' (bijv. verstoppingen door de geringe hoeveelheid fijnstof die zich in de kassen kan bevinden) is veel aandacht besteed aan de meetgevoeligheid en –nauwkeurigheid en bruikbaarheid in de glastuinbouw (zie Boerman en van der Hart, 2011).

De MACView GA is ook getest bij de metingen in de begassingskamers. De meetapparatuur en de ijkgasen van de WUR-Glastuinbouw en EMS zijn met elkaar vergeleken. De gasconcentraties uit de ijkgasflessen en de verdunning van de gasconcentraties die zijn toegevoerd aan de MACView GA hebben een lineair (of rechtevenredig) verband met elkaar. Het huidige apparaat kan niet nauwkeurig meten:

- i) in gasmengsels waar zich geen of zeer weinig zuurstof in bevindt,
- ii) in een onderdruk situatie. In de kas is er geen probleem te verwachten. De aanwezige luchtdruk is namelijk altijd gelijk. Het apparaat bevindt zich dan in een omgeving waar (buiten de luchtdrukvariatie) er geen drukvariaties zijn.

De metingen vinden plaats doordat er lucht wordt aangezogen in de kas, circa 10-20 minuten. Belangrijk is dat het meetsysteem periodiek (2x per jaar) gekalibreerd wordt (geijkt wordt). Het verloop van de meetwaarden in de tijd is circa 3% tot 4% per half jaar.

De MACView Ethyleen Analyser is door Wageningen UR AFSG (rapport 1025) getest. Algemene conclusie is dat deze analyser uitstekend geschikt is om in tuinbouwsettings toe te passen. De nieuwe versie van de analyser in dit project meet naast etheen ook NO, NO₂ en CO.

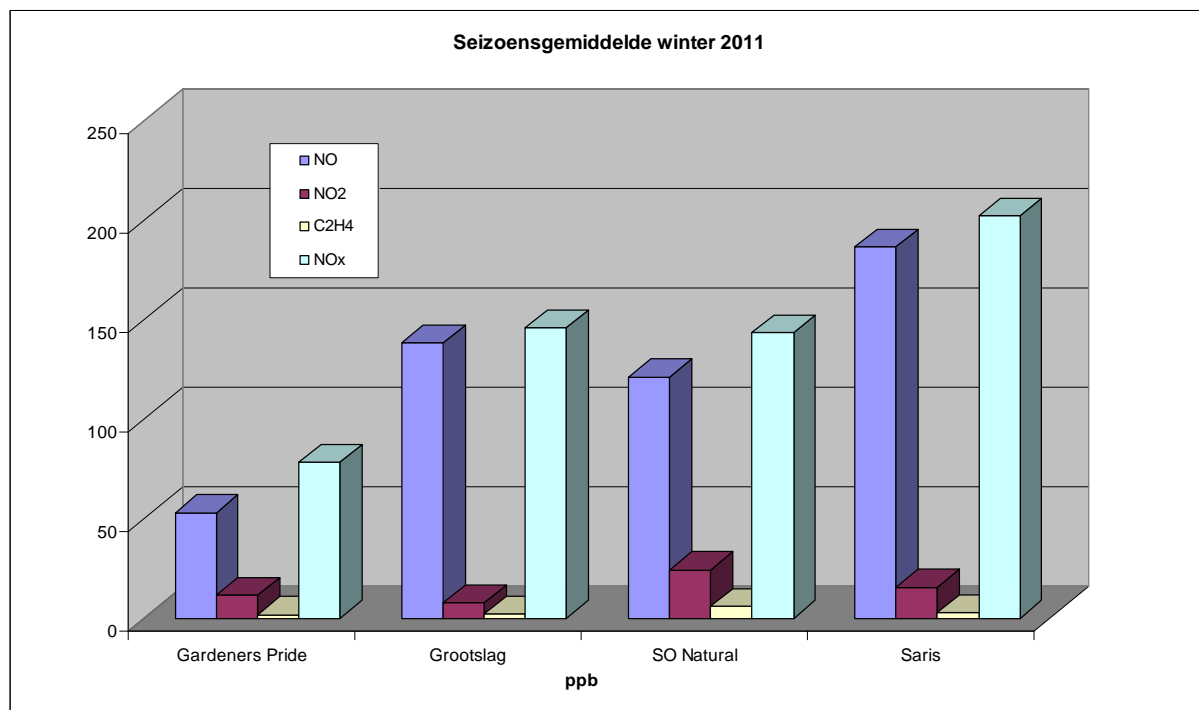
Overzicht gemeten gasconcentraties

In Tabel 2 en Figuur 6 is een overzicht van de gemeten gasconcentraties tijdens het winterseizoen 2010 – 2011. Opvallend is dat er grote verschillen zichtbaar zijn op de NO_x niveaus tussen de onderlinge bedrijven. Geen van de bedrijven zit over het gehele seizoen onder de risicogrenswaarde voor NO_x (20 ppb). De waarden worden uiteraard sterk beïnvloed door de CO₂-doseerstrategie en ventilatiestrategie ten gevolge van het gewenste klimaat (temperatuur) in de kas. Zo wordt er bij tomaat (Gardener's Pride) in de vooravond geventileerd om een voornachttemperatuurverlaging te bereiken. Omdat de CO₂ dosering dan al gestopt is worden schadelijke gassen ook eerder weg geventileerd.

De verhoudingen van NO:NO₂ worden sterk bepaald door de verbrandingen die plaatsvinden in de WKK en de ketel. Hoe slechter de verbranding, des te meer NO₂ wordt geproduceerd.

Tabel 2 Gemiddelde gasconcentraties van de deelnemende bedrijven over de winterperiode 2010 – 2011 uitgedrukt in ppb.

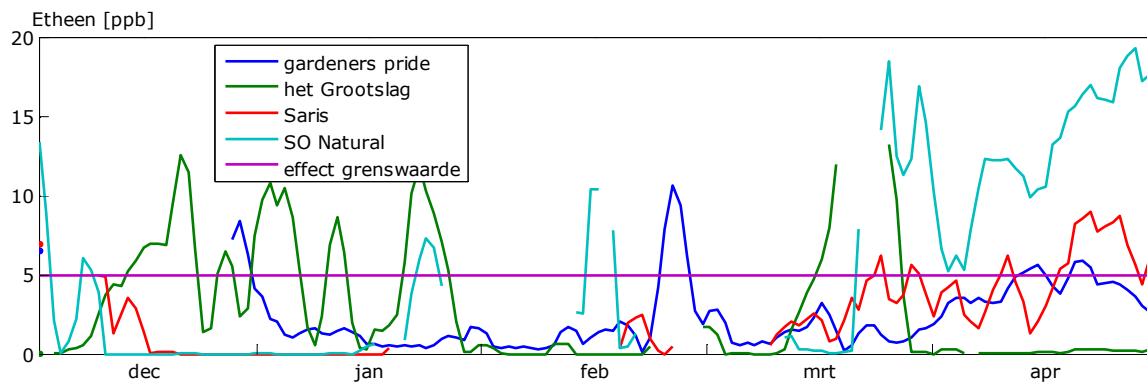
Gemiddelde gasconcentraties (in ppb) van de deelnemende bedrijven over de winterperiode 2010 – 2011					Buitenlucht NL
Gas	Gardener's Pride	Grootslag	SO Natural	Saris	
NO	52.8	138.1	121.1	186.1	4.5
NO ₂	11.6	7.6	24.1	15.5	8.9
C ₂ H ₄	1.9	2.1	5.9	2.7	1.0 – 7.0
NO _x	78.2	145.7	143.2	201.6	13.4



Figuur 6 Seizoensgemiddelde gasconcentraties voor NO_x / etheen van de deelnemende bedrijven.

5.2.2.1. Gemeten concentraties in relatie tot risicogrenswaarden. Overzicht van alle praktijkbedrijven.

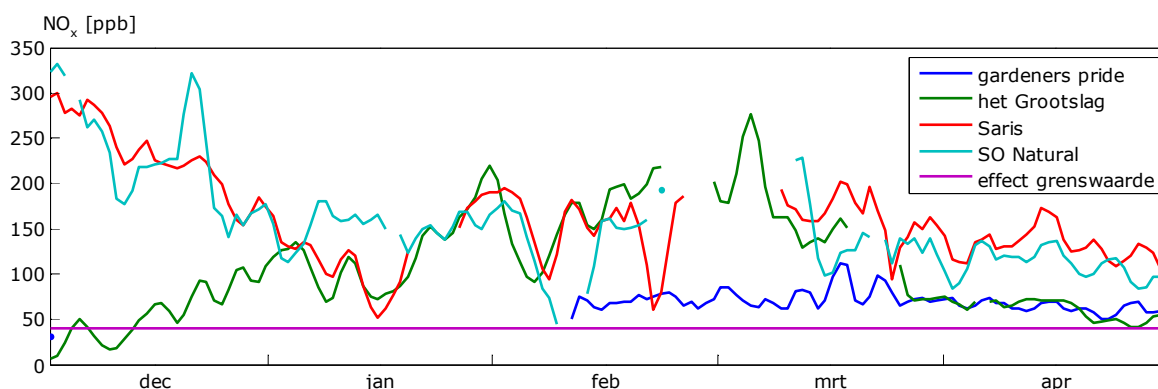
In de periode 1 december tot en met 30 april is in de kas gemeten. Voor Gardener's Pride lag deze datum i.v.m. met de teeltwisseling en latere start op eind december. Voor Etheen (C₂H₄) is een risicogrenswaarde van 5 ppb vastgesteld. Over de periode 1 december tot en met 30 april is in figuur 7 een daggemiddelde etheen waarde berekend (24 hr gemiddelde). Deze daggemiddelde waarde is meestal het gemiddelde van kwartierwaarnemingen.



Figuur 7 Etmaal gemiddelde etheen waarde van 4 bedrijven met de risicogrenswaarde, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 3 dagen.

De figuur laat zien dat er grote variatie is in de etheen niveaus zoals ze in de kas gemeten zijn. Hierbij zijn wel enkele opvallende punten aan te geven. Bij Gardener's Pride is op een piek eind februari na een lichte variatie van het niveau. Over het algemeen blijft de etheen concentratie onder de risicogrenswaarde. Bij Saris zijn er tussen half januari en half maart met een kleine onderbreking geen etheen gegevens verzameld. In de overige perioden bleef het etheenniveau onder of rond de risicogrenswaarde. Bij het Grootslag is een grote variatie in het niveau op korte termijnen gemeten. In december en januari als de luchtramen gesloten bleven is dit niet te verklaren, daar de CO₂ bron in deze periode altijd dezelfde was. De trend van een stijgend etheen gehalte bij SO Natural kan mogelijk verklaard worden uit de teeltwijze. Na half maart wordt regelmatig de koeling ingeschakeld waardoor er minder geventileerd wordt. Door de keuze van sturing van CO₂ uit een andere afdeling, waar ook de CO₂-sensor is geplaatst, is in de meetafdeling indirect op het CO₂ niveau geregeld en is het CO₂ gehalte niet gemeten.

In figuur 8 is het NO_x gehalte met de risicogrenswaarde gegeven. De NO_x is verondersteld als de som van de NO en de NO₂ meting (in de figuren 11 t/m 14, zijn per bedrijf de afzonderlijke NO en NO₂ metingen gegeven).

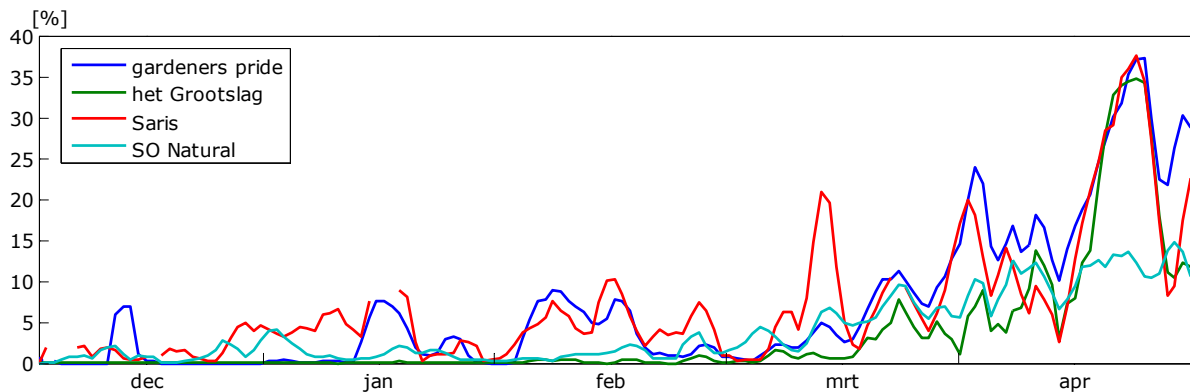


Figuur 8 Etmaal gemiddelde NO_x waarde van 4 bedrijven met de risicogrenswaarde, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 3 dagen.

De figuren maken duidelijk dat op alle bedrijven de risicogrenswaarde langdurig overschreden is. In absoluut niveau zijn er wel duidelijke verschillen, die met

de teeltmethode grotendeels verklaard kunnen worden. In de tomaten wordt slecht een beperkt deel van de dag CO₂ gedoseerd en in de vooravond wordt vaak afgelucht om een DIF te bewerkstelligen. Bij paprika wordt er juist heel gesloten geteeld en gaan de ramen vrijwel nooit open in de winter. Daar is dan ook wellicht sprake van een opbouw van NO_x in de kas.

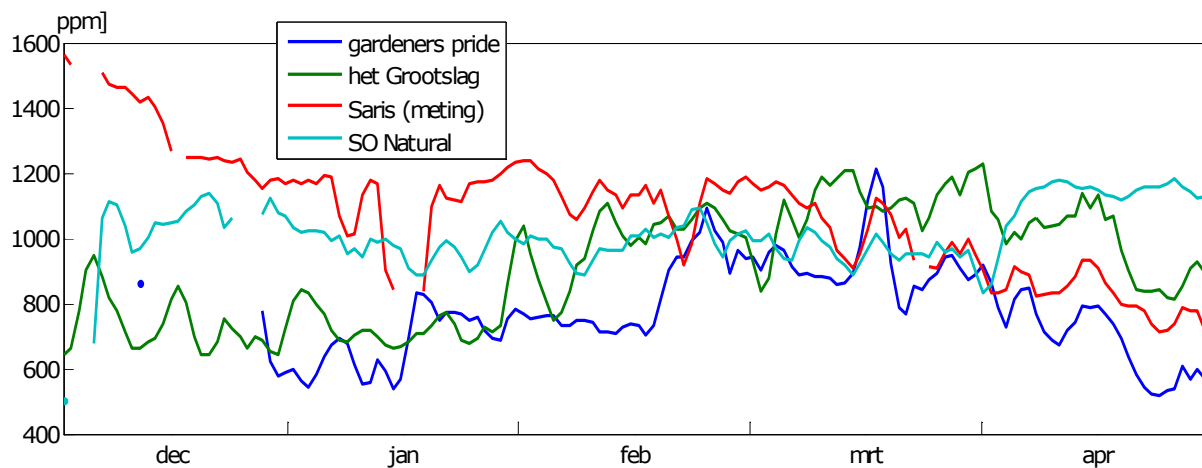
De NO_x kan op een tweetal manieren in de kas komen, via de CO₂ dosering of van buiten. Daarom is het ook van belang de buitenconcentratie van deze gassen te meten. Hiervoor zijn data van het meetnet van het RIVM gebruikt. Hiervoor is de dichtstbijzijnde meetlocatie per bedrijf genomen. Hier kan gezien de afstand tot het meetbedrijf nog een behoorlijke afwijking inzitten, echter de informatie moet als een indicatie gezien worden. Ook de invloed van de snelweg die naast het bedrijf van Saris loopt is hier een versturende maar onbekende factor. De afvoer zal geschieden door lek en ventilatie. De lek van de kassen is niet gemeten. Voor de ventilatie is de raamstand aan de luwe zijde van de kas een goede indicatie. In figuur 9 is deze dan ook voor dezelfde periode als de voorgaande figuren gegeven.



Figuur 9 Etmaal gemiddelde raamstand aan de luwe zijde van de kas van vier bedrijven, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over drie dagen.

Figuur 9 maakt duidelijk dat bij het Grootslag tot begin maart niet of nauwelijks is geventileerd. Bij Saris daarentegen wordt iedere dag geventileerd. De assimilatiebelichting zorgt hier voor een groot warmteoverschot. Hoewel bij de overige bedrijven ook belicht wordt, is de belichtingsintensiteit geringer en of de belichtingsperiode korter. Er is op de bedrijven alleen gelucht voor de bekende redenen als temperatuur en vocht. De hoge concentratie aan NO_x begin december op de bedrijven Saris en SO Natural kan gedeeltelijk uit de lage ventilatiebehoefte / mogelijkheid worden verklaard. De buitentemperatuur lag laag wat de behoefte tot ventilatie verlaagt. Bij het Grootslag werd in deze periode niet of nauwelijks CO₂ gedoseerd. De effecten van de koeling bij SO Natural worden ook duidelijk door de beperkte raamopeningen na eind maart terwijl die kas in temperatuur achterblijft op de andere bedrijven.

Het gerealiseerde CO₂-niveau in de kas tijdens de belichtingsuren danwel tijdens de uren dat er natuurlijk licht aanwezig was is in figuur 10 gegeven.



Figuur 10 Gemiddelde CO₂-niveau van vier bedrijven in de periode dat er natuurlijk licht danwel assimilatielicht aan is, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 3 dagen.

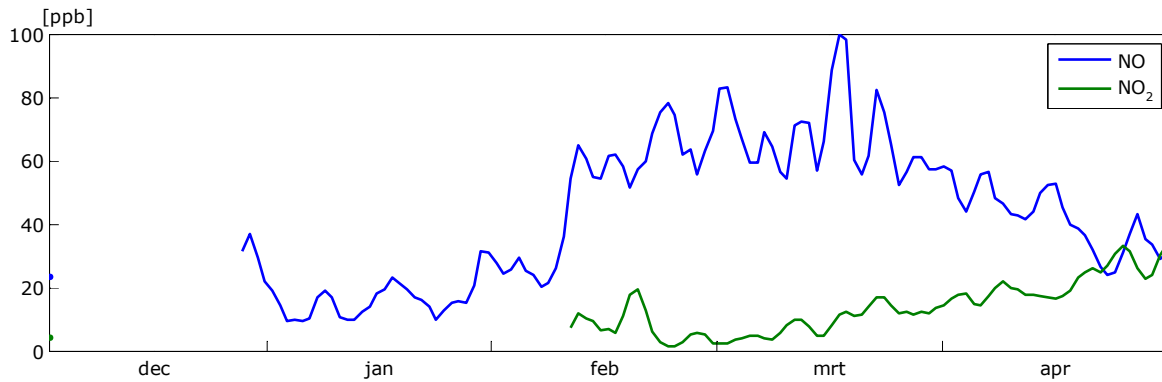
Tussen de bedrijven is in de winter een groot verschil zichtbaar. Vergelijken van figuur 10 met figuur 8 laat een gedeeltelijke overlap zien. Daar waar in de winter hoge CO₂ concentraties worden nagestreefd (Saris en SO Natural), komen ook hogere NO_x niveaus voor.

Afhankelijk van de tijdsduur van een hoger CO₂-niveau zal er ook meer of minder CO₂ gedoseerd moeten worden. Anders gezegd indien er 1 uur een CO₂ niveau van 1000 ppm wordt gehandhaafd, dan zal er veel minder CO₂ gedoseerd (en daarmee verontreiniging ingebracht) hoeven worden dan indien dit CO₂-niveau 12 uur wordt vastgehouden.

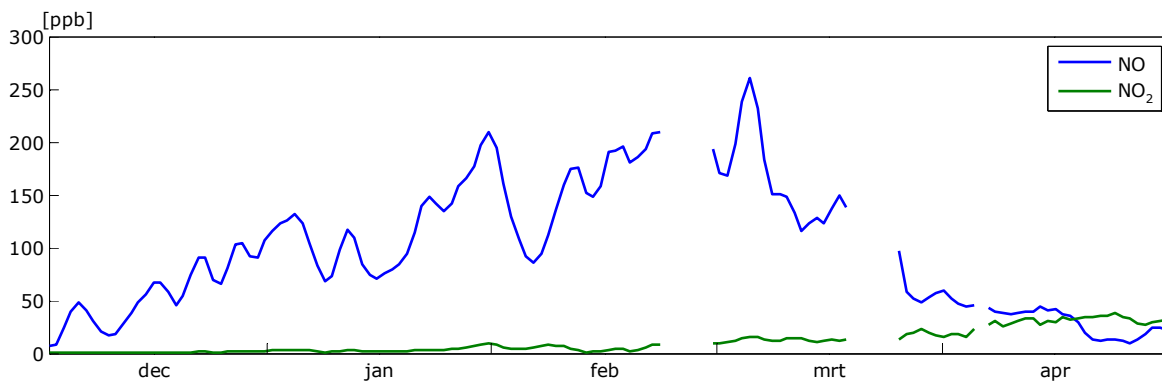
De beschikbare informatievoorziening vanuit de klimaatcomputer is ontoereikend om per bedrijf op grote schaal aan te geven hoeveel CO₂ er nu daadwerkelijk gedoseerd is. Op individueel niveau (dagbasis) is dit wel redelijk in te schatten. Op deze individuele situaties zal in paragraaf 5.2.2.2. worden ingegaan.

5.2.2.2. Gemeten concentraties in relatie tot risicogrenswaarden analyse per meetbedrijf

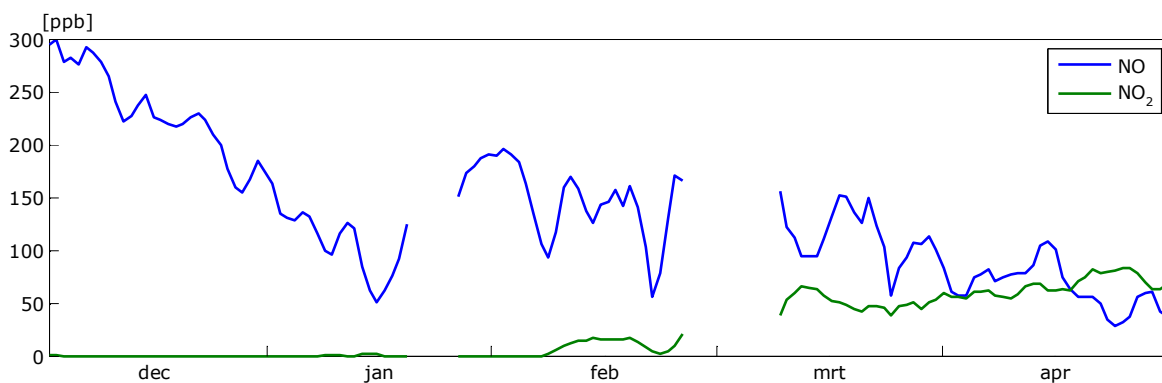
Waar in figuur 12 de NO_x concentratie is gegeven als zijnde de som van de NO en NO₂ concentratie, is in de figuren 11 t/m 14 de afzonderlijke concentratie van de NO en de NO₂ gegeven. Het absolute niveau aan NO blijkt op de verschillende bedrijven sterk te variëren.



Figuur 11 Etmaal gemiddelde NO en NO₂ waarde van Gardener's Pride, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 3 dagen.



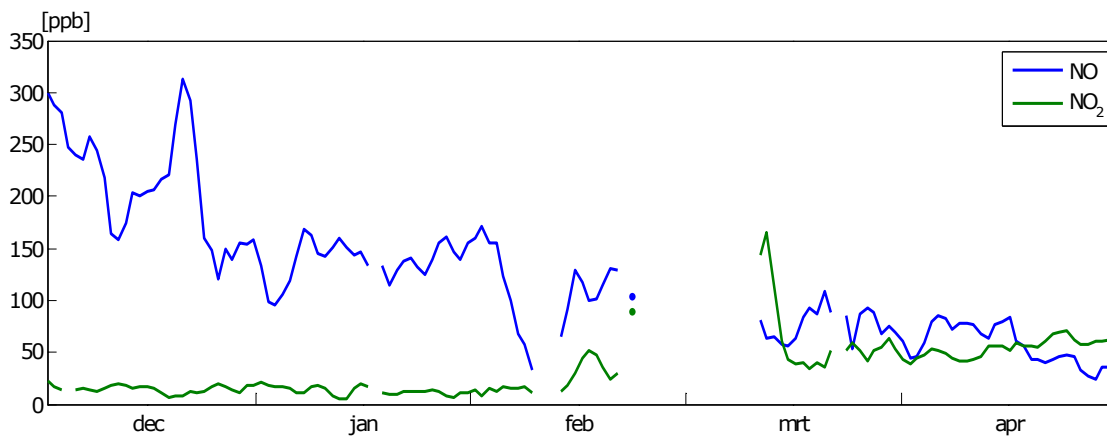
Figuur 12 Etmaal gemiddelde NO en NO₂ waarde van Het Grootslag, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 3 dagen.



Figuur 13 Etmaal gemiddelde NO en NO₂ waarde van Saris, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over drie dagen.

Op 19 februari is voor een paar dagen gestart met het doseren van zuivere CO₂. Doordat deze figuur als gevolg van het voortschrijdend gemiddelde niet alle pieken en dalen doorgeeft, kan het beeld soms iets vertekenen. Op 20 februari werd een gemiddeld NO_x

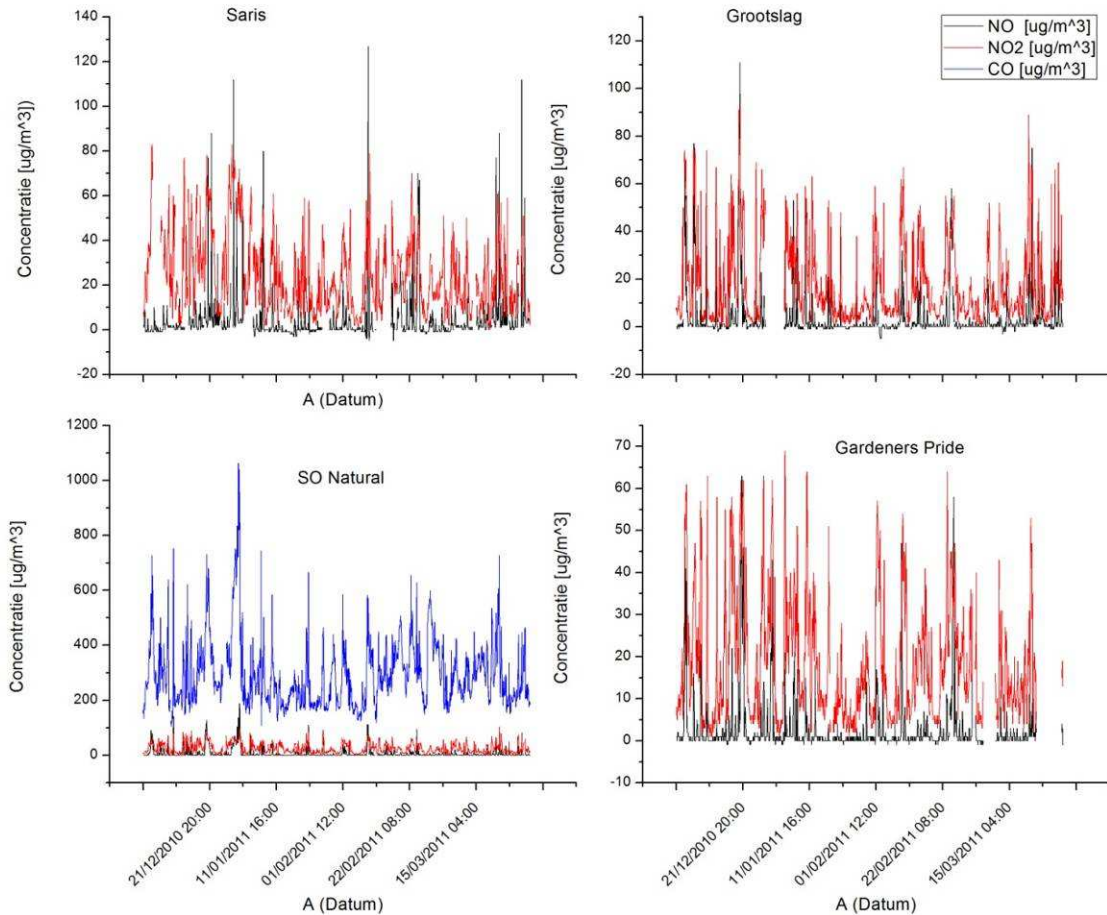
niveau van nog geen 10 ppb bereikt. Ook de NO₂ concentratie is weggezakt, echter iets minder overtuigend. Vervolgens is de ketel op 21 en 22 februari gebruikt voor de CO₂ dosering. Het NO_x niveau steeg naar vergelijkbare waarden als de daarvoor met de WKK als CO₂ bron. Het lage niveau aan NO_x kan mogelijk mede veroorzaakt zijn, doordat de CO₂ doseercapaciteit van de zuivere CO₂ geringer was als van de WKK, wat de kleine dip in CO₂ niveau van Saris in figuur 10 (rode lijn) op 20 februari laat zien.



Figuur 14 Etmaal gemiddelde NO en NO₂ waarde van SO Natural, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over drie dagen.

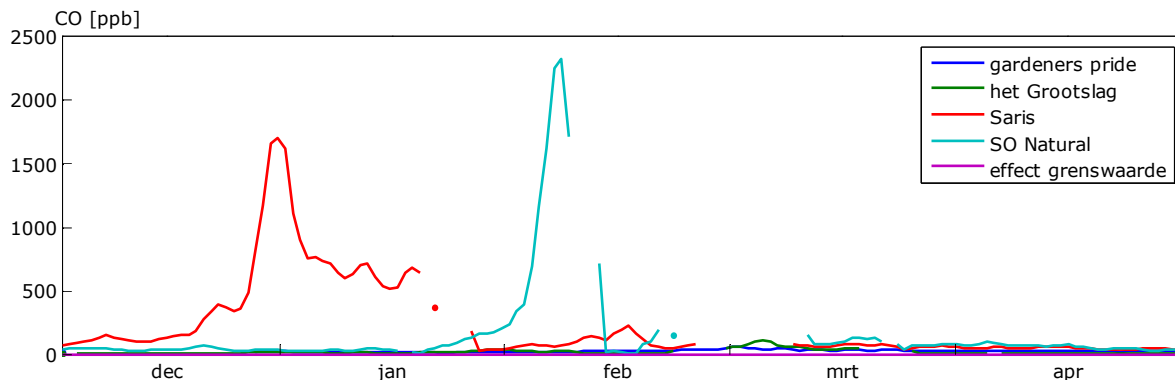
De figuren 11 t/m 14 laten wel een soort algemene trend zien. Richting het voorjaar neemt de NO₂ concentratie gemiddeld gesproken ten opzichte van de winter toe terwijl de NO concentratie geleidelijk lijkt af te nemen. Een duidelijke oorzaak voor deze variatie door het seizoen is niet te geven.

De buitenconcentratie aan NO en NO₂ is van een viertal locaties van het RIVM gebruikt. Voor Garderners pride, het Grootslag, Saris en SO Natural zijn deze locaties respectievelijk Valthermond, Wieringerwerf, Vredepeel en Zegveld. Zegveld is de enige locatie waar ook CO gemeten is. De gegevens zijn in figuur 15 gegeven. De figuur maakt duidelijk dat de achtergrond concentratie sterk kan variëren waarbij de fluctuatie voor NO₂ sterker is dan van NO. Uit deze gegevens blijkt echter niet dat de NO₂ concentratie in het verloop van de meetperiode toeneemt. Een verandering in de achtergrondconcentratie kan dan ook niet de verklaring geven voor de toename van de NO₂ concentratie in de loop van de meetperiode. Van NO en NO₂ is de toxiciteit niet meer of minder t.o.v. elkaar i.r.t. de bekende risicogrenswaarde. Normaal komt de concentratie voor variërend in een bandbreedte van 10 - 90% tot 40 - 60% voor, voor resp. NO₂ en NO. De toxiciteit van de afzonderlijke componenten wordt door verschillende bronnen bediscussieerd. Voor de mens is NO₂ duidelijk een meer toxische component. Voor planten is niet een eenduidig antwoord in de literatuur te vinden welke component meer schadelijk is. Omdat de verhouding met bandbreedte in vrijwel alle gevallen voorkomt, is dit een praktijkvoorbeeld hoe de toxiciteit van planten moet worden onderzocht. Mogelijk kunnen ook omgevingsfactoren in de kas als (toenemende) kastemperatuur en bemesting een effect kunnen hebben.



Figuur 15 NO en NO₂ concentraties van meetlocaties van het RIVM (dichtstbijzijnde aan het bedrijf). Voor SO Natural (Zegveld) is ook de CO concentratie beschikbaar.

De CO concentratie gedurende de meetperiode is in figuur 16 gegeven. Direct vallen de twee langdurig hoge pieken op bij Saris en SO Natural. Er is geen verklaring gevonden waardoor deze pieken veroorzaakt kunnen zijn. Het verloop van ca. 2000 naar bijna 0 ppb bij SO Natural medio februari gaat erg snel. Daarnaast zou je verwachten dat zo'n verloop volgens een verdunningscurve verloopt. Deze piek komt ook overeen met een piek in de etheen concentratie in deze periode (figuur 7).



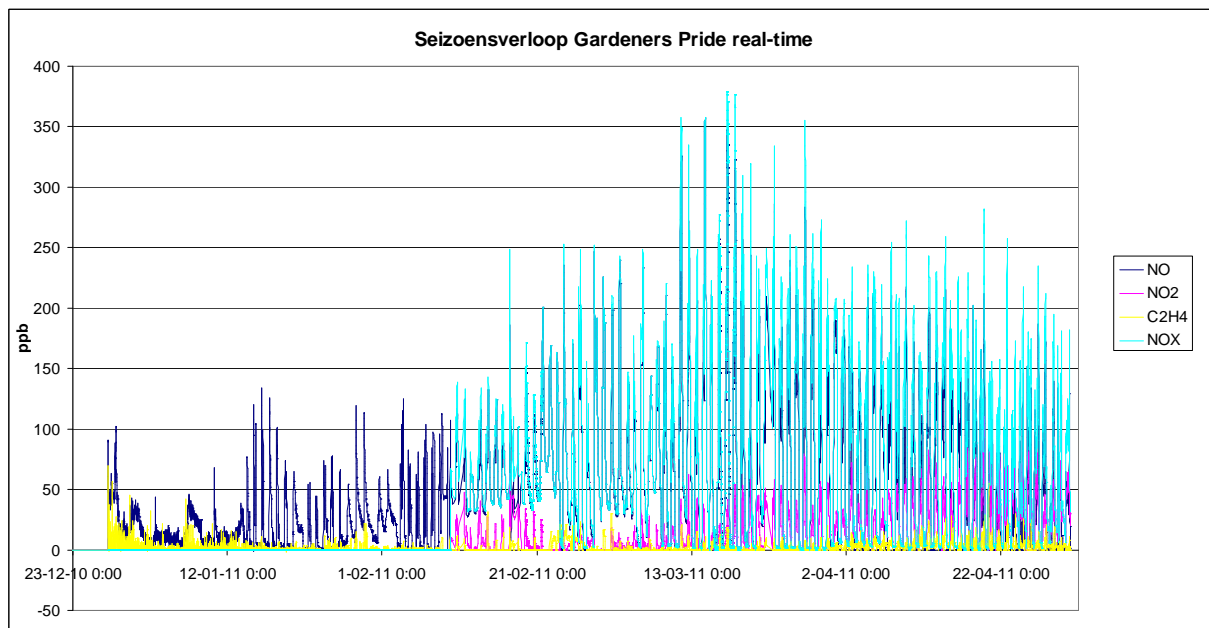
Figuur 16 Etmaal gemiddelde CO waarde van 4 bedrijven met de risicogrenswaarde, weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over 3 dagen.

5.2.2.3. Overzicht NOx / etheen metingen en specifieke dagverlopen per bedrijf

Gardener's Pride

In onderstaande grafieken is het seizoen verloop van de gasconcentraties NO, NO₂ (NOx) en etheen te zien voor Gardener's Pride.

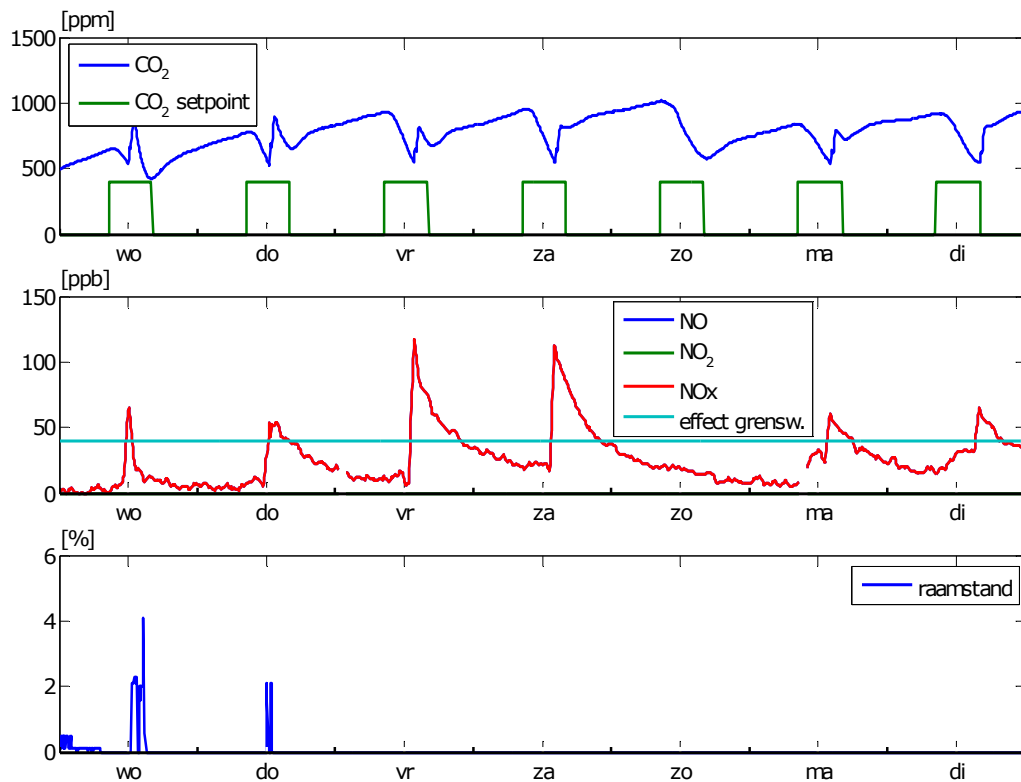
In de eerste periode zit Gardener's Pride duidelijk onder de risicogrenswaarde (gemiddeld). Waarbij opgemerkt moet worden dat in de beginperiode de NO₂ meting niet actief is geweest. Wanneer echter in diezelfde periode de real-time metingen bekeken worden, dan blijkt ook hier dat de pieken van de NOx ver over de risicogrenswaarden voor NOx heen gaan.



Figuur 17 Overzicht van de gasconcentratie in de meetperiode met real-time meetpunten van Gardener's Pride in de kas.

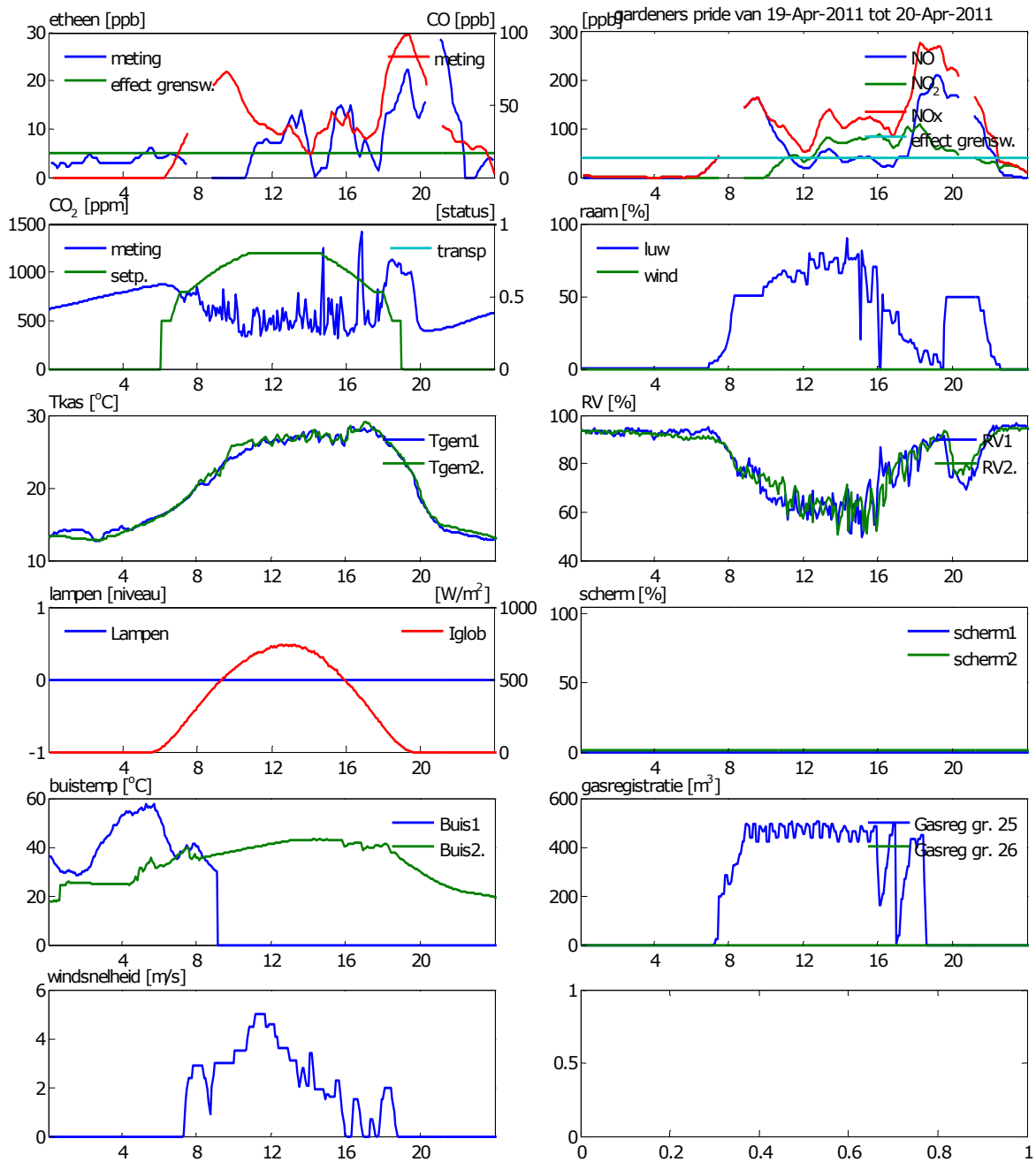
Specifieke dag verlopen

In figuur 18 is van Gardener's Pride voor de week van 26 januari t/m 1 februari de CO₂ concentratie, het CO₂-setpoint, de NOx en risicogrenswaarde voor NOx en de raamstand gegeven. In deze week is op alle dagen uitgezonderd zondag 31 januari 1 keer per dag CO₂ gedoseerd. Meestal was dit nog voordat het CO₂-setpoint bereikt werd. In ca. 50 minuten loopt de CO₂ concentratie geleidelijk op van 550 ppm naar 850 ppm. Hoelang de CO₂ dosering daadwerkelijk heeft aangestaan is onbekend. Als een directe reactie van het CO₂ doseren is de toename van de NOx concentratie te zien. In deze week is er geen NO₂ gemeten zodat de NOx gelijk is aan de NO concentratie. Op woensdag als het raam open staat daalt de NOx concentratie ook gelijk weer sterk. Op de andere dagen neemt de NOx concentratie geleidelijk af zoals dat ook te verwachten is. Er is geen aanvoer zodat lekventilatie de belangrijkste sink is.



Figuur 18 De CO₂ concentratie, het CO₂-setpoint, de NOx concentratie en risicogrenswaarde voor NOx en de raamstand voor de week van 26 januari t/m 1 februari.

Het verloop van de Etheen, CO, NO₂ en NO concentratie op een mooie voorjaarsdag(19 april 2011) is in figuur 19 gegeven. Op deze onbewolkte dag (globale straling [Iglob] subfiguur in 1^e kolom 4^e regel van figuur 19), wordt de ketel om ca. 07:30 ingeschakeld (2^e kolom 5^e regel [gasreg. gr 25 in]). Hierbij wordt het gasverbruik in een uur tot 470 m³/uur opgevoerd. Omdat de CO₂ concentratie al onder het setpoint is gedaald, moet ervan uitgegaan worden dat de rookgassen van de ketel als CO₂ gedoseerd zijn (1^e kolom 2^e regel [meting, setp.]). Omdat de ramen al tot 50% geopend zijn (2^e kolom 2^e regel [luw, wind]) stijgt de CO₂ concentratie niet. Pas na vier uur als de ramen enigszins sluiten loopt de CO₂ concentratie langzaam op. De ketel wordt ca. 18:30 uitgeschakeld waarna de stijging van de CO₂ concentratie stopt. Het verloop van de etheen concentratie (1^e kolom 1^e regel [meting, risicogrenswaarde]), kan moeilijk met de CO₂ dosering gematched worden. Later op de dag is er een geleidelijke stijging en als om 19:45 de ramen open gaan om de voornachtverlaging te bespoedigen, daalt de etheen concentratie snel. De CO concentratie (1^e kolom 1^e regel [meting (rode lijn)]), is beter met de CO₂ dosering te matchen. Hetzelfde geldt voor de NOx en NO concentratie, waarbij het verloop van de NO₂ concentratie ten opzichte van de NO concentratie niet helemaal logisch lijkt (2^e kolom 1^e regel [NO, NO₂, NOx, risicogrensw.]). Zodra er CO₂ gedoseerd wordt stijgt de NOx concentratie ver boven de risicogrenswaarde uit. Het openen van de ramen voor de voornachtverlaging laat de NOx concentratie snel dalen tot onder de risicogrenswaarde. Er wordt verder geen aandacht besteed aan de kasluchttemperatuur, RV, buistemperaturen, schermstanden en windsnelheid.

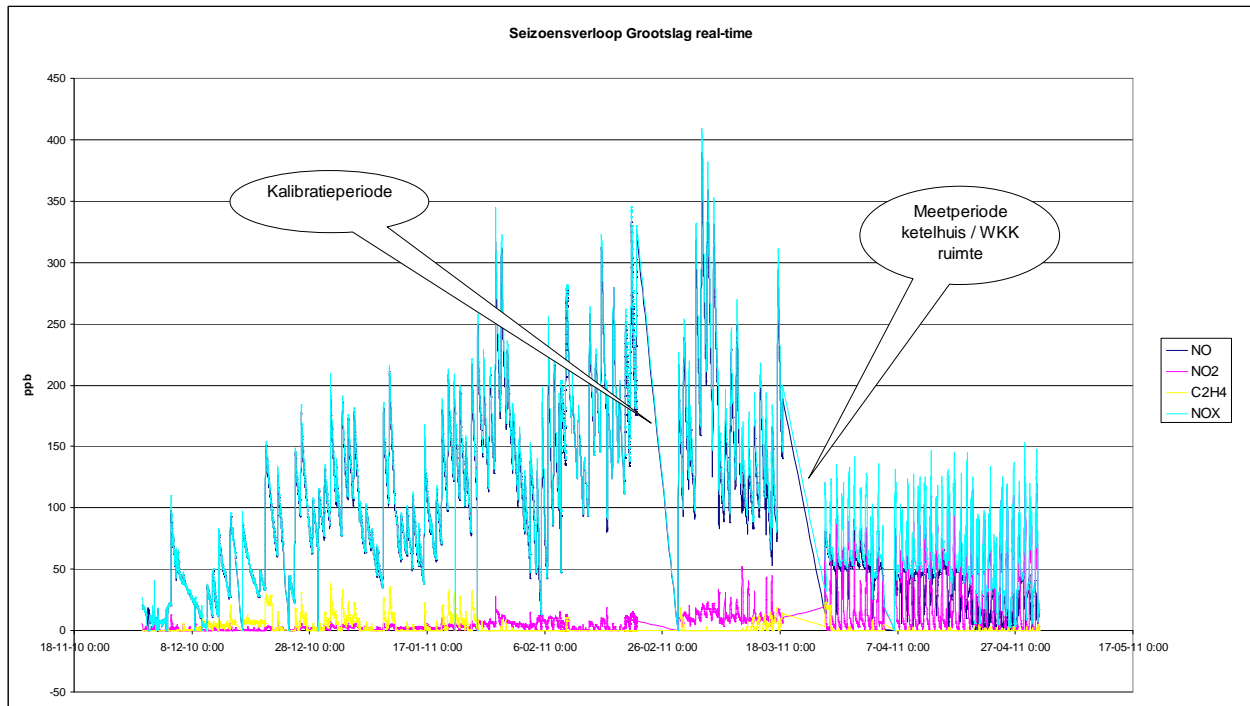


Figuur 19 De etheen, CO, NO₂ en NO concentratie in relatie tot de CO₂ dosering en overige klimaatparameters op een mooie voorjaarsdag (19 april 2011).

Kwekerij Het Grootslag

Kasmetingen

In de onderstaande grafiek is de meetperiode zichtbaar met daarin het totaal aan NO / NO₂ en etheen concentratie. Opvallend is de toename door de tijd. Er zijn twee perioden niets gemeten. In de 1^e periode is een kalibratie uitgevoerd en in de 2^e periode is een meting uitgevoerd in het ketelhuis / WKK ruimte.



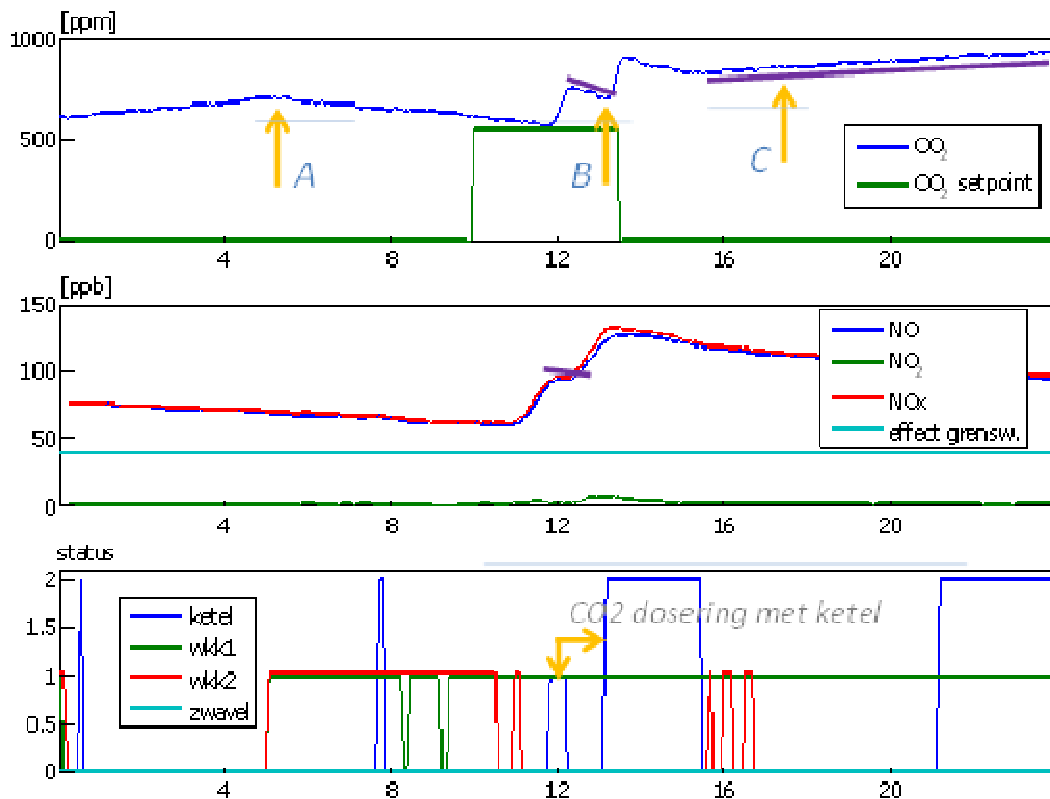
Figuur 20 Overzicht van de gasconcentratie in de meetperiode met real-time meetpunten van Het Grootslag in de kas.

De meetperiode in het ketelhuis / WKK ruimte valt samen met een warmere periode buiten. De ramen gaan open, en dit is duidelijk te zien op het absolute niveau van de gemeten gasconcentraties.

Er is duidelijk onderscheid te zien tussen de gemiddelde dagwaarden en de piekwaarden die op kunnen treden in de metingen. Uitersten die voorkomen laten zien dat de piekwaarde van NO_x eenvoudig 400 ppb kunnen halen. De dag gemiddelden halen dan net de 200 ppb.

Specifiek dagverlopen

In figuur 21 is de CO₂ concentratie, het CO₂-setpoint, de NO, NO₂, NO_x concentratie en risicogrenswaarde voor NO_x en status van de ketel en WKK's op 22 december 2010 gegeven. De CO₂ concentratie maakt veel variaties door. Het eerste omslagpunt vindt om 05:00 plaats als de lampen aan gaan (A). Het gewas begint CO₂ op te nemen waardoor de CO₂ concentratie gaat afnemen. Het eerste omslagpunt vindt om 05:00 plaats als de lampen aan gaan (A). Het gewas begint CO₂ op te nemen waardoor de CO₂ concentratie gaat afnemen.



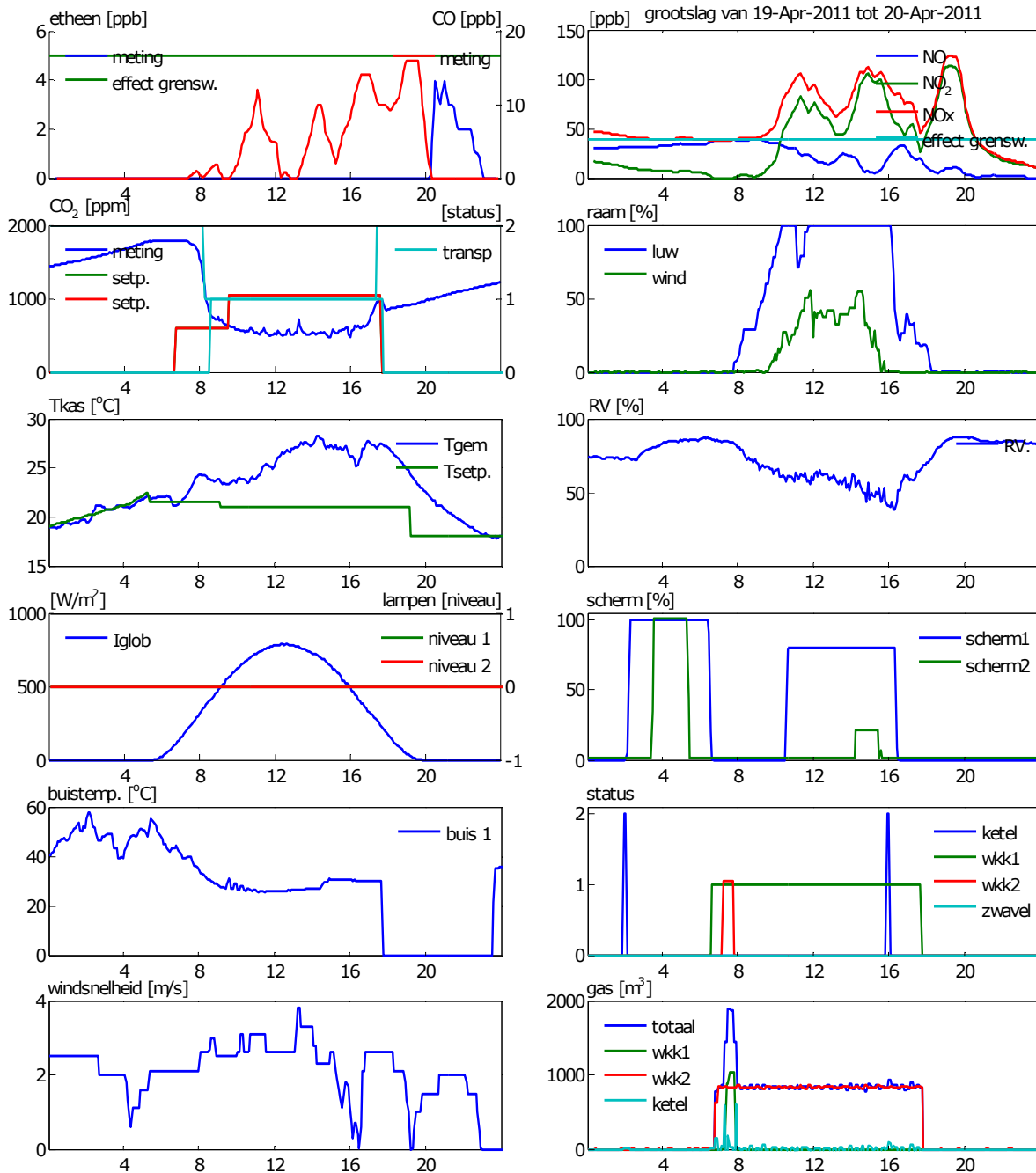
Figuur 21 De CO₂ concentratie, het CO₂-setpoint, de NO, NO₂, NO_x concentratie en risicogrenswaarde voor NO_x en status van de ketel en WKK's op 22 december 2010.

Er wordt tweemaal CO₂ gedoseerd om ca. 12:15 en 13:30 (B). Om 15:30 worden de lampen uitgeschakeld. Al snel daarna zie je de CO₂ concentratie weer toenemen. Deze gestage stijging (C) komt van de respiratie van het gewas. Dat het verloop van de CO₂ concentratie niet gelijk op hoeft te lopen met de NO_x concentratie wordt in de tweede regel van figuur 21 duidelijk. Als de lampen aan gaan wordt de trend van de afname in NO_x concentratie niet anders. Hetzelfde gebeurde in de avond. De NO_x concentratie zal hoegenaamd alleen afnemen door lek naar buiten de kasomgeving. Op het bedrijf zijn meerdere warmtebronnen aanwezig. Er is in de regeling echter voor gezorgd dat in deze periode de ketel als CO₂ bron fungeert. De NO₂ concentratie is laag maar neemt tijdens de dosering wel iets toe. Het aandeel in de NO_x concentratie is echte fractioneel. De NO_x concentratie ligt echter ver boven de risicogrenswaarde.

In figuur 22 is het verloop van de Etheen, CO, NO₂ en NO concentratie op een mooie voorjaarsdag (19 april 2011) gegeven. Op deze onbewolkte dag (globale straling [Iglob] in 1^e kolom 4^e regel), wordt met wkk1 CO₂ gedoseerd. Deze wordt ca. 06:30 ingeschakeld (2^e kolom 5^e regel [ketel, wkk1, wkk2]). hierbij wordt het gasverbruik in een uur tot zo'n 850 m³/uur opgevoerd (2^e kolom 6^e regel). Rond 8:00 daalt de CO₂ concentratie(1^e kolom, 2^e regel [meting, setp.]) snel door de sterkte toename van de globale straling en de start van het ventileren (2^e kolom, 2^e regel [luw, wind]). Omdat de CO₂ concentratie al onder het setpoint is gedaald, moet ervan uitgegaan worden dat de rookgassen van de WKK als CO₂ gedoseerd zijn. Omdat de ramen al snel ver geopend zijn en ook tot ca, 16:00 geopend blijven laat de CO₂ concentratie een redelijk stabiel niveau zien. na 16:00 stijgt de CO₂ concentratie tot de dosering om ca, 17:30 gestopt wordt als de WKK uitgeschakeld wordt. De ramen blijven dicht zodat de CO₂ concentratie dankzij de respiratie al snel weer verder gaat stijgen.

Het verloop van de etheen concentratie (1^e kolom 1^e regel [meting, risicogrenswaarde]), kan moeilijk met de CO₂ dosering gematched worden. Later op de dag pas als er geen CO₂ meer gedoseerd wordt, is een stijging te zien hoewel deze onder de risicogrenswaarde blijft. De CO concentratie (1^e kolom 1^e regel [meting (rode lijn)]), is beter met de CO₂ dosering te matchen hoewel de niveaus laag blijven en nadat de dosering gestopt is gaat de CO redelijk snel dalen tot een 0 niveau.

Hetzelfde geldt voor de NOx en NO₂ concentratie, waarbij het verloop van de NO concentratie ten opzichte van de NO₂ concentratie niet helemaal logisch lijkt (2^e kolom 1^e regel [NO, NO₂, NOx, risico grensw.]). Het is opvallend dat dit patroon precies tegenovergesteld is aan dat bij Gardener's Pride (figuur 19). Zodra er CO₂ gedoseerd wordt stijgt de NOx concentratie tot boven de risico-grenswaarde uit. Het is onduidelijk waardoor de NOx concentratie "zo snel" van kan afnemen. De ramen zijn immers gesloten. Overdag wordt het scherm (2^e kolom 4^e regel [scherm1, scherm2]) voor ca. 75 % gesloten om het gewas tegen te veel licht te beschermen. In de nacht zijn beide schermen gesloten op energievraag. Er wordt verder geen aandacht besteed aan de kasluchttemperatuur, RV, buistemperaturen schermstanden en windsnelheid.

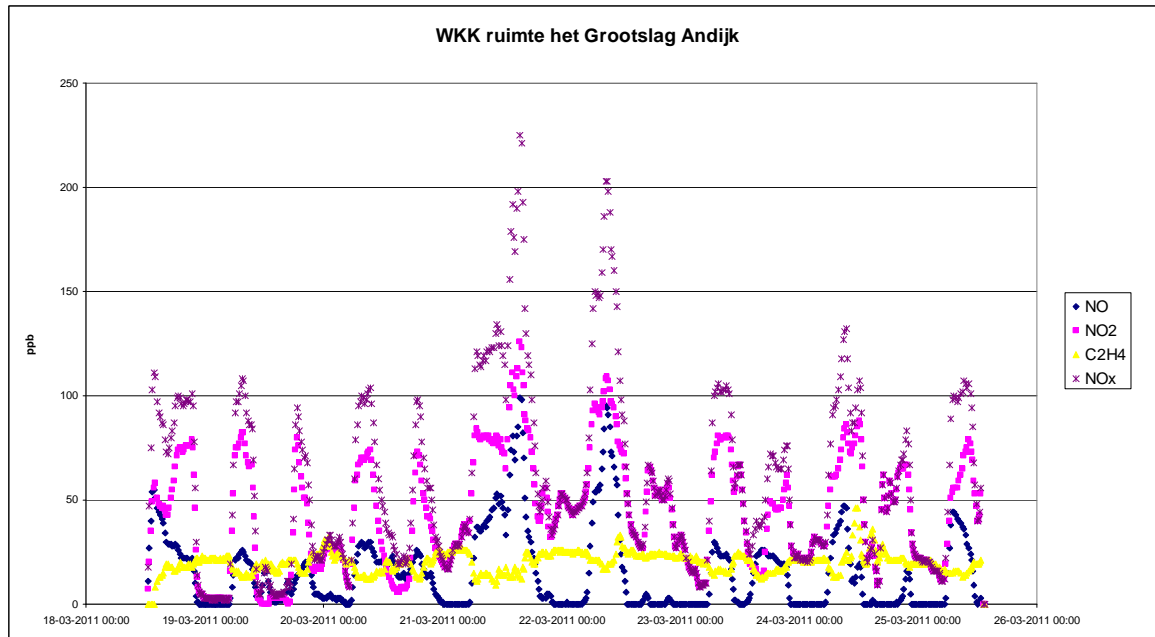


Figuur 22 De etheen, CO, NO₂ en NO concentratie in relatie tot de CO₂ dosering en overige klimaatparameters op een mooie voorjaarsdag(19 april 2011).

WKK ruimte metingen

Medio februari 2011 kwam duidelijk naar voren dat de NO concentratie gedurende de voorgaande meetperiode, een forse toename laat zien. Naar aanleiding van deze toename is er besloten om de NOx / etheen analyser opnieuw te kalibreren. Uit de kalibratiedata is gebleken dat er geen substantiële verandering in de kalibratieparameters / sensoren was opgetreden.

Daar het vermoeden was dat de uitstoot van NO / NO₂ toch vanuit de WKK / ketel moest komen is de NOx / etheen analyser geplaatst in het ketelhuis / WKK ruimte.



Figuur 23 Metingen NOx en etheen in ketelhuis / WKK ruimte Grootslag.

De volgende zaken vallen op:

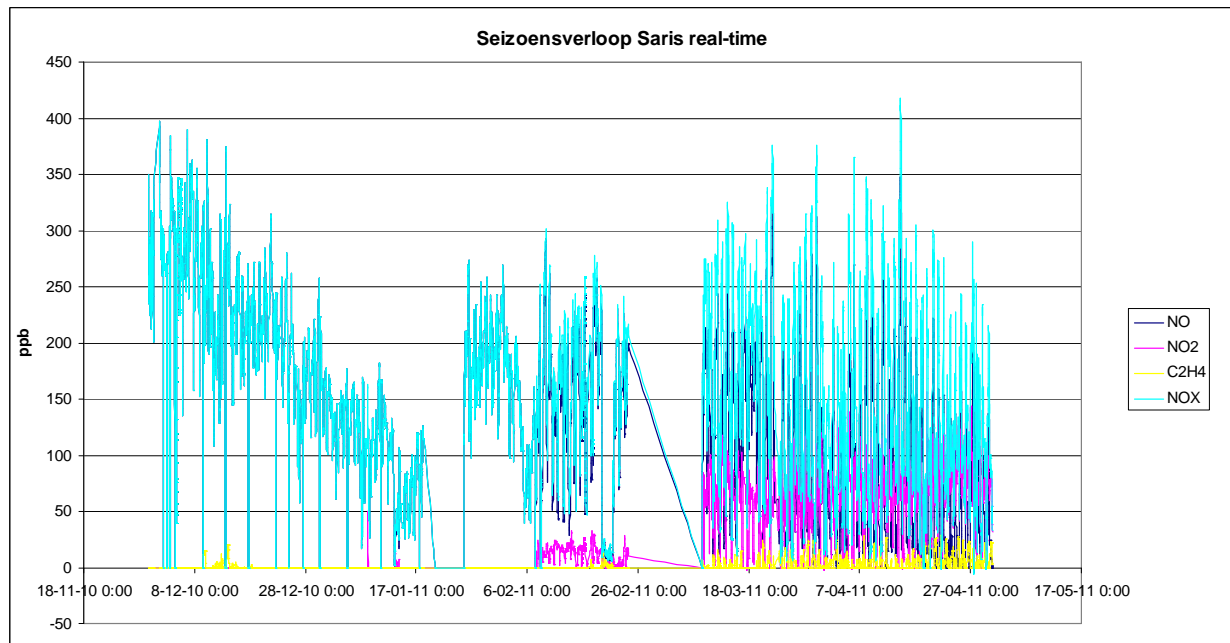
- o Etheen is structureel hoger in het ketelhuis / WKK ruimte dan dat dit in de kas is.
- o NO₂ in het ketelhuis / WKK ruimte is fors hoger dan in de kas. De verhouding van het aandeel NO₂ / NO komt tussen de kas en het ketelhuis / WKK ruimte niet overeen.

De oorzaak van deze structurele verhoging van NOx en C₂H₄ in het ketelhuis is niet verder onderzocht. Een vermoeden is dat in het ketelhuis een geringe lek aanwezig is van rookgas dat vrijkomt uit de verbrandingsprocessen van de motor van de WKK of de ketel. Deze lek kan komen uit pakkingen van rookgasleidingen of CO₂ voedingsleidingen maar ook uit de ruimte waarin de WKK motor staat. Een combinatie van een minder effectieve ventilatie in het ketelhuis / WKK ruimte doet mee aan de verhoging van rookgasconcentraties in het WKK / ketelhuis. Over het algemeen is bekend dat de schadelijke componenten uit rookgassen in WKK / ketel ruimten hoger zijn dan in de kas.

De gemeten gasconcentratie voor NOx ligt in bijna de hele periode dat er gedoseerd wordt met CO₂ niet onder de risicogrenswaarde.

Saris Rozen

In onderstaande grafiek is het seizoensverloop van de gasconcentraties NO en NO₂ (NO_x) en etheen te zien voor Saris.



Figuur 24 Overzicht van de gasconcentratie in de meetperiode met real-time meetpunten van Saris in de kas.

In de eerste periode is een afnemend signaal te zien. Vanaf eind december tot ½ februari is er een defect opgetreden in de analyser. Vanaf circa ½ februari is dit probleem opgelost. De periode die er tussen eind februari en ½ maart te zien is, is gebruikt voor onderhoud en kalibraties. In doorsnee kan vermeld worden dat Saris met de gemeten NO_x concentraties zich in principe boven de risicogrenswaarde bevindt.

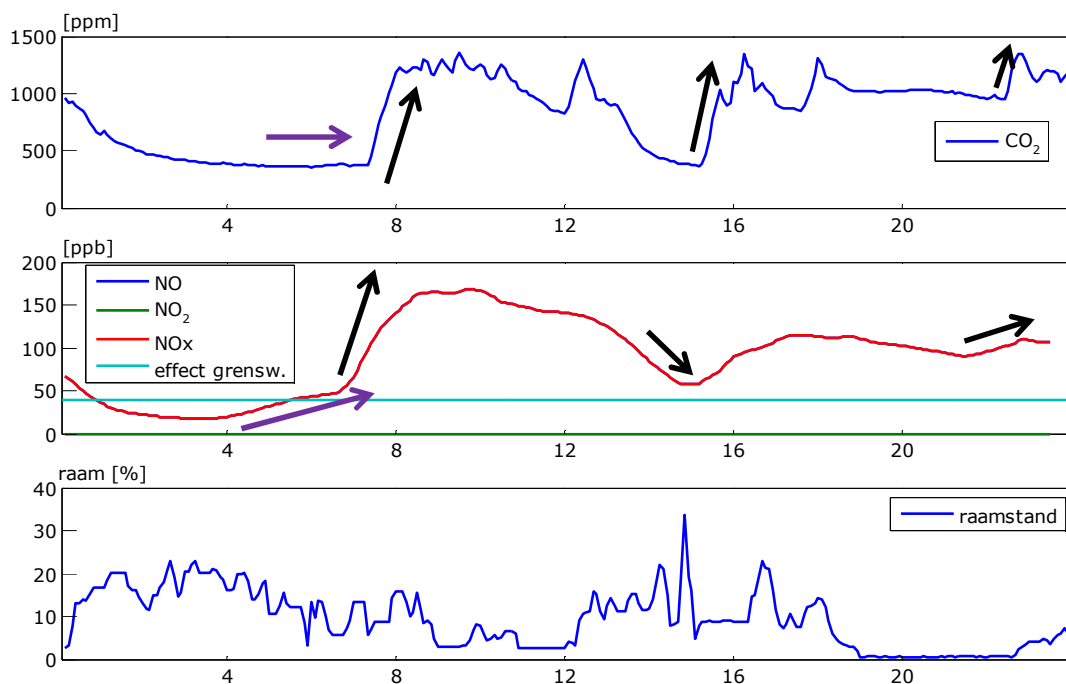


Specifieke dagverlopen

In figuur 25 is de CO₂ concentratie, de NO, NO₂, NO_x concentratie en risicogrenswaarde voor NO_x en de raamstand op 7 januari 2011 gegeven. NO₂ is er niet gemeten zodat de NO en NO_x gelijk zijn. De assimilatiebelichting is de gehele dag uitgezonderd de periode 18:00 - 22:30 ingeschakeld. Door een storing is in de nacht geen CO₂ gedoseerd, wat ook de reden is dat het CO₂ niveau gedurende die periode gestaag daalt tot ruim 350 ppm wat ongeveer gelijk zal zijn aan het buitenniveau. Om ca. 07:30 wordt de CO₂ dosering opgestart waarna in korte tijd het CO₂ niveau tot 1200 ppm stijgt.

Opvallend hierbij is dat de NO_x al vanaf 4:00 uur aan het stijgen is zonder dat er gedoseerd wordt. Hier moet dan sprake zijn van een ander bron, wat het wegverkeer wel kan zijn. Dat blijft hier echter onbekend, omdat er buiten geen concentraties gemeten zijn. De ramen waren echter wel geopend zodat toevoer geen probleem geweest zal zijn. Door deze geopende ramen is ook het CO₂-niveau op peil gebleven. Tussen 13:00 en 15:30 is de CO₂ weer langzaam weggezakt naar zo'n 370 ppm. Als dan de CO₂-dosering weer start is het opvallend dat de CO₂ weer op een vergelijkbaar niveau komt als in de ochtend echter, het NO_x niveau komt beduidend minder hoog uit.

Er is dus een duidelijke relatie tussen het CO₂-doseren en NO_x toename echter de variatie in NO_x verloopt meer geleidelijk, zodat de verhouding tussen CO₂ en NO_x niet altijd gelijk is.

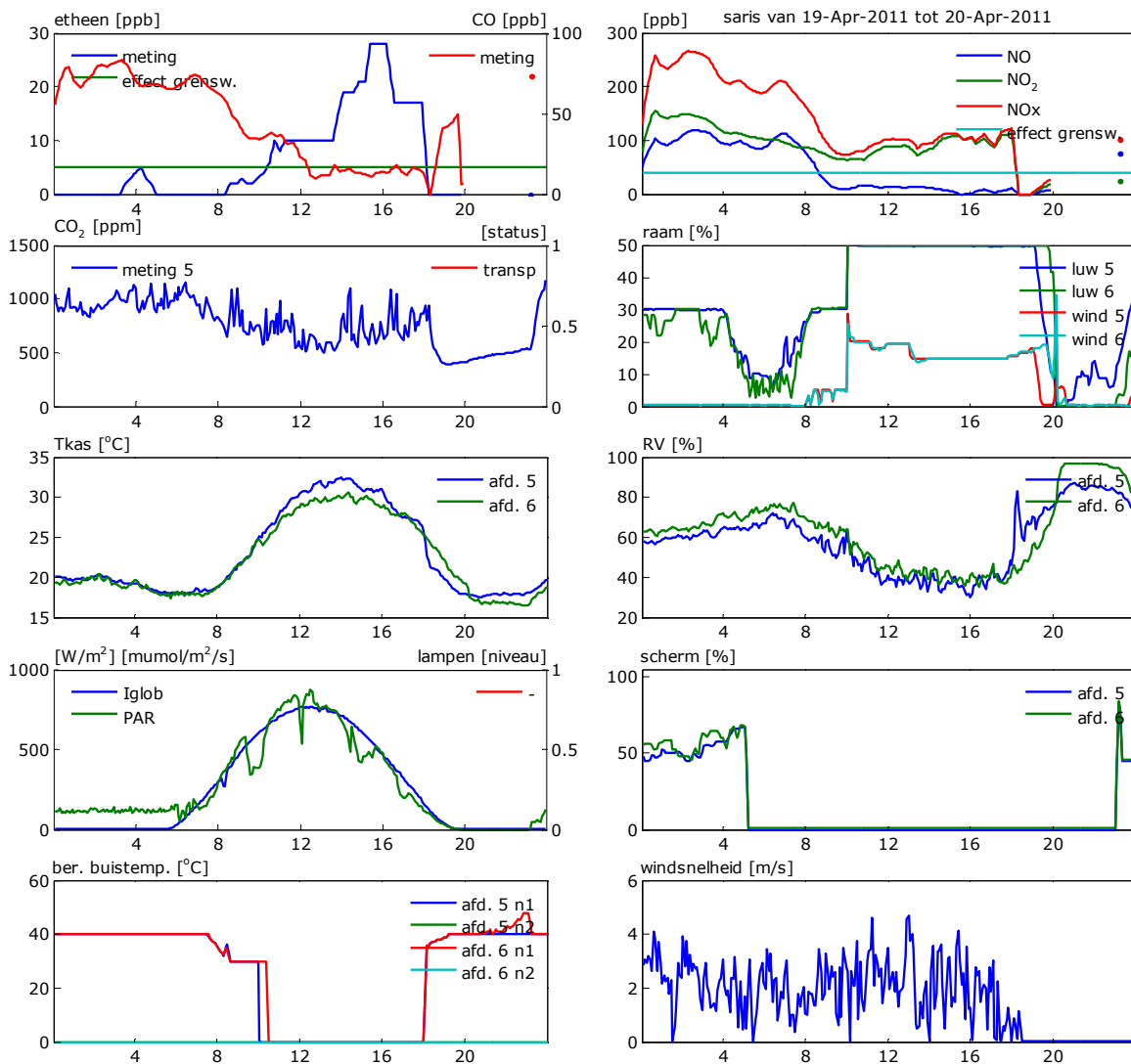


Figuur 25 De CO₂ concentratie, de NO, NO₂, NO_x concentratie en risicogrenswaarde voor NO_x en de raamstand op 7 januari 2011.

Op de mooie voorjaarsdag (figuur 26) is de assimilatie belichting rond 23:00 opgestart (1^e kolom 4^e regel [PAR]). De CO₂ dosering is synchroon ingeschakeld. Tussen 18 en 23 uur verloopt het CO₂ niveau rustig (1^e kolom 2^e regel [meting 5]).

Opvallend hierbij is dat als de CO₂ dosering wordt uitgeschakeld, de etheenconcentratie vrijwel direct weg is. Het patroon is echter erg geblokt, wat niet gebruikelijk is als ook ander dagen bestudeerd worden (1^e regel 1^e kolom [meting (blauw)]). Na 20:00 is er

nog slechts één meting door het systeem uitgevoerd (23:30) wat in de figuren als een stip is weergegeven. Opvallend is dat de NO (2^e kolom, 1^e regel [NO]) bijna helemaal wegvalt als de ramen helemaal opengaan (2^e kolom 2^e regel [luw 5, wind 5]) terwijl de NO₂ min of meer constant blijft. Als de CO₂ dosering stopt is de NO₂ concentratie ook vrijwel gelijk verdwenen. De CO₂ dosering zal dan ook de bron van de NO₂ zijn. Waarom de NO concentratie overdag wel afneemt is onbekend. De risicogrenswaarde wordt echter de gehele dag overschreden zodra er CO₂ gedoseerd wordt. De CO-concentratie vertoont grote gelijkenis met het verloop van de NO. Waarom de CO echter stijgt nadat de CO₂ dosering is gestopt (tussen 18 en 20 uur) is niet te verklaren. Het scherm (2^e kolom, 4^e regel (afd.5), wordt in de nacht als de lampen aan zijn gedeeltelijk gesloten in verband met de lichtuitstoot regelgeving.

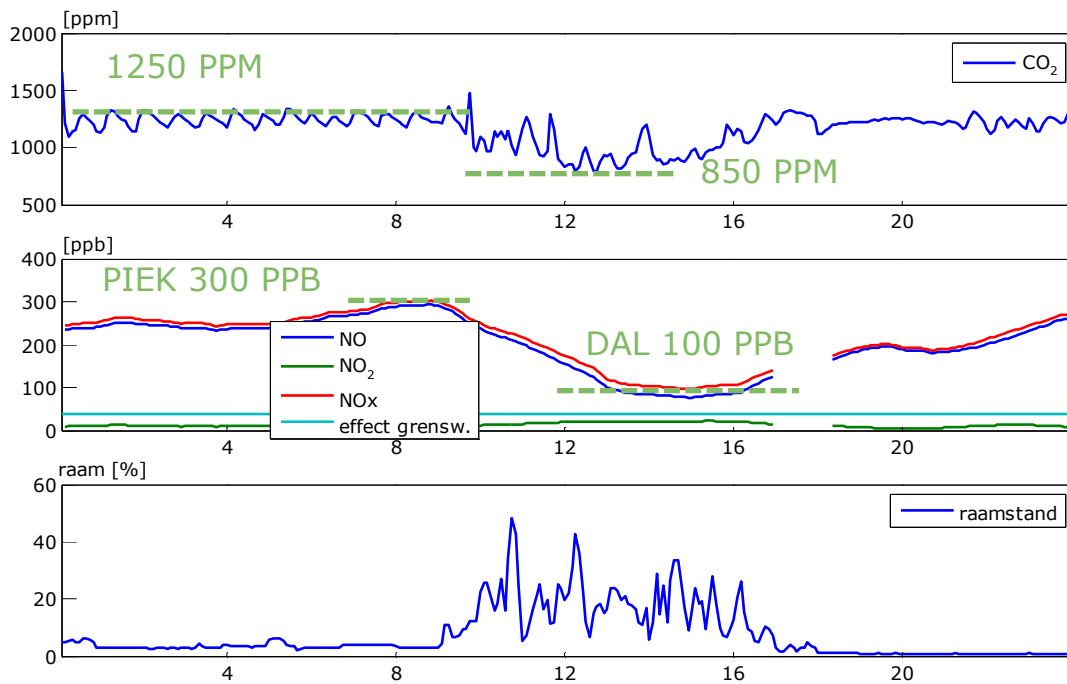


Figuur 26 De etheen, CO, NO₂ en NO concentratie in relatie tot de CO₂ dosering en overige klimaatparameters op een mooie voorjaarsdag(19 april 2011).

Dat de concentratie verlopen niet altijd even logisch zijn, wordt getoond in figuur 27 waar de CO₂ concentratie, de NO, NO₂, NOx concentratie en risicogrenswaarde voor NOx en de raamstand op 9 februari 2011 worden getoond. In de nacht wordt de CO₂ concentratie constant tussen de 1150 en 1250 ppm gestuurd. De raamstand is in de nacht

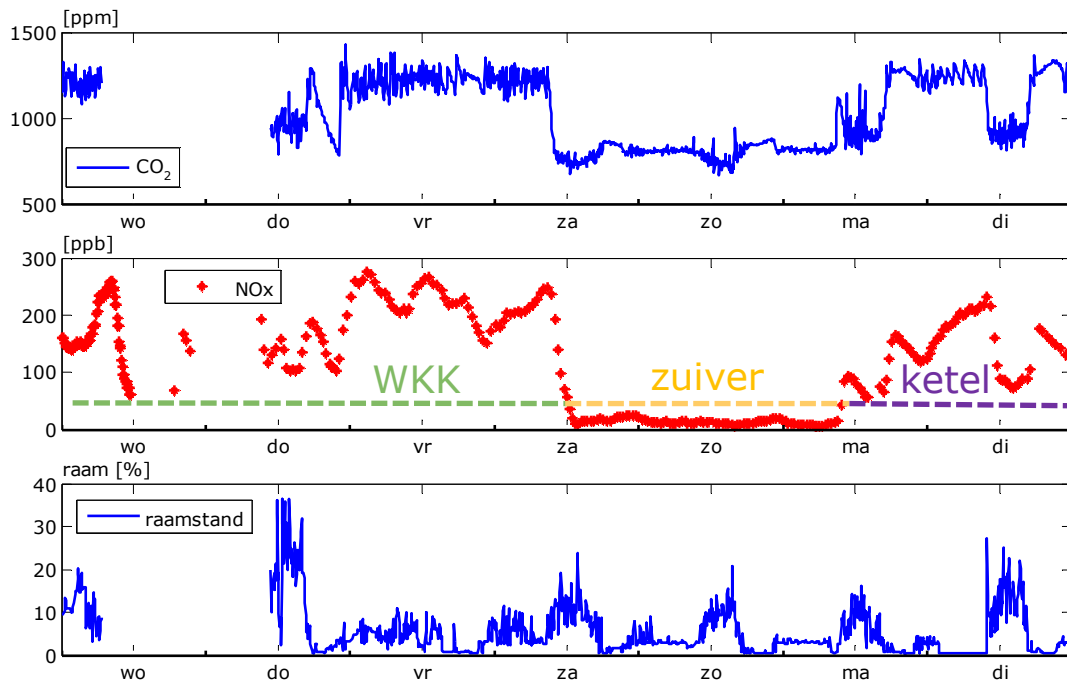
vrijwel niet gevarieerd en staat op een kier van ca. 5%. Desondanks gaat tussen 4 en 8 de NO concentratie geleidelijk stijgen. De NO₂ concentratie is nog verwaarloosbaar klein en is gedurende de dag vrijwel constant. Overdag daalt de CO₂ concentratie tot ruim 850 ppm. Heel grof gezegd de CO₂ concentratie halveert indien we een achtergrond concentratie van de CO₂ van 400 ppm aan houden. De NO_x concentratie gaat in de zelfde periode onderuit van 300 naar 100 ppb, veel meer dan een halvering. Het absolute CO₂ niveau kan dus geen voorspelling geven over het te verwachte NO_x niveau. In de avond als de lampen om 22:00 weer aangaan en de CO₂ dosering weer hervat wordt, neemt de NO_x concentratie weer geleidelijk toe bij een gelijkblijvende CO₂ concentratie.

Hier is dus duidelijk een stapeling van de NO_x te zien waar de CO₂ constant blijft omdat deze wordt opgenomen door het gewas.



Figuur 27 De CO₂ concentratie, de NO, NO₂, NO_x concentratie en risicogrenswaarde voor NO_x en de raamstand op 9 februari 2011.

In de week van 16 tot en met 22 februari (Figuur 28), is een periode met WKK, zuiver en ketel CO₂ gedoseerd. Van woensdag t/m zaterdagmorgen is er gedoseerd vanuit de WKK. Van woensdag- tot donderdagmorgen is er een storing geweest in de dataverzameling vanuit de klimaatcomputer zodat kasgegevens hier ontbreken.



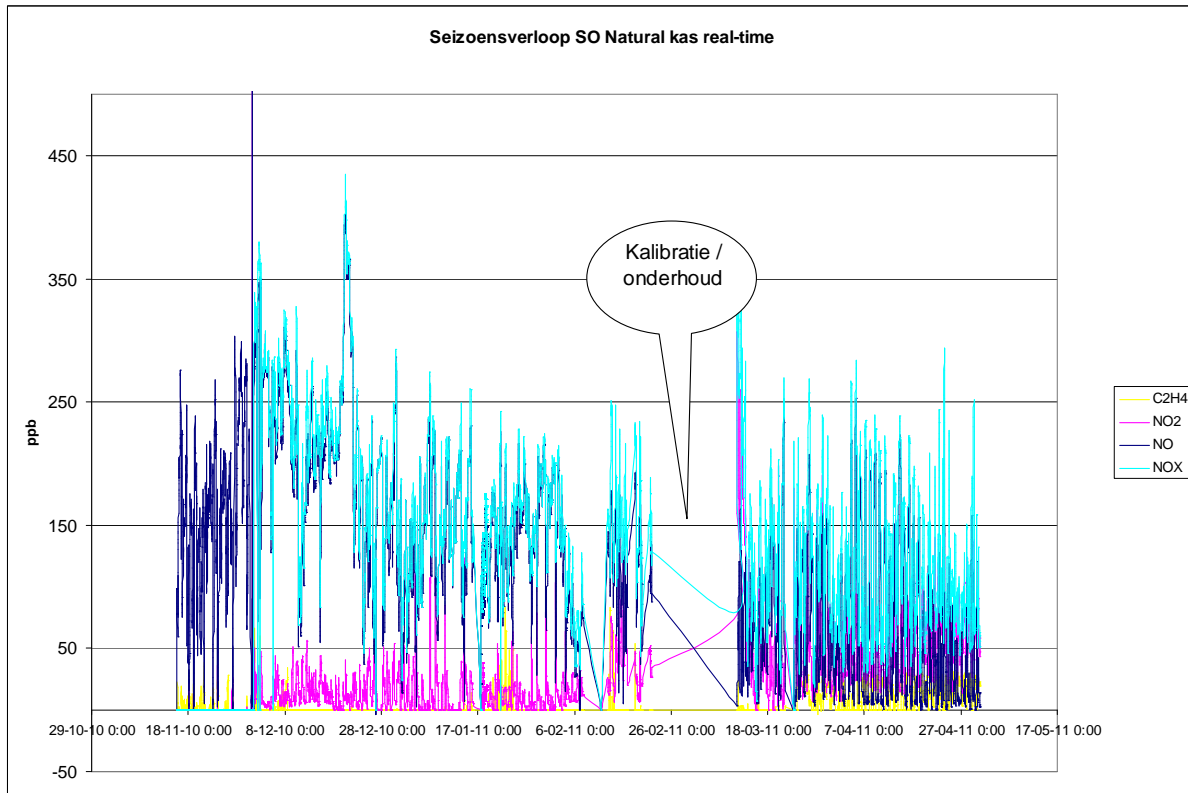
Figuur 28 De CO₂ concentratie, de NO_x concentratie en de raamstand van 16 tot en met 22 februari 2011.

De NO_x-concentratie varieert enigszins mee met de raamstand, evenals de CO₂-concentratie. Op zaterdagmorgen is van WKK-CO₂ overgestapt op zuiver CO₂. Dit heeft gelijk een zeer groot gevolg voor de NO_x-concentratie in de kas die daalt van 200 á 250 ppb naar onder de 25 ppb. Hoewel de CO₂-concentratie, gezien de beperkte doseercapaciteit, veel lager uitkomt, is de verwachting dat bij een verhoogde doseercapaciteit (tot een gelijk niveau als van de WKK) de NO_x concentratie niet uit zal komen tot niveaus, die bij de WKK dosering zijn gemeten.

Na maandagmiddag is de ketel de CO₂ bron geweest. Hier is direct een heel duidelijke relatie te zien tussen de raamstand, de CO₂- en NO_x-niveaus. Bij een vergroting van de raamstand (bijvoorbeeld op dinsdag) daalt de CO₂ concentratie naar gelijke niveaus als bij de zuivere CO₂-dosering bereikt werd. De NO_x concentratie blijft echter 3 tot 4 keer zo groot als tijdens het doseren van de zuivere CO₂.

Phalaenopsis (SO Natural)

Bij SO Natural is er over de tijd een netto afname van de NOx concentratie. In de periode van maart tot mei kan dit veroorzaakt worden doordat er meer gelucht is. De risico-grenswaarde voor NOx wordt ook hier de gehele periode overschreden. Ook is geconstateerd dat de etheen concentratie hoger is dan ten opzichte van de andere deelnemende bedrijven. Hiervoor is geen verklaring gevonden en wordt door continue monitoring door het bedrijf nader onderzocht. Mogelijk is er een relatie met het CO₂-doseringsysteem.



Figuur 29 Overzicht van de gasconcentratie in de meetperiode met real-time meetpunten van SO Natural in de kas.

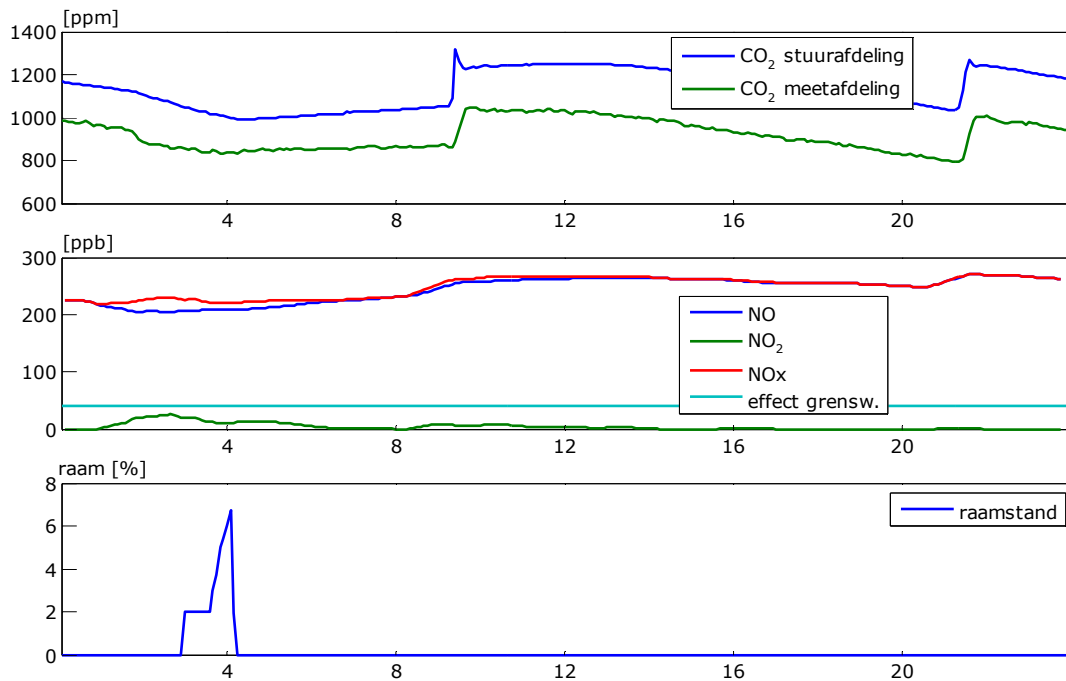


Specifieke dagverlopen

Op dit bedrijf met Phalaenopsis wordt CO₂ vaak op andere momenten gedoseerd omdat het hier een CAM plant betreft. Daarnaast is in de afkweek afdeling, waar gemeten is, geen CO₂ sensor voor handen. De CO₂ dosering geschiedt op een CO₂ meter in een naburige afdeling (koeling). Indien hier CO₂ gevraagd wordt, wordt het gehele bedrijf van CO₂ voorzien.

In de CO₂ doseerleidingen zijn geen kleppen gemonteerd. Voor een testperiode van enkele weken is met behulp van een mobiele meetpaal in de afkweek afdeling de CO₂ concentratie wel gemeten. In figuur 30 zijn de CO₂ concentraties van de stuurafdeling (koeling) en de meetafdeling (afkweek), de NO, NO₂, NO_x concentratie en risicogrenswaarde voor NO_x en de raamstand op 19 december 2010 gegeven.

De figuur laat duidelijk zien dat de afdelingen gelijkwaardig reageren maar dat er een absoluut verschil van in dit geval zo'n 200 ppm in de afdelingen aanwezig is. In het verdere verloop als er geen CO₂ meer in de meetafdeling gemeten wordt, wordt de CO₂ concentratie in de koelafdeling gezien als een indicator voor het niveau maar meer nog voor het wel of niet doseren van CO₂. De dynamiek van de CO₂ concentratie in beide afdelingen is gelijk.

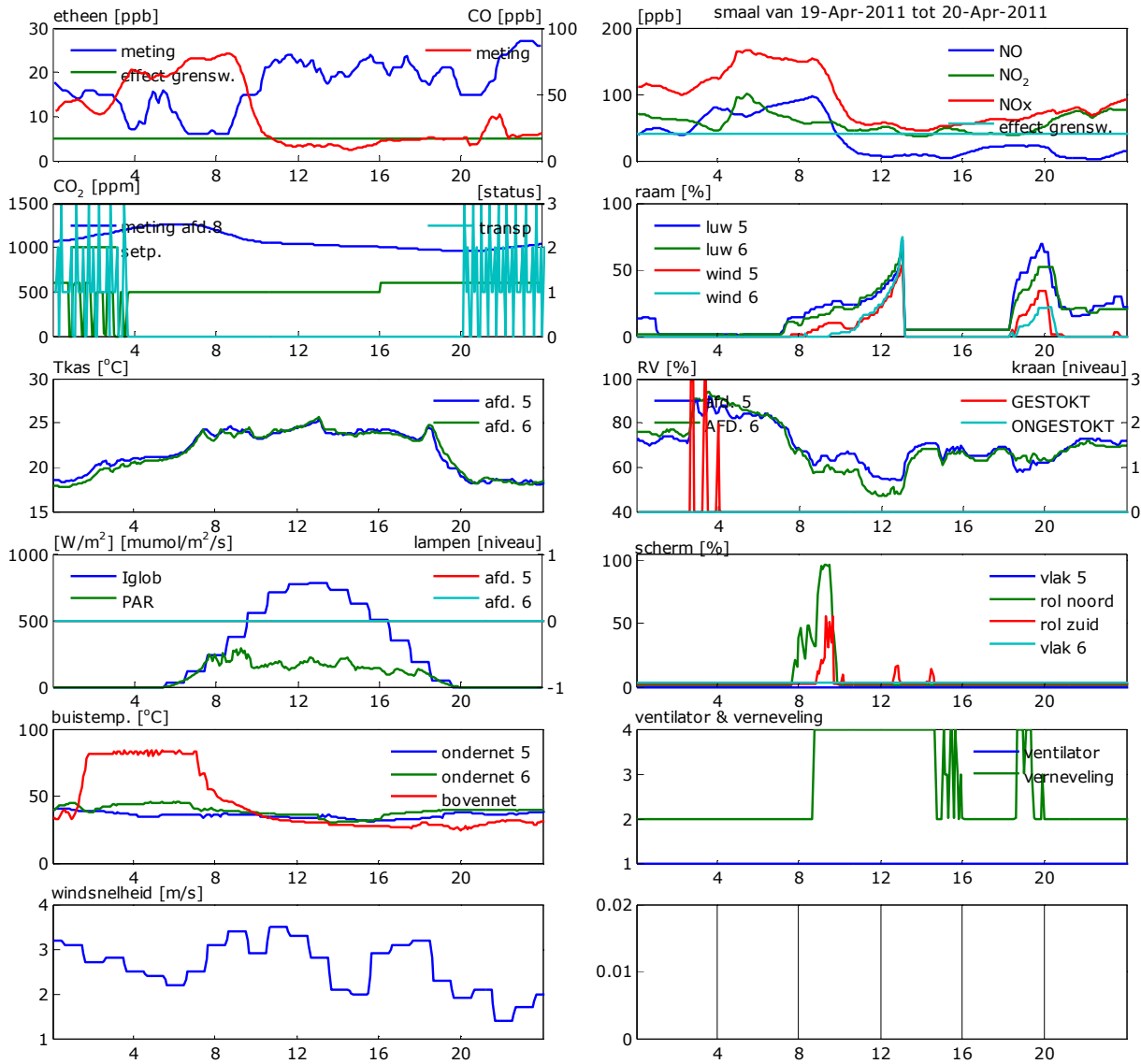


Figuur 30 De CO₂ concentratie, de NO, NO₂, NO_x concentratie en risicogrenswaarde voor NO_x en de raamstand op 19 december 2010.

Deze dag wordt slechts twee keer voor een korte periode CO₂ gedoseerd. De NO_x concentratie neemt vervolgens licht toe. De ramen blijven grotendeels gesloten zodat lek ventilatie tot de grootste afvoer zal leiden. De NO₂ concentratie is erg laag vergeleken met de NO_x concentratie. De risicogrenswaarde wordt zwaar overschreden.

Op de mooie voorjaarsdag (figuur 31) is de assimilatiebelichting niet meer gebruikt. CO₂ wordt alleen in de avond en nacht gedoseerd, van 20 tot 4 uur (1^e kolom, 2^e regel [transp]). In deze teelt wordt gekoeld, wat aan de raamstanden te zien is. Die gaan tussen 13 en 18:15 vrijwel dicht (2^e kolom, 2^e regel [luw5, wind 5]). Als de ramen in de

morgen open gaan, daalt de NO en NOx maar ook de CO concentratie vrijwel gelijk. De Etheen en NO₂ concentratie lijken hier niet of veel minder op te reageren. Dankzij de ventilatie en het niet doseren daalt de NOx concentratie richting de risicogrenswaarde.



Figuur 31 De etheen, CO, NO₂ en NO concentratie in relatie tot de CO₂ dosering en overige klimaatparameters op een mooie voorjaarsdag (19 april 2011).

5.2.3. Techniekscan

Bij de praktijkmeetbedrijven is een techniekscan uitgevoerd. Hiervoor is gebruikt gemaakt van de checklist voor CO₂-dosering rookgassen (Sar en Looijen, 2011). Hieronder is een overzicht gegeven van de meest voorkomende aandachtspunten die geconstateerd zijn bij de betrokken praktijkbedrijven, maar die voor elk bedrijf belangrijk zijn.

Wanneer de rookgasreiniger buiten de WK-omkasting staat opgesteld;

- is lekkage van rookgassen uit het uitlaatsysteem van de WK-installatie een risico voor zowel het gewas als de mensen die deze ruimte betreden. Van belang is dat de installatie regelmatig hierop gecontroleerd wordt.
- is het van belang dat de scheidingsdeur tussen deze stookruimte en de verwerkingsruimte gesloten blijft.

Wanneer de WKK installatie in een ruimte buiten het bedrijf staat;

- vormt deze qua opstelling een lager dan gemiddeld risico m.b.t. mogelijke gewasschade. Eventuele lekkage aan het uitlaatsysteem zal het gewas niet of in uiterst geringe concentratie bereiken.
- is het zaak om de CO₂-ventilator aan de zuigzijde (o.a. het manchet) regelmatig te controleren op dicht zijn.

Andere aandachtspunten;

- De CO₂-doseerinstallatie regelmatig controleren op het ongewenst meezuigen van omgevingslucht. Met name aandacht voor scheuren/barsten in manchetten aan de zuigzijde en deugdelijke condensafvoer.
- Controle op beschadigingen van flexibele verbindingstukken; voorkomen van meezuigen omgevingslucht uit stookruimte naar de kas.
- Controle op 100% sluiten van de CO₂-klep.
- De besturing van de rookgasreiniger zou d.m.v. een update uitgebreid moeten worden met de mogelijkheid om ook op NO₂ te bewaken.
- Regelmatige registratie van olieconsumptie.
- Het is van belang dat er meer controle is op het uitvoeren van het onderhoud van de bewakingsapparatuur.

Algemeen

De keuze om in de winter door te gaan met het doseren van CO₂ uit gereinigde rookgassen vormt een verhoogd risico. Vooral wanneer de reinigende werking van de katalysator blokken afneemt in combinatie met een vorstperiode waarin weinig tot niet geventileerd wordt. Gebruikers zijn zich vaak onvoldoende bewust dat de bewakingsapparatuur geen bescherming biedt tegen eventuele opeenhoping van etheen of NO_x in de kas.

5.2.4 Praktijkervaring en Do's en Don'ts

Een overzicht van de belangrijkste leerpunten uit de praktijkmetingen en de praktijkervaring van de deelnemers van de interactieve bijeenkomsten is hieronder weergegeven:

Algemene punten/vragen:

- Effectgrenswaarden versus praktijkmeetwaarden. Deze liggen 'ver' uit elkaar. De tuinders willen meer duidelijkheid in schadewaarden, terwijl de effectgrenswaarden het risicogebied aangeven → vanaf nu spreken we over **risicogrenswaarden**.
- Risicogrenswaarden zijn generieke waarden, dus kunnen per gewas (cv) en stadia en conditie van het gewas, klimaat en bedrijfsomstandigheden verschillen.
- Langdurige en hoge niveaus belichting kan effect hebben op gevoeligheid gewas voor rookgassen.
- Zowel ketel als WWK kunnen bronnen zijn van schadelijke componenten uit rookgassen. **Onderhoud is essentieel!** En door **Meten in de kas is Weten** wat er gebeurt en kan je maatregelen nemen.
- Alleen bij dosering van **zuiver CO₂** worden **NOx en etheen concentraties onder de risicogrenswaarden** gemeten als er geen andere bronnen van schadelijke componenten aanwezig zijn in en om de kas.
- Etheenafgifte van WKK kan schommelen in het seizoen, is afhankelijk van temperatuur aanzuiglucht. Aandacht voor locatie aanzuiging buitenlucht en/of omgevingstemperatuur van technische ruimte.
- 'Vroeger' sprak men van CO schade. Met de huidige kennis kunnen we veronderstellen dat dit etheenschade betreft. Alleen CO meten als bewaking is dus een beperking, omdat etheen al bij een lagere waarde nadelig effect heeft. Sturen vanuit CO-waarde is dus geen mogelijkheid. Omdat de etheenschade dan al heeft plaats gevonden.
- **Sturen op NOx en etheen.** Waarbij NOx goede regelmarker is (bandbreedte), echter etheen is minder goed te regelen (lage risicogrenswaarde), maar heeft wel gelijk effect → dus meten.
- NOx accumuleert in de tijd (dag/en) als gevolg van doseren, dus belangrijk om trend in de gaten te houden en maatregelen te nemen als dat te hoog wordt. NOx is een 'sluipend gevaar'.
- Verschil in NO/NO₂ verhouding kan een indicatie zijn voor het 'anders' draaien van systemen (WKK, Ketel, RGR).
- Mogelijk zijn er andere, nu nog, onbekende gassen aanwezig, echter verwachting is dat NOx en/of C₂H₄ goede markers zijn en als 1^e schade geven.
- Effect van HF en SO₂ nog niet geheel duidelijk, belangrijk om in de toekomst aandacht aan te blijven besteden.

- Technische verschillen verbrandingsproces WKK en ketel hebben effect op risico rookgassen:
 - WKK: Bij schakelen is er sprake van niet volledige verbranding, dus verhoogd risico; CO₂ dosering tijdelijk stop zetten naar de kas.
 - Ketel: hogere temperatuur brander → betere verbranding. Verder is er sprake van continue dosering, dus minder pulsen en dus minder gevaar negatieve componenten uit rookgassen.
- Algemene stelling is: Ketel geeft nauwelijks NO₂, maar wel etheen risico.
 WKK geeft wel NO₂ risico, maar nauwelijks etheen.
 Pas op; in de praktijk wordt bij CO₂-dosering uit ketel vaak een hogere NOx waarde gemeten dan bij WKK.
- In OCAP, wat gezien wordt als 'zuiver' CO₂ is CO aanwezig.
- Wanneer **ketel rapport** na keuring 0 ppm NOx aangeeft kan dat niet mogelijk zijn, hoogstwaarschijnlijk betekend het dan: NOx niet gemeten.
- Pas op! 20 ppm ketel waarden zijn mogelijk → inblazen van 200-400 ppb in de kas. Dus hoe lager de ketel waarde, hoe minder risico in de kas.
- Op kasniveau liggen de risicogrenswaarden op **ppb** niveau. Achter de WKK/ketel meet men **ppm** niveau → factor duizend verschil!!
- Nederland heeft hoge NOx buiten niveauwaarden. Invloed omgeving en locatie kas is essentieel → verkeer, machine, industrie etc.
- Heeft insectengaas effect op luchtkwaliteit? Mogelijk minder CO₂ verlies → minder doseren dus lager risico op rookgassen. Onbekend wat er met rookgassen gebeurt i.r.t. insectengaas.
- Wees bewust van locatie WKK/Ketelhuis t.o.v. kas en mogelijk risico op lekken van rookgassen naar kas. Zorg bij voorkeur voor een **luchtdichte afscheiding**. Dus geen glazen gevel.
- Let op het luchtdicht afsluiten van CO₂-klep, die blijft vaak hangen en staat dan open naar de kas → rookgassen de tuin in.
- Aan- en uitschakelen/deellast draaien van WKK en CO₂ blijft aandachtspunt. Na deellast draaien of inschakelen WKK/RGR ca 15 min GEEN CO₂ dosering naar de kas.
- Omgevingsfactoren blijven belangrijk voor kwaliteit kasklimaat: Schoorsteen hoogte (> 5 mtr.), diameter en locatie schoorsteen i.v.m. voorkomen van inblazen rookgassen via ramen en luchtinlaat, snelwegen, (vracht)verkeer om de tuin, randapparatuur met verbrandingsmotor als overzetwagens, bladblazers, pulse fogs, etc. (zie ook AirQ 1-4 rapporten).
- Maak gebruik van de **CO₂-dosering checklist** (bijlage 3) of de CO₂-monitor van PincAgro.

Praktijkervaring/tips:

- Teler: Onderhoud van WKK (afstellen motor) had positief effect op NOx concentratie; verlaging van factor 2!
- Rozenteler: In de winterperiode op basis van NOx meetwaarden van MacView analyser met **zuiver CO₂ bij te mengen** om risico te voorkomen. En indien mogelijk ook meer te ventileren.
- Komkommerteler: 1 hr voor ingaan **nachtregime** (sluit ramen) wordt CO₂ dosering vanuit WKK stop gezet en wordt **zuiver CO₂** in de kas gedoseerd. Op deze manier voorkom je ophoping van rookgassen gedurende nacht als er niet meer wordt geventileerd.
- Paprikateler1: Door monitoring in de kas zie je wat er gebeurt. In verleden schade gehad, dan kan je niet meer ingrijpen. **Metten in de kas maakt preventief handelen mogelijk**, je hebt zelf het gevoel wat je gewas aan kan en in combinatie met meetwaarde sturing van CO₂-dosering uit rookgassen of bijmengen zuiver CO₂.
- Paprikateler 2: door sturing op **begrenzing van 100 ppb NOx** en maatregelen als CO₂ dosering uit of inzet zuiver CO₂ wordt 10-15% meer productie gehaald.
- Gerberateler: **Biologische bestrijding** heeft last van NOx niveau. Exacte hoogte is niet bekend, wel een belangrijk aandachtspunt. Dat wordt ook onderschreven door Koppert Biological systems.
- Roos/Paprika: **Drempelwaarde van RGR** instellen op **lager grens** bijv. 200-250 i.p.v. 450 ppb voor etheen. M.n. trend bij rozentelers. Consequentie mogelijk eerder onderhoud, echter beter voor gewas. Denk daarbij ook aan je NOx-waarde!
- Biologische teelt; grond teelt en organische bemesting. Daar is nog niet veel over bekend. Het is mogelijk dat er effect is van gassen uit de grond.
- **Ureum verbruik** kan maat zijn voor meer rookgassen naar de kas. Ureum verbruik dus wekelijks noteren en bij **trendbreuk** onderhoud actie ondernemen → aanvullen op checklist.

6. EVALUATIE EN AANBEVELINGEN

Kassen en verwerkingsruimte

Op alle deelnemende bedrijven zijn gedurende de winterperiode en het vroege voorjaar NO_x gasconcentraties boven de risicogrenswaarde van 40 ppb gemeten. Pieken NO_x kunnen meer dan 2-3x hoger uitvallen dan de daggemiddelden. De verschillen tussen de bedrijven zijn groot.

Er is een verband tussen CO₂ doseeracties en gemeten NO_x, maar het verband is niet altijd even duidelijk. Een externe bron kan het niveau van schadelijke componenten uit rookgassen in de kas negatief verstoren. Het is dus belangrijk om een eventueel externe bron te identificeren en te verwijderen.

Bij lage ventilatievouden kan de NO_x concentratie verlaagd worden door bijmengen van zuivere CO₂ of het gewenste CO₂ concentratie te verlagen. Anders gezegd de doseercapaciteit zou lager ingesteld moeten worden om meer in de buurt van de risicogrenswaarden te komen.

Het afluchten van NO_x kan de concentratie sterk verlagen maar zodra de CO₂ weer op peil wordt gebracht neemt het aandeel van rookgassen in de kas weer toe. De situatie waar door gesloten luchtramen maar wel opname van CO₂ regelmatig CO₂ aangevuld wordt zal een stapeling van NO_x laten zien. Afluchten kan enige verlichting brengen maar hierbij gaat in de winter uiteraard ook een grote hoeveelheid warmte en CO₂ verloren.

Ventilatie verlaagt het NO_x niveau in de kas maar bij constant doseren is het niet meteen weg.

In de winter zijn erg lage NO₂ concentraties gemeten, waar deze in het voorjaar juist veel hoger zijn. Hier lijkt sprake van een seizoensinvloed, maar dan zou de meetperiode veel langer door moeten lopen om dat te staven. Of is dit een doseereffect? Er wordt met meer licht veel meer gedoseerd.

Er zijn geen benzeenconcentraties aangetroffen in de verwerkingsruimten (boven de detectielimiet van 1 ppb), maar wel concentraties SO₂, Aldehyden en HF. De gemiddelde concentraties voor SO₂ lag rondom de risicogrenswaarden voor langdurige blootstelling. De risicogrenswaarde voor kortdurende blootstelling van 24 uur worden nergens gehaald.

Voor HF is in de kas een waarde gemeten rondom de risicogrenswaarde, in de verwerkingsruimte zijn de HF concentraties hoger dan de risicogrenswaarden.

Naar de toekomst toe zullen er meer nieuwe initiatieven ontstaan op het gebied van biogas (CO₂-neutraal). Daarnaast worden de kassen steeds meer gesloten, waarbij er (zeker in deze combinatie van biogas en (semi)-gesloten kas wel degelijk rekening zal moeten worden gehouden HF en SO₂ als potentieel risico.

De gemeten lage concentraties aldehyden is geen effect te verachten. Wel is bekend dat aldehyden potentieel toxisch zijn voor planten.

Verwerkingsruimten onder een verhoogde teeltruimte/teeltlaag vormen een potentieel risico omdat deze ruimten nooit geheel luchtdicht gebouwd worden, waardoor luchtuitwisseling tussen boven en onder compartiment plaatsvindt.

De metingen zijn een momentopname, echter de waarden geven wel een indicatie dat het noodzakelijk is om het risico van rookgassen in verwerkingsruimte te beperken.

Bronnen van verontreiniging

De bron van verontreiniging is niet per definitie de WKK. Ook vanuit de ketel kunnen behoorlijke NO_x concentraties gedoseerd worden. Rondom de teeltbedrijven zijn wederom een aantal externe bronnen aanwijsbaar waar in eerste instantie niet meteen aan wordt gedacht (*Heistek et al. 2010a en b*). De externe bronnen die binnen dit project hogere gasconcentraties voor NO_x en etheen veroorzaakten zijn:

- Aan en afrijden in combinatie met het laden en lossen van vrachtwagens in afsluitbare ruimtes zonder mechanische luchtverversing voor vrachtwagens.
- Lekkages van rookgassen uit verbrandingsmotoren in het Ketelhuis en/of WKK ruimte

Vraagtekens en blinde vlekken

- Verhouding en trend van NO en NO₂ in de praktijk en de mate van schadelijkheid van de afzonderlijke componenten. Heeft dit te maken met lichtintensiteit? Afbreekbaarheid van de componenten?
- Effect van NO₂ i.r.t meststoffen is onduidelijk.
- Effect van HF en SO₂ i.r.t. het gebruik van biogas brandstoffen.
- Effect van olieverbruik WKK en vrijkomen van gassen uit slecht verbrande olie en effect op plantkwaliteit.

Aanbevelingen & conclusies

- Zowel CO₂-dosering uit WKK als ketel kan toename van schadelijke componenten uit rookgassen tot gevolg hebben in de kas.
- Rookgassen van verbrandingsmotoren, in algemeen, moeten zoveel mogelijk worden vermeden in en om de kas.
- Alleen bij doseren van zuiver CO₂ is het risico op schadelijk componenten minimaal.
- Telers moeten zich bewust zijn dat het bewaken van de ventilatievoud niet afdoende is om met de concentraties van schadelijke gassen onder de risicogrenswaarden te blijven.
- CO₂ monitoring alleen is niet voldoende om het niveau van de schadelijke gassen in te kunnen schatten.
- Hoe dichter de kas/hoe lager de ventilatievoud (hoe lager het lekverlies), hoe hoger het risico op het overschrijden van de risicogrenswaarde.
- Op enkele praktijkbedrijven worden positieve resultaten behaald met

een handmatige regeling van het klimaat en CO₂ dosering. Voor een efficiënte teeltsturing is automatisering van regel- en doseerstrategie noodzakelijk.

- Uitgaande van generieke risicogrenswaarden kan het automatiseren van de NO_x en etheen reductie in de kas een generieke oplossing leveren voor de volledige sector, zonder meteen verplicht per verschillend product of cultivar de effecten te moeten onderzoeken en de daarbij behorende (teelt)specifieke maatregelen te moeten nemen.

Tuinders verdenken rookgassen als oorzaak voor productieverlies. Het gebruik van NO_x- en etheen monitoren in combinatie met een regeling aan de klimaatcomputer bieden op termijn kansen om een productieverhoging te realiseren. Dit zou verder onderzocht moeten worden.

Van preventie naar permanente bewaking

Maatregelen t.a.v. veilig CO₂ doseren via rookgassen uit WKK/ketel

1. Elimineer externe bronnen van luchtvervuiling o.a.

- Afzuiging uitlaat vrachtwagen naar buiten
- Geen machines met verbrandingsmotor in de kas
- Gebruik van RGR of zuiver CO₂
- “Schone” buitenlucht aanzuiging

2. Zorg dat je veilig CO₂ uit rookgassen kan doseren

- Technische keuring van installatie; te veel rookgassen → installatie niet gebruiken voor CO₂ doseren
- Zorg voor goed onderhoud → afspraak met installateur /leverancier; *onderhoud advies*
- Gebruik de *CO₂ doseer checklist*
- Wees bewust van je eigen installatie en de risico's; *Risicomatrix*

3. Meet continue de luchtkwaliteit in de kas; monitoren

4. Handel op basis van gemeten waarden; Regelprotocol

- CO₂ niet doseren
- Zuiver CO₂ doseren
- Bijmengen met zuiver CO₂
- Overschakelen op ketel, *alleen bij bewezen lagere uitstoot*
- Meer ventileren

5. Doseer niet hoger dan nodig

→ max 1000 ppm

7. KENNISOVERDRACHT

In de vier belangrijkste glastuinbouwregio's (Westland/Oostland, Agriport Noord-Holland, Noord Limburg en Zuid-Oost Drenthe) zijn communicatielijnen opgezet om kennisoverdracht te bevorderen. Met als doel;

- *Ondersteuning bieden aan telers waardoor zij meer inzichten krijgen in de risico's van rookgassen; Bewustwording.*
- *Tuinders in staat stellen om de risico's van CO₂ dosering vanuit de WKK (ketel) te verlagen, gewasschade te voorkomen en productieverhogingen te realiseren.*

7.1 Interactieve praktijkbijeenkomsten

In elke regio zijn twee interactieve bijeenkomsten (februari en mei 2011), op de praktijkmeetlocaties, georganiseerd om het kennisniveau binnen een grote groep tuinbouwondernemers op hetzelfde niveau te brengen en praktijkervaring uit te wisselen. Ca 120 tuinders hebben persoonlijk een uitnodiging ontvangen per email (CropEye). Verder waren de workshops aangekondigd via de websites c.q. nieuwsbrieven van CropEye, Energiek 2020, LTO Groeiservice, LLTB, DLV Plant (chrysant) en Vakblad Bloemisterij en Groenten en Fruit. Verder zijn alle LTO afgevaardigden en belangenbehartigers in de regio geïnformeerd. De bijeenkomsten in Klazienaveen zijn i.s.m. LTO Noord Glaskracht sectie Groningen/Drenthe, Gemeente Emmen en Stichting Tuinbouw Emmen uitgevoerd. De 2^e bijeenkomst in Venlo is in samenwerking met LLTB uitgevoerd, in kader van een bredere energie bijeenkomst.

De **1^e Bijeenkomsten** in februari 2011 stond in het teken van kennisniveau verhogen en vraagarticulatie. CropEye (Jolanda Heistek) heeft de resultaten van voorgaande AirQ projecten (PT) gepresenteerd en Tom Dueck WUR-onderzoek rookgassen. Daarnaast is er een tussenrapportage gegeven van de huidige meetsessies Grenzen voor Luchtkwaliteit door Frank Kempkes (WUR) en Jan Kees Boerman (EMS). Vervolgens is de aandacht gelegd middels een foto serie door Peter van der Sar en Berry Looijen van Interpolis/Achmea op technische mankementen die effect kunnen hebben op rookgas verontreiniging in de kas, en de techniek scan. In totaal waren er 44 tuinders aanwezig.

De **2^e bijeenkomsten** in mei 2011 stond in het teken van kennisverbreding en -verdieping vanuit ervaring huidige project en ondernemers vragen vanuit praktijk in brengen. Bij elke bijeenkomst zijn de resultaten van de begassingsexperimenten en de overzicht resultaten van de praktijkmetingen gepresenteerd, met extra focus op het betreffende praktijkbedrijf uit de regio. Daarnaast is op basis van foto's een overzicht gegeven van technische mankementen die effect kunnen hebben op rookgas verontreiniging in de kas, en is de CO₂ checklist toegelicht en uitgedeeld voor eigen gebruik.

In totaal waren er 66 tuinders aanwezig, waarvan 1/3 ook de 1^e bijeenkomst hebben

bezoekt en ca 2/3 nieuw waren. Door meer bekendheid van het project (publicaties) en bewustwording van de risico's was er een grotere opkomst.

De **presentaties** van beide bijeenkomsten zijn openbaar beschikbaar op de website van Energiek 2020 en CropEye. Op Energiek 2020 is ook een verslag van de bijeenkomsten geplaatst.

Vanuit verschillende gewasgroepen (tomaat, roos, Phalaenopsis, komkommer, paprika, snijanthurium, gerbera) was er interesse. De bijeenkomsten zijn ook door technische toeleveranciers en (teelt, energie) adviseurs bezocht.

De deelnemers gaven aan dat men wel idee had van negatieve effecten rookgassen op het gewas ('telen met de handrem erop'), maar nu een duidelijk beeld hebben gekregen van de risico's -> 'eye-opener'. Gezien de vele vragen die er nog leven, de praktijkvoorbeelden van schadegevallen of productieverliezen was de conclusie dat het belangrijk is de kennis uit dit project verder te verspreiden en te verdiepen. Voor praktijkimplementatie is het noodzakelijk om geautomatiseerde regelstrategieën te ontwikkelen.

Naar aanleiding van de bijeenkomsten (kennisoverdracht) hebben meerdere tuinbouwbedrijven (roos, tomat, paprika, etc.) op eigen initiatief meetsessies laten uitvoeren op eigen bedrijf. Hier zijn al een aantal veelbelovende stappen genomen richting praktijkimplementatie, kansen voor regelstrategie en productieverbetering.

7.2 Presentaties en publicaties

Presentaties

- AirQ praktijkmetingen en Grenzen voor Luchtkwaliteit, door J. Heistek. Energieavond LLTB i.s.m. LTO Groeiservice, 2 november 2010, Maasbree.
- Grenzen aan Luchtkwaliteit, deel 1.; door J K Boerman, T Dueck, J Heistek, F Kempkes en P van der Sar/B. Looijen, Venlo (14 februari), Moerkapelle (15 februari), Andijk (21 februari) en Klazienaveen (22 februari) 2011.
- CO₂ doseren uit WKK's: risico's voor het gewas, door T. Dueck en C. van Dijk Tuinbouwrelatiedagen, (15, 16 en 17 februari 2011) Gorinchem.
- Grenzen voor Luchtkwaliteit, door J. Heistek en J. K. Boerman. Voor Avalanche-groep, 31 maart 2011 Bleiswijk.
- CO₂ doseren uit WKK's: risico's voor het gewas en metingen in de praktijk, door T. Dueck. Voordracht voor DLV Plant, april 2011 Wageningen.
- Grenzen aan Luchtkwaliteit, deel 2; JK Boerman, T Dueck, J. Heistek en P. van der Sar/B. Looijen, Venlo (30 mei), Moerkapelle (31 mei), Andijk (23 mei) en Klazienaveen (24 mei) 2011

Publicaties:

Artikelen:

- Anon, etheen schadelijk gas (interview met T. Dueck). Groenten & Fruit: 4:17. 2010
- Boonekamp, G. Groot onderzoek naar luchtkwaliteit in kassen (interview met T Dueck). Groenten & Fruit Actueel 4: 14 25 januari 2011.
- Jagers-op Ackerhuis, F. Praktische checklist CO2-en met WKK (Interview J. Heistek) Energiek 2020, 2 maart 2011
- Jagers-op Ackerhuis, F. Houd CO2 uit rookgas goed in de gaten (Interview J. Heistek) Energiek 2020, (16 februari 2011
- Jagers-op Ackerhuis, F. Monitoren rookgassen noodzaak bij CO2-doseren (Interview J. Heistek) Energiek 2020, juni 2011
- Jagers-op Ackerhuis, F. Eindartikel (Interview J. Heistek) Energiek 2020 (in voorbereiding)
- Kamminga, H. Kasluchtkwaliteit van risico naar stuurfactor (Interview Jolanda Heistek) Bloemisterij 30/2011 29 juli 2011.
- Kloet, J. van der. Gasmonitoring (interview met JK Boerman en J. Heistek). Glastuinbouwtechniek, (in voorbereiding) oktober 2011
- Van Staalduinen J. CO₂/dosering met gereinigde rookgassen: overmaat schaad. (interview T. Dueck) Onder Glas 1:54/55 2010
- Visser, P. Risico beheersen van schade door rookgassen (interview J. Heistek en T. Dueck). Groenten & Fruit 27. Juli 2011

Flyers

- Grenzen voor luchtkwaliteit. Versie november 2010, mei 2011 en augustus 2011.
- Grenzen voor Luchtkwaliteit: Risicomanagement rookgassen, september 2011.

Websites:

- CropEye; (Tussen)rapportage projectresultaten en presentaties van bijeenkomsten (februari, mei en augustus 2011).
- WUR Glastuinbouw; Projectplan, achtergrond informatie en resultaten (november 2010, augustus 2011).
- LTO Groeiservice en gewasnieuwsbrieven.
- AgriHolland; Groot onderzoek naar luchtkwaliteit kassen, 10 januari 2011
- Groentennieuws. Groot onderzoek naar luchtkwaliteit in kassen, 11 januari 2011

8. LITERATUUR

- Dieleman *et al.* CO₂ bij paprika: meerwaarde en beperkingen. 2007
- Dueck *et al.*, Emissies uit WKK installaties in de glastuinbouw. 2008
- Dueck en van Dijk. Risico-evaluatie toepassing Groen Gas in de Nederlandse Glastuinbouw. 2009
- Heistek *et al.* AirQ2; Luchtkwaliteit in de (semi)gesloten kas, voor mens en gewas. 2007 (PT12866)
- Heistek *et al.* AirQ3; Luchtkwaliteit in de kas, voor mens en gewas., 2008. (PT12866)
- Heistek *et al.* AirQ4; Luchtkwaliteit in de (semi)gesloten kas, voor mens, dier en gewas., 2010a. (PT13415)
- Heistek *et al.* AirQ4; Luchtkwaliteit in de kas; uitbreiding praktijktest. 2010b (PT13415.02)
- Van Dijk *et al.* Rookgasschade in beeld? Risico's van NOx en etheen bij CO₂ dosering uit WKK-installaties. 2003
- Van Dijk *et al.* Effecten van stikstofoxiden en etheen op paprika. 2010
- van Dijk *et al.* Risico-evaluatie toepassing Groen Gas in de Nederlandse Glastuinbouw. 2009