

Economische aspecten van het effect van luchtverontreiniging op de gewasteelt in Nederland

A.E.G. Tonneijck¹, L.J. van der Eerden¹, J.H.M. Wijnands²,
F.H.J. Bunte², J. Bremmer² & M.W. Hoogeveen²

¹ Instituut voor Agrobiologisch en
Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO),
Postbus 14, 6700 AA Wageningen

² Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO),
Postbus 29703, 2502 LS Den Haag

**lei-dlo
ab-dlo**

Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO)

AB-DLO doet onderzoek ter bevordering van de kwaliteit en duurzaamheid van plantaardige systemen. Het instituut ontwikkelt en levert expertise ten behoeve van land- en tuinbouw, inrichters van de groene ruimte, industrieën en overheden. Het onderzoek is onderverdeeld in drie productgroepen/thema's.

Plantaardige productie en productkwaliteit

Geïntegreerde en biologische productiesystemen
Onkruidbeheersingssystemen
Precisielandbouw
Groene grondstoffen en inhoudsstoffen
Innovatie glastuinbouw
Kwaliteit van plant, gewas en product

Multifunctioneel en duurzaam landgebruik

Nutriëntenmanagement
Rurale ontwikkeling en voedselzekerheid
Agro-ecologische zoning
Multifunctionele landbouw
Agrarisch natuurbeheer

Bodem - plant - milieu

Bodem- en luchtkwaliteit
Klimaatverandering
Biodiversiteit
Milieuvreemde stoffen en bodem-
en gewaskwaliteit

AB-DLO beschikt over unieke expertise op het gebied van plantenfysiologie, gewasecologie, vegetatiekunde, bodemchemie en -ecologie en systeemanalyse.

AB-DLO verricht onderzoek met behulp van geavanceerde onderzoeksfaciliteiten (laboratoria, klimaatruimten met mogelijkheden voor boven- en ondergrondse metingen, computer-beeldverwerking, mobiele apparatuur voor meting van de lichtbenutting van gewassen en vegetaties, proefbedrijven, enz.).

Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO)

LEI-DLO is leidend in landbouw-economische informatie voor beleid, bedrijf en markt. LEI-DLO richt zijn diensten op de (internationale) agrarische sector in interactie met diens kritische omgeving. Het gaat hierbij om diensten zowel voor de primaire productie in de landbouw, tuinbouw en de visserij, als voor de toeleverende en verwerkende industrie, de handel, maatschappelijke organisaties en beleidsmakers.

Kernexpertises van LEI-DLO zijn: (Bedrijfs-)economie, marktonderzoek, internationale handel, milieu-economie, ketenanalyses, plattelandsontwikkeling, economische samenwerking, bedrijfsmonitoring, databases.

	AB-DLO	LEI-DLO
Adres	: Bornsesteeg 65, Wageningen : Postbus 14, 6700 AA Wageningen	Postbus 29703, 2502 LS Den Haag
Telefoon	: 0317.4757007	070-3308330
Telefax	: 0317.423110	070-3615624
E-mail	: postkamer@ab.dlo.nl	postmaster@lei.dlo.nl
Internet	: http://www.ab.dlo.nl	http://www.lei.dlo.nl

Voorwoord

Deze studie werd uitgevoerd ten behoeve van de Nationale Milieuverkenning van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) door het DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO) te Wageningen en het DLO-Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO) in Den Haag. De studie vond plaats in het kader van het DLO programma 315: Kennisontwikkeling voor de Milieuplanbureau-functie. De studie werd deels gefinancierd vanuit de DLO programma's 262 (Fytotoxische effecten van milieuvreemde stoffen) en 129 (Economische evaluatie van de emissie- en milieuproblematiek), en deels door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu en het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

De belangrijkste resultaten van de studie zijn reeds vermeld in de Nationale Milieuverkenning 4: 1997 - 2020 (RIVM, 1997b). In het onderhavige rapport wordt de opzet van het onderzoek beschreven en worden de resultaten gepresenteerd en geëvalueerd.

Inhoudsopgave

	Pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding	3
2. Afbakening	5
2.1. Inleiding	5
2.2. Gewassen	5
2.3. Effecten	7
2.4. Luchtverontreiniging	7
3. Blootstellingsniveaus en relaties tussen blootstelling en schade	9
3.1. Ozon	9
3.2. Fluoriden	12
3.3. Zwaveldioxide en stikstofoxiden	13
4. Berekeningsmethodiek van prijs- en welvaartseffecten	17
4.1. Inleiding	17
4.2. Welvaartseffecten	17
4.3. Schatting vraagvergelijkingen	22
4.4. Afleiding consumenten- en producentensurplus	24
5. Economische effecten van luchtverontreiniging in de gewasteelt	27
5.1. Inleiding	27
5.2. Ozon	27
5.3. Fluoriden	30
5.4. Zwaveldioxide en stikstofoxiden.	30
6. Evaluatie	33
7. Conclusies en aanbevelingen	35
Referenties	37

Samenvatting

Luchtverontreiniging kan schade toebrengen aan de productie van gewassen. Het directe effect van deze vorm van verontreiniging op de fysieke en monetaire opbrengsten in de gewasteelt in Nederland is geschat en de economische gevolgen (kosten en baten) werden berekend van verschillende varianten voor de luchtkwaliteit. De concentraties van ozon, fluoriden en de combinatie van zwaveldioxide en stikstofoxiden waren in het referentiejaar (1995) hoog genoeg om schade te veroorzaken. Voor deze componenten werden relaties tussen blootstelling en schade geformuleerd en werden procentuele oogstreducties voor verschillende gewassen berekend. Vervolgens werden de veranderingen in het niveau van de fysieke gewasproductie bepaald voor iedere provincie en voor het land als geheel als gevolg van veranderingen in het niveau van luchtverontreiniging. De prijseffecten van de veranderingen in de fysieke productie zijn met behulp van vraagvergelijkingen bepaald en de consequenties hiervan zijn voor producenten en consumenten berekend.

Het productievolume van de gehele plantaardige productie in Nederland kan met 2,3% stijgen indien de ozonconcentratie in de lucht tot 70% wordt gereduceerd. Dit komt overeen met een winst van bijna 450 miljoen gulden waarbij het voordeel voor de consumenten groter is dan voor de producenten. De producenten hebben een voordeel omdat het gecombineerde effect van een grotere productie en lagere prijzen leidt tot een toename van de omzet met 190 miljoen gulden. Het consumentensurplus is met een bedrag van ruim 260 miljoen gulden nog groter. Een toename van het niveau van ozon met 30% levert een nadeel van circa 590 miljoen gulden op. De producenten hebben hierbij minder nadeel dan de consumenten. De relatief grootste effecten zijn waar te nemen bij de aardappel.

Indien de concentratie van zwaveldioxide sterk wordt gereduceerd tot 40% ten opzichte van het referentiejaar en dat van stikstofoxiden gelijktijdig tot 80%, dan zijn de baten 186 miljoen gulden. Relatief vinden de grootste opbrengstveranderingen plaats bij komkommer en snijmaïs. Vanwege de omvang van het areaal en/of de opbrengsten per hectare is het economisch voordeel groot bij snijmaïs, gras, komkommers en snijbloemen. De schade is voor de producenten iets groter dan voor de consumenten. Fluoriden daarentegen hebben een zeer beperkte invloed op de plantaardige productie en de economische schade is met 12 miljoen gulden marginaal.

Geconcludeerd kan worden dat ozon de belangrijkste luchtverontreinigingscomponent is in relatie tot de gewasproductie in Nederland. De schade door ozon in een gemiddelde zomer wordt geschat op 450 tot 500 miljoen gulden. In een zomer met mooi weer zijn de ozonniveaus circa 30% hoger dan in een gemiddelde zomer hetgeen overeenkomt met een additionele schade van circa 590 miljoen gulden. Indien de verhoogde ozonconcentraties in een mooie zomer zouden kunnen worden teruggebracht tot het achtergrondniveau, dan zouden de baten naar schatting meer dan één miljard gulden (450 miljoen plus 590 miljoen) bedragen.

De schade-schatting is gebaseerd op internationaal wetenschappelijk geaccepteerde informatie. Verbetering van de schatting is mogelijk indien meer kennis beschikbaar komt over de specifieke gevoeligheid van Nederlandse gewassen onder Nederlandse klimaatsomstandigheden. Aanwijzingen dat Nederlandse gewassen relatief gevoelig zijn (en dus dat hier sprake is van een onderschatting van de schade) zijn nog onvoldoende onderzocht.

1. Inleiding

De invloed van luchtverontreiniging op de gewasproductie in Nederland vormt al tientallen jaren een bron van zorg. Dit heeft te maken met het economisch belang van de agrarische productie, de gedocumenteerde gevoeligheid van verschillende gewassen voor luchtverontreiniging en de hoge niveaus van bepaalde luchtverontreinigingscomponenten. Reeds in de jaren 50 is vastgesteld dat luchtverontreiniging in bepaalde gebieden van Nederland zichtbare schade bij gewassen veroorzaakte.

Het overheidsbeleid is er op gericht de kwaliteit van het milieu en dus ook de luchtkwaliteit te verbeteren. Voor vaststelling van de effecten bij het huidige niveau van verontreiniging en voor evaluatie van de effectiviteit van verschillende beleidsscenario's voor verbetering van de luchtkwaliteit is kennis nodig over de relaties tussen blootstelling en de daaruit resulterende effecten. Het effect van luchtverontreiniging op opbrengsten en economische schade in de agrarische productie in Nederland is eerder voor de jaren 80 geschat en was niet onaanzienlijk (Van der Eerden *et al.*, 1986). Met name de fotochemische luchtverontreinigingscomponent ozon, en in mindere mate de primaire componenten zwaveldioxide en waterstoffluoride bleken de gewasproductie negatief te beïnvloeden. Sinds die studie zijn er veranderingen opgetreden met betrekking tot de luchtkwaliteit en de teelt van gewassen en is de kennis over relevante blootstelling-effectrelaties verbeterd.

In de voorliggende studie zijn op basis van beschikbare informatie relaties tussen blootstelling en schade bij gewassen vastgesteld en is het directe effect van luchtverontreiniging op de fysieke en monetaire opbrengsten in de gewasteelt in Nederland geschat. Doel van de studie was om de economische gevolgen (kosten en baten) in de gewasteelt te berekenen van verschillende varianten voor de luchtkwaliteit.

Dit rapport beschrijft de opzet en de belangrijkste resultaten van de studie. In Hoofdstuk 2 wordt in het kort ingegaan op enige aspecten van de invloed van luchtverontreiniging op gewassen en wordt de studie nader afgebakend. Hoofdstuk 3 presenteert de relaties voor het effect van relevante luchtverontreinigingscomponenten op de opbrengst van gewassen. In Hoofdstuk 4 wordt aangegeven hoe de effecten van luchtverontreiniging op fysieke en monetaire opbrengsten worden gekwantificeerd en de resultaten van berekeningen voor verschillende varianten van luchtkwaliteit worden in Hoofdstuk 5 gepresenteerd. Hoofdstuk 6 betreft een algemene evaluatie van de resultaten waarna in Hoofdstuk 7 de belangrijkste conclusies worden getrokken.

2. Afbakening

2.1. Inleiding

Om de economische consequenties van het effect van luchtverontreiniging op gewassen te kunnen berekenen, zijn verschillende soorten basale gegevens nodig:

1. gewasregistratie (census): welke gewassen worden geteeld per geografisch gebied en wat zijn de opbrengsten,
2. gegevens over luchtkwaliteit om de biologisch relevante blootstelling te berekenen voor de overeenkomstige geografische gebieden,
3. vergelijkingen om de opbrengst te relateren aan de berekende blootstelling en
4. vergelijkingen om de effecten op de prijzen te bepalen als gevolg van veranderingen in opbrengsten.

De eerste stap voor de uiteindelijke berekeningen is het vaststellen van de verliezen van de fysieke opbrengsten als functie van de luchtkwaliteit. Hoewel de berekeningen in geografische zin het meest accuraat kunnen worden uitgevoerd op de kleinst mogelijke schaal, was de interesse toch primair gericht op de effecten op provinciale en nationale schaal. De berekeningen werden dan ook verricht op basis van beschikbare informatie per provincie en vervolgens werden de uitkomsten geaggregeerd op nationaal niveau.

Aard en intensiteit van de reactie van een gewas op luchtverontreiniging zijn afhankelijk van de aard van de component, het blootstellingsniveau, planteigenschappen en externe groeiomstandigheden (Guderian *et al.*, 1985). Verschillen in genetische constitutie vormen de basis voor de verschillen in gevoeligheid tussen gewassen. Externe groeiomstandigheden, met name die welke gerelateerd zijn aan bodemeigenschappen en klimaat, beïnvloeden de fysiologie van de planten en daarmee de gevoeligheid. Tevens kunnen verschillende componenten interfereren bij het veroorzaken van effecten op planten waarbij zowel meer-dan-additieve (synergisme) als minder-dan-additieve effecten (antagonisme) effecten kunnen voorkomen. Alle interne en externe factoren gezamenlijk beïnvloeden de reactie van gewassen op luchtverontreiniging. Vanwege deze complexiteit werd de studie nader afgebakend met betrekking tot het aantal gewassen, de effectparameters en de luchtverontreinigingscomponenten.

2.2. Gewassen

Bij de keuze van de gewassen werden de volgende criteria gehanteerd:

1. Regionale verdeling: Vanwege regionale verschillen in luchtverontreiniging moet de areaalverdeling over het land bekend zijn. Vandaar dat uitsluitend gewassen of gewasgroepen uit de CBS-landbouwtelling in beschouwing werden genomen. In deze telling worden op het laagste niveau 126 gewassen of gewasgroepen onderscheiden en dit aantal komt overeen met het maximaal aantal (groepen) dat in het onderzoek werd meegenomen.

2. Productiewaarde: Het economisch belang van een bepaald gewas is een belangrijke factor. Als het aandeel groter is dan 0,5% van de totale plantaardige productiewaarde (16,8 miljard NLG), oftewel groter is dan 84 miljoen gulden, dan wordt het gewas afzonderlijk meegenomen in het onderzoek.
3. Oppervlakte: Het belang van een gewas wordt daarnaast ook bepaald door het oppervlakteaandeel. Als dit aandeel groter is dan 0,5% (4.521 hectare) van het totaal areaal exclusief grasland (904.271 hectare), dan wordt het gewas afzonderlijk meegenomen. De arealen werden vastgesteld op basis van de cijfers uit de CBS-landbouwtelling.
4. Aandeel per sector: Om economische effecten per landbouw- of tuinbouwsector te kunnen vaststellen, werd noodzakelijk geacht dat de gekozen gewassen minimaal een aandeel hadden van 50% in zowel de productiewaarde als het areaal in die sector.

De overige gewassen werden meegenomen met een groep, die wel geselecteerd was en qua prijsvorming hierop leek. Voor het schadeniveau is het gemiddelde schadeniveau van alle gewassen genomen. Op deze wijze is de volledige plantaardige productie in het onderzoek betrokken. Tabel 1 geeft een overzicht van de oppervlaktes en het economisch belang van de gewassen.

Tabel 1. Oppervlakte en productiewaarde voor verschillende gewasgroepen in 1995.

Gewasgroep	Oppervlakte (ha)	Productiewaarde (milj. NLG)
Granen	193.700	444
Pootaardappelen	37.800	532
Consumptieaardappelen	80.200	643
Fabrieksaardappelen	61.300	314
Uien	16.100	41
Landbouwzaden	30.400	237
Suikerbieten	117.700	846
Snijmais	230.200	724
Groenten open grond	50.300	1.782
Fruit	23.400	409
Boomkwekerijen	8.000	778
Bloembollen	18.300	1.197
Glasgroenten	4.300	2.898
Bloemen en bloemzaden	7.500	3.509
Pot- en perkplanten	1.700	1.562
Overige gewassen	26.800	135
Grasland	1.048.500	3.037
Totaal	1.956.200	19.088

2.3. Effecten

Gewassen kunnen direct door verontreiniging vanuit de lucht worden beïnvloed alsook indirect via de bodem. Gelet op de gangbare praktijken in de landbouw, worden indirecte effecten via de bodem onbelangrijk geacht. Luchtverontreiniging kan aanleiding geven tot beschadiging en/of schade bij gewassen. Aangezien het effect op de gewasproductie in economische termen diende te worden gekwantificeerd, is bij de vaststelling ervan alleen gelet op effecten die in de prijs tot uitdrukking komen (schade). In het algemeen betrof dit effecten op groei en opbrengst.

Luchtverontreiniging kan ook leiden tot vermindering in kwaliteit van de productie zoals vermindering van smaak en verteerbaarheid, en vermindering van de esthetische kwaliteit als gevolg van zichtbare symptomen. Behalve voor fluoriden werden kwaliteitsaspecten niet meegerekend omdat deze niet in economische termen konden worden weergegeven. Te hoge gehalten aan fluoriden in veevoer kunnen vergiftiging bij vee (fluorosis) veroorzaken. De mate waarin gras ongeschikt is voor veevoer als gevolg van blootstelling aan fluoriden, is gekwantificeerd.

In lage concentraties kan luchtverontreiniging de groei en productie van gewassen stimuleren. Deze positieve effecten werden veronachtzaamd. Interacties tussen luchtverontreiniging en andere stressoren zoals verandering in gevoeligheid voor vorst, droogte, ziekten en plagen bleven buiten beschouwing evenals effecten op materialen (landbouwwerktuigen, kasconstructies) en sproeischema's bij ziektenbestrijding. Schade als gevolg van incidenten en schade die op zeer lokale schaal kan voorkomen, werden vanwege de relatief geringe omvang ervan (Van der Eerden *et al.*, 1986) niet gekwantificeerd.

2.4. Luchtverontreiniging

Effecten op gewassen zijn afhankelijk van de aard van de component en het blootstellingsniveau. Tot de belangrijkste vormen van luchtverontreiniging in Europa behoren volgens Fowler *et al.* (1992) de verzurende componenten zwaveldioxide (SO_2) en stikstofoxiden (NO_x), de oxidatieproducten hiervan in aerosolen, wolken, mist en neerslag, ozon (O_3), peroxyacetyl nitraat (PAN) en ammoniak (NH_3). Daarnaast vormen fluoriden voor Nederland vanwege het grote aantal bronnen en de teelt van relatief zeer gevoelige gewassen een niet te veronachtzamen component (Van der Eerden *et al.*, 1986). Natte depositie en NH_3 (Ashmore, 1992) en PAN (Tonneijck, 1983) werden niet belangrijk geacht in relatie tot de productie van gewassen.

De blootstellingsniveaus werden berekend uit meetgegevens van rurale meetstations (twee per provincie) van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit. Het basisjaar voor de milieuverkenningen is 1995 en voor SO_2 zijn de meetgegevens van dat jaar gebruikt aangezien voor deze component de trend over de jaren een belangrijke rol speelt. NO_x en ozon vormen een belangrijk onderdeel van de fotochemische luchtverontreiniging en de invloed van fluctuaties die door meteorologie worden bepaald, is groter dan de beperkte trend over 1992-1995. Vandaar dat voor deze componenten de gegevens van 1992 zijn gebruikt; 1992 werd hierbij dus beschouwd als een gemiddeld jaar voor wat betreft de meteorologie en de concentraties. Vanwege het geringe aantal stations voor fluoriden zijn de concentraties van fluoriden per provincie modelmatig geschat (Noordijk, 1997). Om vast te kunnen stellen welke componenten potentieel de gewasproductie in Nederland negatief kunnen beïnvloeden, werden de verschillende blootstellingsniveaus ver-

volgens getoetst aan niveaus waarboven volgens de huidige stand van kennis negatieve effecten kunnen optreden.

De grenswaarde voor het effect van SO_2 op gewassen is vastgesteld op $30 \mu\text{g m}^{-3}$, gemiddeld zowel over een jaar als over een winter (Ashmore, 1992). De gemeten niveaus van SO_2 in Nederland hebben deze waarde in 1995 niet overschreden (RIVM, 1997a). Mede gelet op de nog immer dalende concentraties werd SO_2 alleen niet relevant geacht voor de gewasproductie in Nederland, dit in tegenstelling tot de situatie in de jaren 80 (Van der Eerden *et al.*, 1986).

De landelijk groeiseizoensgemiddelde (mei-september) concentratie van ozon bedroeg in 1992 circa $68 \mu\text{g m}^{-3}$ en overschreed daarmee de voorgestelde effectgrenswaarde van $60 \mu\text{g m}^{-3}$ (RIVM, 1994). Dit resultaat bevestigt eerdere conclusies dat ozon jaarlijks in heel Nederland in concentraties voorkomt die schadelijk zijn voor gewassen (Tonneijck, 1989).

Het kritisch niveau voor NO_x (som van NO en NO_2 in ppb, en uitgedrukt als $\mu\text{g m}^{-3} \text{NO}_2$) is recent gedefinieerd als een jaargemiddelde van $30 \mu\text{g m}^{-3}$ (Van der Eerden *et al.*, 1997). Dit niveau heeft alleen betrekking op situaties waarbij ook andere componenten aanwezig zijn. In het algemeen treden voor NO of NO_2 alleen geen effecten op bij niveaus lager dan $100 \mu\text{g m}^{-3}$. De jaargemiddelde concentratie van NO_x in 1992 (RIVM, 1994) was op een aantal stations hoger dan $30 \mu\text{g m}^{-3}$ en in alle gevallen lager dan $100 \mu\text{g m}^{-3}$. Negatieve effecten van combinaties met NO_x in de praktijk zijn dus mogelijk en hierbij is vooral de combinatie met SO_2 van belang. Op basis van gegevens van Whitmore (1985) is een effectgrenswaarde van 1,244 ppm.dag voor de combinatie van $\text{SO}_2 + \text{NO}_x$ vastgesteld, berekend over een aaneengesloten periode van 100 dagen (Van der Eerden *et al.*, 1997). Hierbij is uitgegaan van een gelijke fytoxiciteit van NO en NO_2 . Deze effectgrenswaarde bleek onder omstandigheden in Nederland te kunnen worden overschreden (zie 3.3).

Voor de evaluatie van het effect van fluoriden op gewassen werd uitgegaan van een effectgrenswaarde voor een maandgemiddelde van $0,3 \mu\text{g m}^{-3}$ (Slooff *et al.*, 1989; VDI, 1989; Van der Eerden & Van Dijk, 1993). Accumulatie van fluoriden in veevoer kan leiden tot fluorosis bij vee en de Gezondheidsraad (1990) heeft als grenswaarde in veevoer een fluoride-gehalte van $55 \mu\text{g g}^{-1}$ aangegeven waarboven het voer als ongeschikt moet worden beschouwd. Dit gehalte komt overeen met een atmosferische concentratie van $0,44 \mu\text{g m}^{-3}$ fluoriden als maximaal maandgemiddelde (zie Kostka-Rick, 1994; Arndt *et al.*, 1995). Volgens modelberekeningen variëren de jaargemiddelde fluoride-concentraties van $0,03$ tot $0,12 \mu\text{g m}^{-3}$, afhankelijk van de provincie en is er binnen bepaalde provincies sprake van een ruimtelijke gradiënt door de aanwezigheid van lokale bronnen (Noordijk, 1997). Op basis van de relatie tussen het jaargemiddelde en het 1-maandsgemiddelde (Van Alfen en Van der Eerden, 1996) werd vervolgens berekend dat de 1-maandsgemiddelden binnen enkele provincies hoger waren dan de bijbehorende grenswaarden (zie 3.2).

Uit bovenstaande informatie werd geconcludeerd dat ozon, fluoriden en de combinatie $\text{SO}_2 + \text{NO}_x$ aanleiding kunnen geven tot schade aan gewassen. De effecten van deze componenten op de fysieke en monetaire opbrengsten in de gewasteelt in Nederland zijn geschat en de veranderingen hierin bij verschillende scenario's van verontreiniging zijn berekend.

3. Blootstellingsniveaus en relaties tussen blootstelling en schade

3.1. Ozon

Ozon is de belangrijkste component van de fotochemische luchtverontreiniging; het ontstaat als gevolg van atmosferische reacties tussen stikstofoxiden (vooral afkomstig van het verkeer), koolwaterstoffen (verkeer, chemische en metaalindustrie) en zuurstof onder invloed van zonlicht. De concentraties van ozon kunnen van seizoen tot seizoen sterk verschillen, afhankelijk van het weer. Gedurende het groeiseizoen zijn eveneens grote fluctuaties mogelijk en komen hoge niveaus voor in perioden met mooi weer. Daarnaast vertoont het achtergrondniveau een stijgende tendens en is volgens Van Aalst (1989) de lange-termijn gemiddelde concentratie van ozon in Nederland gedurende de laatste decennia minimaal verdubbeld. Recent onderzoek in Nederland (Tonneijck & Van Dijk, 1997b) heeft bevestigd dat concentraties van ozon in de omgevingslucht hoog genoeg zijn om opbrengstreducties bij een gevoelig gewas te veroorzaken.

Retrospectieve analyses van gegevens uit het National Crop Loss Assessment Network in de Verenigde Staten (NCLAN) hebben aangetoond dat de optimale blootstellingsindices om het chronische effect van ozon op de opbrengst van gewassen te beschrijven cumulatief van aard zijn en groter gewicht toekennen aan hogere niveaus. Veelal wordt hierbij de opbrengstreductie van gewassen gerelateerd aan de SUM06; een index waarbij alle uurwaarden $\geq 0,06$ ppm O_3 (circa $120 \mu\text{g m}^{-3}$) worden geaccumuleerd voor de periode van blootstelling (USEPA, 1996). Deze index werd niet geschikt geacht voor kwantificering van de schade aan gewassen in Nederland aangezien negatieve effecten bij gevoelige gewassen zijn waargenomen bij niveaus van O_3 die lager waren dan de gehanteerde drempelwaarde (Tonneijck & Van Dijk, 1997a, 1998).

Op basis van recent onderzoek is AOT40 (Accumulated exposure Over a Threshold van 40 ppb) voorgesteld als blootstellingsindex voor effecten van O_3 op gewassen in Europa. Deze index accumuleert voor de blootstellingsperiode (voorgesteld wordt de periode mei-juli) de verschillen tussen gemeten uurwaarden en 40 ppb (circa $80 \mu\text{g m}^{-3}$) voor alle uren dat de uurwaarde groter is dan 40 ppb en dat de globale straling groter is dan 50 W m^{-2} (Kärenlampi & Skärby, 1996). Het aantal gewassen waarvoor relaties tussen opbrengstreductie en AOT40 zijn beschreven (Fuhrer, 1994) is echter zeer beperkt. Gelet op de wens om voor de verschillende gewassen in onze studie één blootstellingsindex te gebruiken, werd ook AOT40 als index niet bruikbaar geacht.

Het 7-uurs (9.00-16.00 uur) daggemiddelde berekend voor het groeiseizoen was aanvankelijk de meest gebruikte index om gewasopbrengsten te relateren aan chronische blootstellingen met O_3 (Heck *et al.*, 1982; zie ook USEPA, 1996). Het dagdeel 9.00-16.00 uur werd geacht overeen te komen met de grootste gevoeligheid van het gewas in samenhang met hoge niveaus van ozon. Omdat de hoogste ozonconcentraties dikwijls na 16.00 uur voorkomen, werd later overgeschakeld op het 12-uurs (8.00-20.00 uur) daggemiddelde. In de meeste studies zijn effecten gerelateerd aan groeiseizoensgemiddelde waarden die berekend zijn op basis van dagdelen variërend van 7 tot 12 uur. In onze studie is gekozen voor het 12-uurs daggemiddelde berekend voor het groeiseizoen van mei tot en met september. De groeiseizoensgemiddelde niveaus per provincie

zijn vermeld in Tabel 2 en variëren van circa 33 ppb in Noord-Brabant tot 37 ppb in Zeeland voor een gemiddelde zomer.

Volgens verschillende scenario's zijn er nauwelijks tot geen veranderingen in de ozonniveaus tot 2020 te verwachten. Daarom werden de consequenties van verschillende ozonvarianten berekend met als ondergrens 70% en als bovengrens 130% van het niveau in het referentiejaar. Behalve in Zeeland, zijn in alle provincies de ozonniveaus bij de variant van 70% lager dan 25 ppb; dit niveau van 25 ppb wordt beschouwd als een 'natuurlijke' achtergrond waarbij geen negatieve effecten optreden (Heck *et al.*, 1982). De ozonconcentraties kunnen tot circa 48 ppb oplopen bij de 130% variant. Hoewel in Nederland groeiseizoensgemiddelde waarden gemeten zijn die hoger zijn dan 48 ppb (Tonneijck, 1989), kunnen de ozonniveaus bij de 130% variant worden beschouwd als representatief voor een zomer met mooi weer.

Tabel 2. Groeiseizoensgemiddelde (12-uursdagwaarden) niveaus van ozon (ppb) voor verschillende varianten per provincie.

Provincie	Ozon			Provincie	Ozon		
	70%	100% ^a	130%		70%	100% ^a	130%
Groningen	23,7	33,8	43,9	Utrecht	24,9	35,6	46,3
Friesland	23,9	34,1	44,3	Noord-Holland	24,6	35,1	45,6
Drenthe	24,9	35,6	46,3	Zuid-Holland	23,7	33,9	44,1
Overijssel	24,2	34,6	45,0	Zeeland	25,6	36,6	47,6
Flevoland	23,4	33,4	43,4	Noord-Brabant	23,2	33,1	43,0
Gelderland	24,9	35,5	46,2	Limburg	24,0	34,3	44,6

^a Niveaus van ozon in het referentiejaar

Uit de wetenschappelijke literatuur werden relevante blootstelling-effectrelaties geselecteerd op basis van de volgende uitgangspunten: (1) studies kwamen alleen in aanmerking indien planten werden blootgesteld onder veld(benaderende) condities; (2) resultaten van Europees onderzoek met hier gangbare gewassen verdienden de voorkeur en (3) experimenten met gewassen die geteeld waren in de volle grond, werden verkozen boven experimenten met gewassen geteeld in potten (Skärby *et al.*, 1992; Vandermeiren *et al.*, 1995).

De beschreven blootstellingsindices werden indien nodig genormaliseerd naar het 12-uurs (8.00-20.00) daggemiddelde. De geselecteerde schade-relaties werden tevens zodanig aangepast dat de procentuele reductie van de opbrengst als functie van de blootstelling kon worden berekend ten opzichte van de opbrengst bij een 'natuurlijke' achtergrond van 25 ppb. De verschillende relaties zijn vermeld in Tabel 3. Berekeningen wijzen uit dat opbrengstreducties tot circa 5% verwacht kunnen worden als gevolg van blootstelling aan ozon in een gemiddelde zomer. Relatief gevoelige gewassen zijn aardappel en boon. Niet vermelde gewassen worden geacht te reageren als een gemiddeld gewas.

Tabel 3. Relaties tussen blootstelling aan ozon en opbrengstreductie voor verschillende gewassen en de berekende opbrengstreductie per gewas voor het landelijk gemiddelde in een gemiddelde zomer (1992).

Gewas	Vergelijking ¹	Berekende reductie ²	Referentie
Aardappel	$R = \{ 1,00 - [11,840 - (0,04939 * O_3)] / [11,840 - (0,04939 * 25)] \} * 100$	4,6	Pell <i>et al.</i> , 1988.
Aardbei	$R = 0$; geen opbrengstreductie verwacht bij heersende niveaus	0,0	McCool <i>et al.</i> , 1986
Boon	$R = \{ 1,00 - \exp [-(0,955 * O_3 / 83)^{2,7}] / \exp [-(0,955 * 25 / 83)^{2,7}] \} * 100$	6,7	Colls <i>et al.</i> , 1992.
Erwt	$R = -12,6 + 0,451 * O_3$	3,1	Skärby & Jönsson, 1988
Gerst	$R = \{ 1,00 - [22,778 - (0,0725 * O_3)] / [22,778 - (0,0725 * 25)] \} * 100$	3,4	Adaros <i>et al.</i> , 1991a
Grasland	$R = \{ 1,00 - [2821 - (5,72 * O_3)] / [2821 - (5,72 * 25)] \} * 100$	2,1	Fuhrer <i>et al.</i> , 1994
Komkommer	$R = -5,13 + 0,186 * O_3$	1,4	Linzon <i>et al.</i> , 1984
Koolzaad	$R = \{ 1,00 - [6,3419 - (0,0089 * O_3)^{2,50}] / [6,3419 - (0,0089 * 25)]^{2,50} \} * 100$	3,6	Adaros <i>et al.</i> , 1991b
Luzerne	$R = \{ 1,00 - [3139 - (10,963 * O_3)] / [3139 - (10,963 * 25)] \} * 100$	3,8	Temple <i>et al.</i> , 1987
Maïs	$R = \{ 1 - \exp [-(0,955 * 10^3 * O_3 / 0,16)^{3,709}] / \exp [-(0,955 * 10^3 * 25 / 0,16)^{3,709}] \} * 100$	0,2	Kress & Miller, 1985
Suikerbiet	$R = 0$; geen opbrengstreductie verwacht bij heersende niveaus	0,0	uit Olszyk <i>et al.</i> , 1988
Tarwe	$R = \{ 1,00 - [100 + 0,0797 * O_3 - 0,0074 * (O_3)^2] / [100 + 0,0797 * 25 - 0,0074 * (25)^2] \} * 100$	3,7	Skärby <i>et al.</i> , 1992.
Tomaat	$R = \{ 1,00 - \exp [-(0,955 * 10^3 * O_3 / 0,142)^{3,807}] / \exp [-(0,955 * 10^3 * 25 / 0,142)^{3,807}] \} * 100$	0,3	Heck <i>et al.</i> , 1984
Ui	$R = \{ 1,00 - [5034 - (10,941 * O_3)] / [5034 - (10,941 * 25)] \} * 100$	2,3	Temple <i>et al.</i> , 1990

¹ waarin R is opbrengstreductie (%) en O₃ is het 12-uurs daggemiddelde voor het groeiseizoen (ppb)

² berekende opbrengstreductie voor een landelijk groeiseizoensgemiddelde van 34,9 ppb

3.2. Fluoriden

Fluoride-houdende luchtverontreiniging kan in relatief lage concentraties diverse soorten van effecten veroorzaken: bladbeschadiging en groeireductie bij gevoelige plantensoorten, en vergiftiging (fluorosis) bij vee door consumptie van gewassen met een te hoog gehalte aan fluoriden. In Nederland komen op lokale schaal fluoride-vergiftiging bij vee en beschadiging van gevoelige gewassen nog steeds voor. Fluoriden behoren tot de primaire luchtverontreinigingscomponenten en worden door een groot aantal bronnen geëmitteerd zoals chemie, basismetaal, afvalverbranders, energiecentrales en keramische industrie. De jaargemiddelde concentraties van fluoriden variëren van 0,03 tot 0,12 $\mu\text{g m}^{-3}$, afhankelijk van de provincie (Tabel 4). In provincies met grote lokale bronnen is een detaillering aangebracht op basis van het percentage oppervlak van de provincie.

Tabel 4. Jaargemiddelde concentratie van F ($\mu\text{g m}^{-3}$) per provincie. Voor een aantal provincies is de ruimtelijke overschrijding van bepaalde jaargemiddelde niveaus aangegeven.

Provincie	Gemiddelde	Ruimtelijke overschrijding				
		30%	20%	10%	5%	2%
Groningen	0,06		$\geq 0,10$			
Friesland	0,03					
Drenthe	0,04					
Overijssel	0,05					
Flevoland	0,05					
Gelderland	0,08			$\geq 0,13$		$\geq 0,16$
Utrecht	0,07					
Noord-Holland	0,03					
Zuid-Holland	0,07					
Zeeland	0,12		$\geq 0,15$			
Noord-Brabant	0,09					
Limburg	0,12	$\geq 0,14$			$\geq 0,17$	

Om de jaargemiddelde waarden te toetsen aan de grenswaarden, zijn deze omgerekend naar maandgemiddelde waarden (zie Van Alfen & Van der Eerden, 1996). De oppervlakte waarbinnen de grenswaarden voor fluoriden werden overschreden, is vervolgens per provincie geschat en de resultaten zijn in Tabel 5 weergegeven. Alleen in gebieden in Noord-Brabant en Zeeland wordt de grenswaarde voor veevoer overschreden. Behalve in Friesland en Noord-Holland wordt in alle provincies de grenswaarde voor effecten van fluoriden op gewassen in meer of mindere mate overschreden.

De schade met betrekking tot het ongeschikt worden van gras als veevoer is eenvoudig te kwantificeren: 1% van het in Noord-Brabant geproduceerde gras en 6% van dat in Zeeland is volledig ongeschikt voor consumptie. Voor deze fracties geldt dus een opbrengstverlies van 100%.

Tabel 5. Oppervlak (%) per provincie waar de grenswaarden van fluoriden voor effecten op planten en voor de kwaliteit van gras als veevoer worden overschreden.

Provincie	Grenswaarde		Provincie	Grenswaarde	
	Planten	Gras		Planten	Gras
Groningen	13	0	Utrecht	15	0
Friesland	0	0	Noord-Holland	0	0
Drenthe	4	0	Zuid-Holland	15	0
Overijssel	7	0	Zeeland	32	6
Flevoland	7	0	Noord-Brabant	22	1
Gelderland	14	0	Limburg	35	0

Het is bekend dat alleen zeer gevoelige cultivars van bepaalde gevoelige gewassen kunnen worden beschadigd bij overschrijding van de effectgrenswaarde voor fluoriden. Dit betreft de volgende gewassen: appel (0,1), peer (0,1), eik (0,1), tulp (0,3), lelie (0,2), narcis (0,1), fresia (0,3), overig hardhout (0,1), bos- en haagplanten (0,1), sierconiferen (0,1), overige vruchtbomen (0,1), gladiool (0,2), hyacint (0,2) en lelie onder glas (0,2). Tussen haakjes is de geschatte fractie van de gevoelige cultivars binnen één gewas weergegeven. De grootte van de schade hangt af van de mate waarin de effectgrenswaarde wordt overschreden, en van het groeiseizoen gedurende welke deze overschrijding plaatsvindt. Direct bruikbare schade-relaties zijn niet beschikbaar en de representativiteit van de relaties die in een eerdere studie werden toegepast (Van der Eerden *et al.*, 1986), staat ter discussie. Daarom is besloten slechts een ruwe schatting te maken van het productieverlies voor deze gewassen als gevolg van blootstelling aan fluoriden. Aangenomen wordt dat bij overschrijding van de effectgrenswaarde een productieverlies optreedt van 25%. De opbrengstreductie door fluoriden per gewas en per provincie kan dan berekend worden met:

$$R = 0,75 * f_1 * f_2 * 100$$

waarin R = opbrengstreductie (%), f_1 = fractie van gevoelige cultivars binnen een gewas en f_2 = fractie van de provincie waar de effectgrenswaarde wordt overschreden (Tabel 5).

3.3. Zwaveldioxide en stikstofoxiden

Op basis van experimenten met *Poa pratensis* (Whitmore, 1985) is een effectgrenswaarde van 1,244 ppm.dag voor de combinatie van SO_2 + NO_x vastgesteld, berekend over een aaneengesloten periode van 100 dagen (Van der Eerden *et al.*, 1997). In Tabel 6 zijn de berekende blootstellingsniveaus vermeld voor zowel de winterperiode (vanaf 1 januari) als de zomerperiode (vanaf 1 mei). In de winter van het referentiejaar werd in alle provincies de effectgrenswaarde overschreden terwijl in de zomer deze overschrijding vooral plaatsvond in de zuidelijke provincies. In de wintermaanden zal de effectgrenswaarde ook na een forse reductie van de concentraties nog steeds in alle provincies worden overschreden, maar in de zomer alleen nog in Noord-Brabant en Limburg. Ten opzichte van het referentiejaar zal bij het hoge scenario in de zomer ook het blootstellingsniveau in Overijssel hoger zijn de grenswaarde.

Tabel 6. Blootstellingsniveaus (ppm.dag) per provincie van SO₂+NO_x berekend voor een periode van 100 dagen in de winter en in de zomer. Gegevens zijn vermeld voor het referentiejaar en voor twee scenario's.

Provincie	Referentie	Scenario, laag ^a	Scenario, hoog ^b
Winter			
Groningen	1,640	1,259	1,987
Friesland	1,677	1,287	2,030
Drenthe	1,823	1,401	2,205
Overijssel	2,489	1,911	3,014
Flevoland	2,470	1,906	2,971
Gelderland	3,085	2,380	3,713
Utrecht	3,739	2,890	4,491
Noord-Holland	2,418	1,818	2,999
Zuid-Holland	3,798	2,930	4,571
Zeeland	2,896	2,191	3,566
Noord-Brabant	3,348	2,596	4,006
Limburg	3,931	3,061	4,679
Zomer			
Groningen	0,747	0,571	0,910
Friesland	0,668	0,502	0,828
Drenthe	0,871	0,664	1,063
Overijssel	1,121	0,847	1,382
Flevoland	0,949	0,716	1,171
Gelderland	1,361	1,027	1,682
Utrecht	1,562	1,182	1,922
Noord-Holland	0,896	0,655	1,146
Zuid-Holland	1,514	1,142	1,870
Zeeland	1,419	1,013	1,862
Noord-Brabant	1,831	1,399	2,231
Limburg	1,823	1,386	2,233

^a Scenario, laag: SO₂ naar 40% van referentiejaar en NO_x naar 80%.

^b Scenario, hoog: SO₂ naar 190% van referentiejaar en NO_x naar 115%.

Voor berekening van het opbrengstverlies bij *Poa pratensis* kon in geval van overschrijding van de effectgrenswaarde uit de gegevens van Whitmore (1985) de volgende schade-relatie worden afgeleid:

$$R_{pp} = 100 - 134.3 \exp[-23,7(SO_2^* + NO_x^*)]$$

waarin R_{pp} = opbrengstreductie (%) bij *Poa pratensis* en $SO_2^* + NO_x^*$ = de gemiddelde concentratie (ppm) van deze componenten voor een periode van 100 dagen.

De mate van oogstreductie is behalve van het blootstellingsniveau ook afhankelijk van de gevoeligheid van het gewas en van het seizoen gedurende welke de blootstelling plaatsvindt. De relatieve gevoeligheid van gewassen voor SO_2+NO_x is geschat ten opzichte van die van *Poa pratensis* conform Van der Eerden *et al.* (1986). Vervolgens is nog per gewas gecorrigeerd voor het seizoen op basis van het productieaandeel dat 's winters en dat wat 's zomers wordt bereikt. Deze nadere correcties zijn vertaald in een 'impact-index' voor enkele gevoelige gewassen (Tabel 7). De overige gewassen worden geacht niet te reageren bij de heersende niveaus. Bij de berekeningen van economische schade voor gevoelige gewassen wordt de opbrengstreductie (R_{pp}) vermenigvuldigd met de 'impact-index'.

Tabel 7. Impact indices voor het kwantificeren van het effect van SO_2+NO_x op de opbrengst van verschillende gewassen in de zomer en in de winter.

Gewas	Zomer	Winter	Gewas	Zomer	Winter
Aardappel	0,30		Grasland	0,27	0,03
Bloementeelt	0,10	0,10	Kool	0,30	0,03
Boomteelt	0,09	0,01	Komkommer	0,30	0,30
Fruit	0,24	0,03	Peulvruchten	0,50	
Graan	0,70				

4. Berekeningsmethodiek van prijs- en welvaartseffecten

4.1. Inleiding

Luchtverontreiniging beïnvloedt de fysieke opbrengsten van akker- en tuinbouwgewassen. Deze opbrengstveranderingen beïnvloeden de inkomsten van agrarische ondernemers. De totale productie is afhankelijk van het areaal en de productie per hectare. Het areaal wordt in deze studie exogeen bepaald en de productie per hectare is afhankelijk van de concentratie van verontreinigende stoffen en de invloed hiervan op de opbrengst. Deze veronderstelling werd ook toegepast in studies naar de effecten van variaties in ozonniveau op de graanproductie (Point, 1994) en is voor veel land- en tuinbouwproducten op korte termijn realistisch. Bijgevolg wordt het aanbod in de analyse volkomen prijsinelastisch verondersteld. Op lange termijn mag echter een verandering van het aanbod worden verwacht op basis van prijsveranderingen.

In deze studie worden de prijs- en welvaartseffecten van luchtverontreiniging voor akker- en tuinbouwgewassen bepaald, verder ook aangeduid als economische schade. Deze schade is afhankelijk van de volgende factoren:

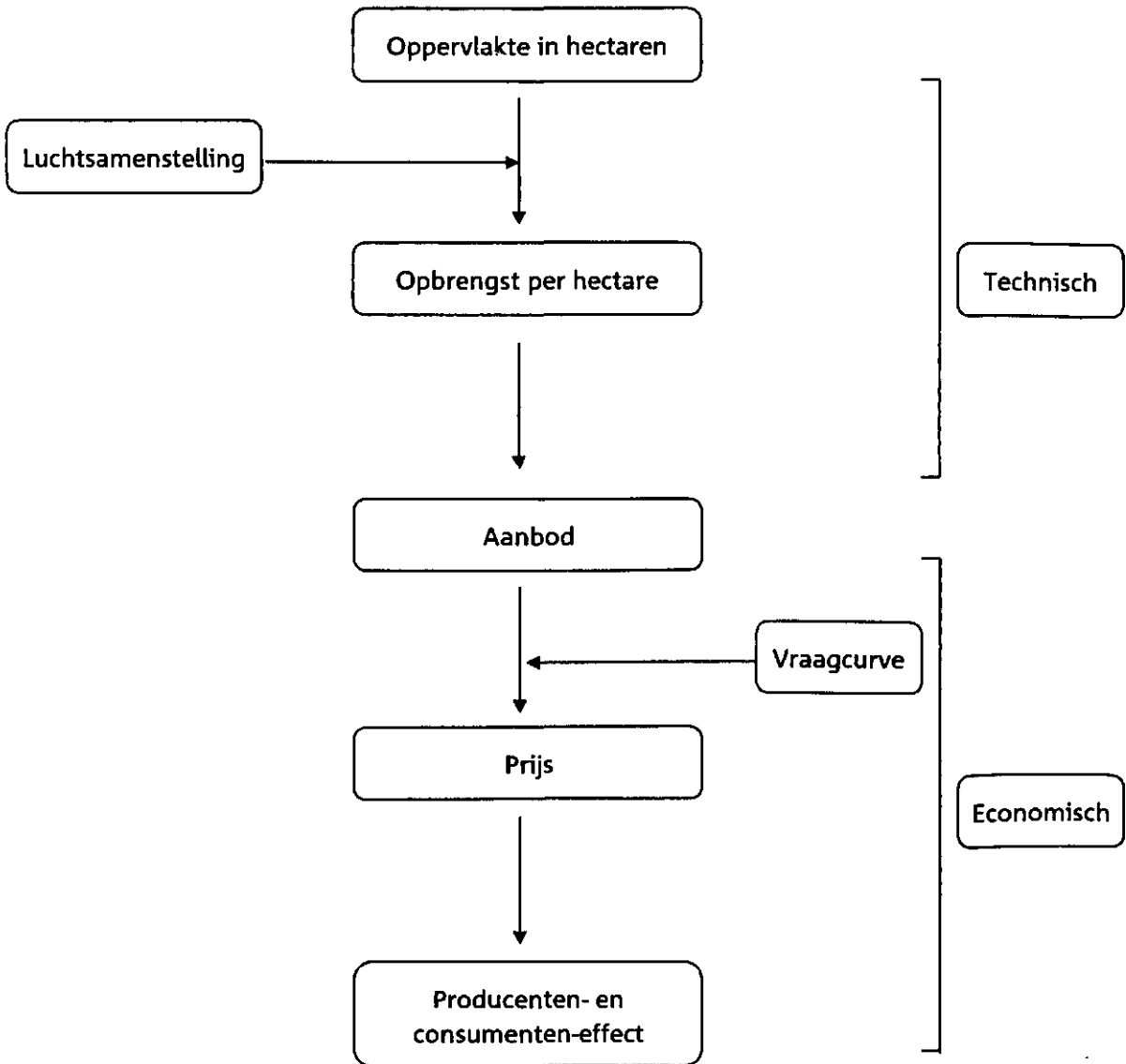
1. De veranderingen in de fysieke opbrengsten. De veranderingen in het aanbod worden bepaald door de veranderingen in de luchtsamenstelling. De blootstelling-effectrelaties (Hoofdstuk 3) geven aan in welke mate deze veranderingen optreden. Het areaal wordt als gegeven beschouwd.
2. De veranderingen in prijzen als gevolg van de veranderingen van het aanbod. De prijseffecten worden bepaald aan de hand van inverse vraagvergelijkingen. Deze vergelijkingen zijn opnieuw geschat. De welvaartseffecten worden gemeten aan de hand van het producenten- en het consumentensurplus. Het berekende consumentensurplus heeft hierbij betrekking op de directe afnemer en niet op de finale consument aangezien deze laatste slechts in een beperkt aantal gevallen de gewassen direct afneemt.

Schematisch is de analyse weergegeven in Figuur 1.

In dit hoofdstuk wordt eerst ingegaan op de bepaling van de welvaartseffecten. Vervolgens komt de bepaling van vraagvergelijkingen aan de orde.

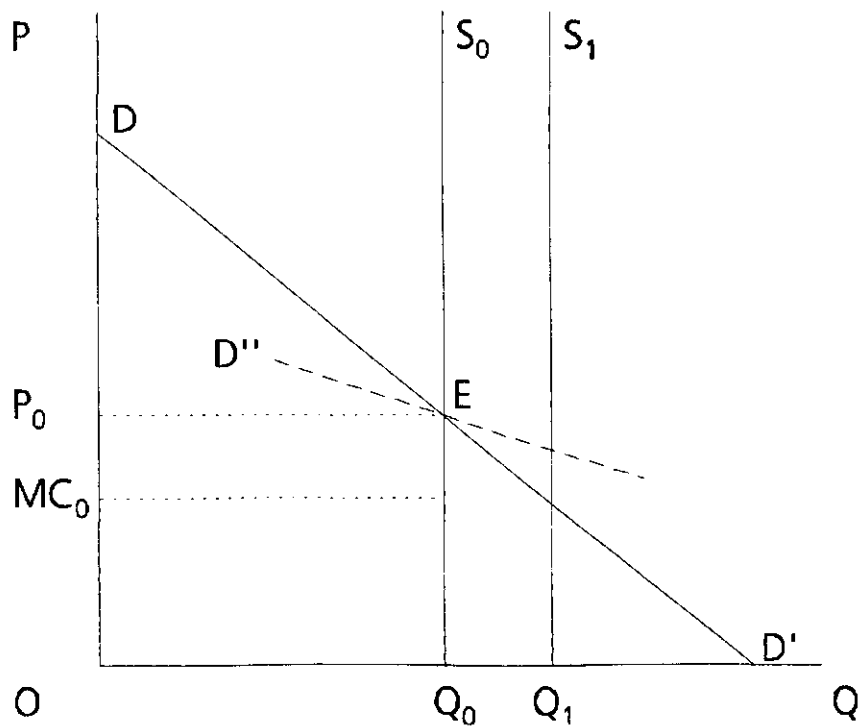
4.2. Welvaartseffecten

De welvaartseffecten worden gemeten aan de hand van het producenten- en het consumentensurplus. Deze effecten worden toegelicht aan de hand van Figuur 2. Omwille van de eenvoud is bij de uitleg gekozen voor een lineaire weergave van de vraagcurve. Voor de schattingen is gekozen voor de loglineaire vorm van de vraagcurve. Deze keuze wordt hierna verder uitgewerkt. De vraag naar een product wordt weergegeven door de lijn DD' , het aanbod door de lijn S_0 . De prijsinelasticiteit van het aanbod komt tot uitdrukking in het verticale verloop van de aanbodscurve.

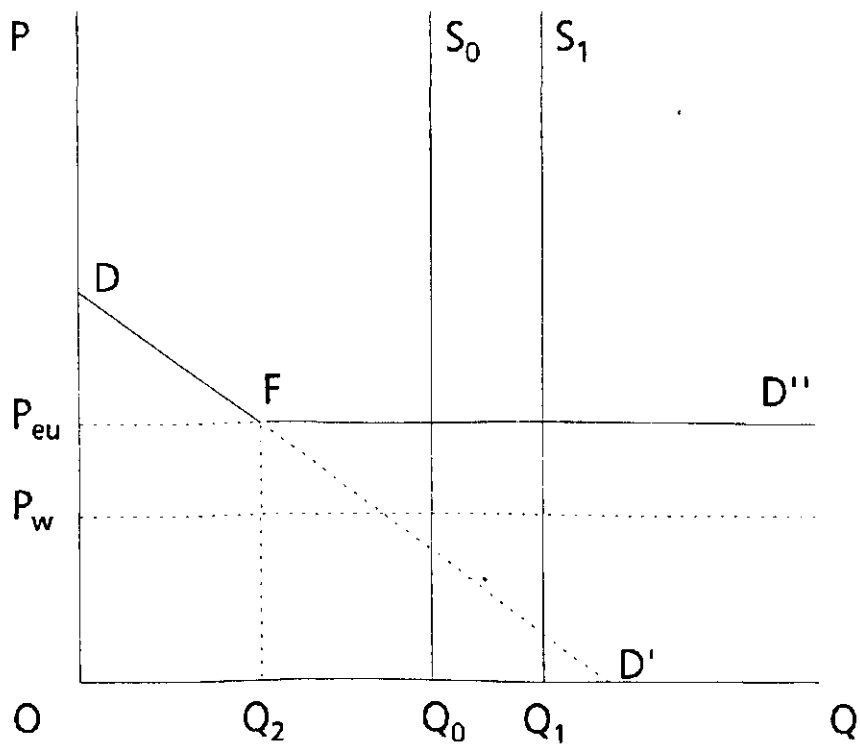


Figuur 1. Schema voor berekening van economische schade door luchtverontreiniging.

In punt E is er evenwicht tussen vraag en aanbod: op een vrije, competitieve markt wordt hoeveelheid Q_0 verkocht tegen prijs P_0 . Het producentensurplus PS is gelijk aan het verschil tussen het bedrag dat de teler voor zijn productie ontvangt en het bedrag dat hij minimaal wil ontvangen. Het bedrag dat hij ontvangt is gelijk aan het product van de telersprijs P_0 en de productie Q_0 . Het bedrag dat de teler minimaal wil ontvangen, is gelijk aan de variabele kosten die hij maakt ten behoeve van de productie. Dit bedrag is gelijk aan het gebied beneden de marginale kostencurve, ter hoogte van MC_0 . Indien van deze kostencurve uitgegaan wordt, zijn de variabele kosten $MC_0 Q_0$. Het producentensurplus is dan gelijk aan $(P_0 - MC_0) Q_0$. In de onderliggende analyse wordt echter verondersteld dat de inzet van inputs niet gerelateerd is aan de productie per hectare. De productiekosten zijn alle vast in plaats van variabel. Dit betekent dat de marginale kosten gelijk zijn aan nul. Het producentensurplus PS is dan ook gelijk aan de omzet van de teler: $PS = P_0 Q_0$.



Figuur 2. Bepaling van de welvaartseconomische effecten (voor toelichting zie tekst).



Figuur 3. Berekening van economische effecten voor marktorderingsgewassen.

Het welvaartseffect voor de consument wordt gemeten aan de hand van het consumentensurplus. Dit surplus geeft het verschil aan tussen het bedrag dat consumenten voor een bepaalde hoeveelheid bereid zijn te betalen en het bedrag dat zij werkelijk betalen. Voor Q_0 zijn consumenten bereid DEQ_0O te betalen. Zij betalen slechts P_0EQ_0O en houden dus een surplus van DEP_0O over. De verandering in het consumentensurplus is afhankelijk van de prijselasticiteit. Dit kan aan de hand van de figuur geïllustreerd worden. Neem Q_0 en P_0 als startpunt en veronderstel dat het aanbod toeneemt van Q_0 naar Q_1 . Het consumentensurplus neemt meer toe naarmate de absolute waarde van de prijselasticiteit kleiner is (Stiglitz, 1988). Vergelijk hiertoe de toename van het surplus aan de hand van de vraagcurve DD' en de meer elastische alternatieve vraagcurve D'' , de doorbroken lijn door E.

Voor de bepaling van de economische effecten van de opbrengstveranderingen is de prijsvorming van belang. Drie mogelijkheden worden onderscheiden:

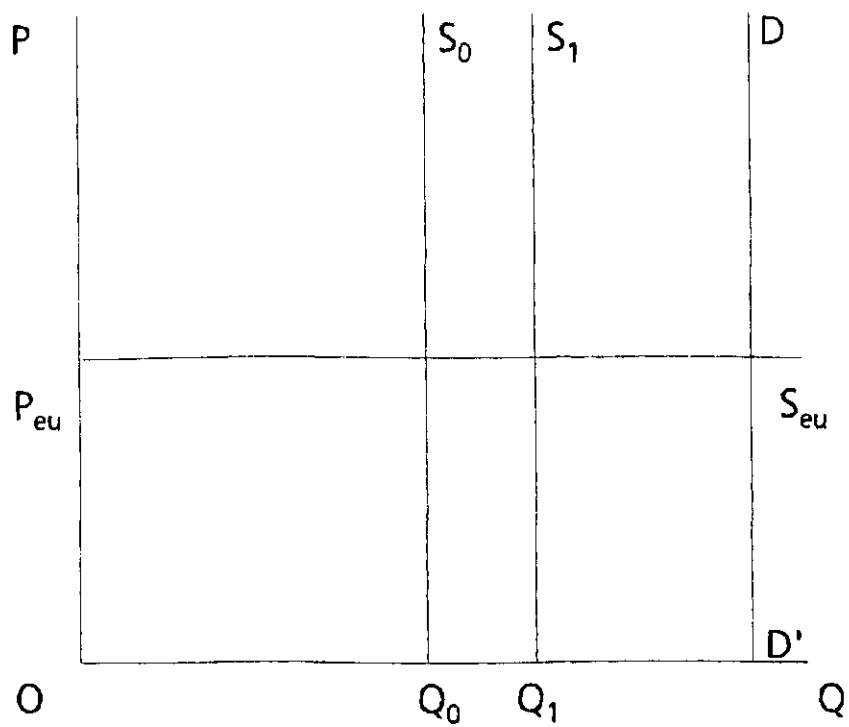
In Figuur 3 zijn de veranderingen in het producentensurplus uitgewerkt voor de marktordeningproducten. De inkomens van de Nederlandse akkerbouwers van marktordeningproducten hangen af van de wijze waarop aan het Europese landbouwbeleid gestalte wordt gegeven. Bij de analyse wordt uitgegaan van het beleid voor wintertarwe en fabrieksaardappelen. Voor suikerbieten geldt een meer complexe regeling. Dit neemt niet weg dat de analyse in grote lijnen van toepassing blijft. Het landbouwbeleid heeft ook een welvaartseffect voor de Europese belastingbetaler. Dit wordt in de analyse meegenomen.

In Figuur 4 komen de veevoedergewassen aan de orde. De prijs van de eigen veevoedergewassen hangt in sterke mate af van de prijsvorming van aan te kopen veevoerders. Deze laatste hangen weer samen met het marktordeningbeleid.

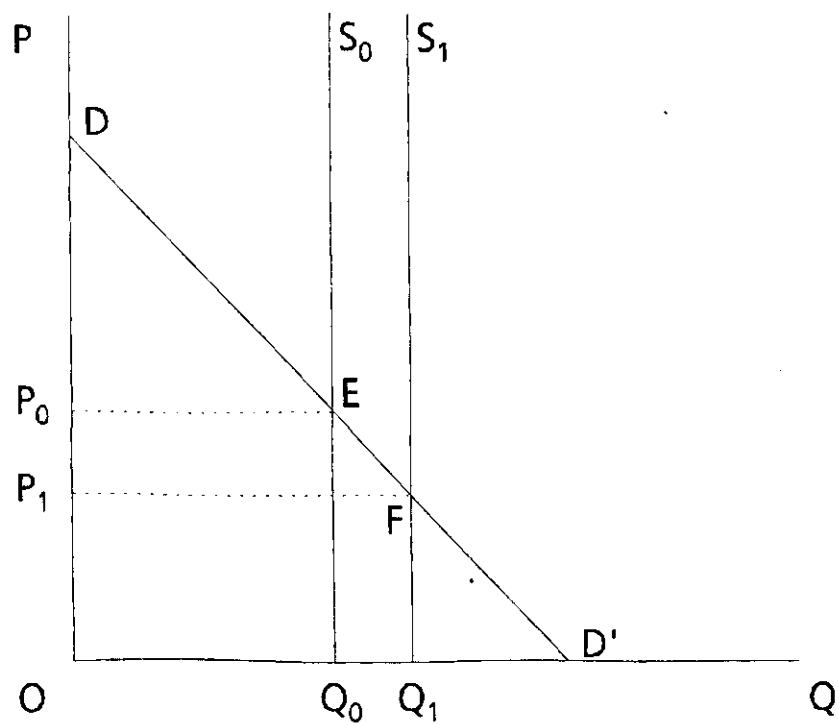
In het geval van vrije gewassen (prijsvorming is niet onderhevig aan overheidsingrijpen) hebben de opbrengstveranderingen tevens invloed op de prijzen en daarmee ook op de vraag en het consumentensurplus. In Figuur 5 zijn om deze reden zowel het aanbod van als de vraag naar vrije gewassen schematisch weergegeven. De prijs die voor deze 'vrije' producten tot stand komt, wordt door de particuliere vraag en het aanbod bepaald. Gegeven de veronderstelling van prijsinelasticiteit van het aanbod, hangt de prijsontwikkeling alleen van de prijselasticiteit van de vraag af. Voor goederen als poot- en consumptieaardappelen is deze elasticiteit (in absolute waarde) naar verwachting kleiner dan 1. Dit betekent dat de vraag procentueel minder afneemt dan de prijs stijgt. Dit betekent eveneens dat een stijging van het aanbod tot een meer dan proportionele prijsdaling leidt. Voor sierteeltproducten in de tuinbouw is de elasticiteit (in absolute waarde) naar verwachting groter dan 1. Een stijging van het aanbod leidt in dit geval tot een minder dan proportionele daling van de prijs.

Voor de afzonderlijke categorieën producten gelden de volgende welvaartseffecten:

1. Aanbod van en vraag naar marktordeningproducten zijn afgebeeld in Figuur 3 (Point, 1994). Het aanbod van marktordeninggewassen stijgt indien de veranderingen in luchtkwaliteit gunstig zijn, in de figuur van S_0 naar S_1 . De marktvaart naar marktordeningproducten wordt weergegeven door DD' . De vraag, zoals deze door de Europese akkerbouw ervaren wordt, wordt beïnvloed door het Europese landbouwbeleid. Door de instelling van minimumprijzen (P_{EU}) is de totale vraag naar akkerbouwproducten DFD'' . Bij $P = P_{EU}$ is de particuliere vraag gelijk aan Q_2 . De overheid neemt het overschot uit de markt tegen de interventieprijs P_{EU} . In de uitgangssituatie bedragen de overheidsuitgaven $P_{EU}(Q_0 - Q_2)$.



Figuur 4. Berekening van economische effecten voor veevoedergewassen.



Figuur 5. Berekening van economische effecten voor de 'vrije' gewassen.

Als het Nederlandse aanbod van akkerbouwproducten toeneemt met $(Q_1 - Q_0)$, dan nemen de inkomens van de Nederlandse akkerbouwers toe met $P_{EU}(Q_1 - Q_0)$. De Europese (en de Nederlandse) consument merkt niets van de toename van het aanbod. De particuliere vraag blijft Q_2 en het consumentensurplus blijft DFP_{EU} . De Europese belastingbetaler draait voor de toename van de productie op. Hij bekostigt het opkopen van de toename van de Nederlandse productie. De kosten hiervan bedragen $P_{EU}(Q_1 - Q_0)$. Indien het additionele aanbod vervolgens buiten de EU geëxporteerd wordt, ontvangt de belastingbetaler $(P_{EU} - P_W)(Q_1 - Q_0)$ terug op de wereldmarkt, waar een gegeven prijs P_W geldt die lager is dan P_{EU} . Het nettoverlies van de Europese belastingbetaler is dan $P_W(Q_1 - Q_0)$. Indien geen uitvoer mogelijk is vanwege GATT-quota, blijft het verlies voor de Europese belastingbetaler gelijk aan $(P_{EU} - P_W)(Q_1 - Q_0)$ (Molle, 1990).

2. De vraag naar veevoedergewassen wordt door de voedselbehoefte van de veestapel bepaald. In Figuur 4 komt dit tot uitdrukking in een prijsinelastische vraagcurve, DD' . In de vraag wordt in eerste instantie zelf voorzien door veevoerders in eigen teelt, waaronder gras en snijmaïs. Het aanbod van deze gewassen is afhankelijk van het bebouwde areaal. Dit areaal en het resulterende aanbod worden constant verondersteld, in de figuur S_0 . In de restvraag wordt voorzien door aankoop op de Europese markt voor veevoedergewassen. De prijzen van deze gewassen zijn afhankelijk van de prijzen van graanproducten, en dus van het Europese landbouwbeleid. De Nederlandse akkerbouw is prijznemer op de Europese markt voor veevoedergewassen. Het Europese marktaanbod, $P_{EU}S_{EU}$, is volkomen prijselastisch. Dit komt in de figuur in een horizontale aanbodscurve tot uitdrukking. Indien de zelfvoorziening S_0 bedraagt, is de marktwaarde van de eigen teelt $P_{EU}Q_0$. De marktwaarde van de restvraag is $P_{EU}(Q^* - Q_0)$. Indien de zelfvoorziening toeneemt van S_0 naar S_1 als gevolg van verbetering van de luchtkwaliteit, neemt de marktwaarde van de zelfvoorziening toe met $P_{EU}(Q_1 - Q_0)$ tot $P_{EU}Q_1$, en die van de restvraag met hetzelfde bedrag af tot $P_{EU}(Q^* - Q_1)$ (Point, 1994). Een toename van de eigen voorziening van veevoedergewassen leidt tot een besparing aan de inkoop van andere veevoerders.
3. Aangezien de markten voor vrije gewassen vrij van overheidsingrijpen in de prijsvorming zijn, wordt de prijs van deze gewassen door marktvaart en -aanbod bepaald. Een verandering van het aanbod leidt dientengevolge tot een verandering van prijs, particuliere vraag en consumentensurplus. De vraag wordt in Figuur 5 afgebeeld door DD' , het aanbod door S_0 . Indien het aanbod toeneemt van S_0 tot S_1 , dan daalt de prijs van P_0 naar P_1 en stijgt de particuliere vraag van Q_0 naar Q_1 . De telers zien hun omzet veranderen van P_0EQ_0O in P_1FQ_1O . Vanwege de prijsdaling neemt de omzet af met $(P_0 - P_1)Q_0$. Daartegenover staat een toename van de omzet met $P_1(Q_1 - Q_0)$ vanwege een stijging van de productie met $(Q_1 - Q_0)$ (Point, 1994). Het hangt van de prijselasticiteit van de vraag af, of de omzet per saldo stijgt dan wel daalt. Indien de absolute waarde van de prijselasticiteit van de vraag groter (kleiner) is dan 1, neemt het inkomen toe (af) bij een prijsdaling. Het consumentensurplus neemt toe van DEP_0 tot DFP_1 .

4.3. Schatting vraagvergelijkingen

Voor de vrije gewassen, met uitzondering van bloembollen en boomteeltproducten, zijn vraagvergelijkingen geschat; voor de marktordeningsproducten en veevoedergewassen niet. De vol-

gende uitgangspunten en veronderstellingen liggen aan de schatting van de vraagvergelijkingen ten grondslag.

Aangezien het aanbod exogeen is in de analyse, is de inverse vraagfunctie geschat in plaats van de vraagfunctie zelf. De algemene gedaante van de inverse vraagfunctie luidt: $P = P(Q)$, waar P de prijs voorstelt en Q de hoeveelheid. De inverse vraagvergelijkingen zijn geschat op basis van productie- en prijsgegevens. De inverse vraag hangt dus niet af van variabelen als het besteedbaar inkomen en de hoeveelheden (of de prijzen) van substituu-producten. Sommige vergelijkingen zijn niet per product maar per productgroep geschat. De reden voor aggregatie is gelegen in de grote mate van substitutie tussen producten binnen een productgroep. Als de substitutie-effecten binnen een productgroep niet worden meegenomen, resulteert dit in een overschatting van het geaggregeerde prijseffect als de inverse vraagfuncties apart geschat worden. Dit kan opgelost worden door de substituten in de inverse vraagvergelijkingen op te nemen of door de producten te aggregeren tot productgroepen en de inverse vraag voor deze groepen te schatten. In dit onderzoek wordt gekozen voor het samenstellen van geaggregeerde productgroepen waarbinnen een grote mate van substitutie plaatsvindt en waartussen nauwelijks substitutie plaatsvindt. Deze benadering is eenvoudiger, met name gezien de doelstelling van het onderzoek: de bepaling van de geaggregeerde welvaartseffecten.

In sommige vergelijkingen zijn dummy-variabelen opgenomen om rekening te houden met de effecten van schokken in de markt zoals de toetreding van belangrijke concurrerende aanbieders (Spanje) tot de EU in 1986 en de Duitse eenwording die na de val van de Berlijnse muur in 1989 haar beslag kreeg. In deze vergelijkingen verandert de algemene gedaante van de vraagvergelijkingen in:

$$P = P(Q, \delta)$$

waar δ één of twee dummy's symboliseert. Het aanbod in een bepaalde periode wordt in deze studie exogeen bepaald en is dus niet afhankelijk van de prijs in die periode. Indien deze veronderstelling opgaat, doet zich geen identificatieprobleem in verband met simultaneïteit voor.

De vraagvergelijkingen zijn geschat op basis van Nederlandse productiegegevens. Er wordt uitgegaan van heterogeniteit tussen Nederlandse en buitenlandse producten. De vraag naar Nederlandse tomaten is dus onafhankelijk van de afzet van Spaanse tomaten. Deze aanname kan tot een over- of onderschatting van het prijseffect leiden, indien de prijs eigenlijk afhankelijk is van schommelingen in het internationale in plaats van het Nederlandse aanbod. Soortgelijke schattingen van de relatie tussen de EU-productie (EU-vraag) en de producentenprijzen hebben echter geen significante resultaten opgeleverd. Het consumentensurplus wordt bepaald aan de hand van de totale vraag naar Nederlandse producten. Het betreft dus het surplus van Nederlandse en buitenlandse consumenten.

In de analyse is gekozen voor een vraagfunctie met constante prijselasticiteit. Deze functie heeft de volgende voordelen:

- de resultaten van de schattingen zijn eenvoudig te interpreteren, aangezien de elasticiteit constant wordt verondersteld en in de loglineaire gedaante van de vergelijking overeenkomt met de geschatte coëfficiënt;
- prijsveranderingen blijven beperkt; in het bijzonder geldt dat de functie geen negatieve prijzen kan genereren, in tegenstelling tot de lineaire vergelijking;

- deze keuze maakt het mogelijk om de resultaten te vergelijken met die uit voorgaande studies waarin veelal voor hetzelfde functionele verband is gekozen.

4.4. Afleiding consumenten- en producentensurplus

De volgende inverse vraagvergelijking is geschat: $P = AQ^\beta$. Het totale consumentensurplus CS is gelijk aan het gebied onder de inverse vraagcurve minus het aankoopbedrag:

$$CS = \int_0^Q (AQ^\beta) - PQ = \left[\frac{A}{(\beta+1)} Q^{\beta+1} \right]_0^Q - PQ = \frac{A}{(\beta+1)} Q^{\beta+1} - PQ$$

$$-1 < \beta < 0$$

Voor $\beta < -1$, is er geen oplossing voor de integraal. Er is wel een oplossing voor de verandering in het consumentensurplus ΔCS :

$$\Delta CS = \int_0^{Q_1} (AQ^\beta) - PQ_1 - \int_0^{Q_0} (AQ^\beta) + PQ_0 =$$

$$\Delta CS = \frac{A}{(\beta+1)} Q_1^{\beta+1} - PQ_1 - \frac{A}{(\beta+1)} Q_0^{\beta+1} + PQ_0 \quad \beta \neq -1$$

Het producentensurplus PS is simpelweg gelijk aan PQ. De verandering in het producentensurplus is te berekenen als het verschil van de surplussen in de twee periodes. Het totale welvaartseffect $\Delta \Sigma$ is gelijk aan de som van de verandering van het consumenten- en het producentensurplus: $\Delta \Sigma = \Delta CS + \Delta PS$. Merk op dat de verandering in het consumentensurplus gelijk is aan nul voor de marktordeningsgewassen en de veervoedergewassen, aangezien de prijs voor deze producten exogeen wordt bepaald.

Bloembollen en boomteeltproducten

Van bloembollen en boomteeltproducten zijn geen prijzen bekend. Daarnaast zijn van boomteeltproducten ook geen gegevens beschikbaar met betrekking tot de productie. Het feit dat boomteeltproducten in verschillende stadia afgeleverd kunnen worden compliceert de zaak nog meer. Wel zijn er gegevens over de omzet voorhanden, of kunnen deze afgeleid worden. Het gevolg hiervan is dat er onvoldoende gegevens voorhanden zijn om de inverse vraagfunctie te schatten, en daarmee het consumentensurplus te bepalen.

Om toch de economische gevolgen van luchtverontreiniging te bepalen is als volgt te werk gegaan.

Per productgroep is op basis van de productkarakteristieken door middel van vergelijking met andere producten een inschatting gemaakt hoe groot de elasticiteit is van de totale vraag naar deze Nederlandse producten. Met behulp van de relaties tussen de concentratie van een luchtvervuilende stof en de fysieke productie, kan de relatieve verandering van de fysieke productie worden vastgesteld. Op basis hiervan kan met behulp van de gekozen elasticiteit van de vraag de relatieve verandering van de prijs bepaald worden. Deze gegevens zijn voldoende om veranderingen van het consumenten- en het producentensurplus te berekenen. Er is hierbij van een lineaire vraagvergelijking uitgegaan.

De elasticiteit van de vraag naar Nederlandse producten wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de relatieve verandering van de gevraagde hoeveelheid en de relatieve verandering van de prijs:

$$E = dQ/dP = ((Q_1 - Q_0) / Q_0) / ((P_1 - P_0) / P_0).$$

De omzet is in de uitgangssituatie P_0Q_0 (zie Figuur 5) Wanneer vermindering van de vervuiling leidt tot een relatieve toename van het aanbod met dQ naar Q_1 , dan verandert de prijs met $dP = dQ/E$ naar P_1 (zie Figuur 5). In de nieuwe situatie wordt de omzet

$$P_1Q_1 = (1+dQ)(1+dP)P_0Q_0.$$

Het producentensurplus wordt dan de nieuwe omzet minus de oude omzet:

$$PS = P_1Q_1 - P_0Q_0.$$

Het consumentensurplus verandert als volgt:

$$CS = -P_0Q_0 dP - p_0Q_0 dQdP / 2.$$

5. Economische effecten van luchtverontreiniging in de gewasteelt

5.1. Inleiding

In dit hoofdstuk worden de effecten voor ozon, fluoriden en het gecombineerde effect van zwaveldioxide en stikstofoxiden op drie niveaus behandeld. Per component wordt allereerst ingegaan op de oogstreducties voor de onderscheiden gewassen. Vervolgens wordt ingegaan op de oogstreducties per provincie en tot slot worden de welvaartseconomische effecten behandeld.

5.2. Ozon

In Tabel 8 is voor een selectie van gewassen een overzicht gegeven van de procentuele opbrengstreducties voor verschillende niveaus van verontreiniging ten opzichte van het referentiejaar. De gekozen gewassen zijn belangrijk in de Nederlandse landbouw en bovendien komen er zowel marktordeningsgewassen als 'vrije' gewassen in voor. De fysieke opbrengst van alle Nederlandse gewassen kan met 2,3% stijgen indien de ozonconcentratie in de lucht teruggebracht wordt tot 70% van het niveau in het referentiejaar. Aardappelen hebben met circa 5% de grootste veranderingen in fysieke opbrengsten. Het niveau van 70% is ongeveer gelijk aan het

Tabel 8. Relatieve opbrengsten voor verschillende gewassen bij verschillende niveaus van ozon (referentiejaar is 100%).

Gewas	Ozonniveau			
	70%	90%	110%	130%
Tarwe	103,6	101,5	98,3	94,4
Pootaardappelen	104,5	101,7	98,3	95,0
Consumptieaardappelen	104,5	101,7	98,3	95,0
Fabrieksaardappelen	104,8	101,7	98,3	94,9
Snijmaïs	100,4	100,2	99,9	99,5
Uien	102,2	100,8	99,2	97,6
Grasland	102,2	100,7	99,3	97,7
Appel	102,9	100,1	98,8	96,3
Chamaecyparis	102,6	101,0	98,7	96,4
Bloembollen	102,7	100,9	98,6	96,2
Tomaat	102,0	101,1	99,8	98,4
Komkommer	101,2	100,6	99,4	98,1
Snijbloemen	102,6	101,0	98,7	96,3
Potplanten	102,6	100,1	98,7	96,3
Alle gewassen	102,3	100,9	99,1	97,2

Tabel 9. Relatieve opbrengsten per provincie voor verschillende gewassen bij een ozonniveau van 70% (referentiejaar is 100%).

Provincie	Tarwe	Consumptie-aardappelen	Uien	Grasland	Tomaat	Snijbloemen
Groningen	103,3	104,3	102,0	101,9	102,5	102,6
Friesland	103,3	104,4	102,1	102,0	102,2	102,5
Drenthe	103,8	105,2	102,5	102,3	101,9	103,1
Overijssel	103,4	104,7	102,3	102,1	102,7	102,7
Flevoland	103,1	104,1	102,0	101,8	102,4	102,4
Gelderland	104,0	105,1	102,5	102,3	103,0	103,1
Utrecht	104,0	105,2	102,5	102,3	102,4	103,1
Noord-Holland	103,8	104,9	102,4	102,2	102,7	102,7
Zuid-Holland	103,4	104,3	102,1	101,9	101,9	102,5
Zeeland	104,5	105,4	102,6	102,4	103,6	103,6
Noord-Brabant	102,9	103,9	101,9	101,8	101,5	102,2
Limburg	103,3	104,5	102,2	102,0	102,4	102,6
Nederland	103,6	104,5	102,2	102,2	102,0	102,6

achtergrondniveau van ozon. Neemt het ozonniveau met 30% toe, dan daalt de fysieke opbrengst in totaliteit met 2,8%.

In Tabel 9 zijn voor enkele gewassen de relatieve opbrengsten per provincie aangegeven indien de concentratie van ozon tot 70% zou dalen. Tussen de provincies zijn er verschillen in fysieke opbrengstreductie. Voor tarwe, consumptieaardappelen en snijbloemen bedragen deze ongeveer 1%. De verschillen voor uien en grasland zijn kleiner, terwijl het grootste verschil bij tomaten 2% bedraagt. In Noord-Brabant bedraagt de opbrengstverhoging 1,5% en in Zeeland 3,6%. In Zeeland is de ozonconcentratie het hoogste van alle provincies.

In Tabel 10 zijn enkele economische kengetallen aangegeven. Er zijn geen prijsveranderingen bij de marktorderingsgewassen, zoals tarwe en fabrieksaardappelen of de voedergewassen, grasland en snijmaïs. De extra productie komt dan ook volledig ten goede aan de producenten; er is dus sprake van een toename van het producentensurplus. Bij de 'vrije' producten heeft een hogere productie een lagere prijs tot gevolg. Bij aardappelen en uien is de prijsdaling groter dan de extra productie. Dat wil zeggen dat de producenten minder monetaire opbrengsten krijgen, ondanks een hogere fysieke productie. Het producentensurplus is dan ook negatief. Voor de andere gewassen profiteren zowel de producenten als de consumenten, beide groepen hebben een positief surplus. In de meeste gevallen profiteren de consumenten het meest. Potplanten vormt een van de weinige voorbeelden waar de producenten een iets groter profijt heeft.

Tabel 10. Relatieve prijs (in % van referentie jaar) en veranderingen in consumenten- en producenten-surplus in miljoen gulden bij daling van de ozonconcentratie tot 70% van het niveau in het referentiejaar.

Gewas	Prijs (%)	Consumentensurplus	Producentensurplus
Tarwe	100,0	0	13
Pootaardappelen	95,3	25	-2
Consumptieaardappelen	92,8	48	-20
Fabriksaardappelen	100,0	0	15
Snijmaïs	100,0	0	3
Uien	94,7	2	-1
Grasland	100,0	0	63
Appel	97,7	11	2
Chamaecyparis	98,3	8	7
Bloembollen	98,1	23	9
Tomaat	98,4	16	6
Komkommer	99,1	5	1
Snijbloemen	98,2	49	29
Potplanten	98,7	14	20
Alle gewassen	98,7	262	187

De fysieke productie (volume) stijgt met 2,3% indien het ozonniveau daalt tot 70% van dat in het referentiejaar (Tabel 11). De productiewaarde, volume maal prijs, stijgt slechts met 1%. Als gevolg van prijseffecten is dus de stijging van de productiewaarde met 1% lager dan die van het productievolume bij een daling van ozon tot circa het achtergrondniveau. Het totale voordeel is voor de consumenten groter dan voor de producenten. In totaal is het voordeel van een reductie van de concentratie tot 70% bijna 450 miljoen gulden, circa 2,3% van de productiewaarde. Bij een toename van de ozon-concentratie boven het referentieniveau is de economische schade groter dan het economisch voordeel bij een procentueel gelijke daling van de ozonconcentratie.

Tabel 11. Volume-index, productiewaarde en producenten- en consumenten-surplus voor verschillende niveaus van ozon.

Variant	Volume-index (%)	Productiewaarde		Verandering (milj. NLG)	
		Milj. NLG	Index (%)	Producenten-surplus	Consumenten-surplus
70%	102,3	19.275	101,0	187	262
90%	100,9	19.167	100,4	79	92
100%	100,0	19.088	100,0	0	0
110%	99,1	19.024	99,7	-64	-129
120%	98,2	18.946	99,3	-142	-244
130%	97,3	18.863	98,8	-225	-362

5.3. Fluoriden

In enkele provincies komen fluoriden in fytotoxische niveaus voor. Tot de gevoelige gewassen worden gerekend grasland en een aantal 'vrije markt' gewassen zoals fruit, bloem- en boomkwekerijgewassen. De economische schade komt voor de helft voor rekening van gras. In vergelijking tot ozon hebben fluoriden een beperkte invloed op de plantaardige productie (Tabel 12). De economische schade is met 12 miljoen gulden marginaal en bedraagt minder dan 0,1% van de productiewaarde. Een verdere uitsplitsing naar gewassen en provincies is daarom niet gemaakt.

Tabel 12. Volume-index, productiewaarde en producenten- en consumenten-surplus voor het huidige niveau van HF en voor een 0% variant waarbij geen schade optreedt.

Variant	Volume-index (%)	Productiewaarde		Verandering (milj. NLG)	
		Milj. NLG	Index (%)	Producenten-surplus	Consumenten-surplus
0%				8	4
100%	100,0	19.088	100,0	0	0

5.4. Zwaveldioxide en stikstofoxiden

Concentraties van SO_2 en NO_x zijn in de wintermaanden in heel Nederland en in de zomermaanden in enkele provincies te hoog. Voor het huidige niveau van luchtverontreiniging is de schade berekend en vervolgens zijn de consequenties vastgesteld van een lage en een hoge variant. De gevoeligheid van de gewassen verschilt zeer sterk (Tabel 13). Aardappelen, gras en boomteelt hebben relatief lage schades. Komkommer en snijmaïs hebben relatief grote schades. Overigens zijn er veel gewassen waarvoor geen relaties bekend zijn. In deze studie is ervan uitgegaan dat die ongevoelig zijn en dus niet reageren bij de verschillende varianten voor SO_2 en NO_x .

De verschillen in oogstreducties per provincie zijn vrij groot (Tabel 14). In het algemeen zijn de oogstreducties in de noordelijke provincies laag en in de zuidelijke industriële provincies aanzienlijk hoger. Het verschil in oogstreductie bij komkommers in Noord-Holland en Limburg bedraagt meer dan 10%. De verschillen bij andere gewassen zijn minder groot maar desalniettemin nog aanzienlijk. Deze verschillen kunnen dus duidelijk een rol spelen bij de vestiging van de glastuinbouw.

De verandering in prijzen en de voordelen voor afnemers en producenten geven relatief hetzelfde beeld als de effecten bij ozon. Voor de marktordenings- en voedergewassen veranderen de prijzen niet en hebben de producenten vooral voordeel. Bij consumptieaardappelen onder vinden de producenten een nadeel. Bij de andere gewassen hebben de afnemers een groter voordeel dan de producent, indien de lucht schoner wordt (Tabel 15).

Tabel 13. Relatieve opbrengsten voor verschillende gewassen bij twee varianten voor zwaveldioxide en stikstofoxiden (referentiejaar is 100%).

Gewas	Variant ^a	
	Laag	Hoog
Tarwe	102,4	96,5
Pootaardappelen	100,2	99,6
Consumptieaardappelen	101,3	98,3
Fabrieksaardappelen	100,0	99,8
Snijmaïs	103,4	95,9
Grasland	101,1	98,6
Appel	101,5	98,1
Boomteelt	100,7	99,3
Komkommer	106,4	94,5
Snijbloemen	101,7	98,4

^a Laag: SO₂ naar 40% van referentiejaar en NO_x naar 80% en hoog: SO₂ naar 190% van referentiejaar en NO_x naar 115%.

Tabel 14. Relatieve opbrengsten per provincie voor verschillende gewassen bij de lage variant voor zwaveldioxide en stikstofoxiden (referentiejaar is 100%).

Provincie	Tarwe	Consumptie- aardappelen	Grasland	Komkommer	Snijbloemen
Groningen	100,0	100,0	100,3	102,7	100,9
Friesland	100,0	100,0	100,3	102,9	101,0
Drenthe	100,0	100,0	100,4	103,8	101,3
Overijssel	100,0	100,0	100,8	107,7	102,6
Flevoland	100,0	100,0	100,8	107,6	102,5
Gelderland	101,9	100,8	101,8	111,4	103,8
Utrecht	105,1	102,2	103,3	115,6	105,2
Noord-Holland	100,0	100,0	100,7	107,3	102,4
Zuid-Holland	104,3	101,9	103,0	115,5	105,2
Zeeland	102,8	101,2	102,1	110,9	103,6
Noord-Brabant	109,1	103,9	104,7	115,7	105,2
Limburg	109,0	103,8	104,9	118,0	106,0
Nederland	102,4	101,3	101,1	106,4	101,7

Tabel 15. Relatieve prijs (in% van referentie jaar) en veranderingen in consumenten- en producentensurplus in miljoen gulden voor de lage variant van zwaveldioxide en stikstofoxiden.

Gewas	Prijs (%)	Consumentensurplus	Producentensurplus
Tarwe	100,0	0	8
Pootaardappelen	99,7	1	0
Consumptieaardappelen	97,7	15	-6
Snijmaïs	100,0	0	25
Grasland	100,0	0	34
Appel	98,8	6	1
Komkommer	95,3	24	7
Snijbloemen	98,8	32	19

De grootste economische schade als gevolg van de hoge concentraties van SO₂ en NO_x wordt gevonden bij snijmaïs, gras, komkommer en snijbloemen en snijmaïs. Het nadeel voor de producenten is groter dan voor de consumenten (Tabel 16).

Tabel 16. Volume-index, productiewaarde en producenten- en consumentensurplus voor verschillende niveaus van zwaveldioxide en stikstofoxiden.

Variant	Volume-index (%)	Productiewaarde		Verandering (milj. NLG)	
		Milj. NLG	Index (%)	Producentensurplus	Consumentensurplus
Laag				96	90
100%	100,0	19.088	100,0	0	0
Hoog				-104	-91

6. Evaluatie

In deze studie is het directe effect van luchtverontreiniging op fysieke en monetaire opbrengsten in de gewasteelt in Nederland vastgesteld zodanig dat de economische gevolgen konden worden berekend van verschillende varianten van de luchtkwaliteit. Alleen de concentraties van ozon, fluoriden en de combinatie van zwaveldioxide en stikstofoxiden zijn hoog genoeg om de productie van gewassen negatief te beïnvloeden en om, in het geval van fluoriden, de voederkwaliteit van gras te verminderen. Andere mogelijke effecten van luchtverontreiniging op de kwaliteit van producten en op bijvoorbeeld de gevoeligheid voor vorst, droogte, ziekten en plagen zijn buiten beschouwing gebleven en de economische gevolgen hiervan zijn dus niet gekwantificeerd. Dit resulteert in een onderschatting van het werkelijke effect van luchtverontreiniging op de gewasproductie maar de grootte daarvan is onbekend.

De eerste stap voor het vaststellen van de schade betrof de formulering van de relaties tussen blootstelling aan de relevante componenten enerzijds en de opbrengstreductie per gewas anderzijds. De belangrijkste oorzaak van onzekerheid over het uiteindelijke resultaat is vooral gelegen in de geringe beschikbaarheid van deze relaties en in de gebrekkige kennis over de representativiteit ervan. In een aantal gevallen waarvoor geen relaties beschreven waren, zijn deze geschat op basis van 'expert judgement'. Er is bijvoorbeeld onvoldoende informatie over de relatieve gevoeligheid van veel gewassen voor luchtverontreiniging in termen van groei en opbrengst. Vanwege het belang van uitwendige omstandigheden voor de reactie van gewassen op luchtverontreiniging verdient in dit verband de gevoeligheid van gewassen onder glas nadere aandacht. Gewassen die geteeld worden onder glas, worden geacht gevoeliger te zijn dan gewassen die in de volle grond worden geteeld. Daarentegen zullen de blootstellingsniveaus van de verschillende componenten lager zijn in kassen dan daarbuiten. Aangezien kwantitatieve informatie nauwelijks beschikbaar is, werd er bij de berekeningen vanuit gegaan dat ten opzichte van de situatie buiten de kas de lagere blootstellingsniveaus in kassen werden gecompenseerd door de grotere gevoeligheid van de gewassen.

In relatieve zin is over het effect van ozon op de productie het meeste bekend maar ook voor deze component is geen relatie beschreven voor de reactie van een gewas onder Nederlandse omstandigheden. Aangezien de aard van de informatie waarop de blootstelling-schade relaties werden gebaseerd per component verschilde, dient voorzichtigheid te worden betracht met een vergelijking van het niveau van de gewasschade tussen componenten. Dit geldt te meer daar de varianten waarvoor de economische consequenties zijn berekend, eveneens verschilden voor de drie componenten.

In de economische analyse is van een vast areaal van de gewassen uitgegaan. Indien de luchtverontreiniging in Europa of wereldwijd afneemt, kan deze veronderstelling niet gehandhaafd blijven. Bij een afname van het niveau van luchtverontreiniging zal ook in andere landen de productie toenemen, waardoor nog grotere prijseffecten zullen optreden. Nu is uitsluitend de vraag naar Nederlands product opgenomen. Het gemeenschappelijk landbouwbeleid kan dan eveneens niet meer als exogeen worden verondersteld; de marktordening zal mede om budgettaire redenen aangepast worden aan het toegenomen aanbod. In deze gevallen is een dynamische benadering van het aanbod op zijn plaats aangezien ook het aanbod op prijzen reageert. Dit betekent dat vraag en aanbod dan simultaan moeten worden behandeld.

Volgens de Nationale Milieuverkenning 4 (RIVM, 1997b) zijn er nauwelijks tot geen veranderingen in de ozonniveaus tot 2020 te verwachten. Daarom zijn de consequenties van verschillende ozonvarianten berekend. Het productievolume van de gehele plantaardige productie in Nederland kan met 2,3% stijgen indien de ozonconcentratie in de lucht tot 70% wordt gereduceerd. Dit komt overeen met een winst van bijna 450 miljoen gulden waarbij het voordeel voor de consumenten groter is dan voor de producenten. De relatief grootste effecten zijn waar te nemen bij de aardappel. Bij de 70% variant zijn de ozonniveaus in alle provincies behalve in Zeeland lager dan de drempelwaarde van 25 ppb en dus zijn bij deze variant negatieve effecten van ozon op nationale schaal nagenoeg afwezig. Hieruit kan worden afgeleid dat de schade door ozon in een gemiddelde zomer in Nederland 450 tot 500 miljoen gulden zal bedragen. Dit bedrag komt goed overeen met resultaten van eerdere schattingen (Van der Eerden *et al.*, 1986). Wanneer de concentratie van ozon tot 130% toeneemt ten opzichte van het referentiejaar, dan nemen de kosten toe met circa 590 miljoen gulden. De ozonniveaus van de 130% variant kunnen worden beschouwd als representatief voor een zomer met mooi weer. Indien de concentraties van ozon in een mooie zomer zouden kunnen worden teruggebracht tot het achtergrondniveau, dan zouden de baten naar schatting meer dan één miljard gulden bedragen.

In vergelijking met ozon hebben fluoriden een zeer beperkte invloed op de plantaardige productie en is de economische schade met 12 miljoen gulden slechts marginaal. Concentraties van zwaveldioxide en stikstofdioxide zijn in de wintermaanden in heel Nederland en in de zomermaanden in enkele provincies te hoog. Indien de concentratie van zwaveldioxide tot 40% wordt gereduceerd en dat van stikstofdioxide tot 80% ten opzichte van het referentiejaar, dan worden de baten geschat op 186 miljoen gulden. De positieve effecten doen zich met name voor bij komkommer en snijmais. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de verwachte reducties voor de concentraties van beide componenten in 2010 (Noordijk, 1997) minder ver zullen gaan dan de boven vermelde percentages. Het voordeel van vermindering van de schade door deze combinatie is voor de producenten iets groter dan voor de consumenten; dit in tegenstelling tot de resultaten voor ozon. De berekening van de economische schade voor de combinatie van zwaveldioxide en stikstofdioxide is slechts op één bekende schaderelatie gebaseerd. Vastgesteld moet worden dat deze componenten gezamenlijk een niveau hebben bereikt waarbij behoorlijke schade aan gewassen kan worden verwacht.

7. Conclusies en aanbevelingen

Ozon, fluoriden en de combinatie van zwaveldioxide en stikstofoxiden leiden tot economische schade in de gewasteelt in Nederland.

Een afname van het niveau van ozon tot 70% van dat in een gemiddelde zomer, levert een economische winst op van bijna 450 miljoen gulden. In een gemiddelde zomer bedraagt de schade 450 tot 500 miljoen gulden. In een mooie zomer zijn de ozonniveaus circa 30% hoger dan in een gemiddelde zomer. Indien de verhoogde concentraties in een mooie zomer zouden kunnen worden teruggebracht tot het achtergrondniveau, dan zouden de baten naar schatting meer dan één miljard gulden bedragen.

Negatieve effecten van fluoriden op gewassen treden lokaal op en de economische schade van 12 miljoen gulden is marginaal.

Indien de concentratie van zwaveldioxide sterk wordt gereduceerd tot 40% ten opzichte van het referentiejaar en dat van stikstofoxiden gelijktijdig tot 80%, dan zijn de baten 186 miljoen gulden.

Ozon is de belangrijkste luchtverontreinigingscomponent in relatie tot de gewasproductie in Nederland. Met de nu beschikbare methodiek kan op vrij eenvoudige wijze inzicht worden verkregen in de temporele variatie door de schade voor verschillende jaren door te rekenen.

De formulering van relaties tussen blootstelling aan luchtverontreiniging en de opbrengstproductie bij gewassen vormt de basis voor berekeningen van de economische schade. De kennis over deze relaties is zeer onvolledig. Het verdient aanbeveling om de berekende schade voor enkele gewassen via nader onderzoek te evalueren. Vanwege het economisch belang van gewassen onder glas en de problematiek rond blootstelling en gevoeligheid is het ook raadzaam om de gevoeligheid van enkele kasgewassen voor luchtverontreiniging nader te kwantificeren.

Referenties

- Adaros, G., Weigel, H.J. & Jäger H.-J., 1991a. Concurrent exposure to SO₂ and/or NO₂ alters growth and yield responses of wheat and barley to low concentrations of O₃. *New Phytologist* 118: 581-591.
- Adaros, G., Weigel, H.J. & Jäger, H.-J., 1991b. Growth and yield of spring rape and spring barley as affected by chronic ozone stress. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 98: 513-525.
- Arndt, U., Flores, F. & Weinstein, L., 1995. Fluoride effects on plants. Report Univ. Port Alegre, Brasil.
- Ashmore, M.R., 1992. Critical levels and agriculture in Europe. In: Jäger, H.-J., Unsworth, M., de Temmerman, L. & Mathy, P. (Eds), *Effects of Air Pollution on Agricultural Crops in Europe: Results of the European Open-top Chambers Project*. Air Pollution Research Report 46 of the Commission of the European Communities, Directorate-General for Science, Research and Development, Environment Research Programme, Brussels, pp. 105-130.
- Colls, J.J., Sanders, G.E., Geissler, P.A., Bonte, J., Galaup, S., Weigel, H.J., Brown, V.C. & Jones, M., 1992. The responses of beans exposed to air pollution in open-top chambers. In: Jäger, H.-J., Unsworth, M., de Temmerman, L. & Mathy, P. (Eds), *Effects of Air Pollution on Agricultural Crops in Europe: Results of the European Open-top Chambers Project*. Air Pollution Research Report 46 of the Commission of the European Communities, Directorate-General for Science, Research and Development, Environment Research Programme, Brussels, pp. 261-279.
- Fowler, D., Cape, N., Smith, R., Leith, I., Erisman, J.-W., 1992. The pollution climate in Europe. In: Jäger, H.-J., Unsworth, M., de Temmerman, L. & Mathy, P. (Eds), *Effects of Air Pollution on Agricultural Crops in Europe: Results of the European Open-top Chambers Project*. Air Pollution Research Report 46 of the Commission of the European Communities, Directorate-General for Science, Research and Development, Environment Research Programme, Brussels, pp. 43-64.
- Fuhrer, J., 1994. The critical level for ozone to protect agricultural crops - An assessment of data from European open-top chamber experiments. In: Fuhrer, J. & Achermann, B. (Eds), *Critical Levels for Ozone, a UN-ECE workshop report*, Swiss Federal Research Station for Agricultural Chemistry and Environmental Hygiene (FAC), Report no. 16, Liebefeld-Bern, Switzerland, pp. 42-57.
- Fuhrer, J., Shariat-Madari, H., Perler, R., Tschannen, W. & Grub, A., 1994. Effects of ozone on managed pasture: II. Yield, species composition, canopy structure, and forage quality. *Environmental Pollution* 86: 307-314.
- Gezondheidsraad, 1990. Fluoriden; toetsing van een basisdocument. Advies Beraadsgroep Toxicologie en Ecologie van de Gezondheidsraad. No. 1990/10, Ministerie van VROM, Den Haag.
- Guderian, R., Tingey, D.T. & Rabe, R., 1985. Effects of photochemical oxidants on plants. In R. Guderian (Ed.), *Air Pollution by Photochemical Oxidants. Formation, Transport, Control and Effects on Plants*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, pp. 129-333.
- Heck, W.W., Taylor, O.C., Adams, R., Bingham, G., Miller, J., Preston, E. & Weinstein, L., 1982. Assessment of crop loss from ozone. *Journal of the Air Pollution Control Association* 32: 353-361.
- Heck, W.W., Cure, W.W., Rawlings, J.O., Zaragoza, L.J., Heagle, A.S., Heggstad, H.E., Kohut, R.J., Kress, L.W. & Temple, P.J., 1984. Assessing impacts of ozone on agricultural crops: II. Crop

- yield functions and alternative exposure statistics. *Journal of the Air Pollution Control Association* 34: 810-817.
- Kärenlampi, L. & Skärby, L., 1996. Critical levels for ozone in Europe: Testing and finalizing the concepts. UN-ECE Workshop Report, Department of Ecology and Environmental Science, University of Kuopio, Finland, 363 pp.
- Kostka-Rick, R., 1994. Bestandekomponenten und Fluorid-Anreicherung in der standardisierten Graskultur unter variierenden Verfahrensparametern und Standortbedingungen. *Angewandte Botanik* 68: 22-31.
- Kress, L.W. & Miller, J.E., 1985. Impact of ozone on field-corn yield. *Canadian Journal of Botany* 63: 2408-2415.
- Linzon, S.N., Pearson, R.G., Donnan, J.A. & Durham, F.N., 1984. Ozone effects on crops in Ontario and related monetary values. Report ARB-13-84-Phyto, Ontario Ministry of the Environment.
- McCool, P.M., Musselman, R.C., Teso, R.R. & Oshima, R.J., 1986. Determining crop yield losses from air pollutants. *California Agriculture* 40: 9-10.
- Molle, W., 1988. The economics of European integration. Aldershot, Dartmouth.
- Noordijk, E., 1997. Laboratorium voor Luchtonderzoek, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, Brief dd 29 januari 1997.
- Olszyk, D.M., Cabrera, H. & Thompson, C.R., 1988. California statewide assessment of the effects of ozone on crop productivity. *Journal of the Air Pollution Control Association* 38: 928-931.
- Pell, E.J., Pearson, N.S & Vinten-Johansen, C., 1988. Qualitative and quantitative effects of ozone and/or sulfur dioxide on field-grown potato plants. *Environmental Pollution* 53: 171-186.
- Point, P., 1994. The value of non-market natural assets as production factor. In: Pethig, R. (Ed.), *Valuing the Environment: Methodological and Measurement Issues*. Kluwer, Dordrecht.
- RIVM, 1994. Milieurapportage 1993. III Jaaroverzicht Luchtkwaliteit 1992. Rapport 722101006, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- RIVM, 1997a. Luchtkwaliteit. Jaaroverzicht 1995. Rapport 722101028, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- RIVM, 1997b. Nationale Milieuverkenning 4: 1997-2020. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Skärby, L. & Jönsson, B., 1988. Effects of ozone on crops in Sweden. *Environmental Pollution* 53: 461-462.
- Skärby, L., Sellden, G., Mortensen, L., Bender, J., Jones, M., de Temmerman, L., Wenzel, L. & Fuhrer, J., 1992. Responses of cereals exposed in open-top chambers to air pollutants. In: Jäger, H.-J., Unsworth, M., de Temmerman, L. & Mathy, P. (Eds), *Effects of Air Pollution on Agricultural Crops in Europe: Results of the European Open-top Chambers Project*. Air Pollution Research Report 46 of the Commission of the European Communities, Directorate-General for Science, Research and Development, Environment Research Programme, Brussels, pp. 241-259.
- Slooff, W., Eerens, H.C., Janus, J.A. & Ros, J.P.M., 1989. Integrated criteria document Fluorides. Rapport 758474010, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Stiglitz, J.E., 1988. *Economics of the public sector*. W.W. Norton, New York.
- Temple, P.J., Jones, T.E. & Lennox, R.W., 1990. Yield loss assessments for cultivars of broccoli, lettuce, and onion exposed to ozone. *Environmental Pollution* 66: 289-299.
- Temple, P.J., Benoit, L.F., Lennox, R.W., Reagan, C.A. & Taylor, O.C., 1987. Combined effects of ozone and water stress on alfalfa growth and yield. *Journal of Environmental Quality* 17: 108-113.
- Tonneijck, A.E.G., 1983. *Urtica urens* as indicator plant for peroxyacetyl nitrate (PAN). Proc. VI World Congress on Air Quality, IUAPPA, Paris, Vol.2, pp. 563-567.

- Tonneijck, A.E.G., 1989. Evaluation of ozone effects on vegetation in the Netherlands. In: Schneider T., Lee S.D., Wolters G.J.R. & Grant L.D. (Eds.), *Atmospheric Ozone Research and its Policy Implications*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 251-260.
- Tonneijck, A.E.G. & van Dijk, C.J., 1997a. Assessing effects of ambient ozone on injury and growth of *Trifolium subterraneum* at four rural sites in the Netherlands with ethylenediurea (EDU). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 65: 79-88.
- Tonneijck, A.E.G. & van Dijk, C.J., 1997b. Effects of ambient ozone on injury and yield of *Phaseolus vulgaris* L. at four rural sites in the Netherlands as assessed by using ethylenediurea (EDU). *New Phytologist* 135: 93-100
- Tonneijck, A.E.G. & van Dijk, C.J., 1998. Responses of bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pros) to chronic ozone exposure at two levels of atmospheric ammonia. *Environmental Pollution*, in press.
- USEPA, 1996. *Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants*. Volume II of III. Report EPA/600/P-93/004bF, United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711, USA.
- Van Aalst, R.M., 1989. Ozone and oxidants in the planetary boundary layer. In: Schneider, T., Lee, S.D., Wolters, G.J.R. & Grant, L.D. (Eds), *Atmospheric Ozone Research and its Policy Implications*, Elsevier, Amsterdam, pp. 573-587.
- Van Alfen, A.J. & van der Eerden, L.J., 1996. Fluoridehoudende luchtverontreiniging in de provincie Groningen. Evaluatie van de regionale achtergrondbelasting (13.04.95-17.04.96). Nota 35, AB-DLO, Wageningen.
- Van der Eerden, L.J.M., & Van Dijk, C.J., 1993. Effecten van atmosferische fluoriden op planten. Evaluatie van de wetenschappelijke basis voor normstelling. Verslag 185, AB-DLO, Wageningen.
- Van der Eerden, L.J.M., Caporn, S. & Lee, J., 1997. Critical levels for the effects of nitrogen containing air pollutants on vegetation. In: Update and revision of the WHO air quality guidelines for Europe, European Centre for Environment and Health, WHO, in press.
- Van der Eerden, L.J.M., Tonneijck, A.E.G. & Wijnands, J.H.M., 1986. Economische schade door luchtverontreiniging aan de gewasteelt in Nederland. IPO Rapport R324, Instituut voor Plantenziektenkundig Onderzoek, Wageningen.
- Vandermeiren, K., De Temmerman, L. & Hookham, N., 1995. Ozone sensitivity of *Phaseolus vulgaris* in relation to cultivar differences, growth stage and growing conditions. *Water Air and Soil Pollution* 85: 1450-1460.
- VDI, 1989. Maximale Immissionen-Konzentrationen fur Fluorwasserstoff. Richtlinien. VDI 2310, Dusseldorf.
- Whitmore, M., 1985. Relationship between dose of SO₂ and NO₂ mixtures and growth of *Poa pratensis*. *New Phytologist* 99: 545-553.