

# Global environmental change : an integrated modelling approach

## Citation for published version (APA):

den Elzen, M. G. J. (1994). *Global environmental change : an integrated modelling approach*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. International Books. <https://doi.org/10.26481/dis.19931202me>

## Document status and date:

Published: 01/01/1994

## DOI:

[10.26481/dis.19931202me](https://doi.org/10.26481/dis.19931202me)

## Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

## Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

## General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

## Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Samenvatting

De laatste jaren staan de grootschalige milieuproblemen klimaatverandering en ozonaantasting in het brandpunt van de belangstelling, zowel wetenschappelijk als beleidsmatig. Daarmee groeit ook de behoefte aan instrumenten die zowel beleidsmakers als wetenschappers helderheid verschaffen ten aanzien van de complexe klimaat- en ozonproblematiek. Dit proefschrift beschrijft een geïntegreerd, beleidswetenschappelijk simulatiemodel waarmee lange-termijn klimaat- en ozonstrategieën kunnen worden ontwikkeld en geëvalueerd. Dit model is een experimentele versie van het computersimulatiemodel IMAGE, an Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect (hierna: IMAGE (experimentele versie 1.6)), bestaande uit de belangrijkste modules van IMAGE (versie 1.6), en het UV-keten model. Beide modellen zijn op het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) ontwikkeld teneinde een overzicht te geven van de mechanismen en de oorzaak-effectrelaties met betrekking tot het klimaat- en ozonprobleem. In dit proefschrift wordt het IMAGE model gebruikt om: (1) de onzekerheden of leemtes in de huidige kennis omtrent beide mondiale milieuproblemen te identificeren en te analyseren; (2) diverse lange-termijn klimaat- en ozonstrategieën te evalueren in termen van toekomstige potentiële risico's voor het klimaat en de ozonlaag, alsmede preventieve strategieën te ontwikkelen, teneinde de toekomstige risico's te reduceren tot aanvaardbare waarden.

Dit proefschrift is als volgt opgebouwd. Deel I geeft na een inleiding op de doelstellingen en de methodologie van dit onderzoek (hoofdstuk 1), een kort overzicht van de mondiale milieuproblemen klimaatverandering en ozonaantasting (hoofdstuk 2). In deel II (hoofdstuk 3) wordt het simulatiemodel IMAGE (experimentele versie 1.6) beschreven.

Deel III (hoofdstukken 4-8) beschrijft een aantal studies, waarin geïllustreerd wordt hoe een dergelijk model gebruikt kan worden ten einde de diverse onzekerheden of leemtes in de huidige kennis te analyseren en te evalueren (doelstelling (1)). Hoofdstuk 4 behandelt in het kort de voornaamste huidige onzekerheden in het klimaat- en ozonprobleem, en beschrijft vervolgens de gebruikte methodologie van deel III, zoals: gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse. In hoofdstuk 5 worden de IPCC-1990 en IPCC-1992 scenario's besproken, welke in de verdere analyses met het model worden gebruikt. In Hoofdstuk 6 wordt de kwantitatieve rol van een aantal terugkoppelingsprocessen in de koolstofcyclus geëvalueerd. Hiervoor wordt een aantal biogeochemische terugkoppelingen, welke momenteel redelijkerwijs kunnen worden gekwantificeerd, ingebouwd in het koolstofcyclusmodel, als onderdeel van IMAGE, en vervolgens worden een groot aantal modelsimulaties uitgevoerd. Uitgangspunt hierbij is deze terugkoppelingen in het model te gebruiken om het huidige en vroegere koolstofbudget in balans te krijgen. Dit alles leidt uiteindelijk tot schattingen van het toekomstige CO<sub>2</sub>-concentratie, welke aanzienlijk lager zijn dan de recente schattingen van de IPCC: voor het IPCC-1990 'Business-as-Usual' scenario is het verschil 16% ten aanzien van het 1990-niveau. Hoofdstuk 7 presenteert, na een inventarisatie van de onzekerheden in de bronnen en putten van methaan, een serie modelberekeningen met het methaanmodel van IMAGE. De berekeningen tonen aan dat een 20% reductie van methaan emissies kan leiden tot een stabilisatie van de atmosferische methaan concentraties op het huidige niveau. De vereiste reductie van de methaan emissies hangt sterk af van het toekomstige beleid ten aanzien van de andere gasen binnen de CH<sub>4</sub>-CO-OH cyclus, zoals koolmonoxide, NO<sub>x</sub> en de CFK's. Hoofdstuk 8 beschrijft een onzekerheidsanalyse op het koolstofcyclusmodel, op het CFK model, en op het gehele IMAGE model. Hiervoor is gebruik gemaakt van het software pakket UNCSAM, en de techniek van metamodellering in combinatie met Monte Carlo sampling. Getoond wordt dat, gaandeweg de keten van het klimaatprobleem doorlopend van de emissies, de veranderingen

in concentraties van broeikasgassen, veranderingen in de stralingshuishouding, en uiteindelijk de temperatuurstijging, treedt er een accumulatie op van de onzekerheden. De relatieve onzekerheden, gedefinieerd als de afwijking van de 2.5% en 97.5% percentielen tot de gemiddelde waarden, bedragen voor het IPCC-1990 'Business-as-Usual' scenario in het jaar 2100, 10-15%, 10-15% en 5% voor de atmosferische concentratie van CO<sub>2</sub>, CFK-11 en CFK-12, respectievelijk, en 10-15% voor de verandering in stralingshouding, en uiteindelijk ongeveer 50% voor de temperatuurstijging.

In deel IV (hoofdstukken 9-14) wordt een risico-benadering beschreven, waarin het model IMAGE is gebruikt om de model-uitkomsten van de diverse emissie-scenario's te relateren aan duurzaamheidsnormen, zoals deze zijn geformuleerd voor het klimaatprobleem door de AGGG, en voor het ozonprobleem door de WMO. Deze methodologie van risico-evaluatie wordt beschreven in hoofdstuk 9. Hoofdstuk 10 geeft een gedetailleerde beschrijving van het CFK model, als onderdeel van het UV keten model. Met dit model worden een aantal emissie scenario's voor de CFK's als ook de HCFK's en HFK's (de 'zachte' CFK's) geëvalueerd in termen van toekomstige ozon-risico's. De berekeningen tonen aan dat zelfs bij een volledige implementatie van het huidige CFK-beleid, zoals vastgelegd in de Kopenhagen 'Amendments' van het Montreal Protocol, hoge tot maximale ozon-risicogehaltes voor de komende dertig tot veertig jaren niet te vermijden zijn. Pas in de tweede helft van de volgende eeuw bereikt de atmosferische chloride concentratie het niveau van eind jaren zeventig, wanneer het 'ozongat' voor het eerst voorkwam. In hoofdstuk 11 worden berekeningen gepresenteerd met het IMAGE-model, welke aantonen dat de snelheid en het niveau van temperatuurstijgingen als uitkomst van de vier IPCC-1990 scenario's de gestelde klimaatdoelstellingen of duurzaamheidsnormen, in ruime mate overschrijden. In termen van risico's voor het klimaat kan het IPCC-1990 'Business-as-Usual' scenario worden beschouwd als een maximaal klimaat risicoscenario. Zelfs het meest vergaande scenario het IPCC-1990 'Accelerated Policies' scenario, brengt een zeker risico met zich mee. 'Delayed response'-berekeningen met IMAGE laten voorts zien dat, door vertragingen en terugkoppelingen in het fysisch/chemisch processen, het tijdstip waarop internationale maatregelen worden genomen om CO<sub>2</sub>-emissiereducties te bewerkstelligen van cruciaal belang is, en dat een snelle initiatie van internationaal klimaatbeleid noodzakelijk is. Hoofdstuk 12 beschrijft een modelstudie naar de invloed van een zeespiegelstijging op de kustverdediging van Nederland. Getoond wordt dat wanneer er geen dijkverzwaringen plaats vinden, de toekomstige overschrijdingsfrequentie het niveau van de Deltanorm aanzienlijk zal overschrijden. Hoofdstuk 13 bevat een beschrijving van het UV impact model (onderdeel van het UV keten model). Berekeningen met het UV keten model tonen aan dat bij een volledige implementatie van Kopenhagen Amendments, de ozonaantastingen maximaal zullen zijn rond het jaar 2000, en de effecten in termen van verhoogde incidenties van huidkanker als gevolg van de extra UV-B straling door ozonafnames maximaal zijn rond 2040. Deze vertragingperiode van 40 tot 50 jaar komt overeen met de gemiddelde tijdsduur voor de ontwikkeling van huidkanker. Zelfs voor dit scenario wordt de tentatieve grenswaarde van één dode per miljoen, als het maximaal toelaatbare aantal extra jaarlijkse sterftegevallen aan huidkanker tengevolge van de extra UV straling door ozonaantasting, voor de gehele komende eeuw overschreden. In hoofdstuk 14 wordt een methodologie beschreven voor de allocatie van CO<sub>2</sub> emissiereducties voor de verschillende wereld regio's. Deze methodologie is gebaseerd op het gelijkheids criterium: ieder mens op aarde, zowel in het verleden, heden, als in de toekomst, recht heeft op eenzelfde hoeveelheid CO<sub>2</sub>-emissie per jaar. De resultaten van de berekeningen voor het IPCC-1990 'Accelerated Policies' scenario geven aan, dat de EG en de Verenigde Staten op grond van hun historische CO<sub>2</sub>-emissies een emissie schuld hebben opgebouwd van respectievelijk 35 en 75 GtC, en tevens, dat deze regio's hun toekomstige emissierechten al volledig hebben verbruikt. Daarentegen hebben de ontwikkelingslanden een totaal emissiekrediet van 24 GtC opgebouwd, resulterend in toekomstige jaarlijkse emissierechten van 0.2 tot 0.8 ton C per inwoner.

In deel V (hoofdstuk 15) tenslotte, worden de bevindingen uit het onderhevige proefschrift samengevat en geëvalueerd.