

Toxicologische advies- waarden voor effecten van etheen op planten

A.E.G. Tonneijck & C.J. van Dijk

ab-dlo

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Algemene inleiding	3
2. Effecten van etheen op planten	5
2.1. Inleiding	5
2.2. Selectie van relevante gegevens	6
2.2.1. Blootstellingen van delen van planten zoals stengels of agrarische produkten	6
2.2.2. Blootstellingen van intacte planten in gesloten systemen zonder luchtventilatie	6
2.2.3. Blootstellingen van intacte planten in systemen met luchtcirculatie	7
3. Berekening van toxicologische advieswaarden	9
3.1. Wijze van berekening	9
3.2. Advieswaarden voor kort- en langdurende blootstellingen	11
4. Relevantie van de afgeleide advieswaarden voor de veldsituatie	13
5. Evaluatie	17
Referenties	19

Samenvatting

Etheen vormt een algemeen bestanddeel van de omgevingslucht en kan worden beschouwd als een fytotoxische luchtverontreinigingscomponent. De advieswaarden die tot op heden zijn afgeleid teneinde planten in het veld te beschermen tegen de negatieve effecten van etheen, lopen sterk uiteen. Vanwege deze discrepantie werd een nieuwe studie uitgevoerd om:

1. maximaal toelaatbare risiconiveaus (MTR's) voor de effecten van kort- en langdurende blootstellingen van etheen op planten te berekenen;
2. aan te geven welke de waarde is van deze MTR's voor de veldsituatie;
3. aandacht te geven aan de afleiding van een verwaarloosbaar risiconiveau (VR).

Op basis van een literatuurstudie en met inachtneming van een aantal criteria werden relevante fytotoxiciteitsgegevens geselecteerd. Deze gegevens betreffen effectieve concentratieniveaus voor sterk verschillende blootstellingsduren. Na correctie voor de blootstellingsduur werden vervolgens met behulp van de methode van Aldenberg & Slob (1993) maximaal toelaatbare risiconiveaus berekend. Voor blootstellingsperioden van acht uur (kortdurende blootstelling) en vier weken (langdurende blootstelling) bedragen deze niveaus respectievelijk 14,3 en 3,8 $\mu\text{g m}^{-3}$ etheen. De verwaarloosbare risiconiveaus werden gelijk gesteld aan 1 % en 10 % van de maximaal toelaatbare risiconiveaus. Met behulp van de zogenaamde envelopbenadering werden ook advieswaarden bepaald en deze wijken met 13,0 $\mu\text{g m}^{-3}$ voor acht uur en 6,1 $\mu\text{g m}^{-3}$ etheen voor vier weken weinig af van de berekende maximaal toelaatbare risiconiveaus.

De berekende waarden zijn gebaseerd op gegevens uit blootstellingen van planten onder laboratoriumomstandigheden. Uit de beschikbare informatie blijkt dat de afgeleide verwaarloosbare risiconiveaus voor etheen irrelevant zijn voor de praktijk aangezien deze niveaus veel lager zijn dan die welke als achtergrond in de buitenlucht kunnen voorkomen. Tevens kan worden geconcludeerd dat onder laboratoriumomstandigheden planten meer gevoelig zijn voor etheen dan in het veld. Planteweefsels produceren zelf continu etheen en in het veld in verhoogde mate onder invloed van allerlei plantbelagende factoren. In het veld maskeert een verhoogde blootstelling aan stress etheen naar alle waarschijnlijkheid het effect van exogeen etheen.

De informatie uit veldwaarnemingen waarbij in de buitenlucht effecten op planten gecorreleerd worden aan gemeten etheenconcentraties, is onvoldoende om in kwantitatieve zin de afgeleide maximaal toelaatbare risiconiveaus te wijzigen. De berekende waarden kunnen gelijk gesteld worden aan concentratieniveaus waarbeneden voor de betreffende blootstellingsduren negatieve effecten in het veld niet zullen optreden. Geconcludeerd wordt dat de maximaal toelaatbare risiconiveaus van 14,3 $\mu\text{g m}^{-3}$ etheen voor acht uur en van 3,8 $\mu\text{g m}^{-3}$ etheen voor vier weken een overschatting zijn van de fytotoxische effecten van deze component in het veld.

1. Algemene inleiding

Etheen vormt een algemeen bestanddeel van de omgevingslucht. Het komt vrij bij verschillende menselijke activiteiten zoals verkeer en chemische industrie. Sinds het begin van deze eeuw is bekend dat etheen de groei en ontwikkeling van planten negatief kan beïnvloeden en als zodanig kan het dus beschouwd worden als een voor planten toxische luchtverontreinigingscomponent. Ook planten produceren continu etheen in kleine hoeveelheden en kunnen deze component naar de lucht emitteren. Endogeen etheen is een verouderingshormoon en oefent vooral zijn werking uit in de eindfase van de groei en de ontwikkeling van planten. Daarnaast resulteren blootstellingen aan verschillende stressoren en weefselbeschadiging in een extra aanmaak van etheen door planten.

In 1984 adviseerde de Gezondheidsraad over waarden voor etheenniveaus ter bescherming van zowel gevoelige als minder gevoelige planten. Op basis van meer recente informatie en met de toen gangbare methode leidde Van der Eerden (1987) nieuwe advieswaarden af voor de effecten van etheen op gevoelige en minder gevoelige planten. Slooff *et al.* (1991) gebruikten dezelfde gegevens voor een nieuwe berekening van advieswaarden conform de methode beschreven door Aldenberg & Slob (1993). De aldus berekende waarden bleken duidelijk lager te zijn dan die welke eerder waren afgeleid. De gesignaleerde discrepantie tussen de afgeleide waarden leidde uiteindelijk tot de wens om de advieswaarden met betrekking tot de effecten van atmosferisch etheen op planten beter te onderbouwen.

Het Laboratorium voor Ecotoxicologie van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne heeft daarom het Instituut voor Agrobiologisch- en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO) gevraagd een studie uit te voeren om:

1. maximaal toelaatbare risiconiveaus (MTR's) voor de effecten van kort- en langdurende blootstellingen van etheen op planten te berekenen conform de methode Aldenberg & Slob (1993) met gebruikmaking van relevante gegevens uit oorspronkelijke literatuur;
2. aan te geven welke de waarde is van deze MTR's voor de veldsituatie. Deze vergelijking dient te resulteren in een nadere onderbouwing dan wel in een herziening van de afgeleide MTR's;
3. aandacht te geven aan de afleiding van een verwaarloosbaar risiconiveau (VR) mede gelet op het niveau van de achtergrondconcentratie van etheen.

De resultaten van de studie zijn in het voorliggende rapport vermeld. In hoofdstuk 2 worden enige aspecten met betrekking tot de invloed van etheen op planten beschreven en worden de relevante effectgegevens geselecteerd. In hoofdstuk 3 worden de toxicologische advieswaarden berekend en vergeleken met elders vermelde waarden. Het belang van de berekende advieswaarden voor de veldsituatie wordt in hoofdstuk 4 aangegeven en het rapport wordt afgesloten met een korte evaluatie waarin de belangrijkste conclusies worden getrokken.

2. Effecten van etheen op planten

2.1. Inleiding

Over het belang van etheen voor planten is veel bekend (Abeles *et al.*, 1992). De biologische activiteit van etheen werd rond de eeuwwisseling duidelijk door waarnemingen van beschadiging aan planten als gevolg van blootstellingen aan deze component in de omgevingslucht. Vervolgens werd in onderzoek aangetoond dat etheen toegepast kan worden om de groei en ontwikkeling van gewassen te manipuleren, dat planten zelf etheen produceren en dat het een endogene groeiregulator is. Etheen in de omgevingslucht is dus zowel van antropogene als van biogene oorsprong. Overigens kunnen ook wortels blootstaan aan etheen als gevolg van de productie hiervan door bodemschimmels. Hoewel etheen continu in kleine hoeveelheden wordt gevormd door alle plantorganen en weefsels, blijven de belangrijkste effecten ervan vooral beperkt tot de eindfase van de ontwikkeling zoals het afrijpen van fruit, veroudering en bladval. Daarnaast kan weefselbeschadiging aanleiding geven tot een versnelde productie van etheen (stress etheen) door planten. Etheen kan derhalve beschouwd worden als een voor planten 'ongewone' luchtverontreinigingscomponent aangezien het een endogene groeiregulator is en in versterkte mate door planten wordt gevormd onder invloed van een groot scala van stressoren inclusief blootstellingen aan etheen zelf. Etheen is toxisch voor planten bij lage concentraties maar zelden bij relatief hoge concentraties (Abeles, 1985). In deze zin wijkt etheen dus af van andere luchtverontreinigingscomponenten zoals ozon, zwaveldioxide en ammoniak, die soms positieve effecten kunnen veroorzaken bij lage concentraties maar altijd toxisch zijn bij hogere niveaus.

Vanwege de speciale rol van etheen bij de groei en ontwikkeling van planten zijn planten er relatief gevoelig voor en kunnen blootstellingen aan deze component een grote verscheidenheid aan effecten veroorzaken. Effecten kunnen hierbij variëren van het afsterven van plantedelen tot zeer subtiele veranderingen op fysiologisch en biochemisch niveau en betreffen onder meer veranderingen van de fotosynthese, epinastie, afwijkingen en reductie van de groei, bloemafwijkingen, veroudering en bladval. De waargenomen effecten kunnen globaal in drie categorieën worden verdeeld (US Department of Health, Education and Welfare, 1970): (1) acute effecten zoals beschadiging en afsterven van bladweefsel, (2) chronische effecten zoals chlorose zonder het afsterven van cellen en (3) reductie en afwijkingen van de groei als tekenen van veranderingen van het normale groeipatroon zonder duidelijke symptomen op de bladeren.

Behalve van de blootstellingsvariabelen zoals concentratie en duur van de blootstelling, zijn de aard en intensiteit van de effecten ook afhankelijk van planteigenschappen en omgevingscondities. Abeles *et al.* (1992) onderscheiden hierbij effecten als gevolg van verhoogde concentraties in het planteweefsel ('concentration response') en effecten als gevolg van de veranderde gevoeligheid van weefsels voor reeds aanwezig etheen ('sensitivity response'). Vooral oudere planteweefsels zijn gevoelig voor etheen. Ook plantesoorten kunnen verschillen in gevoeligheid voor etheen (Heck *et al.*, 1970). Omgevingscondities bepalen eveneens de wijze waarop planten reageren. Zo zullen die factoren die invloed hebben op de openingstoestand van de huidmondjes, de reactie van planten op etheen mede bepalen aangezien deze component door bladeren via de huidmondjes wordt opgenomen.

2.2. Selectie van relevante gegevens

In dit rapport worden onder effecten van etheen verstaan die effecten die het resultaat zijn van blootstellingen aan deze component in de omgevingslucht. Voor het opzoeken van de originele literatuur werd gebruik gemaakt van de databestanden PHYTOX (Oklahoma University, Norman, Oklahoma, USA) en CAB en van de overzichten van Van der Eerden (1987) en Abeles *et al.* (1992). Hoewel er veel bekend is over de effecten van etheen op planten, zijn lang niet alle gegevens even relevant voor het afleiden van toxicologische advieswaarden. Om tot een eerste selectie van literatuurgegevens te komen, zijn geen referenties meegenomen die betrekking hebben op blootstellingen aan concentraties groter dan $1150 \mu\text{g m}^{-3}$ (1 ppm) en op blootstellingen waarvan hetzij de concentratie hetzij de blootstellingsduur niet is vermeld.

De resterende informatie is vervolgens aan een tweede selectie onderworpen:

2.2.1. Blootstellingen van delen van planten zoals stengels of agrarische produkten

Deze gegevens, waarvan enige voorbeelden zijn vermeld in Tabel 3, worden niet gebruikt voor de afleiding van advieswaarden. Volgens Slooff (1992) mogen slechts die toxicologische criteria in beschouwing worden genomen die in relatie staan tot het functioneren van soorten op populatieniveau. Uit deze definitie volgt dat alleen blootstellingen van intacte planten en niet van afzonderlijke delen ervan relevante gegevens opleveren voor de afleiding van de gevraagde advieswaarden. Informatie over negatieve effecten van etheen op agrarische produkten in de na-oogst fase zoals die bijvoorbeeld beschreven zijn voor fruit (Acedo & Bautista, 1993; Barmore & Brown, 1985; McGlasson & Pratt, 1964; Van Uffelen, 1974) en snijbloemen (Clayton & Platt, 1967; Hanan, 1973; Smith *et al.*, 1966), wordt dus niet in beschouwing genomen. Hierbij moet ook worden bedacht dat in voorkomende gevallen planten of geoogste produkten bewust worden blootgesteld aan etheen om bepaalde processen in gunstige zin te beïnvloeden zoals versnelde afrijping, ontbladering, uitdunning van bloemen en vruchten en het bevorderen van vruchtabscissie voorafgaand aan mechanisch oogsten (Acedo & Bautista, 1993; Reid, 1985).

2.2.2. Blootstellingen van intacte planten in gesloten systemen zonder luchtventilatie

Ook deze gegevens blijven verder buiten beschouwing, hoewel de informatie aanzienlijk is (Tabel 4) en deels bij eerdere berekeningen van advieswaarden werd gebruikt (Van der Eerden, 1987; Slooff *et al.*, 1991). In de experimenten is de etheenconcentratie namelijk niet constant en is er door het ontbreken van iedere luchtcirculatie sprake van een relatief grote weerstand voor de opname van deze component door de planten (zie ook Tonneijck & Van Dijk, 1993). Daarnaast is niet duidelijk in hoeverre de beschreven reacties van de planten volledig kunnen worden toegeschreven aan de hoeveelheid etheen die in het systeem is gebracht, dan wel aan etheen dat door de blootgestelde planten zelf wordt geproduceerd.

2.2.3. Blootstellingen van intacte planten in systemen met luchtcirculatie

Deze gegevens (Tabel 5) zijn in principe relevant en van voldoende omvang voor het berekenen van toxicologische advieswaarden. Een groot aantal negatieve effecten is beschreven voor veel plantesoorten na zowel kortdurende als langdurende blootstellingen aan verschillende concentraties. De reacties van planten op blootstellingen aan etheen blijken hierbij zeer divers te zijn. Waargenomen effecten betreffen onder andere de activiteit van enzymen, fotosynthese, epinastische krommingen, afwijkingen van groei en van bloemvorming en groeireductie.

Alvorens over te gaan tot de berekening van advieswaarden uit deze gegevens is nog een laatste selectie toegepast. Indien in één onderzoek voor een specifieke effectparameter bij eenzelfde plantesoort of cultivar verschillende effectieve concentratieniveaus bij dezelfde blootstellingsduur zijn gevonden, is voor de berekening alleen het laagste concentratieniveau gebruikt. Hetzelfde geldt voor verschillende effectieve blootstellingsduren bij dezelfde concentratie. Niet-effectieve blootstellingen en blootstellingen met een positief effect blijven buiten beschouwing. De volgende effectparameters zijn aangemerkt als relevant voor het functioneren van soorten op populatieniveau: reductie van groei en opbrengst, remming van de fotosynthese, verwelking, chlorose, afwijkende groei en abscissie van plantedelen. Epinastie wordt ook beschouwd als een relevant effect ondanks het reversibele karakter ervan. Het optreden van epinastische krommingen kan namelijk aanleiding geven tot een vermindering van de fotosynthese. In Tabel 5 is aangegeven welke gegevens voldoende relevant werden geacht voor afleiding van de toxicologische advieswaarden.

3. Berekening van toxicologische advieswaarden

3.1. Wijze van berekening

Voor de berekening van maximaal toelaatbare concentratieniveaus is de methode van Aldenberg & Slob (1993) toegepast. De formule voor de berekening is hieronder weergegeven:

$$HC_p = e^{(x_m - k_L * s_m)} \quad (1)$$

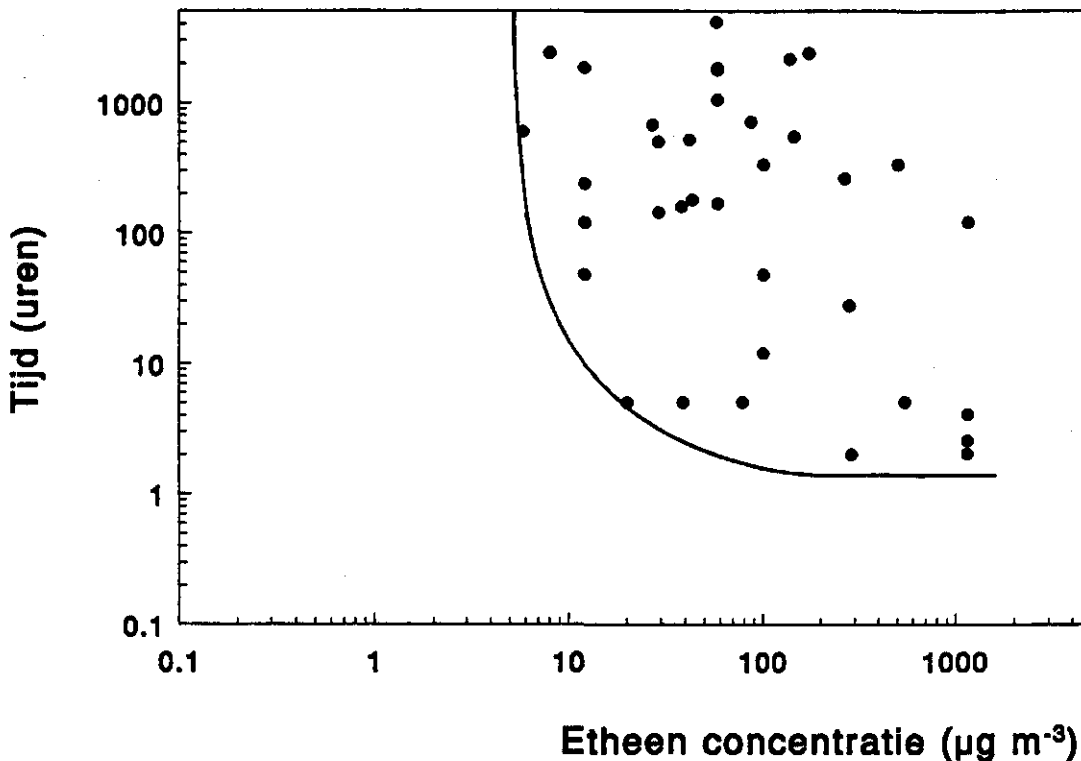
waarin:

- HC_p = "Hazardous Concentration" voor p % van de soorten in $\mu\text{g m}^{-3}$;
- p = gekozen percentage *niet* beschermde soorten;
- x_m = rekenkundig gemiddelde van de ln-getransformeerde data (NOEC's);
- k_L = constante afhankelijk van het aantal waarnemingen (m) en het gekozen betrouwbaarheidsinterval (Aldenberg & Slob, 1993; tabel 3);
- s_m = standaardafwijking van de ln-getransformeerde data (NOEC's).

Deze statistische methode maakt gebruik van de verschillen in gevoeligheid tussen soorten op basis van de verschillende 'no-observed effect concentrations' (NOEC's). Minimaal vier NOEC's moeten bekend zijn. In het model wordt verder uitgegaan van een log-logistische verdeling van gevoeligheidsverschillen. Indien de geselecteerde data daar significant van afwijken kan het model niet gebruikt worden (Van der Meent *et al.*, 1990). Tevens wordt er van uitgegaan dat de in beschouwing genomen soorten, omstandigheden en effectparameters een representatieve steekproef zijn uit het te beschermen systeem. Het berekende concentratieniveau wordt HC_p genoemd ("Hazardous Concentration" voor de gevoeligste p % van de soorten). Zowel het percentage niet beschermde soorten (p) als de breedte van het betrouwbaarheidsinterval kan naar wens worden gevarieerd. Als maat voor het maximaal toelaatbaar risiconiveau is gekozen voor berekening van de HC bij het 95 %-beschermingsniveau (p=5; VROM, 1989) en een betrouwbaarheidsinterval van 95 %. Dus de MTR is gelijk aan de HC_5 . Het verwaarloosbaar risiconiveau (VR) wordt vervolgens berekend als 1 % (VROM, 1989) en 10 % van de MTR.

De geselecteerde gegevens (Tabel 5) zijn niet direct geschikt om met bovenstaande formule de maximaal toelaatbare risiconiveaus voor kort- en langdurende blootstellingen te kunnen berekenen. Deze gegevens betreffen veelal effectieve concentratieniveaus en geen NOEC's voor verschillende blootstelduren. Het is bekend dat de reactie van planten op luchtverontreiniging sterk afhangt van de duur van de blootstelling. Voor de uiteindelijke berekening worden de effectieve concentratieniveaus gemakshalve beschouwd als NOEC's, echter na een correctie voor de verschillende blootstelduren. Vanwege de gehanteerde expositietijden in de beschikbare data-set worden blootstelduren van acht uur en vier weken (672 uur) beschouwd als representatief voor respectievelijk een kortdurende en een langdurende blootstelling aan etheen. Effectieve concentraties voor blootstellingen van korter dan 24 uur worden vervolgens omgerekend naar die voor blootstellingen van acht uur; voor de overige blootstellingen wordt omgerekend naar vier weken.

Aangezien de reactie van planten niet lineair gerelateerd is aan de blootstelling (gedefinieerd als het produkt van concentratie en blootstellingsduur), is voor de omrekening naar de twee vastgestelde blootstellingsduren de methode van Van der Eerden & Van Dijk (1993) toegepast. Uitgangspunt bij deze methode is het vaststellen van een effectgrenslijn voor de invloed van etheen op planten via de zogeheten envelopbenadering. Ieder punt in Fig. 1 is de waarneming van een negatief effect van etheen bij een bepaalde concentratie en tijdsduur van blootstelling. Onder deze punten kan nu de effectgrenslijn worden getrokken. Deze effectgrenslijn kan beschouwd worden als een verzameling van blootstellingen, gedefinieerd naar concentratie en tijd, waarboven planten wel en waaronder planten geen risico lopen te worden beschadigd door etheen. Om de maximaal toelaatbare risiconiveaus voor blootstellingen van 8 uur en vier weken te kunnen berekenen, is voor andere blootstellingsduren een interpolatie toegepast door de data te 'verschuiven' langs curves parallel aan de effectgrenslijn tot de gewenste blootstellingsduur. Van de aldus vastgestelde concentratie-niveaus worden vervolgens per blootstellingsduur het gemiddelde (x_m) en de bijbehorende standaardafwijking (s_m) van de In-getransformeerde data bepaald en wordt met behulp van formule (1) de MTR (HC_5) berekend. Naast de bovenbeschreven toepassing vormt de envelopbenadering zelf tot nu toe de meest gebruikte methode bij de afleiding van effectgrenswaarden voor de effecten van luchtverontreinigingscomponenten op planten (McCune, 1969; Jacobson, 1977; Posthumus *et al.*, 1989; Tonneijck, 1989; Van der Eerden & Van Dijk, 1993). Van der Eerden (1987) leidde eerder op deze wijze de effectgrenswaarden voor etheen af. Ter aanvulling op de berekeningen van de maximaal toelaatbare risiconiveaus worden ook de effectgrenswaarden voor etheen vermeld, zoals die uit Fig. 1 kunnen worden afgeleid.



Figuur 1. Effectieve blootstellingsniveaus van etheen met de effectgrenslijn voor het 100 % beschermingsniveau

3.2. Advieswaarden voor kort- en langdurende blootstellingen

De berekende advieswaarden zijn weergegeven in Tabel 1. Het maximaal toelaatbare risiconiveau voor een kortdurende blootstelling is wat hoger en voor een langdurende blootstelling wat lager dan de bijbehorende effectgrenswaarden zoals deze uit Fig. 1 zijn afgeleid. Blootstellingen aan etheen waarbij deze advieswaarden niet worden overschreden, hebben naar alle waarschijnlijkheid ook geen negatief effect op plantedelen en produkten (Tabel 3) noch op planten in gesloten systemen (Tabel 4). Ter volledigheid worden tevens in Tabel 2 de eerder gerapporteerde advieswaarden vermeld. Vanwege de verschillende blootstellingstijden waarvoor de advieswaarden zijn berekend,

Tabel 1. Advieswaarden in $\mu\text{g m}^{-3}$ ter bescherming van planten tegen negatieve effecten van etheen

Blootstellingsduur	Effectgrenswaarde ¹	Maximaal toelaatbaar risiconiveau ²	Verwaarloosbaar risiconiveau ³	
			1 %	10 %
Kortdurend (8 uur)	13,0	14,3	0,14	1,4
Langdurend (4 weken)	6,1	3,8	0,04	0,4

¹ afgeleid uit Fig. 1.

² berekend voor bescherming van 95 % van de plantesoorten, betrouwbaarheid 95 %.

³ als percentage van de berekende MTR.

zijn de waarden uit beide tabellen moeilijk met elkaar te vergelijken. Daarnaast verschillen ook de literatuurgegevens waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd. Wel is in alle gevallen duidelijk dat vooral langdurende blootstellingen aan relatief lage concentraties van etheen negatieve effecten bij planten kunnen veroorzaken. Slooff *et al.* (1991) berekenden de maximaal toelaatbare risiconiveaus ook conform de methode van Aldenberg & Slob (1993). Echter, eerstgenoemde auteurs stelden de NOEC's arbitrair vast door de effectieve concentratieniveaus met een factor 2 te verlagen. Deze correctie is er naar alle waarschijnlijk de oorzaak van dat de advieswaarde van Slooff *et al.* (1991) voor een 24-uurs blootstelling lager is dan die welke nu is berekend voor een blootstelling van vier weken (Tabel 1). In de onderhavige studie zijn de NOEC's namelijk gelijk gesteld zijn aan de effectieve concentratieniveaus, hetgeen dus in principe aanleiding geeft tot te hoge advieswaarden. Volgens Abeles (1985) ziet een typische blootstelling-effectrelatie voor de invloed van blootstellingen van etheen op planten er ongeveer als volgt uit: de drempelwaarde $\approx 11,5 \mu\text{g m}^{-3}$, het 50 %-effectniveau $= 115 \mu\text{g m}^{-3}$ en het 90 %-effectniveau $= 1150 \mu\text{g m}^{-3}$ (respectievelijk 0,01, 0,1 en 1 ppm). In Californië wordt een maximale 8-uurs gemiddelde waarde van $115 \mu\text{g m}^{-3}$ etheen geadviseerd terwijl de 'American Industrial Hygiene Association' voor landelijke gebieden een maximale acht-uurswaarde van $57,5 \mu\text{g m}^{-3}$ aanbeveelt (geciteerd uit Abeles *et al.*, 1992). Deze waarden zijn alle hoger dan die welke in Tabel 1 zijn vermeld.

Tabel 2. Eerder afgeleide advieswaarden in $\mu\text{g m}^{-3}$ ter bescherming van planten tegen negatieve effecten van etheen

Blootstellings-duur	Gezondheidsraad, 1984		Van der Eerden, 1987		Slooff <i>et al.</i> , 1991
	Gevoelige planten	Minder gevoelige planten	Gevoelige planten	Minder gevoelige planten	
1 uur	120	300	300	1500	30
24 uur	12	30	9	20	2

4. Relevantie van de afgeleide advieswaarden voor de veldsituatie

De reactie van planten op luchtverontreiniging is in algemene zin afhankelijk van een groot aantal factoren: blootstellingsvariabelen (concentratie, duur, concentratieverloop in de tijd), externe groeicondities (weer, bodemeigenschappen) en eigenschappen van de plant (genotype, plantstadium, morfologie). Voor al deze factoren bestaan er grote verschillen tussen laboratorium- en veldsituaties. In het geval van etheen is er nog sprake van een additioneel probleem. Onder veldcondities worden planten blootgesteld aan twee bronnen van etheen, namelijk endogeen etheen, dat continu door planteweefsels en in verhoogde mate onder invloed van stress wordt geproduceerd, en exogeen etheen. Veel factoren zoals extreme temperatuur, wind, begrazing, watertekort, beschadiging, ziekten en plagen kunnen planten aanzetten tot een verhoogde produktie van etheen (Abeles, 1985). Volgens deze laatstgenoemde auteur speelt dit gegeven een sleutelrol om de potentiële effecten van etheen in het veld te begrijpen. Niveaus van etheen waarop planten onder laboratoriumcondities negatief reageren, kunnen van weinig waarde zijn voor het veld waar planten al continu worden blootgesteld aan stress etheen. Daarnaast kunnen ook de wortels blootstaan aan deze component als gevolg van produktie ervan door bodemschimmels. Aangezien exogeen etheen niet alleen van antropogene maar ook van biogene oorsprong is, speelt eveneens het niveau van de natuurlijke achtergrondconcentratie een rol.

De toxicologische advieswaarden (Tabel 1) zijn afgeleid uit gegevens van begassingsexperimenten onder laboratoriumcondities. Het mag duidelijk zijn dat behoudens voor planten in vrijwel gesloten systemen zoals kasgewassen de relevantie van de afgeleide niveaus voor de veldsituatie discutabel is. Deze conclusie wordt ondersteund door Abeles & Heggstad (1973) die fytotoxische effecten van lage concentraties van etheen waarnamen in groeikamers terwijl planten buiten normaal leken te functioneren bij blootstellingen aan vergelijkbare concentraties. Wel kan worden aangenomen dat niveaus van etheen die geen negatief effect hebben op planten onder laboratoriumomstandigheden, ook planten buiten niet negatief zullen beïnvloeden. Abeles (1973) somt een aantal gevallen op waarbij incidentele schade door etheen aan gewassen is geconstateerd. Negatieve effecten van etheen zijn in Nederland op lokale schaal rond bronnen aangetoond met behulp van gevoelige indicatorplanten (zie bijv. Van der Eerden & Gremmen, 1984; Jansen *et al.*, 1993) en worden ook dicht langs verkeerswegen verwacht (Bugter *et al.*, 1990). De vraag is derhalve niet of etheen schade kan veroorzaken maar wel vanaf welke niveaus deze schade in de praktijk begint op te treden en dus welke advieswaarden voor de praktijk moeten gelden om negatieve effecten te voorkomen.

Er zijn weinig gegevens over concentraties van etheen in de buitenlucht in Nederland. Slooff *et al.* (1991) geven een overzicht van de gemeten concentraties in steden of rond bronnen. Het 50 percentiel-niveau van de uurwaarden blijkt in het algemeen lager te zijn dan 5 à $6 \mu\text{g m}^{-3}$ terwijl de 98 percentielwaarden sterk kunnen variëren. In Engeland is in het landelijke gebied een gemiddelde concentratie van $2,6 \mu\text{g m}^{-3}$ etheen gemeten met een maximale waarde van $11,5 \mu\text{g m}^{-3}$ (geciteerd in Slooff *et al.*, 1991). Volgens Abeles *et al.* (1992) bedragen de niveaus van etheen in niet-verontreinigde buitenlucht in landelijke gebieden 1 tot $5 \mu\text{g m}^{-3}$. Worden concentraties van etheen tot circa $5 \mu\text{g m}^{-3}$ beschouwd als de van nature voorkomende achtergrondniveaus, dan moet geconcludeerd worden dat de verwaarloosbare risiconiveaus die in de

onderhavige studie zijn berekend, irrelevant zijn voor de praktijk. Ook het maximaal toelaatbaar risiconiveau voor langdurende blootstellingen ligt binnen het traject van de achtergrondconcentratie, hetgeen betekent dat geen enkele toevoeging boven de achtergrond toelaatbaar zou zijn.

Er zijn nagenoeg geen meetreeksen beschikbaar waarbij in de buitenlucht effectintensiteiten bij planten gecorreleerd worden aan gemeten etheenconcentraties. Van der Eerden & Gremmen (1984) constateerden enig verband tussen hogere etheenconcentraties en verkleining van de bloemdiameter bij *Petunia* en verminderd knolgewicht bij aardappel. Het gemiddelde van de tien hoogste uurwaarden op drie lokaties rond een bron varieerde hierbij van 14 tot 70 $\mu\text{g m}^{-3}$ voor *Petunia* en van 18 tot 44 $\mu\text{g m}^{-3}$ voor aardappel. Jansen *et al.* (1993) hebben over een periode van circa 10 jaar in de buurt van een industriële bron van etheen gekeken naar het optreden van epinastie en opbrengstreductie bij de aardappel cultivar Bintje in afhankelijkheid van etheenniveaus en meteorologische parameters. Aardappel geldt als een voor etheen gevoelig gewas. Van Raay (1980) stelde bij dit gewas onder laboratoriumomstandigheden een opbrengstreductie vast na blootstelling van vier weken aan 27 $\mu\text{g m}^{-3}$ etheen. De analyses van Jansen *et al.* (1993) onderstreepten dat de reactie van planten op blootstelling aan etheen afhangt van factoren zoals concentratie, plantstadium, moment van de dag en dampdrukdeficiet. Vooral 's nachts blijken aardappelplanten sterk op etheen te reageren. Het aantal uren met epinastische kromming van de bladeren is als maat gehanteerd voor het effect van kortdurende blootstellingen aan hoge concentraties. Met behulp van een regressievergelijking werd voor de meest gevoelige omstandigheden en in aanwezigheid van zonlicht berekend dat 5 % van de uren met een gemiddelde etheenconcentratie van circa 24 $\mu\text{g m}^{-3}$ aanleiding gaven tot epinastie. Op basis van vergelijkingen van opbrengsten op een lokatie in de buurt van de emittent met die op een afgelegen lokatie, werden geen opbrengstreducties vastgesteld. Het gemiddelde van de maximale maandgemiddelde concentraties voor alle jaren bedroeg op de belaste lokatie 28 $\mu\text{g m}^{-3}$ etheen. In één jaar werd er zelfs een maximale maandgemiddelde concentratie gedurende het groeiseizoen van 62 $\mu\text{g m}^{-3}$ etheen gemeten. Ondanks waarnemingen van epinastie zijn er dus geen negatieve effecten op de opbrengst gesignaleerd. Aangezien het optreden van epinastie een reversibel effect is en hoge concentraties etheen meestal minder dan zeven uur achter elkaar voorkomen, duidt dit op het belang van perioden zonder hoge concentraties gedurende welke de planten zich kunnen herstellen.

Uit de beschikbare informatie van de veldwaarnemingen met aardappel kan ondermeer worden afgeleid dat:

1. de reactie van planten op etheen mede afhankelijk is van omstandigheden en groeistadium;
2. planten in de veldsituatie minder gevoelig zijn voor etheen dan planten onder laboratoriumomstandigheden;
3. overschrijding van de berekende toxicologische advieswaarden niet betekent dat planten buiten beschadigd worden;
4. de etheenconcentraties (maximum maandgemiddelde 62 $\mu\text{g m}^{-3}$) niet voldoende hoog waren om opbrengstreducties te veroorzaken;
5. het optreden van epinastie niet altijd gepaard gaat met aantoonbare opbrengstreductie;
6. epinastie een reversibel effect is waarvan planten zich na blootstelling kunnen herstellen en dus dat de tijd tussen achtereenvolgende perioden met hoge etheen concentraties (blootstellingsregime) belangrijk is.

De praktijkgegevens bieden echter onvoldoende houvast om de advieswaarden te herzien die bedoeld zijn om planten tegen negatieve effecten van etheen te beschermen. De waarnemingen betreffen de reactie van slechts één aardappelcultivar op één locatie in de buurt van een specifieke bron. Niet bekend is in hoeverre vergelijkbare blootstellingsregimes voorkomen rond andere industriële bronnen van etheen. Volgens Jansen et al. (1993) kunnen hoge concentraties etheen gedurende enkele uren achter elkaar voorkomen. Voor de afleiding van het maximaal toelaatbare risiconiveau voor kortdurende blootstellingen is op basis van de beschikbare effectgegevens een blootstellingsduur van acht uur als maat gehanteerd.

5. Evaluatie

Uit de aanzienlijke hoeveelheid literatuur blijkt dat etheen beschouwd moet worden als een fytotoxische luchtverontreinigingscomponent. Voor het afleiden van advieswaarden mogen slechts die criteria in beschouwing worden genomen die in relatie staan tot het functioneren van soorten op populatieniveau (Slooff, 1992). Deze voorwaarde in combinatie met experimentele criteria vormde de basis voor een stringente selectie van de beschikbare gegevens. De geselecteerde informatie was nog niet direct geschikt voor de afleiding van maximaal toelaatbare risiconiveaus met behulp van de methode van Aldenberg & Slob (1993) aangezien de gegevens betrekking hadden op effectieve concentratieniveaus en niet op NOEC's en golden voor zeer uiteenlopende blootstellingsduren. De reactie van planten op etheen is ondermeer afhankelijk van de duur van de blootstelling maar deze belangrijke blootstellingsvariabele is niet verdisconteerd in de Aldenberg-Slob methode. Teneinde MTR's te kunnen berekenen werd voor de blootstellingsduur gecorrigeerd naar vooraf vastgestelde tijdsduren maar geen correctie werd toegepast voor het effectniveau. De consequentie hiervan is dat de berekende maximaal toelaatbare risiconiveaus en daarmee de verwaarloosbare risiconiveaus voor etheen in principe te hoog zijn.

In het onderzoek naar effecten van luchtverontreiniging op planten wordt veelal gebruik gemaakt van de zogeheten envelopbenadering om tot advieswaarden te komen (McCune, 1969; Jacobson, 1977; Posthumus *et al.*, 1989; Tonneijck, 1989; Van der Eerden & Van Dijk, 1993). Bij deze methode worden effectieve blootstellingsniveaus gescheiden van niet-effectieve niveaus. Met betrekking tot etheen leverde de envelopbenadering nagenoeg dezelfde advieswaarden op als de methode van Aldenberg & Slob. De envelopbenadering heeft als groot voordeel dat de informatie betrekking heeft op combinaties van concentratieniveaus en blootstellingsduren waarboven negatieve effecten te verwachten zijn. Voor iedere relevant geachte blootstellingsduur kan derhalve een advieswaarde worden bepaald.

De middelingstijden voor kort- en langdurende blootstellingen zijn in de onderhavige studie gebaseerd op de experimenten waarvoor relevante effectgegevens beschikbaar waren. In hoeverre de gekozen middelingstijden van acht uur (kortdurend) en vier weken (langdurend) representatief zijn voor de verschillende blootstellingsregimes van etheen in de buitenlucht, is nagenoeg onbekend. Vergelijking van de resultaten van de envelopbenadering met gegevens van concentratiemetingen in de buitenlucht zou hierbij behulpzaam kunnen zijn. Zo is op basis van een dergelijke vergelijking voor ozon aangetoond dat in de praktijk chronische blootstellingen belangrijker zijn in relatie tot planten dan kortdurende blootstellingen (Tonneijck, 1989). Op dezelfde wijze is aangetoond dat voor de fytotoxische effecten van de combinatie $\text{NO}_2 + \text{SO}_2$ vooral blootstellingen korter dan 24 uur relevant zijn (Van der Eerden & Duym, 1988). De huidige informatie over het concentratieverloop van etheen in de tijd is voor Nederland onvoldoende om op basis daarvan relevante middelingstijden te selecteren. Op basis van metingen van Jansen *et al.* (1993) bij één industriële bron van etheen lijkt een middelingstijd van acht uur als maat voor een kortdurende blootstelling op het eerste gezicht realistisch.

De vertaling van laboratoriumgegevens naar de veldsituatie met betrekking tot de effecten van luchtverontreiniging op planten is zeer complex en in kwantitatieve zin niet opgelost. Voor de klassieke luchtverontreinigingscomponenten wordt de oplossing gezocht in experi-

menten onder veldbenaderende condities door begassing uit te voeren in zogeheten open-top chambers. Echter, ook in deze systemen kunnen de veldcondities niet echt worden gesimuleerd. Tot nu toe zijn geen experimenten met etheen uitgevoerd in zulke open-top chambers en hebben alle gegevens betrekking op experimenten onder laboratoriumomstandigheden. Ten opzichte van de andere luchtverontreinigingscomponenten is er voor etheen nog een additioneel probleem. Planteweefsels produceren zelf continu etheen en in verhoogde mate onder invloed van allerlei plantbelagende factoren. Onder laboratoriumcondities hebben planten weinig te leiden van stressfactoren en produceren dus nauwelijks stress etheen. In het veld kan daarentegen een verhoogde blootstelling aan stress etheen het effect van exogeen etheen maskeren (Abeles *et al.*, 1992). Er is voldoende informatie die aangeeft dat planten in het veld minder gevoelig zijn voor etheen dan planten onder laboratoriumcondities. Echter, deze informatie is nog onvoldoende om in kwantitatieve zin advieswaarden te baseren op veldwaarnemingen.

De afgeleide verwaarloosbare risiconiveaus zijn irrelevant voor de praktijk aangezien deze waarden veel lager zijn dan de achtergrondconcentratie van maximaal $5 \mu\text{g m}^{-3}$ etheen. Ook het maximaal toelaatbaar risiconiveau voor langdurende blootstellingen ligt binnen het traject van de achtergrondconcentratie. Buitenluchtconcentraties van etheen die gelijk zijn aan de MTR's of deze in geringe mate overschrijden, leiden naar alle waarschijnlijkheid niet direct tot fytotoxische effecten bij planten in het veld. De berekende MTR's kunnen gelijk gesteld worden aan concentratieniveaus waarbeneden voor de betreffende blootstelduren negatieve effecten in het veld niet zullen optreden. Derhalve moet worden geconcludeerd dat de maximaal toelaatbare risiconiveaus van $14,3 \mu\text{g m}^{-3}$ etheen voor acht uur en van $3,8 \mu\text{g m}^{-3}$ etheen voor vier weken een overschatting zijn van de fytotoxische effecten van deze component in het veld.

Referenties

- Abeles, F.B., 1967.
Inhibition of flowering in *Xanthium pensylvanicum* Walln. by ethylene. *Plant Physiology* 42: 608-609.
- Abeles, F.B., 1973.
Ethylene in plant biology. Academic Press Inc., New York, 302 pp.
- Abeles, F.B., 1985.
Sources of ethylene of horticultural significance. In: J.A. Roberts & G.A. Tucker (Eds.), *Ethylene and plant development*. Butterworths, London, 287-296.
- Abeles, F.B. & H.E. Gahagan III, 1968.
Abscission: the role of ethylene, ethylene analogues, carbon dioxide and oxygen. *Plant Physiology* 43: 1255-1258.
- Abeles, F.B. & H.E. Heggstad, 1973.
Ethylene: an urban air pollutant. *Journal of the Air Pollution Control Association* 23: 517-521.
- Abeles, F.B. & J. Lonski, 1969.
Stimulation of lettuce seed germination by ethylene. *Plant Physiology* 44: 277-280.
- Abeles, F.B. & S.G. Wydoski, 1987.
Inhibitors of ethylene synthesis and action: a comparison of their activities in a lettuce root growth model system. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 112: 122-125.
- Abeles, F.B., L.E. Forrence & G.R. Leather, 1971.
Ethylene air pollution. Effects of ambient levels of ethylene on the glucanase content of bean leaves. *Plant Physiology* 48: 504-505.
- Abeles, F.B., P.W. Morgan & M.E. Saltveit Jr., 1992.
Ethylene in plant biology. Academic Press Inc., San Diego, 414 pp.
- Acedo Jr., A.L. & O.K. Bautista, 1993.
Banana fruit response to ethylene at different concentrations of oxygen and carbon dioxide. *ASEAN Food Journal* 8: 54-60.
- Aldenbergh, T. & W. Slob, 1993.
Confidence limits for hazardous concentrations based on logistically distributed NOEC toxicity data. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 25: 48-63.
- Barmore, C.R. & G.E. Brown, 1985.
Influence of ethylene on increased susceptibility of oranges to *Diplodia natalensis*. *Plant Disease* 69: 228-230.
- Beaudry, R.M. & S.J. Kays, 1988.
Effect of ethylene source on abscission of pepper plant organs. *HortScience* 23: 742-744.
- Beyer Jr., E.M. & P.W. Morgan, 1971.
Abscission, the role of ethylene modification of auxin transport. *Plant Physiology* 48: 208-212.
- Blankenship, S.M., D.A. Bailey & J.E. Miller, 1993.
Effects of continuous, low levels of ethylene on growth and flowering of Easter lily. *Scientia Horticulturae* 53: 311-317.

- Bugter, R.J.F., L.J.M. van der Eerden & A.C. Posthumus, 1990.
Effecten van luchtverontreiniging, afkomstig van het wegverkeer, op vegetaties en landbouwgewassen langs rijkswegen. IPO-DLO rapport R 90-07, IPO-DLO, Wageningen, 26 pp.
- Clayton, G.D. & T.S. Platt, 1967.
Evaluation of ethylene as an air pollutant affecting plant life. *American Industrial Hygiene Association Journal* 28: 151-159.
- Cornforth, I.S. & R.J. Stevens, 1973.
Ethylene and the germination and early growth of barley. *Plant and Soil* 38: 581-587.
- Crocker, W. & L.I. Knight, 1908.
Effect of illuminating gas and ethylene upon flowering carnations. *Botanical Gazette* 46: 259-276.
- Crocker, W., A.E. Hitchcock & P.W. Zimmerman, 1935.
Similarities in the effects of ethylene and the plant auxins. *Contributions from Boyce Thompson Institute* 7: 231-248.
- Darley, E.F., W.M. Dugger, J.B. Mudd, L. Ordin, O.C. Taylor & E.R. Stephens, 1963.
Plant damage by pollution derived from automobiles. *Archives Environmental Health* 6: 761-770.
- Davidson, O.W., 1949.
Effects of ethylene on orchid flowers. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 53: 440-446.
- De Munck, W.J., 1973.
Zelf ethyleen bepalen of laten doen? *Bloembollencultuur* 83: 970-971.
- Dostal, D.L., N.H. Agnew, R.J. Gladon & J.L. Weigle, 1991.
Ethylene, simulated shipping, STS, and AOA affect corolla abscission of *New Guinea impatiens*. *HortScience* 26: 47-49.
- Fjeld, T., 1989.
Effect of ethylene exposure, temperature and light intensity on keeping quality of *Begonia x cheimantha*. *Acta Horticulturae* 261: 373-376.
- Freytag, A.H., J.D. Berlin & J.C. Linden, 1977.
Ethylene-induced fine structure alterations in cotton and sugarbeet radicle cells. *Plant Physiology* 60: 140-143.
- Gezondheidsraad, 1984.
Advies inzake gasvormige koolwaterstoffen: advieswaarde voor de kwaliteit van de buitenlucht. Rapport no. G 845, Den Haag, 73 pp.
- Goeschl, J.D. & H.K. Pratt, 1968.
Regulatory roles of ethylene in the etiolated growth habit of *Pisum sativum*. *Proceedings of the 16th International Congress on Plant Growth Substances, Ottawa*, 1229-1242.
- Hanan, J.J., 1973.
Ethylene dosages in Denver and marketability of cut-flower carnations. *Journal of the Air Pollution Control Association* 23: 522-524.
- Heck, W.W., R.H. Daines, & I.J. Hindawi, 1970.
Other phytotoxic pollutants. In: J.S. Jacobson & A.C. Hill (Eds.), *Recognition of air pollution injury to vegetation: A pictorial atlas*. Air Pollution Control Association, Pittsburg, F1-F24.
- Heck, W.W., E.G. Pires & W.C. Hall, 1961.
The effects of low ethylene concentration on the growth of cotton. *Journal of the Air Pollution Control Association* 11: 549-556.
- Hitchcock, A.E., W. Crocker & P.W. Zimmerman, 1932.
Effect of illuminating gas on the Lily, Narcissus, Tulip, and Hyacinth. *Contributions from Boyce Thompson Institute* 4: 155-176.

- Istas, J.R. & G. Alaerts, 1975.
Uitwerking van ethyleen op planten. *Agricultura* 23: 17-27.
- Jacobson, J.S., 1977.
The effects of photochemical oxidants on vegetation. *Verein Deutscher Ingenieure - Berichte* 270: 163-173.
- Janes, H.W., L. Loercher & C. Frenkel, 1976.
Effects of red light and ethylene on growth of etiolated lettuce seedlings. *Plant Physiology* 57: 420-423.
- Jansen, B., E. Schols & W. ten Berge, 1993.
Evaluation of field studies on the short and long term phytotoxicity of ethylene for potato plants. DSM Research Department for Environment and Safety, report 1371Be/93 CVM, DSM-Research, Geleen, 28 pp.
- Kays, S.J. & J.E. Pallas Jr., 1980.
Inhibition of photosynthesis by ethylene. *Nature* 285: 51-52.
- Klyne, M.A. & C.T. Phan, 1976.
Morphological and biochemical effects of ethylene on tulips. *Experientia* 32: 1004-1006.
- Lyon, C.J., 1970.
Ethylene inhibition of Auxin transport by gravity in leaves. *Plant Physiology* 45: 644-646.
- Marei, N. & J.C. Crane, 1971.
Growth and respiratory response of Fig (*Ficus carica* L. cv. Mission) fruits to ethylene. *Plant Physiology* 48: 249-254.
- Matsushima, J., 1977.
Sensitivities of plants to ethylene and nitrogen dioxide and the characteristic changes in fine structure of the cell. In: S. Kasuga (Ed.), *Proceedings of the Fourth International Clean Air Congress, The Japanese University Air Pollution Prevention Association*, 112-115.
- McCune, D.C., 1969.
On the establishment of air quality criteria, with reference to the effects of atmospheric fluorine on vegetation. *Air Quality Monograph* 69-3, American Petroleum Institute, New York, 33pp.
- McGlasson, W.B. & H.K. Pratt, 1964.
Effects of ethylene on cantaloupe fruits harvested at various ages. *Plant Physiology* 39: 120-127.
- Mooi, J., 1976.
Verslag van onderzoek naar de invloed van SO₂, O₃ en C₂H₄ op houtige gewassen met behulp van langdurende, kunstmatige begassing en gudurende de jaren 1973-1974-1975. IPO-DLO rapport R-157, IPO-DLO, Wageningen, 43 pp.
- Nowak, J. & T. Fjeld, 1993.
Light and ethylene effects on assimilate distribution, acid invertase activity and keeping quality of begonia. *Plant Growth Regulation* 13: 47-53.
- Pallaghy, C.K. & K. Raschke, 1972.
No stomatal response to ethylene. *Plant Physiology* 49: 275-276.
- Pallas Jr., J.E. & S.J. Kays, 1982.
Inhibition of photosynthesis by ethylene - a stomatal effect. *Plant Physiology* 70: 598-601.
- Piersol, J.R., 1974.
Effect of ethylene on rose growth. *Bulletin Colorado Flower Growers Association* 286: 5-6.
- Posthumus, A.C., A.E.G. Tonneijck & L.J. van der Eerden, 1989.
Exposure-effect relationships for plants in relation to several air pollutants. In: L. Brasser & W. Mulder (Eds.), *Proceedings of the 8th World Clean Air Congress, The Hague. Elsevier, Amsterdam*, 13-18.

Rakitin, Y.V., 1967.

Ethylene as an highly effective defoliant. *Fiziologiya Rastanii* 14: 936-951.

Reid, M.S., 1985.

Ethylene and abscission. *HortScience* 20: 45-50.

Reid, D.M. & K. Watson, 1985.

Ethylene as an air pollutant. In: J.A. Roberts & G.A. Tucker, *Ethylene and plant development*, Butterworths, London, 277-286.

Rhoads, A., J. Troiano & E. Brennan, 1973.

Ethylene gas as a cause of injury to Easter lilies. *Plant Disease Reporter* 57: 1023-1024.

Rylski, I., L. Rappaport & H.K. Pratt, 1974.

Dual effects of ethylene on potato dormancy and sprout growth. *Plant Physiology* 53: 658-662.

Saini, H.S., P.K. Bassi & M.S. Spencer, 1986.

Use of ethylene and nitrate to break seed dormancy of common lambsquarters (*Chenopodium album*). *Weed Science* 34: 502-506.

Slooff, W., 1992.

Ecotoxicological effect assessment: Deriving maximum tolerable concentrations (MTC) from single-species toxicity data. RIVM Guidance Document nr. 719102018. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, 49 pp.

Slooff, W., B.F.H. Bont, J.A. Janus & E. Rab, 1991.

Exploratory report ethylene. National Institute of Public Health and Environmental Protection, report no. 710401010, Bilthoven, 36 pp.

Smith, W.H., J.C. Parker & W.W. Freeman, 1966.

Exposure of cut flowers to ethylene in the presence and absence of carbon dioxide. *Nature* 211: 99-100.

Squler, S.A., G.E. Taylor Jr., W.J. Selvidge & C.A. Gunderson, 1985.

Effect of ethylene and related hydrocarbons on carbon assimilation and transpiration in herbaceous and woody species. *Environmental Science and Technology* 19: 432-437.

Steen, D.A. & A.V. Chadwick, 1981.

Ethylene effects in pea stem tissue. *Plant Physiology* 67: 460-466.

Taylor, H.J., M.R. Ashmore & J.N.B. Bell, 1987.

Air pollution injury to vegetation. IEHO, London, 68 pp.

Tonneijck, A.E.G., 1989.

Evaluation of ozone effects on vegetation in The Netherlands. In: T Schneider, S.D. Lee, G.J.R. Wolters & L.D. Grant (Eds.), *Atmospheric ozone research and its policy implications*. *Studies in Environmental Science* 35. Elsevier, Amsterdam, 251-260.

Tonneijck, A.E.G. & C.J. van Dijk, 1993.

Verkennd onderzoek naar de effecten van niet-verzurende luchtverontreiniging op planten. CABO-DLO rapport 188, CABO-DLO, Wageningen, 42 pp.

Turner, M.A., D.W. Reed & D.L. Morgan, 1988.

Ethylene-induced defoliation in *Ficus* species and ethylene depletion by soil bacteria in peat-amended media and in vitro. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 113: 794-796.

US Department of Health, Education and Welfare, 1970.

Air quality criteria for hydrocarbons. National Air Pollution Control Administration, Washington D.C., 85 pp.

Van Berkel, N., 1987.

Injurious effects of low ethylene concentrations on *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *Acta Horticulturae* 197: 43-52.

- Van Esche, A. & M. de Proft, 1992.
Epinastic responses of *Solanum lycopersicon* plants as a result of ethylene pollution in greenhouses. In: H.J. Jäger, M. Unsworth, L. de Temmerman & P. Mathy (Eds.), Effects of air pollution on agricultural crops in Europe. Proceedings of the final symposium of the European open-top chambers project, Tervuren 1992, E. Guyot SA, Brussels, 611-614.
- Van der Eerden, L.J., 1987.
Grenswaarden voor effecten van etheen op planten. IPO-DLO rapport R-344, IPO-DLO, Wageningen, 14 pp.
- Van der Eerden, L.J. & N.J. Duym, 1988.
An evaluation method for combined effects of SO₂ and NO₂ on vegetation. *Environmental Pollution* 53: 468-470.
- Van der Eerden, L.J. & M.H.M. Gremmen, 1984.
Luchtkwaliteitsevaluatie met behulp van indicatorplanten en agrarische gewassen in de omgeving van industrieterrein Moerdijk (maart - november 1983). IPO-DLO rapport R 302, IPO-DLO, Wageningen, 21 pp.
- Van der Eerden, L.J. & C.J. van Dijk, 1993.
Effecten van atmosferische fluoriden op planten. Evaluatie van de wetenschappelijke basis voor normstelling. CABO-DLO rapport 185, CABO-DLO, Wageningen, 45 pp.
- Van der Meent, D., T. Aldenberg, J.H. Canton, C.A.M. van Gestel & W. Slooff, 1990.
Desiring for levels. National Institute of Public Health and Environmental Protection, report no. 710401010, Bilthoven, 36 pp.
- Van Haut, H. & B. Prinz, 1979.
Beurteilung der relativen Pflanzenschädlichkeit organischer Luftverunreinigung im LIS-Kurzzeittest. *Staub-Reinhaltung der Luft* 39: 408-424.
- Van Raay, A., 1978.
Rapport van een begassingsonderzoek met ethyleen bij tomate- en boneplanten in proefkasjes van het IPO in de maanden juli en augustus 1976. IPO-DLO rapport R-190, IPO-DLO, Wageningen, 31 pp.
- Van Raay, A., 1980.
Begassing met etheen. Jaarverslag IPO-DLO, IPO-DLO, Wageningen, 146-147.
- Van Uffelen, J.A.M., 1974.
Ethyleen werkt snelle vergeling in de hand. *De Tuinderij* 14: 16-17.
- VROM, 1989.
Nationaal Milieubeleidsplan. Omgaan met risico's. Aangeboden aan de Tweede kamer, vergaderjaar 1988-1989, 21 137, nr. 5, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 's-Gravenhage, 28 pp.
- Zimmerman, P.W., A.E. Hitchcock & W. Crocker, 1931.
The effect of ethylene and illuminating gas on roses. *Contributions from Boyce Thompson Institute* 3: 459-481.

Tabel 3. Effecten van etheen op plantedelen en produkten in de naoogstfase

Plantesoort	Effect-parameter	Concentratie $\mu\text{g m}^{-3}$	Expositieduur uren	Effect	Referentie	Opmerkingen
Aardappel	Respiratie (uitlopers)	23	28	toename	Rylski <i>et al.</i> , 1974	reversibel
'Russet Burbank'		230	28	toename		
	Aantal uitlopers	23	72	+10 %		bepaald 20 dagen
		230	230	+19 %		na behandeling
Anjer	Bloemblad-krulling	173	16		Istas & Alaerts, 1975	snijbloemen
	Bloembeschadiging	115	6	begin	Clayton & Platt, 1967	snijbloemen, NOEC
		58	48	versneld	Smith <i>et al.</i> , 1966	snijbloemen
	Houdbaarheid	20	120	-20 %	Hanan, 1973	snijbloemen
'Red Sim'	Houdbaarheid	58	504	reductie	Smith <i>et al.</i> , 1966	snijbloemen
Banaan 'Saba'	Afrijping	230	24	geen	Acedo & Bautista, 1993	vruchten
		345	34	versnelling		
Boekweit 'Hunter'	Kieming	920	264	geen	Cornforth & Stevens, 1973	zaden
Boon 'Red Kidney'	Abscissie van bladeren	115	4	50 %	Abeles & Gahagan III, 1968	maristeeencultuur
	Groei	115	4	reductie		
Komkommer	Vruchtvergeling	345	120		Van Uffelen, 1974	vruchten
Melganzevoet	Kieming	115	144	+22 %	Saini <i>et al.</i> , 1986	zaden, alleen in aanwezigheid van nitraat
Meloen	Respiratie	138	14	geen	McGlasson & Pratt, 1964	vruchten
		1150	14	toename		
Narcis 'Zurich'	Houdbaarheid	58	168	reductie	Smith <i>et al.</i> , 1966	snijbloemen
Sinaasappel	Abscissie steeltje	1150	24		Barmore & Brown, 1985	vruchten
		1150	72			
Sla 'Grand Rapids'	Kieming	1150	24	+9 %	Abeles & Lonski, 1969	zaden

Tabel 4. Effecten van etheen op planten na blootstelling in gesloten begassingssystemen

Plantesoort	Effect-parameter	Concentratie, $\mu\text{g m}^{-3}$	Expositie- duur, (uren)	Effect	Referentie	Opmerkingen
Aardappel	Epinastie	58	16-20		Istas & Alaerts, 1975	
Aardbei 'Gorella'	Bladkrulling	1150	24			jonge bladeren
	Groei	575	336	reductie		
		115	504	reductie		
Afrikaantje	Groei	575	240	-20 %		
	Epinastie	575	24			
		575	240			
		1,2	20		Crocker <i>et al.</i> , 1935	
Anjer	Niet openen van bloemen	115	72		Crocker & Knight, 1908	
	Bloem-sluiting ('krimp')	575	12			
		115	6		Darley <i>et al.</i> , 1963	NOEC
Appel	Abscissie van bladeren	575	288		Rakitin, 1967	
		1150	126	13 %	Matsushima, 1977	
	Groei (hypertrofie)	12	48		Taylor <i>et al.</i> , 1987	
Aucuba	Abscissie van bladeren	1150	75	33 %	Matsushima, 1977	
Begonia 'Nova'	Abscissie bloemen	173	144	toename	Fjeld, 1989	
	Abscissie bloemknoppen	173	144	toename		
Boekweit 'Hunter'	Groei (spruit)	920	264	stimulatie	Cornforth & Stevens, 1973	zaailingen
	Groei (wortel)	920	264	reductie		
	Epinastie	60	48		Taylor <i>et al.</i> , 1987	
Boon 'Red Kidney'	Opbrengst	29	1800	reductie	Istas & Alaerts, 1975	
Bijvoet	Abscissie van bladeren	1150	52	geen	Matsushima, 1977	
<i>Camellia japonica</i>	Abscissie van bladeren	1150	24	73 %		
Ceder	Abscissie van bladeren	1150	214	geen		
Chrysant 'Spider'	Bladkrulling	58	240	begin	Van Berkel, 1987	NOEC
'Horim'	Bloemknopdiameter	58	840	-50 %		
		115	840	geen		
		230	840	geen		
	Bladoppervlak	58	840	reductie		
	Groei (internodienlengte)	58	840	reductie		
	Aantal bladeren	58	840	toename		
	Aantal apicale bloemscheuten	58	840	toename		
Citrus	Abscissie van bladeren	1150	48	59 %	Matsushima, 1977	
Cypres	Abscissie van bladeren	1150	152	<5 %		
Den	Abscissie van bladeren	1150	214	geen		
Eik	Abscissie van bladeren	1150	110	8 %		
<i>Eriobotrya japonica</i>	Abscissie van bladeren	1150	75	9 %		

Vervolg tabel 4

Plantesoort	Effect-parameter	Concentratie, $\mu\text{g m}^{-3}$	Expositie- duur, (uren)	Effect	Referentie	Opmerkingen
Erwt 'Alaska'	Groei (lengte kiemlingen)	288	12	-18 %	Steen & Chadwick, 1981	bij 24 °C, temp. afhankelijk
		575	12	-25 %		
		1150	12	-32 %		
	Groei	58	336	reductie	Istas & Alaerts, 1975	
		115	336	reductie		
		230	72			
'Progress 9'	Stomataire reactie	1150	2	geen	Pallaghy & Raschke, 1972	
Forsytia	Groei (zijwaarts)	840	20		Taylor et al., 1987	
Ginkgo	Abscissie van bladeren	1150	142	35 %	Matsushima, 1977	
Jeneverbes	Abscissie van bladeren	1150	214	<5 %		
Kardinaalsmuts	Abscissie van bladeren	1150	48	100 %		
Katoen	Chlorose	685	720	licht	Heck et al., 1961	
	Groei	685	720	reductie		
	Abscissie van bladeren	685	720			
		575	120	begin	Rakitin, 1967	NOEC
	Auxine transport	104	18	begin	Beyer Jr. & Morgan, 1971	NOEC
		115	24	remming		NOEC
		1150	24	-40 %		
	Structuur Endoplas- matisch reticulum	1150	1	'stacking'	Freytag et al., 1977	kiemlingen
	Afmetingen ribosomen	1150	1	toename		
	Dikte celwanden	1150	1	toename		
Leeuwebek	Bloembeschadiging	575	1	begin	Clayton & Platt, 1967	NOEC
	Abscissie van kroonbladeren	600	1		Darley et al., 1963	NOEC
Lelie	Groei	860	168	reductie	Hitchcock et al., 1932	
	Bloemknopdiameter	1150	48	reductie	Rhoads et al., 1973	NOEC
Mais 'Pioneer 395'	Stomataire reactie	1150	2	geen	Pallaghy & Raschke, 1972	
Melganzevoet	Epinastie	60	48		Taylor et al., 1987	
Muur	Abscissie van bladeren	1150	52	geen	Matsushima, 1977	
Narcis	Bladkrulling	480	1		Taylor et al., 1987	NOEC
<i>Nerim indicum</i>	Abscissie van bladeren	1150	77	33 %	Matsushima, 1977	
Orchidee	Bloembeschadiging	345	1	begin	Clayton & Platt, 1967	NOEC
		58	6	versneld		NOEC
		12	24	versneld		NOEC
	Niet openen van bloemen	575-1150	20		Davidson, 1949	
	Verdroging	115	8	zwaar		
	kelkbladeren	46	8	matig		
		23	24	matig		
		6	24	licht		NOEC
		345	1	licht	Darley et al., 1963	NOEC

Vervolg tabel 4

Plantesoort	Effect-parameter	Concentratie, $\mu\text{g m}^{-3}$	Expositie- duur, (uren)	Effect	Referentie	Opmerkingen
		58	6	licht		NOEC
		12	24	licht		NOEC
Osmanthus	Abscissie van bladeren	1150	47	55 %	Matsushima, 1977	
Palmboompje	Abscissie van bladeren	1150	55	15 %		
Paprika	Epinastie	1150	24	begin	Lyon, 1970	
	Abscissie bloemknoppen	115	8		Darley et al., 1963	
Peer	Abscissie van bladeren	1150	48	27 %	Matsushima, 1977	
<i>Pittosporum tobira</i>	Abscissie van bladeren	1150	24	20 %		
<i>Podocarpus chinensis</i>	Abscissie van bladeren	1150	118	46 %		
Populier	Abscissie van bladeren	1150	142	31 %		
Roos	Abscissie van bladeren	575	144		Rakitin, 1967	
		345	120		Zimmerman et al., 1931	
	Chlorose	1150	120			
	Epinastie	345	120		Istas & Alaerts, 1975	
'Forever Yours'	Bladkrulling	115	72	begin	Piersol, 1974	NOEC
		345	48	begin		NOEC
	Abscissie bloemknoppen	345	72	begin		NOEC
	Abscissie van bladeren	115	192	begin		NOEC
		345	120	begin		NOEC
		345	192	40 %		
		345	288	70 %		
		575	120	begin		NOEC
		575	192	75 %		
		575	288	97 %		
	Bladverkleuring	115	120	begin		NOEC
	Groei	115	192	reductie		NOEC
		115	288	-17 %		
		345	288	-42 %		
		575	288	-57 %		
Sla 'Grand Rapids'	Groei (hypocotyllengte)	1,15	24	-4 %	Janes et al., 1976	kiemlingen
		12	24	-15 %		
		115	24	-33 %		
		1150	24	-42 %		
	Groei (wortels)	115	24	reductie	Abeles & Wydoski, 1987	zaailingen
Stekelnoot	Bloemontwikkeling	1150	336	reductie	Abeles, 1967	
Tandzaad	Epinastie	230	24		Matsushima, 1977	
Tomaat	Abscissie bloemknoppen	115	8		Darley et al., 1963	
	Habitus verandering	1150	4		Istas & Alaerts, 1975	
	Epinastie	115	48		Crocker et al., 1935	
		575	24		Lyon, 1970	NOEC
		115	20		De Munck, 1973	

Vervolg tabel 4

Plantesoort	Effect-parameter	Concentratie, $\mu\text{g m}^{-3}$	Expositie- duur, (uren)	Effect	Referentie	Opmerkingen
Tuinkers 'Groka'	Groei	115	504	-30 %	Istas & Alaerts, 1975	
		575	336	-50 %		
Tulp	Bloeiafwijkingen	460	204		Klyne & Phan, 1976	
	Bloemveroudering	460	1	versneld	Clayton & Platt, 1967	
	Abscissie van bloemen	480	1		Taylor et al., 1987	
Vijgeboom	Vruchtontwikkeling (begin stadium)	1150	216	abscissie	Marei & Crane, 1971	
	Vruchtontwikkeling (eind stadium)	1150	24	stimulatie		
		575	24	stimulatie		
	Abscissie van bladeren	1150	48	4 %		Turner et al., 1988
Wijnstok	Abscissie van bladeren	1150	108	30 %	Matsushima, 1977	
<i>Zelkova serrata</i>	Abscissie van bladeren	1150	96	34 %		
Zonnebloem	Epinastie	60	48		Taylor et al., 1987	

Tabel 5. Effecten van etheen op planten na blootstelling in begassingssystemen met luchtcirculatie.

Plantensoort	Effect-parameter	Concentratie, $\mu\text{g m}^{-3}$	Expositieduur, uren	Effect	Referentie	Opmerkingen
Aardappel 'Bintje'	Groei	27	672*	reductie	Van Raay, 1980	in bepaalde groeistadia
'Red Jewel'	Fotosynthese	1150	2,5*	-10 %	Pallas Jr. & Kays, 1982	
Artisjok	Fotosynthese	1150	2,5*	-7 %		
Begonia 'Emma' en 'Schwabenland Red'	Aantal bloemknoppen	12	240*	afname	Nowak & Fjeld, 1993	
	Aantal bloemen	12	240*	afname		
	Afwijkingen aan bloemen	12	240*	toename		
Boon	Chlorose	100	12*		Van Haut & Prinz, 1979	oudste bladeren
	Drooggewicht spruit	100	336*	-30 %		
	Epinastie	100	12*			
'Red Kidney'	Enzymactiviteit	32	72	toename	Abeles <i>et al.</i> , 1971	
	Groei	58	1800*	reductie	Abeles & Heggestad, 1973	
	Opbrengst	58	1056*	reductie		
Christusdoorn	Abscissie van bladeren	86	720*			
	Verkleuring	86	720*			
Erwt 'Alaska'	Groei	12	48*	reductie	Goeschl & Pratt, 1968	zaailingen
Es	Fotosynthese	20	5*	begin	Squler <i>et al.</i> , 1985	NOEC (berekend)
		280	28*	remming		
	Stomataire geleiding	588	28	-42 %		
Haver 'Random'	Drooggewicht spruit	64	552	+52 %	Reid & Watson, 1985	
	Aantal bladeren	392	552	+79 %		
	Aantal aren	145	552	+70 %		
	Aantal korrels	8	2400*	-22 %		
Kaapsviooltje	Bloemverwelking	100	48*		Van Haut & Prinz, 1979	
Klaver	Drooggewicht spruit	500	336*	-12 %		
Komkommer	Groei (blad)	29	504*	reductie	Abeles & Heggestad, 1973	
Koolzaad 'Candle'	Drooggewicht spruit	145	552*	-30 %	Reid & Watson, 1985	
		12	2400	+23 %		
		690	2400	-43 %		
	Bladoppervlak	145	552*	-28 %		
	Zaadgewicht	12	2400	+142 %		
		173	2400*	-64 %		
	Aantal zaden	12	2400	+188 %		
		173	2400*	-53 %		
Lelie 'Nellie White'	Drooggewicht spruit	12	1848*	reductie	Blankenship <i>et al.</i> , 1993	
		58	1848	>50 %		
	Drooggewicht bloem	12	1848*	reductie		
		58	1848	>50 %		
	Groei (spruitlengte)	12	1848	stimulatie		strekking van internodiën

Vervolg tabel 5

Plantesoort	Effect-parameter	Concentratie, $\mu\text{g m}^{-3}$	Expositieduur, uren	Effect	Referentie	Opmerkingen
		58	1848*	reductie		
		115	1848	reductie		
	Aantal bloemknoppen	12	1848	geen		normaal ontwikkeld
		58	1848*	reductie		groeiafwijkingen
		115	1848	reductie		groeiafwijkingen
	Abscissie bloemknoppen	12	1848	geen		
		58	1848*			
		115	1848			
	Begin bloeiperiode	12	1848	versneld		1 week eerder dan controle
		58	1848	remming		onverkoopbaar
		115	1848	remming		onverkoopbaar
	Aantal bladeren	12	1848	geen		
		58	1848	geen		
		115	1848	geen		
Paprika 'Hungarian	Abscissie	12	120*	54 %	Beaudry & Kays, 1988	abscissie in
Hot Yellow Wax'	bloemknoppen	115	120	81 %		controle 27 %
		1150	120	100 %		
	Abscissie vruchten (<10mm)	12	120*	90 %		abscissie in controle 74 %; grote vruchten minder gevoelig
		115	120	90 %		
		1150	120	100 %		
	Abscissie bladeren	12	120	geen		abscissie in
		115	120	geen		controle 3 %;
		1150	120*	22 %		onafhankelijk van de bladgrootte
Petunia	Bloemverwelking	100	48*		Van Haut & Prinz, 1979	
'Pink Cascade'	Aantal bloemen	29	144*	reductie	Abeles & Heggstad, 1973	
Pinda 'Florunner'	Fotosynthese	115	2	geen	Kays & Pallas Jr., 1980	reversibel
		288	2*	-33 %		
		575	2	-56 %		
		1150	2	-100 %		
		1150	6	-68 %	Pallas Jr. & Kays, 1982	
		1150	2,5*	-29 %		
'Early Runner'		1150	2,5*	-35 %		
'Florigigant'		1150	2,5*	-30 %		
'NC-4'		1150	2,5*	-32 %		
'PI262129'		1150	2,5*	-20 %		
'PI288160'		1150	2,5*	-27 %		
'Spanhoma'		1150	2,5*	-10 %		
'White G II'		1150	2,5*	-25 %		

Vervolg tabel 5

Plantesoort	Effect-parameter	Concentratie, $\mu\text{g m}^{-3}$	Expositieduur, uren	Effect	Referentie	Opmerkingen
'Jumbo Virginia'	Fotosynthese	39	5*	begin	Squler et al., 1985	NOEC (berekend)
		112	5	remming		
		112	28	geen		
		280	28	-10 %		
		588	28	-50 %		
		1150	6	-32 %		
Radijs	Stomataire geleiding	588	28	-41 %	Squler et al., 1985	
	Drooggewicht spruit	100	336*	-30 %	Van Haut & Prinz, 1979	
	Drooggewicht knollen	100	336*	-10 %		
Sneeuwbes	Abscisie van bloemen en vruchten	60	4320**)		Mooi, 1976.	20 andere boom- en heestersoorten geen effect.
			(5m;12u/d plus 1m;12u/d)			
Sojaboon 'Davis'	Fotosynthese	78	5*	begin	Squler et al., 1985	NOEC (berekend)
		112	28	geen		
		280	28	geen		
		588	28	-50 %		
		1150	6	-29 %		
Tabak 'Bel W ₃ '	Fotosynthese	546	5*	begin	Squler et al., 1985	NOEC (berekend)
		588	28	-30 %		
		1150	4*	-50 %		
		Stomataire geleiding	588	28		
Tarwe 'Nainari 60'	Groei (spruitlengte)	138	2160*	reductie	Abeles & Heggstad, 1973	
		575	2160	reductie		
Tomaat 'Bonny Best'	Groei (spruitlengte)	58	168*	reductie		
'Capello'	Epinastie	289	24*		Van Essche & De Proft, 1992	
'Sonato'	Opbrengst	45	672**)		Van Raay, 1978	
		6	(8u/d;5d/w;4w) 672**) (1u/d;5d/w;4w)	reductie		
Vlijtig liesje 'Sunfire'	Abscisie bloembladeren	1150	2*	27 %	Dostal et al., 1991	
Zonnebloem 'Russian'	Fotosynthese	1150	2,5*	-12 %	Pallas Jr. & Kays, 1982	
	Verwelking	17	24	remming	Reid & Watson, 1985	
	Bladoppervlak	69	264*	reductie		
	Aantal stomata	69	264	reductie		
	Drooggewicht spruit	69	264*	-39 %		
	Drooggewicht wortel	69	264*	-24 %		

**) concentratie berekend uit de gegeven concentratie, expositieduur en $5 \mu\text{g m}^{-3}$ als achtergrondconcentratie voor de niet begaste uren.

* expositieperiode en bijbehorende concentratie gebruikt voor HC₅ berekening.