Vrije Universiteit Brussel

Faculteit Geneeskunde en Farmacie
Vakgroep Menselijke Ecologie

VIRGINI GERANIOS

Post-2012 politiek betreffende de broeikaseffecten te wijten aan internationaal luchtvaartverkeer.

SCRIPTIE INGEDIEND TOT HET BEHALEN VAN DE GRAAD VAN MASTER (NA MASTER) IN DE MILIEU-EXPERTISE (OPTIES MILIEU-COÖRDINATOR EN MER)

PROMOTOR : PROF. DR. IR. J. VAN MIERLO
CO-PROMOTOR : IR. J. MATHEYS

ACADEMIEJAAR 2006 – 2007

DANKWOORD

Om te beginnen wil ik mijn promotor Prof. Dr. ir. J. van Mierlo (VUB) bedanken die het mij mogelijk heeft gemaakt om dit onderwerp behandelen.
Bijzondere dank gaat uit naar naar mijn co-promotor ir J. Matheys (VUB) waar ik heel veel aan heb gehad, die mij heel veel informatie heeft bezorgd en die mij om het even wanneer met raad en daad heeft bijgestaan.

Ook Sandrine Meyer (ULB) wil ik bedanken voor de nuttige informatie die ze mij heeft bezorgd.
Lomme Devriendt (UGent) en Wim Kellens (UGent) hebben mij goede informatie gegeven, waardoor zij ook een plaats in dit dankwoord verdienen.

Ik wil ook mijn familie en vrienden bedanken die mij altijd zijn blijven steunen. Speciale dank gaat uit naar Kjell Baert, wiens computer ik mocht gebruiken toen de mijne het begaf.

Om te eindigen wil ik mijn ouders heel erg bedanken omdat zij het mij mogelijk gemaakt hebben deze studie te vervolledigen en omdat ze altijd in mij zijn blijven geloven.

I. SAMENVATTING

De Aarde kent een globale opwarming, zoveel is zeker. Uit het eerste deel van dit werk zal blijken dat niet enkel natuurlijke, maar ook menselijke invloeden hiervan de oorzaak zijn. Een belangrijke bron van het 'antropogene' broeikaseffect is de luchtvaartsector die tot nu toe geen onderwerp is geweest van de klimaatpolitiek.

In het kader van de post-Kyoto-politiek worden in het tweede deel van deze scriptie politieke en niet-politieke maatregelen beschreven die kunnen helpen de broeikasuitstoot van de luchtvaartsector te reduceren. De meeste aandacht gaat naar de politieke maatregelen omdat deze voor de luchtvaartsector de grootste economische efficiëntie hebben. Speciale aandacht wordt besteed aan de integratie van de luchtvaartsector in het (bestaande) Europese Emissiehandelsysteem (EU-ETS). Steeds meer stemmen gaan op om de klimaatproblematiek ten gevolge van het internationale luchtvaartverkeer hiermee aan te pakken.

Na een uitgebreide bespreking van dit Emissiehandelsysteem en enkele andere maatregelen (technologische vernieuwingen, operationele maatregelen, verbeteren van het luchtvaartbeheer, taksen...), werd besloten dat het integreren van de luchtvaartsector in het EU-ETS vanuit economisch standpunt de beste resultaten levert, maar dat dit niet zal volstaan om de (totale) invloed op het broeikaseffect efficiënt aan te pakken. De beste resultaten op vlak van milieu zouden worden geleverd door een combinatie van een aantal zorgvuldig geselecteerde, complementaire maatregelen (bv. een combinatie van het ETS en (NO_x-) emissietaksen).

I. ABSTRACT

Today the global surface air temperatures are increasing. The first part of this paper describes that not only natural, but also human influences are the cause of this phenomenon. An important cause of the anthropogenic (human-induced) greenhouse effect is the aviation sector that hasn't been integrated in the climate policy until now.

In the second part of this paper political and non-political mitigation measures to reduce the climate impacting effects of the aviation sector are described within the framework of a post-Kyoto climate policy. Most attention goes to the political measures because these have the largest economic effectiveness. Special attention goes to the integration of the aviation sector in the (existing) European Union's Emission Trading System (EU-ETS). There is a growing interest to apply this system to mitigate the greenhouse effect from the international aviation.

After an extensive discussion of this Emission Trading System and some other measures (technological and operational measures, improvement of the air traffic management, taxes…), the conclusion was that the integration of the aviation sector in the EU-ETS, is the most promising from an economical point of view, but that it is insufficient to fully cope with the (total) influence of aviation on climate in an effective way. The best environmental results can be obtained through a combination of a number of complementary measures (e.g. ETS in combination with an (NO_x-) emission tax).

BEGRIPPENLIJST

AAU: verhandelbare eenheden, gebruikt om de toegelaten emissies van een land te specifiëren gedurende de eerste commitment periode van het Protocol van Kyoto. (S. Cairns et al.; 2006).

Allocatie: het bepalen van de totale hoeveelheid emissierechten voor de hele luchtvaartsector. (IACA e.a.; 2005).

Aphelion: punt waarop de Aarde en de zon het verst verwijderd zijn van elkaar. (http://earthobservatory.nasa.gov, 2006).

***ATC-providers*:** luchtvaartbeheerders. (A. Andersen; 2001).

Benchmarking: gratis verdelen van emissierechten op basis van specifieke emissiefactoren (*benchmarks*) die in relatie staan met een typische prestatiefactor van een sector of de gebruikt technologieën. (M.M. Berk et al.; 2007).

Broeikasgassen: gassen die de uitgaande (teruggekaatste) infrarode straling verhinderen te ontsnappen naar de ruimte. (UNEP; 2005).

***Bubbles*-filosofie:** landen die deel uitmaken van een regionale economische organisatie mogen onderling een akkoord sluiten over het herverdelen van de doelstellingen, zolang de totale meissiehoeveelheid de som van de hoeveelheden van de individuele landen niet overschrijdt (vb. EU15, zie bijlage 1). (http://lucht.milieuinfo.be; 2007).

Bunkeremissies: emissies die vrijkomen bij internationale vluchten. (K. Rypdal; 2000).

***Burden Sharing*:** 'lastenverdeling': het herverdelen van de emissiereductiedoelstellingen. (http://glossary.eea.europa.eu; 2007).

***Business as Usual-scenario*:** scenario waarin zich in vergelijking met de huidige situatie geen drastische economische, politieke of technologische veranderingen hebben voorgedaan (J.M.W. Dings et al.; 1997).

CER: bekomen emissiereducties door het C*lean Development Mechanism*. (http://unfccc.int, 2006).

Cirruswolk: 'vederwolken' op een hoogte van 5 tot 11 km. Deze wolken bestaan volledig uit ijskristallen. (E. Lawrence; 2004).

(persistente) *contrails*: Groot aantal kleine, bijna sferische ijskristalletjes, zichtbaar als een wit spoor achter vliegtuigen. (L. Maurice et al.; 2005).

Distributie: het bepalen van het precieze aantal rechten dat een individuële entiteit (zoals een luchtvaartmaatschappij) zal toegewezen krijgen. (IACA e.a.; 2005).

Emissieplafond: niveau van milieukwaliteit of maximaal aanvaardbare vervuiling (x ton uitstoot van een bepaalde stof per jaar in de lucht). (J. De Mulder, F. Maes; 2007).

ERU: eenheden emissiereductie door *Joint Implementation*. (http://unfccc.int, 2006).

***Excess emissions*:** emissies die vrijkomen tijdens vertragingen of omleidingen van een vlucht. (A. Andersen; 2001).

Globale opwarming: een algemene toename van de temperatuur van de troposfeer[1]. (http://www.epa.gov; 2007).

***Grandfathering*:** het gratis verdelen van emissierechten op basis van historische (of toekomstige) emissies. (A. Andersen; 2001).

Heliosfeer: dit deel van de ruimte dat een directe invloed ondergaat van de zonnewind. (http://www.epa.gov; 2006).

[1] Het onderste deel van de atmosfeer, waar het weer en de menselijke activiteiten zich afspelen. Deze laag heeft gemiddeld genomen een dikte van 10 km. (http://www.epa.gov; 2006)

Hydrologische cyclus: de volledige cyclus van verdamping, wolkenvorming en neerslag. (http://geo.kuleuven.be; 2006).

ICAO: gespecialiseerd onderdeel van de VN dat een globaal forum vormt voor de burgerluchtvaart. (http://www.icao.int, 2006).

Inclinatie: hoek die de aardas maakt met het vlak waarin de Aarde draait. (http://earthobservatory.nasa.gov; 2006).

Insolatie: de hoeveelheid zon die een bepaalde plek bereikt. (http://www.geoclopedie.nl; 2006).

***Interlining*:** situatie waarbij vliegtuigmaatschappijen passagiersruimte delen met een andere vliegtuigmaatschappij. (D.S. Lee et al.; 2005).

Klimaatsverandering: langdurige veranderingen in de klimatologische parameters zoals temperatuur, neerslag en wind. (http://www.epa.gov; 2007).

Kosmische stralen: niet van de zon afkomstige hoog-energetische straling. (B. Van Geel; 2006).

LTO-cyclus: onderdeel van de vliegcyclus, tot op een hoogte van ongeveer 1.000m (3000 voet). Het omvat het opstijgen, landen en grondbewegingen. (J. Graichen, B. Gugele; 2006).

***Multistage approach*:** het invoeren van meerdere ontwikkelingsfasen[2] in een klimaatverdrag zodat de kloof tussen de huidige fasen kan overbrugd worden. Landen kunnen dan langzaam door de verschillende niveaus evolueren[3]. (K. Blok et al.; 2005).

Obliquiteit: helling van de aardas. (http://earthobservatory.nasa.gov; 2006).

---

[2] Niet enkel geïndustrialiseerde landen vs. ontwikkelingslanden

[3] Bij deze benadering wordt verondersteld dat in een vroege fase van ontwikkeling, de emissies per capita van bepaalde landen kunnen toenemen door industrialisatie. In een tweede fase moeten landen, die een bepaalde graad van ontwikkeling hebben bereikt, de emissies per capita stabiliseren. Tenslotte moeten de landen met de hoogste ontwikkelingsgraad hun emissies reduceren door de economie meer energie- en emissie-efficiënt te maken. (K. Blok et al.; 2005).

Optische diepte: maat voor de doorschijnendheid van een medium. De optische diepte is omgekeerd evenredig met de doorzichtigheid van het medium: de optische diepte van een volledig transparant medium is nul. (http://scienceworld.wolfram.com; 2006).

Perihelion: kortste afstand tussen de Aarde en de zon. (http://earthobservatory.nasa.gov; 2006).

Precessie: uiterst trage rotatie van de aardas. (http://earthobservatory.nasa.gov; 2006).

Prestatienorm: maximaal aanvaardbare vervuiling per eenheid product (relatief emissieplafond). (J. De Mulder, F. Maes; 2007).

***Radiative forcing*:** maat voor de verandering van de energiebalans op Aarde ten gevolge van een verandering van de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer (J. Graichen, B. Gugele; 2006): het verschil tussen de binnenkomende en uitgaande straling (UNEP; 2005). Het wordt uitgedrukt als vermogen[4] per vierkante meter (W/m²). (J. Graichen, B. Gugele; 2006).

***Radiative Forcing index* (RFI):** verhouding totale *radiative forcing* (van alle broeikasgassen samen) t.o.v. *radiative forcing* van enkel CO2. (D.S. Lee et al.; 2005).

***Revenue Tonne Kilometres*:** een maat voor de totale vliegactiviteit op basis van het aantal getransporteerde passagiers of goederen. Men gaat uit van een gemiddeld gewicht van 100 kg (bagage bijgerekend). (A. van Velzen, R.C.N. Wit; 2000).

Stratosfeer: deel van de atmosfeer boven de troposfeer tot op een hoogte van 50 km. (http://www.kmi.be; 2006).

[4] Hoeveelheid energie per seconde

***Technical Feasible-scenario*:** scenario waarbij al de (niet-) technologische opties in 2025 zo goed als mogelijk zijn gecommercialiseerd. (J.M.W. Dings et al.; 1997).

Tropopauze: overgangsgebied van de troposfeer naar de stratosfeer, waar de afname van de temperatuur met de hoogte stopt. (http://www.kmi.be; 2006).

Troposfeer: onderste laag van de atmosfeer waar vrijwel alle weersverschijnselen en de menselijke activiteiten zich afspelen (http://www.epa.gov; 2006). Afhankelijk van de plaats op Aarde varieert haar hoogte: 8 km aan de polen, 10 km op de middelbreedten en 18 km bij de evenaar. De bovenzijde van de troposfeer wordt begrensd door de dunne tropopauze die de overgang vomt naar de stratosfeer. (http://www.knmi.nl, 2006).

Versterkt broeikaseffect: broeikaseffect t.g.v. menselijke activiteiten. (http://www.milieucentraal.nl; 2006).

Theorie van Milankovitch: mathematische theorie die veranderingen van het klimaat linkt met variaties van zonnestraling die de Aarde ontvangt. (http://earthobservatory.nasa.gov; 2006)

LIJST MET AFKORTINGEN

AAU :	*Assigned Amount Unit*
AAU :	*Assigned Amount Unit*
ATC :	*Air Traffic Control*
BaU :	*Business as Usual*
CAA-NL:	*Dutch Civil Aviation Authority*
CDM:	*Clean Development Mechanism*
CER :	*Certified Emission Reductions*
DOC :	*Direct Operational Costs*
ETS:	*Emission Trading System*
ERU :	*Emission Reduction Unit*
EUA :	*European Union Allowances*
EUROCONTROL :	*European Organisation for the Safety of Air Navigation*
GTP :	*Global Temperature Potential*
GWP :	*Global Warming Potential*
ICAO :	*International Civil Aviation Organization*
Insolatie:	*Incoming Solar Radiation*
IPCC:	*International Panel on Climate Change*
LTO :	*Landing and Take-off*
RF :	*Radiative Forcing*
RFI :	*Radiative Forcing Index*
RMU:	*Removal Units*
RLD:	RijksLuchtvaartDienst
RTK :	*Revenue Tonne Kilometres*
SBSTA:	*Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice*

tCO_2e :	ton CO_2-equivalent
TF :	*Technical Feasible*
UNEP :	*United Nations Environmental Programme*
UNFCCC:	*United Nations Framework Concention on Climate Change*

<u>Chemische verbindingen</u>

CF_4:	polyfluorkoolwaterstoffen
CFK:	chloorfluorkoolstofverbindingen
CH_4:	methaan
CO_2:	koolstofdioxide
N_2O:	distikstofoxide of lachgas
O_3:	ozon
SF_6:	zwavelhexafluoride

INHOUDSTAFEL

I. SAMENVATTING - ABSTRACT II - III

II. INLEIDING XXII

DEEL 1 : KLIMAATSVERANDERING

III. KLIMAATSVERANDERING 1

III.1 INLEIDING 1

III.2 CLIMATE CHANGE VERSUS GLOBAL WARMING 1

III.3 OORZAKEN KLIMAATSVERANDERING 2

III.3.1 NATUURLIJKE OORZAKEN 2

III.3.1.1 DE THEORIE VAN MILANKOVITCH 2

a. VARIATIES IN DE EXCENTRICITEIT VAN DE BAAN VAN DE AARDE 2

b. VARIATIES IN DE HELLING VAN DE AARDAS (OBLIQUITEIT) 3

c. PRECESSIE 4

III.3.1.2 ZONNE-ACTIVITEIT 5

III.3.1.3 BEWOLKINGSGRAAD 6

III.3.2 MENSELIJKE FACTOREN 7

III.3.2.1 BROEIKASEFFECT 7

III.3.3 MOGELIJKE GEVOLGEN 13

III.3.3.1 KOOLSTOF 13

III.3.3.2 METHAAN 13

III.3.3.3 KLIMAAT 14

III.3.3.4 GEVOLGEN ZOALS BESCHREVEN IN HET VN-KLIMAAT-RAPPORT (2 FEBRUARI 2007, PARIJS) 15

IV. BIJDRAGE VAN DE LUCHTVAART AAN DE KLIMAATSOPWARMING 18

IV.1 INLEIDING 18

IV.2 HOE BEÏNVLOEDT DE LUCHTVAART HET KLIMAAT? 19

IV.2.1 DIRECTE EFFECTEN 21

IV.2.1.1 CO_2 21

IV.2.1.2 WATERDAMP 21

IV.2.1.3 ROETDEELTJES 22

IV.2.2 INDIRECTE EFFECTEN 22

IV.2.2.1 NO_x EN OZON 23

IV.2.2.2 NO_x EN METHAAN (CH_4) 24

IV.2.2.3 SULFAAT-AEROSOLEN 24

IV.2.2.4 CONTRAILS 25

a. INVLOED VAN DE DIURNALE EN JAARLIJKSE CYCLUS VAN HET LUCHTVAARTVERKEER OP DE RADIATIVE FORCING 26

b. ONZEKERHEDEN 30

IV.2.2.5 CIRRUSWOLKEN 30

IV.2.3 OPMERKING 32

IV.2.4 CONCLUSIE 32

IV.3 EMISSIES VAN CO_2, SO_2 EN NO_x IN HET VERLEDEN 33

IV.3.1 BEPALEN VAN DE EMISSIES: SCHATTINGSMETHODES EN ONZEKERHEDEN 33

IV.3.2 EVOLUTIE VAN DE LUCHTVAARTEMISSIES DOORHEEN DE TIJD 36

IV.3.2.1 VERLEDEN 36

IV.3.2.2 TOEKOMSTPERSPECTIEF 37

IV.3.3 BINNENLANDSE EN INTERNATIONALE CO_2-EMISSIES t.g.v. DE LUCHTVAART 38

V. HET VERDRAG VAN KYOTO 40

V.1 ONTSTAAN 40

V.2 WERKING 41

V.2.1 GEDIFFERENTIEERDE VERANTWOORDELIJKHEID 41

V.2.2 FLEXIBILITEIT 42

V.2.2.1 VOLLEDIGE FLEXIBILITEIT 42

V.2.2.2 FLEXIBILITEIT IN DE TIJD 43

V.2.3 MECHANISMEN 43

V.2.3.1 LULUCF 43

V.2.3.2 INTERNATIONALE MARKTGEBASEERDE MECHANISMEN 44

a. JOINT IMPLEMENTATION 44

b. CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM (CDM) 44

c. INTERNATIONAL EMISSIONS TRADING 45

V.3 KYOTO EN DE LUCHTVAARTSECTOR 46

DEEL 2: MAATREGELEN

VI. NIET_POLITIEKE MAATREGELEN 48

VI.1 TECHNOLOGISCHE VERNIEUWINGEN 48

VI.1.1 CRYOPLANES 49

VI.2 OPERATIONELE MAATREGELEN 50

VI.3 HET BEHEER VAN HET LUCHTVAARTVERKEER 53

VI.4 HUBS and SPOKES 55

VI.4.1 CONCEPT 55

VI.4.2 BESPREKING BINNEN HET KADER VAN DE KLIMAAT-PROBLEMATIEK 57

VI.4.3 CONCLUSIE 58

VII. POLITIEKE MAATREGELEN 59

VII.1 INLEIDING 59

VII.2 ALLOCATIEMETHODES 59

VII.2.1 BESPREKING VERSCHILLENDE ALLOCATIEMETHODES 61

VII.2.1.1 OPTIE 1 61

VII.2.1.2 OPTIE 2 61

VII.2.1.3 OPTIE 3 62
VII.2.1.4 OPTIE 4 62
VII.2.1.5 OPTIE 5 63
VII.2.1.6 OPTIE 6 63
VII.2.1.7 OPTIE 7 64
VII.2.1.8 OPTIE 8 65
VII.2.2 BEVINDINGEN 66
VII.2.3 CONCLUSIES 67
VII.2.4 OPMERKING 69
VII.3 EMISSIERECHTEN EN HANDEL VAN EMISSIERECHTEN 70
VII.3.1 INLEIDING 70
VII.3.2 OORSPRONG EMISSIEHANDEL 71
VII.3.3 CONCEPT 71
VII.3.3.1 HANDEL MET ABSOLUTE EMISSIEPLAFONDS 71
VII.3.3.2 HANDEL MET RELATIEVE EMISSIEPLAFONDS 72
VII.3.3.3 EMISSIERECHTEN 72
VII.3.3.4 ALLOCATIE 74
a. NATIONAAL 74
b. SECTORAAL 74
c. REGIONAAL 75
VII.3.4 PRO'S EN CONTRA'S 76
VII.3.5 VOORBEELDEN VAN EMISSIEHANDELSYSTEMEN 77
VII.3.5.1 KYOTO 77
VII.3.5.2 REGIONAAL EMISSIEHANDELSYSTEEM 78
VII.4 EU-ETS 78
VII.4.1 WERKING 78
VII.4.2 DE LUCHTVAARTSECTOR EN HET EU-ETS 79
VII.4.2.1 EFFECTEN 80
VII.4.2.2 VERANTWOORDELIJKHEID EN ALLOCATIE 80

a. ALLOCATIEREGELS 81

b. ALLOCATIEMETHODE 82

1. VEILING 82

2. GRANDFATHERING 82

3. BENCHMARKING 83

4. BASELINE 84

5. GEEN ALLOCATIE 84

c. WIE? 85

1. LUCHTVAARTMAATSCHAPPIJEN 86

2. LUCHTHAVENUITBATERS 87

3. BRANDSTOFLEVERANCIERS 88

4. LUCHTVAARTBEHEERDERS (ATC-PROVIDERS) 89

5. VLIEGTUIGCONSTRUCTEURS 90

6. CONCLUSIE 91

d. ALLOCATIE-GEOGRAFISCHE SCHAAL 92

VII.4.2.2 TOTALE IMPACT VAN DE LUCHTVAARTSECTOR OP HET KLIMAAT BETREKKEN BIJ HET EU-ETS 94

a. MULTIPLICATOR-BENADERING 94

1. RADIATIVE FORCING INDEX (RFI) en GLOBAL WARMING POTENTIAL (GWP) 95

2. GLOBAL TEMPERATURE POTENTIAL (GTP) 97

b. INDIVIDUELE BENADERING GEBASEERD OP DE EFFECTEN 98

c. ENKEL CO_2 IN COMBINATIE MET ANDERE POLITIEKE INSTRUMENTEN 98

d. OPMERKING 99

e. CONCLUSIE 100

VII.4.2.3 MOEILIJKHEDEN BIJ DE INTEGRATIE IN HET EU-ETS 100

a. PROBLEEMSTELLING 100

b. MOGELIJKE OPLOSSINGEN 104

1. OVERZICHT 104

2. BESPREKING EN CONCLUSIE 106

VII.4.2.4 IMPACT OP DE TICKETPRIJZEN 107

a. OVERZICHT KOSTEN 107

b. BESPREKING 108

c. INVLOED OP DE TICKETPRIJZEN 108

VII.4.2.5 PRIJSSTIJGINGEN EN GEDRAG LUCHTVAART-MAATSCHAPPIJEN 109

VII.4.2.6 BELANGRIJKSTE VOORDELEN VAN DE IMPLEMENTATIE VAN DE LUCHTVAARTSECTOR IN HET EU-ETS 109

VII.4.2.7 BELANGRIJKSTE NADELEN VAN DE IMPLEMENTATIE VAN DE LUCHTVAARTSECTOR IN HET EU-ETS 111

VII.4.2.8 LEGAAL KADER 112

VII.4.2.9 GESLOTEN EMISSIEHANDELSYSTEEM 113

VII.4.2.10 TOEKOMSTPERSPECTIEF 114

a. UITBREIDING SCHAAL – GLOBALE AANPAK? 114

b. ONTWIKKELINGSLANDEN 115

VII.4.2.11 SANCTIES 116

VII.4.2.12 CONCLUSIE 117

VII.5 ANDERE POLITIEKE INSTRUMENTEN 118

VII.5.1 TAKSEN EN HEFFINGEN 119

VII.5.1.1 INLEIDING 119

VII.5.1.2 BRANSTOFTAKSEN 120

VII.5.1.3 EMISSIEHEFFINGEN 121

VII.5.1.4 BELASTING OP DE TOEGEVOEGDE WAARDE (BTW) 121

VII.5.1.5 LANDINGSTAKSEN 122

VII.5.1.6 TAKSEN VERSUS EMISSIEHANDELSYSTEEM 123

VII.5.1.7 BESPREKING EN CONCLUSIE 123

VII.5.2 ANDERE MARKSTGEBASEERDE INSTRUMENTEN 124

VIII. CONCLUSIE 126

IX. BIJLAGEN 130

X. BIBLIOGRAFIE 139

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1 : Weinig excentrische baan van de Aarde rond de zon 3

Figuur 2 : Elliptisch baan van de Aarde rond de zon 3

Figuur 3 : Veranderingen van de helling van de aardas 4

Figuur 4 : Precessie 5

Figuur 5 : Schematische voorstelling van het broeikaseffect 7

Figuur 6 : De CO_2-concentratie doorheen de tijd 9

Figuur 7 : De temperatuur doorheen de tijd 9

Figuur 8 : De voorspelde en gemeten evolutie van de temperatuur t.g.v. natuurlijke oorzaken 12

Figuur 9 : De voorspelde en gemeten evolutie van de temperatuur t.g.v. menselijke invloeden 12

Figuur 10 : De voorspelde en gemeten evolutie van de temperatuur t.g.v. een combinatie van menselijke en natuurlijke oorzaken 12

Figuur 11 : Jaarlijkse neerslagtrends in de periode 1900 – 2000 14

Figuur 12 : Jaarlijkse temperatuurtrends in de periode 1976 – 2000 14

Figuur 13 : Stijging van het zeeniveau gedurende de laatste 300 jaren 15

Figuur 14 : Vliegtuigemissies in de atmosfeer 20

Figuur 15 : *Contrails* of condensatiesporen 26

Figuur 16 : Diurnale en jaarlijkse cyclus van het luchtvaartverkeer 28

Figuur 17 : Langgolvige en kortgolvige stralingseffecten 29

Figuur 18 : Microfysisch model van een ijswolk 31

Figuur 19 : Radiative forcing veroorzaakt door het vliegverkeer in 1992 32

Figuur 20 : De vliegcyclus 34

Figuur 21 : CO_2-emissies t.g.v. de luchtvaart in de EU (1990 – 2004) 36

Figuur 22 : Aandeel internationale luchtvaartverkeer in het totale brandstofverbruik 38

Figuur 23 : Emissietrends volgens het Business as Usual-scenario 51

Figuur 24 : Trend van CO_2-emissies volgens het Technical Feasible-scenario 52

Figuur 25 : Point-to-point netwerk 56

Figuur 26 : Hub-and-spoke 56

Figuur 27 : Initiële situatie integratie luchtvaartsector in het EU-ETS 101

Figuur 28 : Luchtvaartsector koopt een emissierecht van een EU-ETS-entiteit 102

Figuur 29 : Luchtvaartsector koopt een emissierecht van een EU-ETS-entiteit (2) 103

Figuur 30 : Een EU-ETS-entiteit koopt een emissierecht van de luchtvaartsector 104

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1 : Overzicht van de belangrijkste broeikasgassen 11

Tabel 2 : Methodes, data en emissiefactoren voor het schatten van luchtvaartemissies op nationaal niveau 33

Tabel 3 : CO_2-, NO_x- en SO_2- emissies t.g.v. de luchtvaart in de EU (1990 – 2004) 37

Tabel 4 : Aantal vertrekken en CO_2-emissies van vluchten vertrekkende vanuit EU-luchthavens in 2004 39

Tabel 5 : CO_2-emissietrend van de luchtvaart binnen de EU 52

Tabel 6 : Overzicht van de verbinding van CO_2-emissies volgens allocatiemethodes 3, 5, 6 en 8 (2005) 66

Tabel 7 : Trend volgens optie 3 versus trend BNP 68

Tabel 8 : Vergelijking CO_2-emissies onder huidig Europese emissiehandelsysteem en CO_2-emissies t.g.v. luchtvaart bij de verschillende geografische scenario's 93

Bijlagen

Tabel a : Bijlage B van het Kyoto Protocol 130

Tabel b : Herverdeling van de emissiereductiedoelstellingen binnen de EU15 131

Tabel c : Aandeel broeikasgassen in de totale uitstoot in de belangrijkste sectoren 132

Tabel A2: overzicht van de verdeling van CO_2-emissies (Gg/jaar) volgens de allocatiemethodes 3, 5, 6 en 8 voor de EU25 voor het jaar 2005 133

Tabel A3: overzicht van de verdeling van CO_2-emissies (Gg/jaar) volgens de allocatiemethodes 3, 5, 6 en 8 voor de Bijlage I-landen voor het jaar 2005 134

Tabel A5: overzicht van de verdeling van CO_2-emissies (Gg/jaar) volgens de allocatiemethodes 3, 5, 6 en 8 voor de EU25 voor het jaar 2010 135

Tabel A6: overzicht van de verdeling van CO_2-emissies (Gg/jaar) volgens de allocatiemethodes 3, 5, 6 en 8 voor de Bijlage I-landen voor het jaar 2010 136

Tabel A8: overzicht van de verdeling van CO_2-emissies (Gg/jaar) volgens de allocatiemethodes 3, 5, 6 en 8 voor de EU25 voor het jaar 2015 137

Tabel A9: overzicht van de verdeling van CO_2-emissies (Gg/jaar) volgens de allocatiemethodes 3, 5, 6 en 8 voor de Bijlage I-landen voor het jaar 2015 138

II. INLEIDING

De wereld wordt kleiner, afstanden krimpen... Reizen waar vroeger dagen over gedaan werden, kunnen nu afgelegd worden in één uur. Paarden werden vervangen door wagens, treinen wonnen steeds meer terrein en werden uiteindelijk grotendeels vervangen door vliegtuigen. De mens kan zich moeiteloos verplaatsen van de ene kant van de wereld naar het andere uiterste, en dit in een minimum van tijd. De vooruitgang van de technologie heeft ervoor gezorgd dat elk plekje op Aarde bereikbaar is geworden. Dit klinkt allemaal heel mooi, zeker voor de reizende mens. Steeds meer mensen profiteren van de goedkope vliegtickets of all-in-tickets die de reisbureaus tegenwoordig verkopen. Iedereen wil er wel eens tussenuit knijpen, iedereen wil wel eens profiteren van de mogelijkheid om binnen een minimum aantal uren de andere kant van de wereld te gaan ontdekken.

Maar er is ook een keerzijde aan al dat moois. Het toenemende transport oefent een steeds groter wordende druk uit op de Aarde: de groei van de transportsector is onmogelijk zonder de nodige infrastructuur. Steeds meer wegen en bruggen ontsieren het landschap. Men moet de voertuigen ook ergens kwijt kunnen als men ze niet gebruikt, zo is bijvoorbeeld de problematiek rond parkeerplaatsen heel actueel geworden. Hoeveel mensen klagen er niet dat er te weinig parkeergelegenheid is.

De laatste jaren is men eveneens gaan inzien dat de uitlaatgassen van de transportmiddelen een groot probleem vormen. De uitstoot van broeikasgassen draagt bij tot de opwarming van het klimaat. Deze stelling is lang betwist geweest, maar onder andere uit de laatste rapporten van de Verenigde Naties is gebleken dat de menselijke activiteiten de voornaamste oorzaak vormen voor de huidige opwarming van de Aarde. De uitstoot van de industrie, van de residentiële sector, de toenemende drukte op de wegen, de groei van de luchtvaartsector,... Dit alles draagt bij tot de globale verhoging van de temperatuur.

Zoals de titel van dit werk al laat vermoeden, beperk ik mij in deze scriptie tot de invloed van de groeiende luchtvaartsector op het klimaat en tot het beleid hieromtrent. De luchtvaartsector is in de 21ste eeuw een belangrijke sector geworden in onze samenleving. Zowel mensen- als goederentransport vinden hun weg naar de vliegtuigen om grote afstanden in een zo kort mogelijke tijd af te leggen.

In deze scriptie wordt nagegaan hoe een gericht beleid de impact van de luchtvaartsecor op het klimaat kan reduceren en hoe de politiek er in een post-Kyoto-regime zou moeten uitzien.

Opbouw scriptie

In het eerste deel van dit werk wordt een definitie gegeven voor het broeikaseffect en worden de oorzaken van de klimaatsveranderingbeschreven. Speciale aandacht gaat naar de invloed van de luchtvaartsector op de globale opwarming.
Daarnaast wordt een overzicht gegeven van de evolutie van het klimaatbeleid.

In het tweede deel wordt aandacht besteed aan politieke en niet-politieke maatregelen die kunnen genomen worden om de invloed van de luchtvaartsector op het klimaat te beperken.
Een mogelijke integratie van de luchtvaartsector in het huidige Emissiehandelsysteem (EU-ETS) wordt uitgebreid besproken, politieke en niet-politieke maatregelen worden tegen elkaar afgewogen.

Deze scriptie is gebaseerd op een literatuurstudie van talrijke rapporten en artikels.

III. KLIMAATSVERANDERING

III.1 Inleiding

De opwarming van de Aarde is meer dan ooit actueel: smeltende gletsjers en het verdwijnen van de 'eeuwige' sneeuw zijn welbekende beelden. Hoewel de Aarde sinds haar bestaan altijd al onderhevig is geweest aan klimaatsveranderingen, is vandaag bijna iedereen het erover eens dat de oorzaak van de stijgende temperaturen de mens is.. Echter, over de oorzaak van de opwarming hebben wetenschappers ons lang het voordeel van de twijfel gegund door voor de dag te komen met curves die het klimaat uit het verleden typeren of door met allerlei theorieën op de proppen te komen die de 'natuurlijke' opwarming van de Aarde verantwoorden en zo de mens als mogelijke oorzaak veilig te stellen. Een voorbeeld hiervan is het boek '*Unstoppable Global Warming: Every 1.500 years*', waarin S.F. Singer en D. T. Avery beweren dat de huidige klimaatsopwarming te wijten is aan een zonne-cyclus, die elke 1.500 jaar een onschadelijke, natuurlijke opwarming zou veroorzaken.
Daar is sinds het laatste VN-klimaatrapport, dat op 2 februari 2007 te Parijs werd gepubliceerd, verandering in gekomen. Achim Steiner, hoofd van het VN-Milieuprogramma beschreef 2 februari 2007 als "de dag dat het vraagteken werd verwijderd omtrent de schuld van de mens voor de klimaatsverandering". Uit het rapport blijkt namelijk dat de mens ontegensprekelijk de hoofdverantwoordelijke is voor de opwarming en dat men zo snel mogelijk actie moet ondernemen, voor het te laat is. (S.Decoo, 2007).

III.2 Climate change versus Global warming

De begrippen '*climate change*' en '*global warming*' (respectievelijk 'klimaatsverandering' en 'globale opwarming') worden vaak door elkaar gebruikt. Deze termen zijn echter geen synoniemen. 'Klimaatsverandering' verwijst naar langdurige veranderingen van de klimatologische parameters zoals temperatuur, neerslag en wind. De oorzaak van klimaatsveranderingen kunnen natuurlijke factoren, natuurlijke processen in het klimaatsysteem of menselijke activiteiten zijn. Veranderingen van de zonne-activiteit en kleine veranderingen van de baan van de Aarde rond de zon zijn natuurlijke factoren.

Natuurlijke processen in het klimaatsysteem kunnen veranderingen van de stromingen in de oceanen zijn. Onder menselijke activiteiten tenslotte, worden activiteiten verstaan die de samenstelling van de atmosfeer en/of de landbezetting veranderen. Voorbeelden hiervan zijn het verbranden van fossiele brandstoffen en ontbossing, desertificatie en urbanisatie.
'Globale opwarming' van de Aarde verwijst naar een algemene toename van de temperatuur van de troposfeer[5]. Deze veranderingen kunnen leiden tot veranderingen van de globale klimaatspatronen. De oorzaak van global warming kan zowel van natuurlijke als van menselijke aard zijn. Heden zal men het begrip globale opwarming gebruiken voor de opwarming ten gevolge van de toenemende emissies van broeikasgassen door menselijke activiteiten. (http://www.epa.gov; 2007).

III.3 Oorzaken klimaatsverandering

III.3.1 Natuurlijke factoren

III.3.1.1 De Theorie van Milankovitch

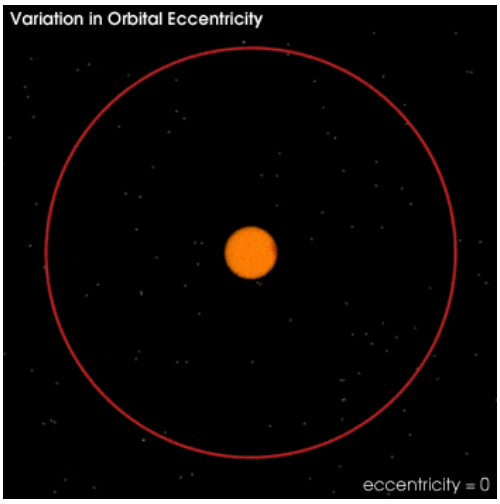
Milutin Milankovitch (1879 – 1958), een Servisch astrofysicus, heeft een mathematische theorie ontwikkeld die veranderingen van het klimaat linkt met variaties van zonnestraling die de Aarde ontvangt. De Theorie van Milankovitch stelt dat terwijl de Aarde haar baan beschrijft rond de zon, er zich cyclische variaties voordoen in drie elementen van het Aarde-zon-systeem. Op die manier ontstaan variaties in de hoeveelheid zonne-energie die ons aardoppervlak kan bereiken. (http://earthobservatory.nasa.gov; 2006).

a. Variaties in de excentriciteit van de baan van de Aarde

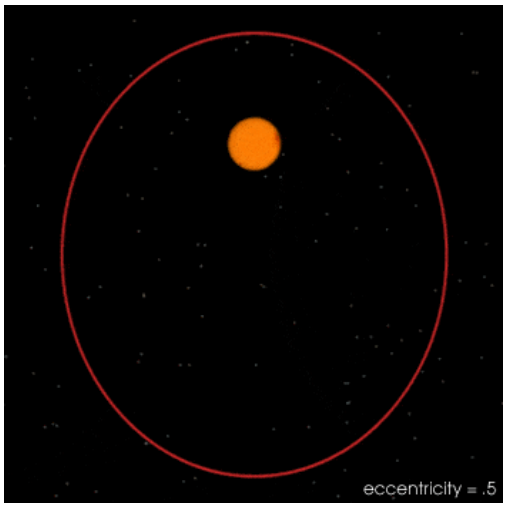
De baan van de Aarde verandert in cycli van 90.000 tot 100.000 jaar van elliptisch (hoge excentriciteit) tot bijna cirkelvormig (lage excentriciteit) (figuren 1 en 2). Als de

[5] De onderste laag van de atmosfeer waar vrijwel alle weersverschijnselen en de menselijke activiteiten zich afspelen (http://www.epa.gov; 2006). Afhankelijk van de plaats op Aarde varieert haar hoogte: 8 km aan de polen, 10 km op de middelbreedten en 18 km bij de evenaar. De bovenzijde van de troposfeer wordt begrensd door de dunne tropopauze die de overgang vomt naar de stratosfeer (http://www.knmi.nl, 2006).

aardbaan elliptisch is, zal de hoeveelheid insolatie[6] aan het perihelion[7] 20 tot 30 % meer bedragen dan in het aphelion[8], wat leidt tot een geheel ander klimaat dan dat we vandaag de dag kennen. Heden bedraagt het verschil tussen het aphelion en het epihelion slechts 3%, wat betekent dat de aardbaan eerder neigt naar een cirkelvorm. Dit zorgt ervoor dat het insolatieverschil slechts 6% bedraagt.



Figuur 1: Weinig excentrische baan van de Aarde rond de zon (Bron: http://earthobservatory.nasa.gov; 2006)



Figuur 2: Elliptische baan van de Aarde rond de zon (Bron: http://earthobservatory.nasa.gov; 2006)

b. Variaties in de helling van de aardas (obliquiteit)

Dit houdt de verandering in van de hoek die de aardas maakt met het vlak waarin de Aarde draait (hellingshoek of inclinatie) (figuur 3).

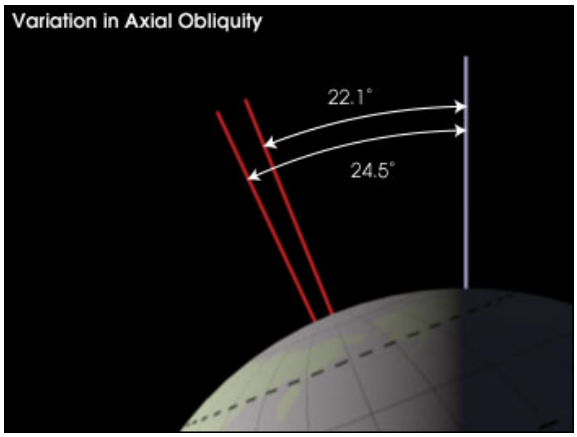
Heden bedraagt de helling van de aardas 23,5 graden. (http://earthobservatory.nasa.gov; 2006). Deze hoek veroorzaakt de seizoenen en varieert met een periode van ongeveer 41.000 jaar. (E. Tuenter; 2004).

Deze helling is echter onderhevig aan cyclische veranderingen. Gedurende een cyclus van gemiddeld 40.000 jaar varieert de helling tussen de 22,1 en de 24,5 graden. Ook

[6] 'Incoming Solar Radiation: de hoeveelheid zon die een bepaalde plek bereikt (http://www.geoclopedie.nl; 2006).
[7] De kortste afstand tussen de Aarde en de zon. (http://earthobservatory.nasa.gov; 2006).
[8] Het punt waarop de Aarde en de zon het verst verwijderd zijn van elkaar. (http://earthobservatory.nasa.gov, 2006).

dit heeft invloed op de seizoenen: als de helling groter wordt, worden de seizoenale contrasten groter. De zomers worden warmer en de winters kouder. Een kleinere helling betekent het omgekeerde.

Het zijn de koelere zomers die ervoor zorgen dat de sneeuw op grotere hoogtes blijft liggen en dat het vormen en blijven bestaan van grote ijskappen mogelijk maakt. Aan dit laatste is een positieve feedback binnen het klimaatsysteen gekoppeld: een met ijs bedekte Aarde, kaatst meer zonne-energie terug de ruimte in, wat zorgt voor addtitionele afkoeling.

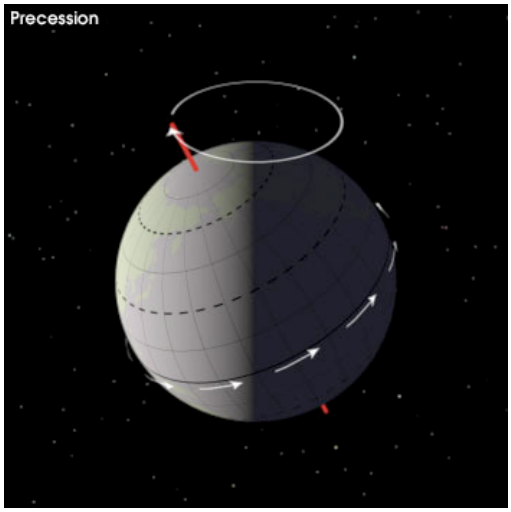


Figuur 3: Veranderingen van de helling van de aardas (Bron: http://earthobservatory.nasa.gov; 2006)

c. Precessie

Dit fenomeen houdt in dat de aardas zelf ook onderhevig is aan een uiterst trage rotatie. Men kan deze beweging vergelijken met een draaiende tol waarbij de as eveneens een kleine cirkelbeweging maakt (figuur 4). Precessie verandert de tijdstippen van het aphelion en van het perihelion, waardoor de seizoenale contrasten in de ene hemisfeer toenemen, terwijl in de andere hemisfeer de contrasten afnemen. (http://earthobservatory.nasa.gov; 2006).

De aardas doet er ongeveer 26.000 jaar over om een volledige cirkel te beschrijven. (http://www.sterrenkunde.nl; 2006).



Figuur 4: Precessie (Bron: http://earthobservatory.nasa.gov; 2006)

Door de drie bovenstaande parameters te combineren kon Milankovitch een mathematische theorie ontwikkelen die veranderingen van inkomende zonnestraling en de daarmee gepaard gaande verandering van de temperaturen op verschillende breedtegraden voor een periode van 600.000 jaar tot in 1800 kan achterhalen.

De Milankovitch-theorie is lang betwist gebleven, maar in 1976 werd de Theorie in het tijdschrift Science bevestigd. Uit onderzoek was namelijk gebleken dat de klimaatsveranderingen gedurende de laatste 450.000 jaar inderdaad nauw samengingen met de veranderingen van de geometrie van de baan van de Aarde, zoals beschreven hierboven.

"...orbital variations remain the most thoroughly examined mechanism of climatic change on time scales of tens of thousands of years and are by far the clearest case of a direct effect of changing insolation on the lower atmosphere of Earth" (National Research Council, 1982).

III.3.1.2 Zonne-activiteit

De heliosfeer is dit deel van de ruimte dat een directe invloed ondergaat van de zonnewind. Het is de magnetische structuur van deze wind[9] die een schild vormt tegen energetische kosmische straling. Variaties in de zonnewind (of zonne-activiteit) veranderen de flux van kosmische stralen[10] die de Aarde bereiken. Als de zon actief is, wordt het magnetisch veld

[9] De zonnewind bestaat uit een constante stroom van partikeltjes (vooral protonen en elektronen) die vrijkomen uit de atmosfeer van de zon. (H.Svensmark; 1999)

[10] Niet van de zon afkomstige hoog-energetische straling (B. Van Geel; 2006).

sterker met als gevolg dat de schildfunctie actiever wordt. Hierdoor bereiken minder kosmische stralen de Aarde. Het omgekeerde geldt ook: als de zon weinig actief is, verzwakt het schild waardoor meer kosmische stralen de Aarde treffen.
Aan de hand van de hoeveelheid radiokoolstof in een bepaalde boomring, kan men achterhalen hoe groot de kosmische flux op een bepaald moment was. Op die manier kan men de zonne-activiteit reconstrueren. Zo heeft men een link kunnen leggen tussen koude en warme klimatologische omstandigheden en periodes van lage en hoge zonne-activiteit. Hoewel het causale verband treffend is, zijn de variaties te klein (0,1%) om de waargenomen temperatuursverschillen te verklaren. Vandaar dat men is overgestapt naar een aansluitende theorie: de invloed van de zonne-activiteit kan versterkt worden door haar invloed op het wolkendek. Hoe dit mechanisme in elkaar zit, wordt beschreven in het volgende punt (III.3.1.3).

III.3.1.3 Bewolkingsgraad

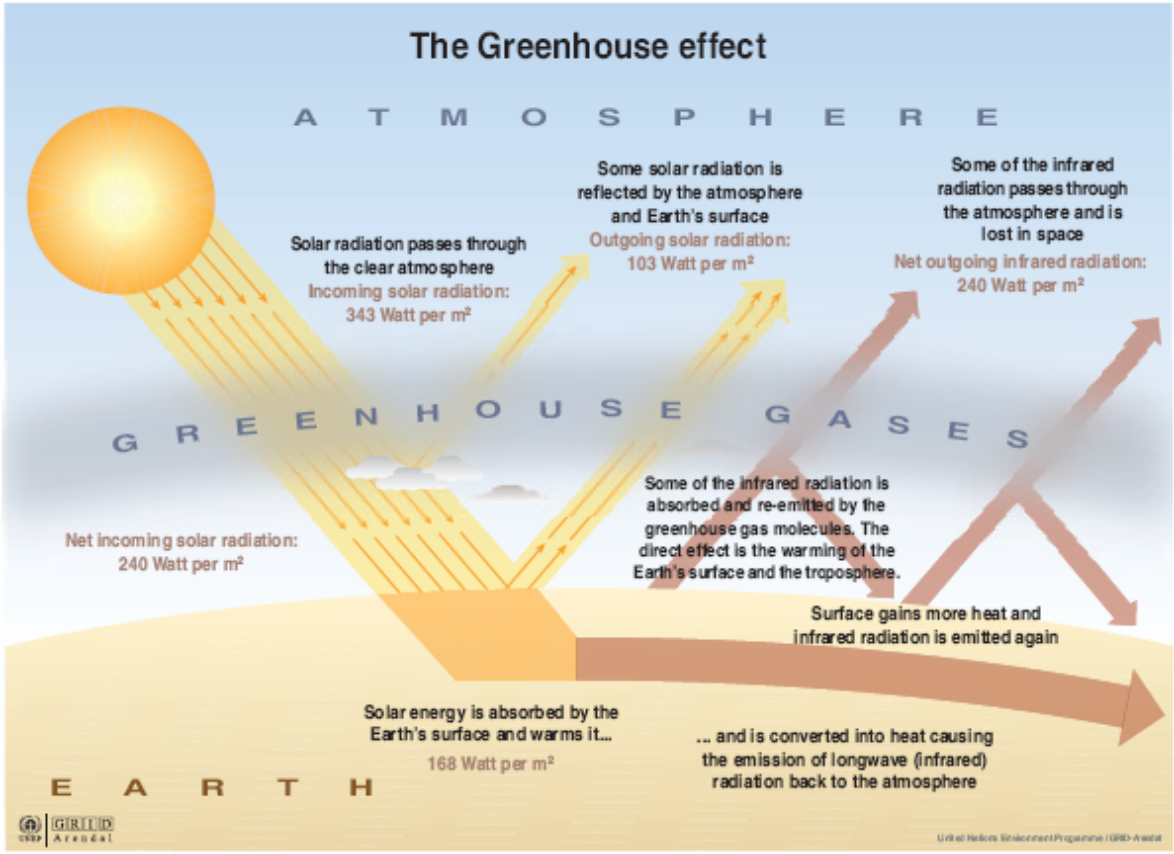
Wolken hebben een afkoelende functie doordat ze inkomende kortgolvige stralen (zonlicht) reflecteren. Daarnaast hebben ze eveneens een opwarmende functie doordat ze de uitgaande langgolvige stralen (thermale aardstraling) tegenhouden. Het netto-effect van een specifieke wolk hangt af van haar hoogte een van haar dikte: dunne wolken op grote hoogte (cirruswolken; zie punt IV.1.2.5) hebben een opwarmende functie, terwijl laaghangende dikke wolken een afkoelend effect hebben.
Uit onderzoek is gebleken dat het wolkendek overeenkomstig met variaties in de GCR[11] verandert. Het mechanisme dat daar achter zit is tot op heden nog niet helemaal bekend, maar men neemt aan dat kosmische stralen ionen vormen in de lagere atmosfeer. Zo ontstaan lage wolken die zorgen voor afkoeling. Als we deze bevindingen linken aan de zonne-activiteit, kan men hetvolgende stellen: naarmate de zonne-activiteit afneemt, verzwakt het schild. Er zullen meer kosmische stralen de Aarde bereiken waardoor meer ionen gevormd worden. Zoals reeds aangehaald betekent een toename aan ionen in de lagere atmosfeer, de vorming van meer lage wolken met als resultaat een daling van de temperatuur. (H. Svensmark; 1999).

[11] *Galactic Cosmic Rays:* kosmische stralen (H. Svensmark; 1999).

III.3.2 Menselijke factoren

III.3.2.1 Broeikaseffect

De zon is een levensnoodzakelijke energiebron voor de Aarde en levert op een jaar gemiddeld 340 watt per vierkante meter. Ongeveer één derde van deze energie wordt door onze atmosfeer teruggekaatst naar de ruimte. Het resterende deel wordt geabsorbeerd door de oceanen en de continenten. De zonnestraling die op het landoppervlak terecht komt (kortgolvige straling), warmt de Aarde op en wordt als infraroodstraling weer vrijgegeven (langgolvige straling) (figuur 5).
De term '*radiative forcing*' wordt vaak gebruikt om de verandering in het verschil tussen binnenkomende en uitgaande straling aan te duiden. (UNEP; 2005). Het drukt de verstoring of verandering van de energiebalans van de atmosfeer uit in Watt per vierkante meter. (J.E. Penner et al.; 1999) (zie ook punt IV). Als de *radiative forcing* positief is, wijst dit op een opwarming van het aardoppervlak: er komt meer warmte binnen dan er weggaat. Een negatieve waarde wijst op afkoeling.



Figuur 5: Schematische voorstelling van het broeikaseffect (Bron: http://www.vitalgraphics.net; 2006)

Broeikasgassen zorgen voor een positief stralingseffect. Het zijn deze gassen die de uitgaande (teruggekaatste) infrarode straling verhinderen te ontsnappen naar de ruimte, waardoor de temperatuur van de Aarde toeneemt. Dit fenomeen wordt het 'broeikaseffect' genoemd. (UNEP; 2005). Het 'natuurlijke' broeikaseffect is onontbeerlijk voor het leven op Aarde. Broeikasgassen maken van nature deel uit van onze atmosfeer. Zonder deze gassen en hun bijhorende broeikaseffect zou de gemiddelde temperatuur op Aarde ongeveer -20°C bedragen. Wat echter vandaag de dag een probleem vormt, is het 'versterkte' broeikaseffect: menselijke activiteiten zijn er de oorzaak van dat steeds meer broeikasgassen in de atmosfeer terechtkomen, waardoor de temperatuur eveneens steeds meer toeneemt. Vooral het verbranden van fossiele brandstoffen en boskap zijn de oorzaak van de verhoogde concentraties.

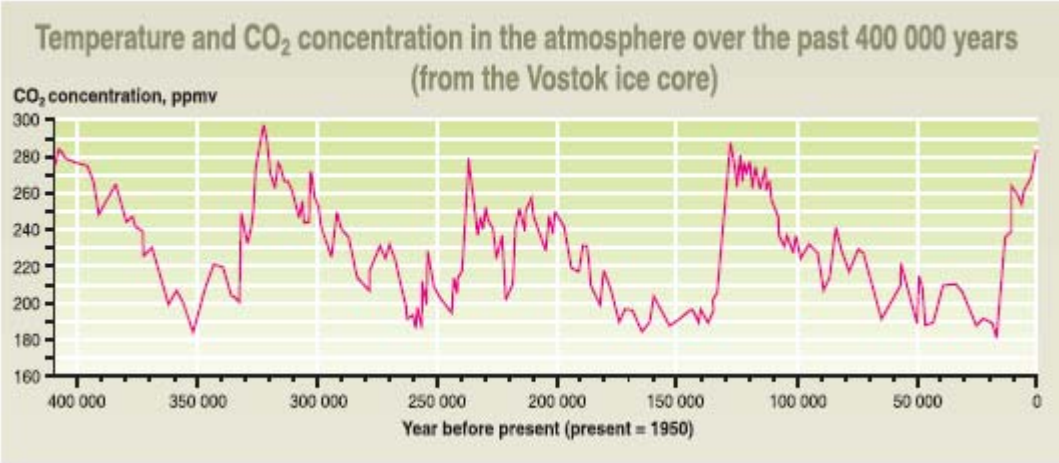
Uit observaties blijkt dat de Aarde een significante opwarming ondergaan heeft gedurende de twintigste eeuw. Deze trend blijft zich nu nog steeds doorzetten.
Zo bedroeg de globale opwarming in 1998 1°C. Daarnaast werd een toename van de hoeveelheid CO_2 in de atmosfeer vastgesteld: uit de luchtbellen in het ijs van Groenland en Antarctica kan afgeleid worden dat de concentratie aan atmosferische CO_2 zo een 200 jaar geleden (vóór de Industriële Revolutie) 280 ppm[12] bedroeg en 200 ppm gedurende het Laatste Glaciale maximum (20.000 jaar geleden). Sinds de Industriële Revolutie (18de eeuw) is de concentratie gestegen van 280 tot 364 ppm (waarvan een toename van 54 ppm in de laatste vijfitg jaren). Dit gebeurde honderd maal sneller dan gedurende de laatste 20.000 jaar. Modellen en statistische analyses (A. Berger; 1999) tonen dat de opwarming van de laatste decennia, met een waarschijnlijkheid van 95%, het gevolg is van de toename van de broeikasgassen in de atmosfeer. Hieruit kan geconcludeerd worden dat onder druk van de mens, de concentratie aan CO_2 in de lucht gedurende de laatste 200 jaar honderd keer sneller is toegenomen dan gedurende de laatste 20.000 jaar.
De snelle toename van de CO_2-concentratie sinds de industriële Revolutie hangt nauw samen met de toename van CO_2-emissies ten gevolge van het verbranden van fossiele brandstoffen en ontbossing. (A. Berger; 1999).

Er bestaan nog steeds onzekerheden over de verklaring van de opwarming in de twintigste eeuw. Vooral rond de invloed van wolken, de hydrologische cyclus, de oceanische circulatie

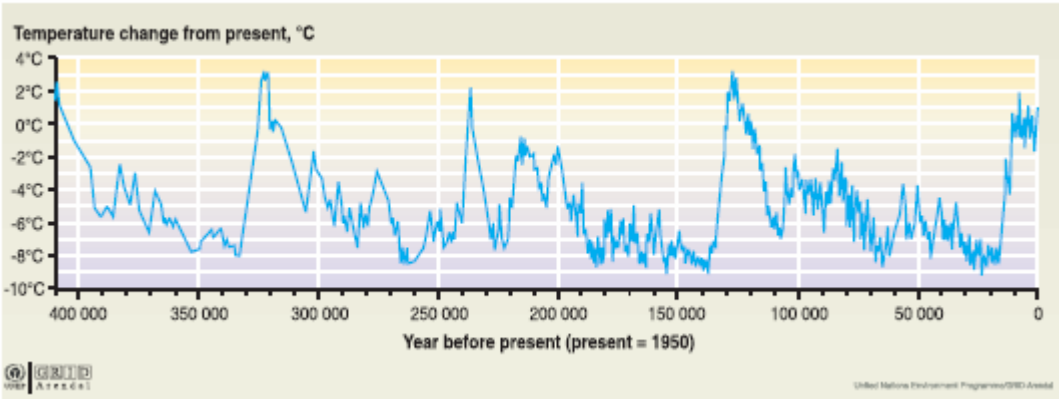
[12] *Parts per million:* aantal deeltjes per miljoen moleculen in droge lucht (http://unfccc.int)

en de werking van sommige broeikasgassen bestaan nog veel onduidelijkheden. Maar uit vergelijking van hedendaagse klimaatmodellen met klimaatmodellen die het klimaat uit het verleden reconstrueren, kan zonder enige twijfel afgeleid worden dat de invloed van de mens een grote rol speelt. (UNEP; 2005).

Figuren 6 en 7 geven het verband weer tussen de concentratie aan CO_2 in de atmosfeer en de temperatuur.



Figuur 6: De CO_2-concentratie doorheen de tijd (bron: UNEP, 2005).



Figuur 7: De temperatuur doorheen de tijd. (bron: UNEP, 2005).

Uit de figuren 6 en 7 blijkt dat het verloop van de temperatuur duidelijke overeenkomsten vertoont met dit van de CO_2-concentratie: daar waar de concentratie aan CO_2 afneemt, daalt de temperatuur. Het omgekeerd geldt ook. (UNEP; 2005).

Naast CO_2 (koolstofdioxide) zijn er nog andere gassen die een effect uitoefenen op het klimaat: CH_4 (methaan), N_2O (distikstofoxide of lachgas), O_3 (ozon), CFK's (chloorfluorkoolstofverbindingen), HFK's [13], CF_4 (polyfluorkoolwaterstoffen) en SF_6 (zwavelhexafluoride). Dit zijn de 'broeikasgassen'.
CO_2 komt vrij bij verbranding van organisch materiaal zoals fossiele brandstoffen (steenkool, aardolie en aardgas). Ook door ontbossing komt CO_2 vrij.
Methaan ontstaat vooral in de landbouw en de veeteelt.
Lachgas komt vrij bij de verbranding van fossiele brandstoffen en mest.
CFK's werden vroeger gebruikt als drijfgas in spuitbussen en koelkasten. In de industrie werden ze als blaasmiddel bij de fabricage van schuimplastic en als schoonmaakmiddel in de elektronika gebruikt. Deze stoffen werden vervangen door alternatieven. (http://www.milieuloket.nl, 2007).

In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste broeikasgassen. In de laatste kolom wordt de GWP weergegeven. Dit is de afkorting voor *Global Warming Potential* en hangt af van de mate waarin een broeikasgas warmte kan vasthouden en van de duur dat molecules in de atmosfeer blijven vooraleer ze worden verwijderd of afgebroken. De GWP kan worden gebruikt om de impact van broeikasgassen op de globale opwarming over verschillende tijdsperiodes te achterhalen. De GWP van CO_2 wordt gelijk gesteld aan 1 zodat de andere broeikasgassen relatief ten opzichte van deze waarde kunnen gedefinieerd worden.
Hoewel de GWP-waarden van methaan en lachgas veel hoger liggen dan deze van CO_2, is dit laatste gas toch het belangrijkste broeikasgas. De reden hiervoor is dat haar concentratie in de atmosfeer veel hoger is, waardoor ze voor 60% verantwoordelijk is voor het broeikaseffect. **(**UNEP, 2005).

[13] Vervangt CFK's, tast de ozonlaag niet aan, maar draagt wel bij tot het broeikaseffect.

Tabel 1: Een overzicht van de belangrijkste broeikasgassen (bron: UNEP, 2005).

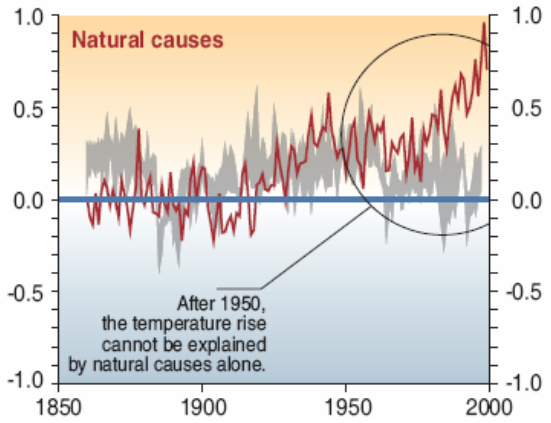
NAAM	Pre-industrial concentration (ppmv*)	Concentration in 1998 (ppmv)	Atmospheric lifetime (years)	Main human activity source	GWP**
Waterdamp	1 tot 3	1 tot 3	enkele dagen	-	-
Koolstofdioxide CO_2	280	365	variabel	fossiele brandstoffen, cement-productie productie, verandering landgebruik	1
Methaan CH_4	0,7	1,75	12	fossiele brandstoffen, rijstvelden, storten, vee	23
Natriumoxide N_20	0,27	0,31	114	mest, verbranding bij industriële processen	296
HFC 23	0	0,000014	260	elektronica, koelstoffen	12.000
HFC 134 a	0	0,0000075	13,8	koelstoffen	1.300
HFC 152 a	0	0,0000005	1,4	industriële processen	120
Perfluoromethaan CF_4	0,00004	0,00008	>50.000	aluminiumproductie	5.700
Perfluoroethaan C_2F_6	0	0,000003	10.000	aluminiumproductie	11.900
Zwavelhexafluoride SF_6	0	0,0000042	3.200	di-elektrische vloeistoffen	22.200

* parts per million by volume

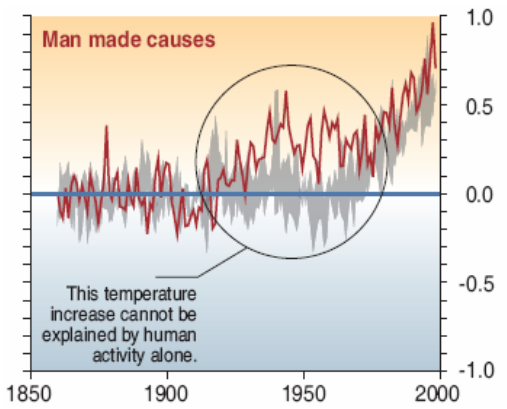
* Global Warming Potential

Onderstaande figuren (8, 9 en 10) stellen de temperatuuranomalieën voor in een periode van 150 jaar. Op de figuren staan de voorspellingen in het grijs, terwijl de rode lijnen de werkelijk waargenomen temperaturen zijn. Op figuur 8 wordt het temperatuurverloop ten gevolge van natuurlijke oorzaken gesimuleerd. Vanaf het laatste kwart van de twintigste eeuw komen de resultaten van het computermodel niet overeen met de werkelijk waargenomen waarden. Hieruit kunnen we afleiden dat deze ongewone toename van de temperatuur niet enkel te wijten is aan natuurlijke oorzaken.

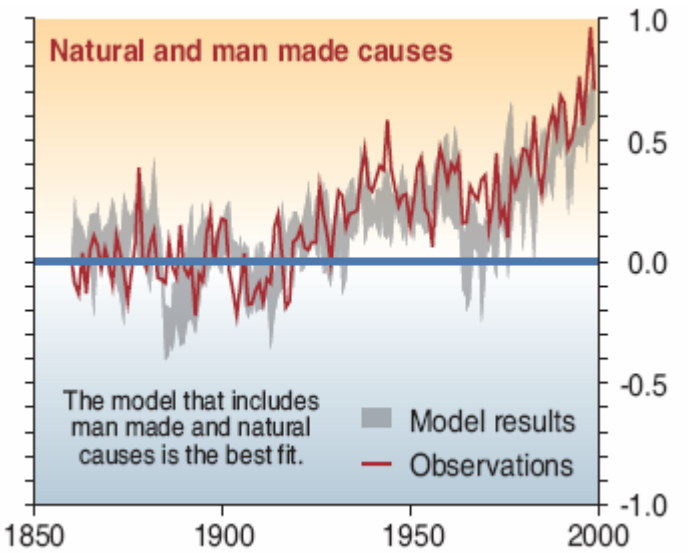
Bij figuur 9 wordt het temperatuurverloop onder invloed van de mens voorgesteld. We zien dat er in de eerste helft van de twintigste eeuw een afwijking bestaat t.o.v. de berekende resultaten. Deze afwijking kan onmogelijk enkel geweten worden aan de mens. Het beste resultaat wordt weergegeven door figuur 10 waar de antropogene en de natuurlijke factoren werden samengenomen. We zien dat de computersimulaties en de werkelijke waarden weinig tot niet afwijken van elkaar. (UNEP, 2005).



Figuur 8: De voorspelde en gemeten evolutie van de temperatuur door natuurlijke oorzaken (bron: UNEP, 2005)



Figuur 9: De voorspelde en gemeten evolutie van de temperatuur t.g.v. menselijke invloeden (bron: UNEP; 2005)



Figuur 10: De voorspelde en gemeten evolutie van de temperatuur t.g.v. een combinatie van menselijke en natuurlijke factoren (bron: UNEP, 2005).

De figuren weerleggen dus de stellingen dat de huidige opwarming van de Aarde enkel te wijten is aan cyclische processen van de natuur en dat de rol van de mens niet mag onderschat worden. Anderzijds mogen we ook niet ontkennen dat de natuurlijke processen ook een niet te onderschatten rol blijven spelen bij de globale temperatuur.

III.3.3 Mogelijke gevolgen**?**

III.3.3.1 Koolstof

Koolstof is het meest voorkomende element in het heelal. Het is de basis van alle organische stoffen, gaande van fossiele brandstoffen tot menselijke cellen. Op Aarde kunnen we spreken van een koolstofcyclus: koolstof is constant in beweging, verplaatst zich tussen levende wezens, continenten, oceanen, de atmosfeer en het binnenste van de Aarde. (UNEP; 2005). CO_2 kan, afhankelijk van hoe het naar het land of de oceanen terugcirculeert, 50 tot 2.000 jaar in de atmosfeer aanwezig blijven. (http://ec.europa.eu; 2006).

De mens oefent een grote invloed uit op de koolstofcyclus waardoor een groot deel van de koolstof in de atmosfeer terecht komt. Het gaat zelfs zo ver dat men niet weet wat er met al de koolstof gebeurt die vrijkomt na verbranding van fossiele brandstoffen. Een groot deel (70 tot 85%) (NASA; 2006), maar niet alles, zou in de atmosfeer terecht komen. Wat met de overige 15 tot 30% gebeurt, is minder duidelijk. Onzekerheden als deze maken het ontzettend moeilijk om de gevolgen te voorspellen van de menselijke ingrepen in de koolstofcyclus. (UNEP, 2005).

III.3.3.2 Methaan

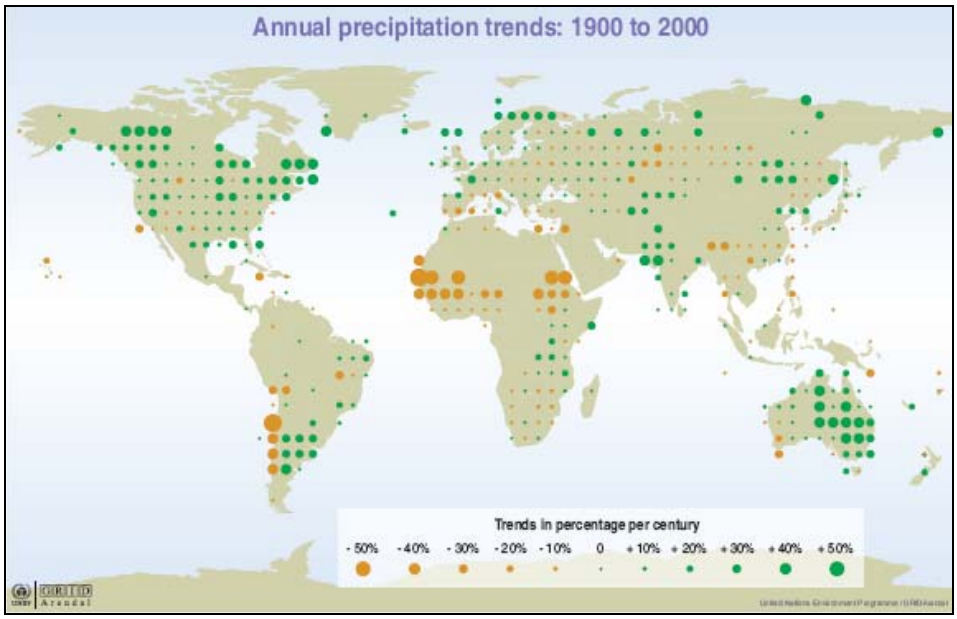
Methaan wordt voornamelijk geproduceerd door bacteriën die van organische materiaal leven in een zuurstofarme omgeving, zoals bijvoorbeeld moerassen. (http://ec.europa.eu; 2006).

Op de bodem van de oceanen en in de Arctische permafrost zijn gigantische hoeveelheden methaan opgeslagen. Door de lage temperatuur en de hoge druk bevindt deze stof zich in vaste toestand. Volgens schattingen bevat dit reservoir bijna twee maal zo veel koolstof als alle fossiele brandstofreserves samen. Zoals in tabel 1 is af te lezen, is methaan een broeikasgas met een GWP dat 23 keer zo hoog is als dat van CO_2. (UNEP, 2005). De levensduur van methaan is echter korter dan deze van CO_2: tussen de 10 en 15 jaar. (http://ec.europa.eu; 2006).

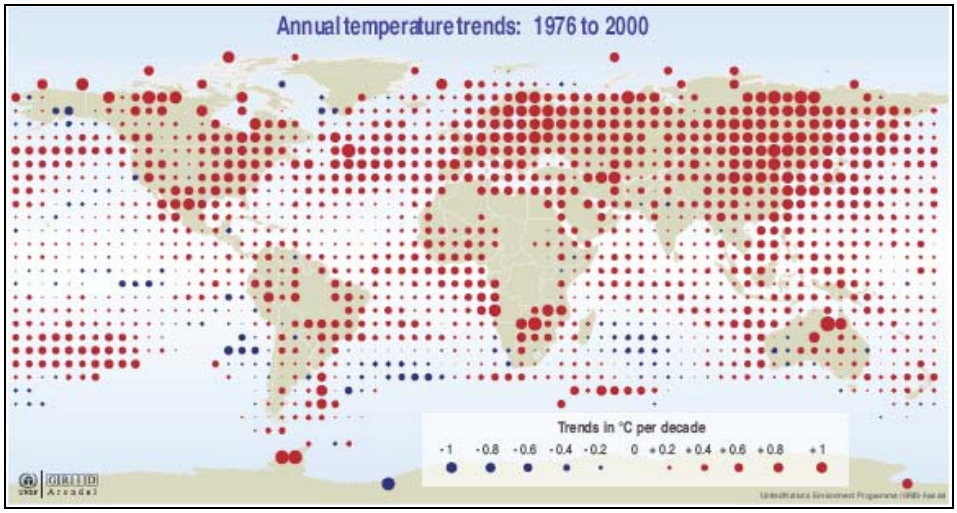
Een toename van de temperatuur van oceanen en de atmosfeer kan ervoor zorgen dat dit methaan vrijkomt en zo het broeikaseffect nog meer versterkt. Het is een positief feedback-systeem: het vrijgekomen methaan zorgt voor een stijging van de temperatuur die er op haar beurt voor zorgt dat er meer nog meer gas vrijkomt... (UNEP; 2005).

III.3.3.3 Klimaat

De twintigste eeuw wordt gekenmerkt door een ongewoon snelle toename van de temperatuur. Het is heel waarschijnlijk dat de toename van de globale temperatuur gezorgd heeft voor een stijging van het zeeniveau en voor hogere zeewatertemperaturen. De opwarming van de Aarde heeft eveneens invloed op de neerslagtrends (figuur 11). Zo kende de neerslag in de gebieden op de midden- en hogere breedtes in het noordelijk halfrond, een toename van 5 tot 10%. In de subtropische continentale gebieden viel de neerslag met gemiddeld 3% terug. Ook periodes van extreme droogte of van extreme regenval namen toe.

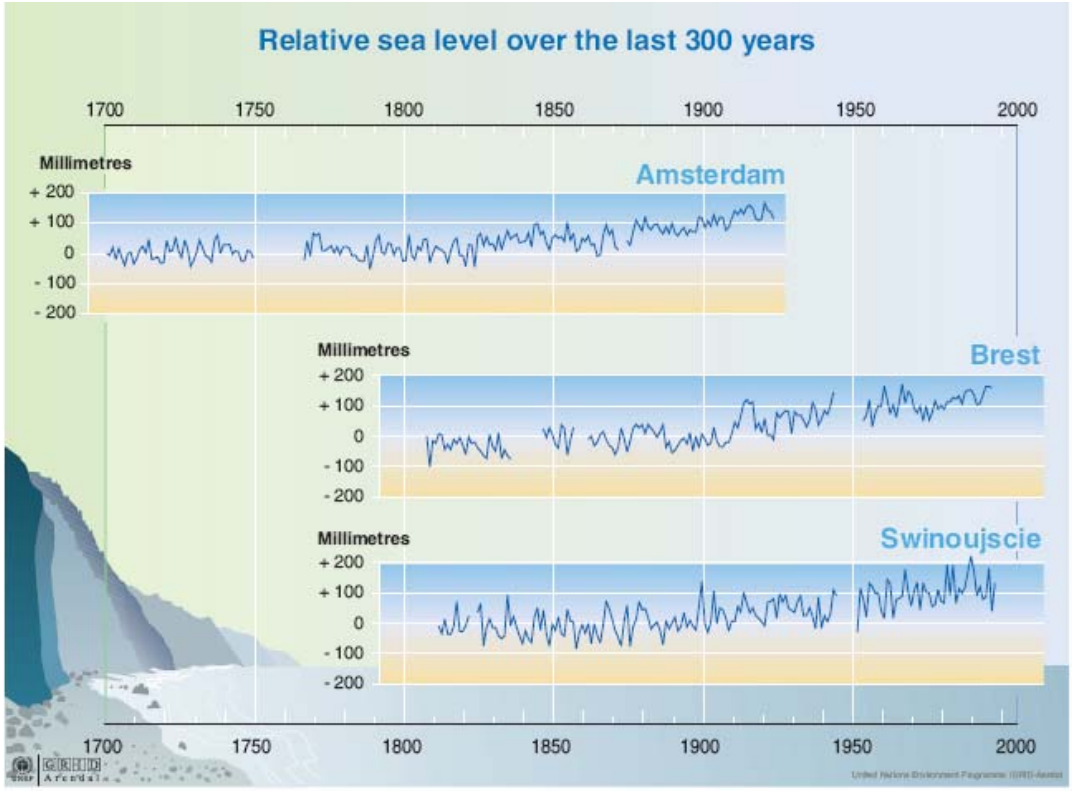


Figuur 11: Jaarlijkse neerslagtrends in de periode 1900 – 2000 (bron: UNEP, 2005)



Figuur 12: Jaarlijkse temperatuurtrends in de periode 1976 – 2000 (bron: UNEP, 2005)

Ten gevolge van de globale temperatuurstijging (figuur 12) ondergaat de zeespiegel een stijging (figuur 13). Dit is te wijten aan het afsmelten van ijskappen en gletsjers, maar ook door uitzetting: een toenemende temperatuur zorgt ervoor dat het watervolume eveneens uitzet.



Figuur 13: Stijging van het zeeniveau gedurende de laatste 300 jaren (bron: UNEP, 2005).

III.3.3.4 Gevolgen zoals beschreven in het VN-klimaatrapport (2 februari 2007, Parijs)

In de krant De Morgen van 3 februari 2007 vat S. Decoo de belangrijkste conclusies van het VN-klimaatrapport als volgt samen:

- Ten gevolge van natuurlijke processen komen broeikasgassen in de atmosfeer terecht. Gedurende de laatste 650.000 jaar bereikte het CO_2-gehalte nooit waarden boven de 300 ppm[14]. De laatste jaren echter zijn er meer broeikasgassen in onze atmosfeer

[14] Parts per million

aanwezig dan er in deze 650.000 jaar door natuurlijke processen zijn vrijgekomen. Het CO_2-gehalte bedraagt vandaag de dag 380 ppm en is de voorbije tien jaar, met een snelheid van 1,9 ppm per jaar, sneller gestegen dan in de periode 1960 – 2005 (1,4 ppm per jaar).

- Van de laatste twaalf jaren, behoren er elf tot de warmste jaren sinds het begin van de metingen in 1850. Deze opwarming uit zich in een stijging van de globale gemiddelde temperatuur en van het zeeniveau en alsook in een daling van de hoeveelheid ijs op Aarde. Deze vormen de niet te ontkennen bewijzen voor de opwarming van de Aarde.
- Tegen 2100 zal het op Aarde 1,1 tot 6,4°C warmer worden. Het brede interval is te wijten aan het feit dat de temperatuursveranderingen zullen afhangen van het scenario voor de toekomstige ontwikkeling van de wereld.
- Het IPCC[15] gaat er van uit dat een verdubbeling van het CO_2-gehalte in de lucht waarschijnlijk een temperatuursstijging van 2 tot 4,5°C zou kunnen veroorzaken.
- Het globale weersysteem zal grote veranderingen ondergaan. Zo zullen Noord-Europa, het oosten van Amerika en Centraal- en Noord-Azië af te rekenen krijgen met meer neerslag, terwijl de (sub)tropische gebieden en de streken rond de Middellandse Zee intensere en langere periodes van droogte en hittegolven moeten verwerken.
- Op de Noordpool zijn de temperaturen de laatste honderd jaar gemiddeld twee maal sneller gestegen dan in de rest van de wereld.

  Het smelten van de gletsjers in Antarctica en Groenland hebben bijgedragen tot de stijging van de zeespiegel. Daarnaast komt er ook nog eens sneller ijs vrij uit de binnenkant van gletsjers.
- Afhankelijk van het scenario zal de zeespiegel tegen 2100 stijgen met waarden gaande van 18 tot 59 centimeter.

  Het zeeniveau stijgt alsmaar sneller: van 1961 tot 2003 was er een stijging van 1,8 millimeter per jaar, terwijl de laatste tien jaar deze waarden zijn opgelopen tot 3,1 millimeter.

  De gevolgen voor de laaggeleden gebieden zullen nefast zijn. Zo zullen bijvoorbeeld delta's van Bangladesh, Vietnam en Egypte onder water komen te liggen. (IPCC; 1990)

  In Oostende komt de zee jaarlijks gemiddeld 1,7 millimeter hoger, terwijl in Zeebrugge en Nieuwpoort zelfs gemiddelde stijgingen worden genoteerd van 2,3 tot 2,6 millimeter. Nederland en België zijn de twee Europese landen die het meest

[15] International Panel on Climate Change

kwetsbaar zijn voor overstromingen ten gevolge van de stijging van het zeeniveau. In Vlaanderen ligt 15% van het oppervlak minder dan vijf meter boven het gemiddelde zeeniveau. Er zullen dus bijkomende maatregelen moeten genomen worden om de schade te beperken (vb. het bouwen van dammen).

- De oceanen zijn al opgewarmd tot op 3.000 meter diep. Dit betekent dat de oceanen 80% van de extra warmte van ons klimaat hebben opgeslorpt.

  Een gevolg van deze opwarming van de oceanen is dat de orkanen in kracht toenemen. Windsnelheden zullen hogere pieken bereiken.
- Als besluit stelde het IPCC dat de door de mens veroorzaakte opwarming en stijging van het zeeniveau nog decennia lang zal doorgaan ten gevolge van het tijdsbestek en de feedbacksystemen die met klimaatprocessen gepaard gaan, zelfs indien men de broeikasgassen op het huidige niveau kan stabiliseren.

IV. BIJDRAGE VAN DE LUCHTVAART AAN DE KLIMAATSOPWARMING

VI.1 Inleiding

De luchtvaartsector kent een sterke groei. Ondanks de technologische verbeteringen zijn door deze groei de broeikasgasemissies door de vliegtuigen doorheen de tijd sterk toegenomen. Als men enkel de CO_2-uitstoot in beschouwing neemt, ziet men dat de luchtvaart verantwoordelijk is voor ongeveer 2,5% van de globale broeikasgasemissies. Dit percentage zal volgens het *Business as Usual*-scenario[16] van globale emissies nog oplopen tot 10%. (J. Graichen, B. Gugele; 2006).

Doordat de totale impact van de luchtvaart op de klimaatsverandering door de bijkomende wolkenvorming en emissies van NO_x en andere broeikasgassen 2,6 keer hoger zou zijn dan de *radiative forcing*[17] van enkel CO_2 **(**M.G.J. den Elzen et al.; 2007), zouden de emissies van het luchtvaartverkeer in de EU in 2050 verantwoordelijk zijn voor 40% tot meer dan 100% van de toegelaten broeikasgasemissies[18]. (J. Graichen, B. Gugele; 2006).

Bij een perfecte verbranding van fossiele brandstoffen komt CO_2 vrij. In de werkelijkheid (niet-perfecte verbranding) komen daarnaast ook de andere broeikasgassen N_2O en CH_4 vrij. De impact van het verbranden van fossiele brandstoffen op het klimaat wordt vooral teweeggebracht door emissies van CO_2. Volgens het Verdrag van Kyoto (punt V) dragen de twee andere gassen slechts bij voor minder dan 2% van de broeikasgasemissies van fossiele brandstoffen in de EU.

Het beeld is zeer verschillend voor de luchtvaartsector[19]. De reden hiervoor is dat de uitstoot gebeurt op grotere hoogte en dat dus sommige emissies een ander mechanisme kennen. Naast de emissies van directe broeikasgassen zijn er ook nog emissies van bestanddelen die ozon

[16] Het scenario waarin zich geen drastische economische, politieke of technologische veranderingen in vergelijking met de huidige situatie hebben voorgedaan (W.J. Dijkstra et al.; 1997).

[17] Radiative forcing is een maat voor de verandering van de energiebalans op Aarde ten gevolge van een verandering van de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer en wordt uitgedrukt als vermogen (hoeveelheid energie per seconde) per vierkante meter (W/m²). Radiative forcing hangt af van de concentratie van een bepaald gas in de atmosfeer en kan dus variëren doorheen de tijd. (J. Graichen, B. Gugele; 2006).

[18] Rond dit getal bestaat nog heel wat twijfel omdat men relatief weinig weet over de omvang van de effecten van cirruswolken, terwijl de chemische en fysische reacties van CO2-emissies in de atmosfeer heel goed begrepen worden. Sommige auteurs verkiezen om die reden om de grotere *radiative forcing* met een interval (2 tot 5) in plaats van met een getal (2,6) voor te stellen. (J. Graichen, B. Gugele; 2006).

[19] Deze sector is niet opgenomen in het Kyoto-Protocol (punt V.3).

vernietigen of produceren (zie punt IV.1.2.1) en emissies van substanties die aanzetten tot wolkenvorming (zie punten IV.1.2.4 en IV.1.2.5). (J. Graichen, B. Gugele; 2006).
In de volgende paragrafen wordt per emissie beschreven welke effecten ze op het klimaat hebben, alsook hoe ver de wetenschap gevorderd is in de kennis van de specifieke effecten van deze emissies op het klimaat (J. Graichen, B. Gugele; 2006).

IV.2 Hoe beïnvloedt de luchtvaart het klimaat?

Emissies, afkomstig van vliegtuigen, zijn de verbrandingsproducten en –bijproducten die ontstaan door de verbranding van kerosine in de vliegtuigmotoren. (K. Rypdal, 2000). De emissies zijn gelijkaardig aan deze die voorkomen uit het verbranden van fossiele brandstoffen in andere sectoren. Voor wat sommige emissies betreft, zijn sommige effecten echter verschillend daar zij worden uitgestoten op grote hoogte. (http://www.icao.int, 2006). Vliegtuigen vliegen op een hoogte tussen de 8 en 13 km. (Europese Commissie; 2002). De emissies, bestaande uit gassen en deeltjes, komen in het bovenste deel van de troposfeer en het onderste deel van de stratosfeer[20] terecht, waar ze invloed uitoefenen op de samenstelling van de atmosfeer. (http://www.climatescience.gov; 2006). Een groot deel van de emissies (ongeveer 1/3) komt vrij in de lagere stratosfeer, waar de verblijftijden langer zijn. Hierdoor is de impact van deze emissies in deze regio groter dan in de bovenste troposfeer. (Europese Commissie; 2002).
Elke milieuverontreinigende stof, geproduceerd door vliegtuigen, heeft een verschillende impact op de atmosfeer, afhankelijk van de uitgestoten hoeveelheid, haar chemische en lichtabsorberende eigenschappen en de hoogte waarop ze wordt uitgestoten. (A. Hasselrot et al.; 2004).
Emissies afkomstig van de luchtvaart bestaan uit stikstofoxiden (NO_X)[21], koolwaterstoffen (KWS), koolstofdioxide (CO_2), roetdeeltjes (aerosolen), waterdamp (H_2O), ozon (O_3), methaan (CH_4) en zwaveldioxide (SO_2) (figuur 14). Deze gassen en deeltjes wijzigen de concentratie van de atmosferische broeikasgassen. Daarnaast kan de uitstoot van vliegtuigen ook leiden tot de vorming van condensatiesporen en van cirruswolken. Dit alles draagt bij tot de verandering van het klimaat. (J.E. Penner et al.; 1999). Het brandstofverbruik en de

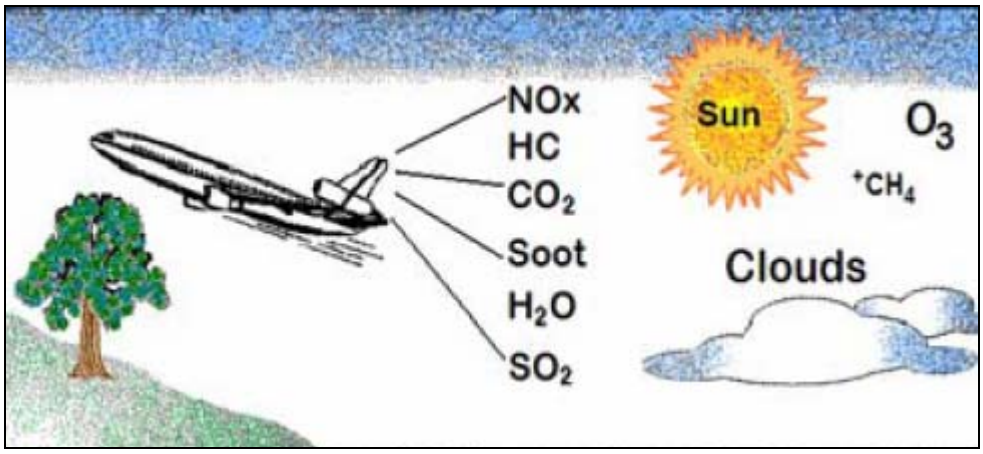
[20] Het deel van de atmosfeer boven de troposfeer tot op een hoogte van 50 km (http://www.kmi.be; 2006).
[21] Dit zijn verbindingen van zuurstof en stikstof. De belangrijkste zijn stikstofmonoxide en stikstofdioxide (lachgas). In de troposfeer zorgen deze stoffen voor verzuring van het milieu

bijhorende emissies hangen af van het type brandstof, het type vliegtuig, het motortype, de lading en de vlieghoogte. (K. Rypdal, 2000).

CO_2 heeft een lange verblijftijd in de atmosfeer, waardoor het er goed met gemengd wordt met de atmosfeer. Vandaar dat de effecten van de CO_2-uitstoot door vliegtuigen niet te onderscheiden zijn van eenzelfde hoeveelheid CO_2 uitgestoten door een andere bron in de troposfeer. De andere gassen verblijven echter minder lang in de atmosfeer en blijven geconcentreerd rond de vliegroutes, zijnde vooral in de noordelijke middelbreedtes. (J.E. Penner et al.; 1999).

De emissies zijn een bron van grote bezorgdheid door hun globale impact. (http://www.icao.int, 2006). De mate waarin vliegtuigemissies invloed uitoefenen op de atmosfeer wordt bepaald door de omvang en het effect van de verstoringen van de klimatologische processen.

De impact van de gassen en de partikels op het klimaat zijn veel moeilijker in te schatten dan de emissies zelf. Om dit probleem op te lossen maakt men gebruik van het gemiddelde van de globale *radiative forcing.* Zo wordt het gebruikt bij de evaluatie van de bijdrage van de luchtvaart aan de stijging van de globale temperatuur of van de zeespiegel. Maar een deel van de bijdrage van de luchtvaart aan de *radiative forcing* doet zich vooral voor in de noordelijke middelbreedtes zodat het regionale effect op het klimaat kan verschillen van dat zoals afgeleid van de globale *radiative forcing*. De impact van de luchtvaart op het klimaat is dus ook regionaal erg belangrijk. (J.E. Penner et al.; 1999).



Figuur 14: Vliegtuigemissies in de atmosfeer (Bron: http://www.climatescience.gov; 2006)

IV.2.1 Directe effecten

De emissies van de directe broeikasgassen CO_2 en H_2O (directe producten van elke verbranding van organisch materiaal zoals fossiele brandstoffen) zijn evenredig met de hoeveelheid verbrande brandstof en kunnen dus redelijk precies berekend worden.
De uitstoot van roetdeeltjes en hun eigenschappen hangen af van de eigenschappen van de motor. Hierdoor vertonen de schattingen van deze emissies een grote graad van onzekerheid. (J. Graichen, B. Gugele; 2006).

IV.2.1.1 CO_2

De invloeden van CO_2 op de omgeving zijn goed te voorspellen en er zijn weinig onzekerheden. Dit komt doordat de verbranding van kerosine in vliegtuigmotoren efficiënt verloopt waardoor het mogelijk wordt betrouwbare schattingen te maken van de emissieniveaus op basis van het brandstofverbruik. Daar komt nog eens bij dat het effect van CO_2 op *radiative forcing* goed gekend is. (J.E. Penner et al.; 1999).
Het gas heeft een opwarmend effect en blijft tientallen jaren in de atmosfeer hangen (punt III.3.3.1). Door deze lange verblijftijd wordt het gas goed gemengd met de atmosfeer zodat het los komt te staan van haar bron. Hierdoor kunnen de CO_2-emissies van de luchtvaartsector op dezelfde manier benaderd worden als de CO_2-uitstoot door andere sectoren. (J. Graichen, B. Gugele; 2006). De hoeveelheid CO_2-emissies is evenredig met het brandstofverbruik. (K. Rypdal, 2000).

IV.2.1.2 Waterdamp

Waterdamp is een verbrandingsproduct van kerosine en heeft een opwarmend effect.
De meeste waterdamp komt vrij in de troposfeer, de hoogte waarop de meeste vliegtuigen vliegen, waar het slechts een korte verblijftijd heeft (maximum twee weken). Daarna wordt het verwijderd door neerslag. Een kleiner deel van de waterdampemissies komt vrij in de lagere stratosfeer waar ze zich kunnen opstapelen tot hogere concentraties. Aangezien waterdamp een broeikasgas is, kan deze bijdragen tot de opwarming van het aardoppervlak. (J.E. Penner et al.; 1999).

De hoeveelheid waterdamp die uitgestoten wordt door vliegtuigen is klein in vergelijking met de natuurlijke hydrologische cyclus[22] en het effect op het klimaat is klein. (J. Graichen, B. Gugele; 2006). De vrijgekomen waterdamp uit vliegtuigen kan op een betrouwbare manier geschat worden en ook haar invloed op de atmosfeer is goed gekend. Ter hoogte van de tropopauze[23] zijn de atmosferische processen van waterdamp echter niet goed gekend. De hoeveelheid waterdamp hangt af van de verschillende levensduur van water in de troposfeer (kort) en in de stratosfeer (lang) alsook van de verplaatsing ervan langs de tropopauze.
Hoewel de schatting van H_2O-emissies accuraat kan worden bepaald, is de impact ervan veel minder goed gekend rond de impact ervan. (L. Maurice et al.; 2005).

IV.2.1.3 Roetdeeltjes

Roetdeeltjes komen vrij t.g.v. het verbrandingsproces. De directe radiatieve effecten zijn welgekend en hun impact is klein in vergelijking met deze van de andere emissies (L. Maurice et al.; 2005): ze hebben een klein opwarmend effect doordat ze inkomend zonlicht absorberen en zo een opwarming van de atmosfeer veroorzaken. (J. Graichen, B. Gugele; 2006).
De uitgestoten roetdeeltjes kunnen ook functioneren als condensatiekernen wat de vorming van wolken in de hand werkt (zie ook punten IV.1.2.4 en IV.1.2.5)

IV.2.2 Indirecte effecten

NO_x- en SO_2-emissies hebben geen directe invloed op het klimaat, maar produceren of vernietigen broeikasgassen, meer in het bijzonder ozon (O_3), methaan en sulfaat-aerosolen.
SO_2-emissies kunnen accuraat berekend worden als de zwavelinhoud van de brandstof gekend is.
Schattingen van de vorming van O_3 en de vorming van CH_4 variëren sterk, afhankelijk van het gebruikte atmosferische model. (J. Graichen, B. Gugele; 2006).

[22] De volledige cyclus van verdamping, wolkenvorming en neerslag (http://geo.kuleuven.be; 2006).
[23] Overgangsgebied van de troposfeer naar de stratosfeer, waar de afname van de temperatuur met de hoogte stopt (http://www.kmi.be; 2006).

IV.2.2.1 NO_x en Ozon

Stikstof zit voor een deel in fossiele brandstoffen en bij verbranding ontstaan dus stikstofoxiden. Het grootste deel van de stikstofoxiden ontstaat echter als gevolg van de oxidatie van de stikstof in de bij de verbranding gebruikte lucht: lucht bestaat immers voornamelijk uit stikstof en zuurstof. Bij elk verbrandingsproces verbinden deze zich tot stikstofoxiden. Hoe hoger de temperatuur, hoe gemakkelijker die verbindingen ontstaan. (http://www.vrom.nl, 2006).

De NO_x-concentraties die uitgestoten worden door vliegtuigen, hebben een invloed op de ozonconcentraties.

Ozon is een broeikasgas en heeft dus een opwarmend effect. Daarnaast beschermt ozon het aardoppervlak tegen schadelijke UV-straling van de zon. (J.E. Penner et al.; 1999).

De verstoring van de ozonconcentraties door vliegtuigen hangt af van de hoogte waarop NO_x wordt geëmitteerd[24] en varieert regionaal in schaal in de troposfeer en globaal in de stratosfeer. Door de langere levensduur en de grotere *radiative forcing* in de hoge troposfeer is het effect van NO_x-emissies op de ozonlaag groter op vlieghoogte dan aan de grond (J. Graichen, B. Gugele; 2006): NO_x-emissies door vliegtuigen in de bovenste troposfeer zorgen voor meer ozonvorming dan een gelijkaardige hoeveelheid emissies aan het aardoppervlak. De grootste toename van de ozonconcentratie, te wijten aan de emissies van vliegtuigen, wordt dan ook nabij de tropopauze gelokaliseerd, waar de natuurlijke variabiliteit hoog is.

Een toename van de ozonconcentraties in de bovenste troposferische delen zorgt voor een grotere toename van de *radiative forcing* dan eenzelfde toename op kleinere hoogte.

Zwavel- en wateremissies in de stratosfeer verminderen het ozongehalte en hebben dus het tegenovergestelde effect van de NO_x-emissies. De relatieve verhouding van beide effecten is echter nog niet gekwantificeerd. (J.E. Penner et al.; 1999).

Vliegtuigemissies kunnen dus ook ozon vernietigen wanneer H_2O en sulfaatemissies vrijkomen in de stratosfeer.

[24] Op hoogtes onder de 15 km veroorzaakt NO_x een toename van de bovenste troposferische ozonconcentraties en draagt zo bij tot het broeikaseffect. Tegelijkertijd neemt de atmosferische OH-concentratie toe waardoor de levensduur van CH_4 afneemt. Hierdoor neemt de concentratie aan CH_4 in de atmosfeer af waardoor het broeikaseffect afneemt.

De NO_x-emissies kunnen gemakkelijk geschat worden op basis van de motorprestaties. Echter, doordat NO_x de ozon- en methaan-concentraties beïnvloedt, is het moeilijk om de resulterende *radiative forcing* te achterhalen. (L. Maurice et al.; 2005).

IV.2.2.2 NO_x en Methaan (CH_4)

Methaan is een broeikasgas dat zowel op natuurlijke wijze als ten gevolge van menselijke activiteiten voorkomt in de atmosfeer (punt III.3.3.2). Vliegtuigen stoten slechts zeer weinig methaan uit, maar de NO_x-emissies vernietigen CH_4-moleculen waardoor een koelend effect ontstaat (negatieve *radiative forcing*).
Het opwarmende effect van NO_x-emissies, door de vorming van ozon, wordt echter hoger geschat dan het afkoelend effect t.g.v. het verdwijnen van het methaan. (J. Graichen, B. Gugele; 2006). Emissies van CH_4 en NO_x zijn afhankelijk van de technologie. Verschillende types vliegtuigen hebben een verschillende technologie en stoten dus verschillende hoeveelheden CH_4 en NO_x uit. (K. Rypdal, 2000).

IV.2.2.3 Sulfaat-aerosolen

In de kerosine zit zwavel. Gedurende de verbranding oxideert het tot SO_2. Een deel van de zwaveldioxide slaat rechtstreeks neer op de aarde, terwijl een ander deel oplost in de wolken. Het komt dan met regen, mist of sneeuw naar beneden. (http://www.vrom.nl, 2006).
Aerosolen zijn deeltjes die in de lucht zweven. Aerosol-concentraties zijn erg variabel in tijd en ruimte door hun korte verblijftijd (ongeveer een week) in de atmosfeer.
De deeltjes spelen een belangrijke rol bij het broeikaseffect. De aanwezigheid van aerosolen heeft drie types effecten op de warmtehuishouding van de Aarde(http://www.knmi.nl, 2006):

- ze kunnen de infrarode straling die de aarde uitzendt absorberen (opwarmend effect),
- ze kunnen werken als kleine spiegeltjes voor zonlicht en daarmee een deel van het zonlicht terug naar de ruimte weerkaatsen met een daling van de temperatuur als gevolg (negatieve *radiative forcing*),
- ze kunnen werken als condensatiekernen voor wolken, wat resulteert in meer wolken (figuur 17).

Daarnaast verhogen ze ook de reflectiviteit van wolken voor zonlicht, zodat er meer zonlicht teruggekaatst wordt naar de ruimte. (http://www.knmi.nl, 2006).

IV.2.2.4 Contrails

Een bijkomend effect bij de uitstoot van waterdamp, roetdeeltjes en aerosolen is de vorming van *contrails*[25] en cirruswolken (IV.1.2.5) (figuur 18). De impact van vliegtuigemissies op de vorming van zulke wolken wordt nog niet echt goed begrepen, maar kan wel een heel belangrijk, zoniet het belangrijkste, effect hebben op klimaatverandering. (J. Graichen, B. Gugele; 2006).
Naast de uitgestoten partikels zijn er ook nog andere aspecten van de wolkenvorming van belang. De relatieve vochtigheid van de lokale omgeving bepaalt de vorming en de persistentie van de *contrails* en de cirruswolken. De vochtigheid wordt op haar beurt beïnvloed door de lokale waterdampconcentraties. (L. Maurice et al.; 2005).

Contrails of condensatiesporen[26] worden gevormd t.g.v. de uitstoot van water en deeltjes door vliegtuigen onder welbepaalde atmosferische omstandigheden en vormen zich het best in de hogere troposfeer. Ze vormen zich slechts in het kielzog van vliegtuigen als de atmosferische omstandigheden gunstig zijn. Voor de vorming van contrails is het noodzakelijk dat het mengsel van vliegtuigemissies en omgevingslucht het waterverzadigingsniveau bereikt heeft. De sporen kunnen slechts blijven bestaan als er oververzadiging is van ijs. In zulke omstandigheden kunnen contrails enkele uren blijven bestaan. Ze zijn zichtbaar als witte lijnen achter een vliegtuig (figuur 15). (J. Graichen, B. Gugele; 2006).
De sporen bestaan vooral uit water dat reeds aanwezig was in de atmosfeer. Vliegtuigen en vliegtuigemissies zijn de katalysatoren die de vorming ervan veroorzaken.

[25] Een samenvoeging van *condensation* en *trail* (http://www.contrails.nl).
[26] Groot aantal kleine, bijna sferische ijskristalletjes (L. Maurice et al.; 2005).

Figuur 15: *Contrails* of condensatiesporen (bron: www.nasaexplores.com; 2006).

Contrails hebben op de energiebalans van de Aarde een tweevoudig effect dat vergelijkbaar is met dit van hoge dunne ijswolken: enerzijds houden ze uitgaande langgolvige straling, afkomstig van het aardoppervlak, tegen (positieve *radiative forcing*), wat een opwarmend effect heeft. Anderzijds kaatsen de wolken het inkomende zonlicht (kortgolvige stralen) terug (negatieve *radiative forcing*), met afkoeling als gevolg. Gemiddeld genomen kan gesteld worden dat het langgolvige effect domineert en dat het netto-effect dus positief is. (J. Graichen, B. Gugele; 2006).

De opwarming t.g.v. condensatiesporen is vandaag kleiner dan de opwarming veroorzaakt door andere emissies, uitgestoten door de mens. Men moet echter in het achterhoofd houden dat de luchtvaartsector een bloeiende en groeiende sector is, zodat het noodzakelijk wordt de werkelijke impact van vliegtuigen op het klimaat na te gaan. Schattingen volstaan niet meer.

a. Invloed van de diurnale en jaarlijkse cyclus van het luchtvaartverkeer op de *radiative forcing*

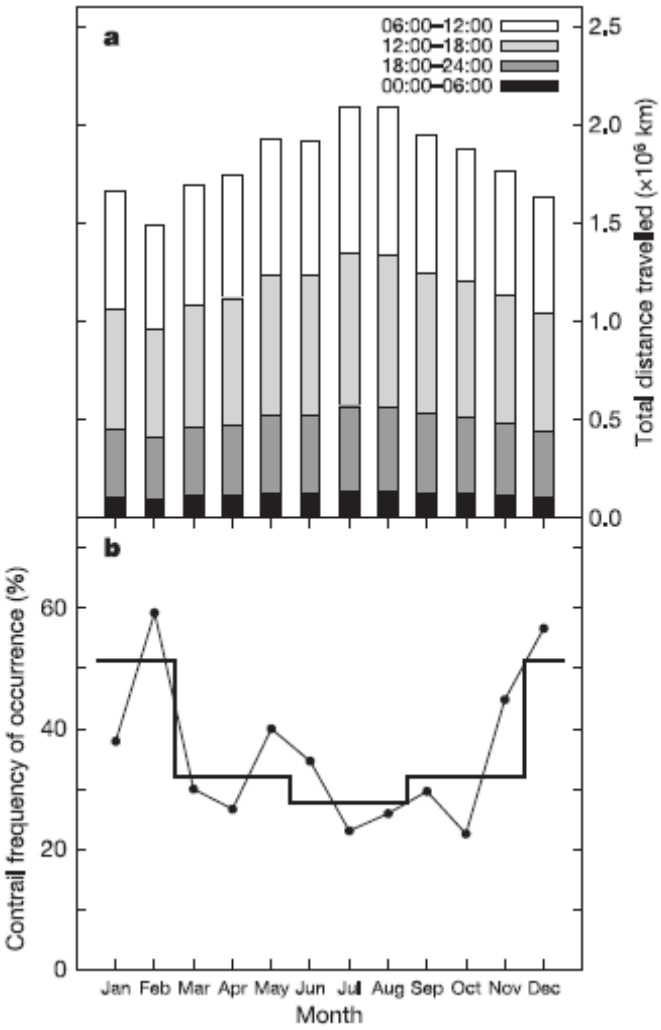
Het aantal vliegtuigen in de lucht varieert met de tijd en hangt af van het tijdstip van de dag en de periode in het jaar. Ook de meteorologische omstandigheden en de insolatie variëren met de tijd en oefenen een invloed uit op het netto-effect van de condensatiesporen.

Zo zijn nachtvluchten in de winter (december tot februari) verantwoordelijk voor het grootste deel van de *radiative forcing* terwijl ze slechts 25% uitmaken van het dagelijkse luchtvaarttransport. Ondanks dit kleine percentage dragen ze toch bij tot 60 tot 80% van de totale effecten van de contrails. (N. Stuber et al.; 2006).

Uit proeven[27] is gebleken dat er een duidelijke verdeling is van het aantal vluchten over een jaar. Er is sprake van een zomermaximum (juni, juli, augustus) en een winterminimum (december, januari, februari). In de wintermaanden is er een afname van de vluchten met ongeveer 20% (figuur 16a). De staafjes op de grafiek tonen het totale aantal gevlogen kilometers (x 10 km^6), terwijl de grijstinten het aandeel van de vluchten per tijdstip van de dag weergeven. Het valt op dat de avond- en vooral de nachtvluchten het kleinste percentage van de totale vloot vertegenwoordigen. Figuur 16b toont de frequentie van het voorkomen van contrails, anders gezegd, het aantal dagen per maand (uitgedrukt in procenten) waarop persistente contrails voorkomen.
Op de middelbreedtes bereikt de relatieve vochtigheidsgraad in de bovenste troposfeer de laagste waarden gedurende de zomerperiode, met als gevolg dat de contrailfrequentie het laagst is in de zomermaanden.

Na vergelijking van figuur 16a en 16b kan besloten worden dat de pieken van het luchtvaartverkeer en de pieken van de '*contrail*-gunstige' omstandigheden niet samenvallen en voorkomen in verschillende seizoenen.

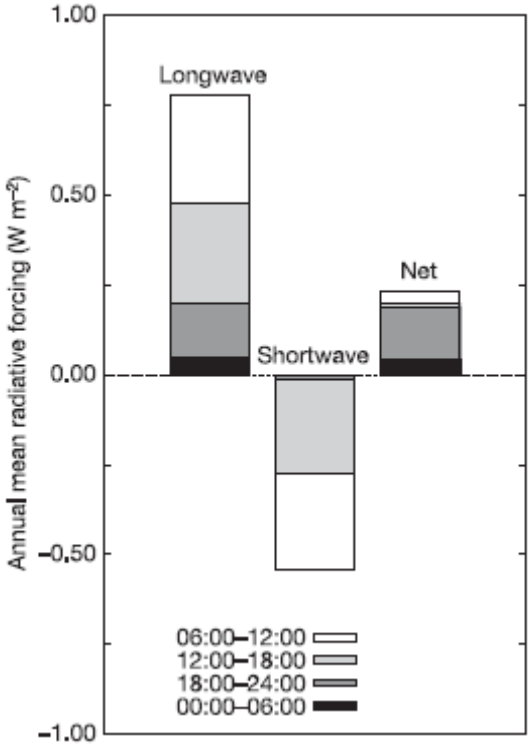
[27] Met behulp van vliegtuigdata van Herstmonceux (ZO-Engeland) heeft men uitgebreid onderzoek gedaan naar de invloed van het tijdstip op de dag en in het jaar, op de vorming van condensatiesporen. (N. Stuber et al.; 2006).



Figuur 16: **a)** De verdeling van de vluchten boven Herstmonceux doorheen het jaar en een indeling per dag (grijstinten). **b)** Jaarlijkse cyclus van de frequentie van het mogelijk voorkomen van persistente condensatiesporen boven Herstmonceux (anders gezegd, het aantal dagen per maand waarop de condities gunstig zijn voor de vorming van condenstatiesporen). De gegevens zijn enkel gebaseerd op meteorologische condities: potentiële percentage van dagen waarop contrails kunnen gevormd worden. De donkere lijn stelt de seizoenale gemiddelden voor. (bron: N. Stuber et al.; 2006).

Boven Herstmonceux bedraagt de *radiative forcing* t.g.v. de langgolvige stralen 0,78 W/m² terwijl deze t.g.v. de kortgolvige straling -0,54 W/m² bedraagt. Samen geeft dit een positieve netto-*radiative forcing* van 0,23 W/m² (figuur 17). Uit de grafiek is een duidelijke diurnale variatie van de langgolvige stralen af te leiden. Dit is te wijten aan de variaties van het aantal vluchten per zes uren in een dag (figuur 16a). In de tijdsperiode van 6h00 tot 18h00 heffen de kortgolvige en langgolvige stralingseffecten elkaar bijna helemaal op waardoor bijna 82% van het jaarlijks gemiddelde netto-effect te wijten is aan vluchten tussen 18h00 en 06h00, ondanks

het feit dat deze laatste verantwoordelijk zijn voor slechts 25% van het luchtvaartverkeer (Figuur 17).



Figuur 17: Jaarlijks gemiddelde van de langgolvige en kortgolvige stralingseffecten en het resulterende netto-effect t.g.v. persistente contrail boven Herstmonceux. (bron: N. Stuber et al.; 2006).

De invloed van natuurlijke wolken werden in bovenstaand onderzoek niet meegerekend. Natuurlijke wolken reduceren zowel de *radiative forcing* t.g.v. langgolvige stralen als t.g.v. kortgolvige. Hun invloed op het netto-effect is geen constante en versterkt de netto-effecten overdag en verzwakt deze ’s nachts. Dit heeft tot gevolg dat de bijdrage van de nachtvluchten tot het dagelijkse gemiddelde netto-effect kleiner is bij bewolkte (59%) omstandigheden dan bij een heldere hemel (82%). Maar zelfs al neemt men deze zaken in beschouwing, de nachtvluchten blijven een onevenredig aandeel uitmaken van het dagelijkse gemiddelde netto-effect. (N. Stuber et al.; 2006).

Samenvattend kan gesteld worden dat vluchten tussen 18h00 en 06h00 een disproportioneel effect op de dagelijkse gemiddelde *radiative forcing* boven Herstmonceux hebben.
Deze vluchten maken vandaag ongeveer 25% uit van het total luchttransport, maar dragen wel 60 tot 80% bij tot het totale netto-effect.

Vluchten gedurende de winter (december, januari en februari) zijn wat betreft de vorming van condensatiesporen bijna twee maal zo effectief als vluchten in de zomer en veroorzaken 50% van de jaarlijks gemiddelde *radiative forcing*. (N. Stuber et al.; 2006).

Het verminderen van het aantal nacht- en/of wintervluchten zou een oplossing kunnen zijn om de klimaatgevolgen van de luchtvaartsector te beperken. Of dit haalbaar is in de praktijk moet nog verder worden onderzocht.

b. **Onzekerheden**

Bij het bepalen van het netto-effect van *contrails* op het klimaat bestaan nog veel onzekerheden (L. Maurice et al.; 2005):

- het belang van de grootte van de ijskristallen in de contrails (N. Stuber et al.; 2006).
- het belang van de optische diepte[28] van de sporen (N. Stuber et al.; 2006).
- het gebrek aan kennis over de hoeveelheid en de aard van de uitstoot van partikeltjes uit vliegtuigmotoren,
- hun vermogen zich als condensatiekernen te gedragen,
- hoe de partikeltjes zich gedragen in de atmosfeer,
- de frequentie waarmee contrails zich vormen in de atmosfeer
- de radiatieve eigenschappen van de resulterende ijskristallen wolken.

IV.2.2.5 Cirruswolken

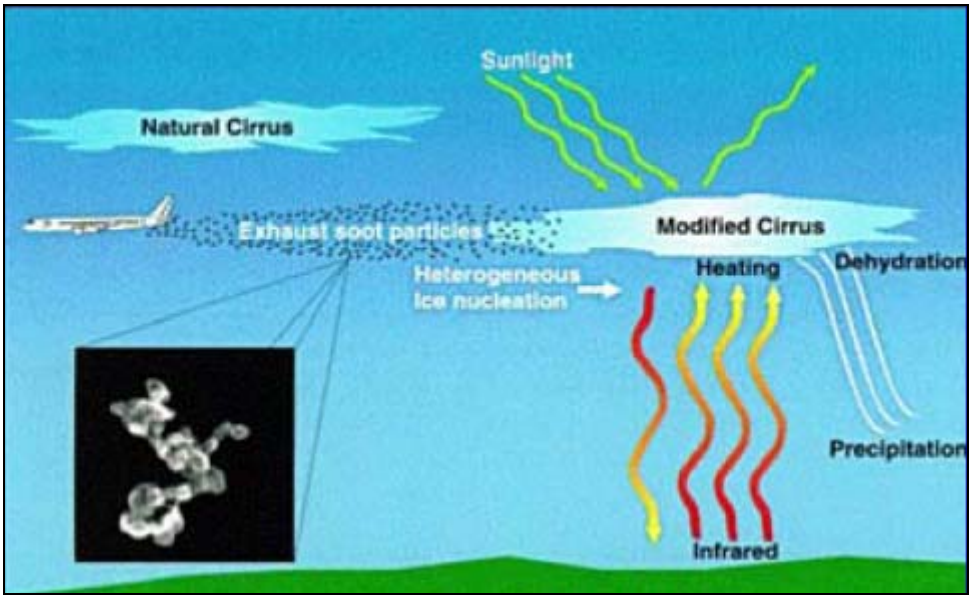
Cirruswolken hebben een verschillende invloed op het klimaat dan wolken op basis van waterdruppeltjes. Deze laatste hangen laag in de atmosfeer en reflecteren meer zonlicht dan de cirruswolken (ze hebben een afkoelend effect). Cirruswolken, die bestaan uit ijsdeeltjes, laten meer zonlicht door[29] en zijn goed in staat om de teruggekaatste warmte van de Aarde

[28] De optische diepte is een maat voor de doorschijnendheid van een medium. De optische diepte is omgekeerd evenredig met de doorzichtigheid van het medium: de optische diepte van een volledig transparant medium is nul. (http://scienceworld.wolfram.com; 2006).
[29] Doordat meer zonlicht doorgelaten wordt, kan het aardoppervlak gemakkelijk opwarmen. (http://www.co2-e.nl; 2006).

vast te houden, waardoor ze een opwarmend effect hebben. Cirruswolken ontstaan op een hoogte van meer dan 10 km. (http://www.co2-e.nl; 2006).

Persistente contrails kunnen aanleiding geven tot de vorming van cirruswolken (figuur 17). (J.E. Penner et al.; 1999). De vorming ervan wordt bevorderd door de door de vliegtuigen geïnduceerde *contrails* en door de vrijgekomen deeltjes die dienen als condensatiekernen. Cirruswolken leiden tot globale opwarming, maar ook hier kan men nog niet exact kwantificeren hoe sterk hun effect is. De evolutie van *contrails* naar cirruswolken en de radiatieve eigenschappen van de ijskristallen doorheen dat proces moet ook nog verder onderzocht worden.

Schattingen variëren van geen of heel weinig *radiative forcing* tot vier maal de *forcing* door enkel CO_2 (figuur 19) (J. Graichen, B. Gugele; 2006).
Uit studies is wel gebleken dat een toename van cirruswolken nauw samenhangt met een toename van vliegtuigemissies. Er is gebleken dat, ook al laten de vliegtuigen geen *contrails* achter, de uitgestoten deeltjes toch de vorming van cirruswolken in de hand werkt.
Tegenwoordig is gemiddeld ongeveer 30% van de Aardoppervlakte bedekt met cirruswolken. (J.E. Penner et al.; 1999).



Figuur 18: Microfysisch model van een ijswolk (bron: http://www.climatescience.gov; 2006).

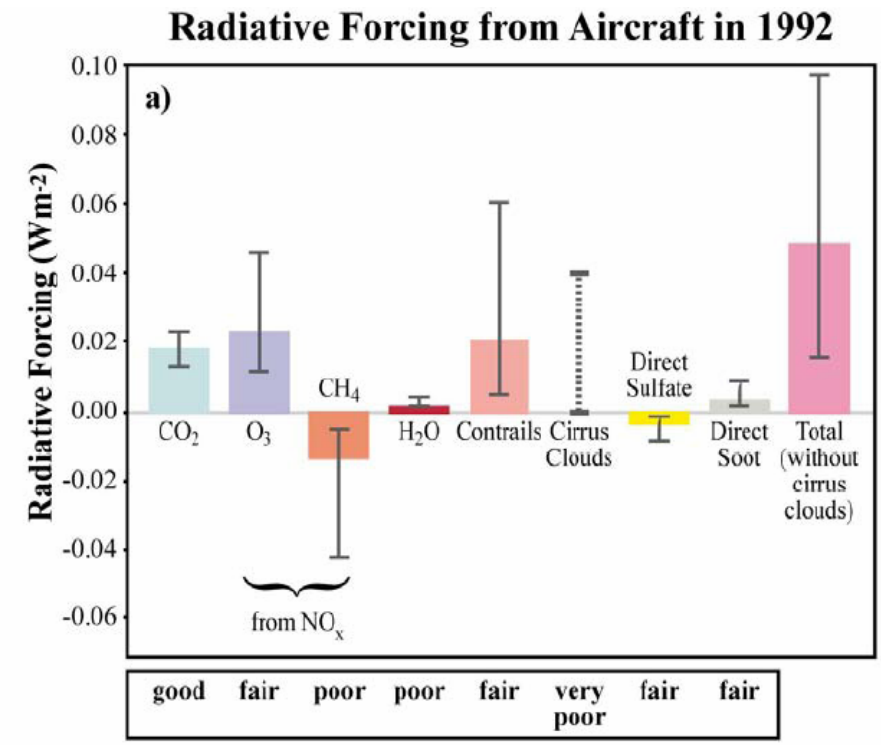
IV.2.3 Opmerking

Waterdamp, SO_xO (dat sulfaatpartikels vormt) en roet spelen zowel een directe als indirecte rol bij de klimaatsverandering en de ozon-chemie. (J.E. Penner et al.; 1999).

IV.2.4 Conclusie

Uit het bovenstaande kan besloten worden dat de grootste onzekerheden die gepaard gaan met de emissies van vliegtuigen te wijten zijn aan de invloeden van *contrail*- en wolkenvorming (onder andere t.g.v. emissie van waterdamp en roetdeeltjes). Bijkomende belangrijke onzekerheden zijn geassocieerd met de impacten van NO_x daar deze de ozon- en methaanconcentraties beïnvloeden.

Op figuur 19 zijn de bijdragen van de verschillende factoren aan de klimaatsverandering weergegeven. De intervallen geven de graad van onzekerheid weer. Bij de cirruswolken wordt het interval als een stippellijn aangeduid. Hiermee wil men aantonen dat men onvoldoende weet over de invloed van de wolken om een schatting voor te stellen. Het gaat hier eerder om een interval van mogelijke schattingen. (L. Maurice et al.; 2005).



Figuur 19: *Radiative forcing* veroorzaakt door het vliegverkeer in 1992 (Bron: L. Maurice et al.; 2005).

IV.3 Emissies van CO_2, SO_2 en NO_x in het verleden

Doorgaans worden de nationale vliegtuigemissies van CO_2, SO_2 en NO_x bepaald op basis van de verkochte brandstof. Er wordt bij de inventarissen een onderscheid gemaakt tussen binnenlandse en internationale luchtvaart. (J. Graichen, B. Gugele; 2006).

IV.3.1 Bepalen van de emissies: schattingsmethodes en onzekerheden

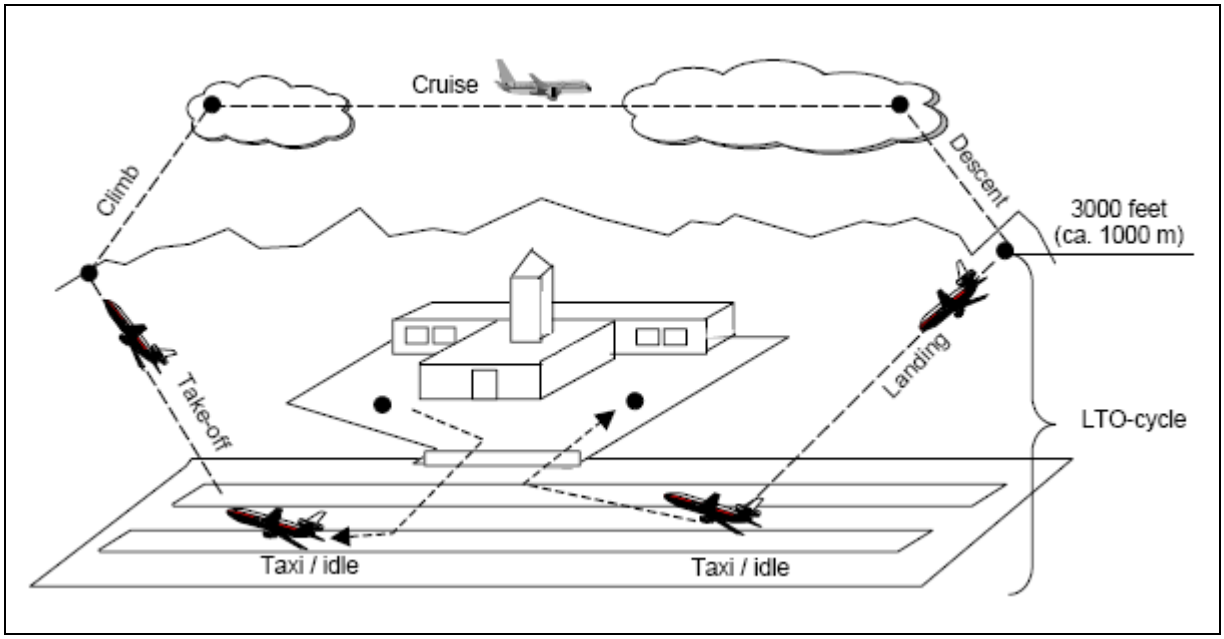
Er bestaan verschillende manieren om de CO_2-, SO_2- en NO_x-emissies afkomstig van het luchtvaartverkeer te inventariseren. Deze worden weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Methodes, data en emissiefactoren, gebruikt voor het schatten van luchtvaartemissies op nationaal niveau (bron: J. Graichen, B. Gugele; 2006).

	Method applied	Activity Data	Emission Factor
Austria	country specific	national statistics	country specific
Belgium	Corinair, model	national statistics	Corinair
Cyprus	-	-	-
Czech Republic	Tier 1	national statistics	Default
Denmark	Corinair	national statistics	Corinair
Estonia	Tier 1	national statistics	Default
Finland	Tier 2b	national statistics	country specific
France	Tier 2b	national statistics	country specific
Germany	Tier 1	national statistics, associations	country specific
Greece	Tier 2a	national statistics, associations	Corinair
Hungary	-	-	-
Ireland	Tier 2a	national statistics	country specific
Italy	Tier 1, Tier 2a	national statistics	country specific
Latvia	Tier 1	queries	Default
Lithuania	Tier 2	national statistics	country specific
Luxembourg	Corinair, Default	-	Corinair, Default
Malta	-	-	-
Netherlands	Tier 2	national statistics	country specific
Poland	model	national statistics, associations	Default
Portugal	Tier 2b	national statistics, associations	Corinair
Slovakia	Tier 2a	associations, queries, nat. stat.	Corinair
Slovenia	Tier 1	national statistics	Default
Spain	Tier 2a	national statistics	Default
Sweden	Tier 1	national statistics	country specific
United Kingdom	Tier 3	national statistics, associations	country specific

De eenvoudigste methode is de *Tier 1*. Hier wordt de totale hoeveelheid brandstof , geleverd aan vliegtuigen, vermenigvuldigd met de emissiefactoren van de drie gassen. De emissies van CO_2 en SO_2 hangen enkel af van de hoeveelheid koolstof en zwavel in de brandstof en kunnen

via deze methode gemakkelijk achterhaald worden (ervan uitgaande dat de concentraties in de brandstof gekend zijn).



Figuur 20: De vliegcyclus (K. Rypdal, 2000).

De emissies van NO_x variëren naargelang de fasen van de vlucht (figuur 20). Daarom maakt men bij de schatting van dit broeikasgas gebruik van een meer geavanceerde methodologie: *Tier 2*. Men zal rekening houden met de emissies gedurende het landen en opstijgen (LTO[30]-cyclus) en de emissies gedurende de volle vlucht. Men maakt hierbinnen nog een onderscheid tussen de methodes *Tier 2a* en *Tier 2b*. Bij *Tier 2a* worden het brandstofverbruik en de emissies gedurende de LTO gebaseerd op het totale aantal LTO's en emissiefactoren van een gemiddelde vloot terwijl men bij *Tier 2b* het aantal LTO's per vliegtuigtype en de respectievelijke emissiefactoren in acht neemt. Om de emissies gedurende de volle vlucht (*cruise*) te berekenen, neemt men het verschil tussen de totale hoeveelheid verkochte brandstof en de brandstof die opgebruikt wordt gedurende de LTO-fasen.
Bij de *Tier 3*-methode maakt men gebruik van ingewikkelder modellen om de emissies voor elke afzonderlijke vlucht te achterhalen.

[30] *Landing and take-off* (J. Graichen, B. Gugele; 2006).

De totale hoeveelheid brandstof bestemd voor vliegtuigen wordt opgenomen in de nationale statistieken. Emissiefactoren zijn ofwel eigen aan een land of worden gehaald uit gegevens van het IPCC of van EMEP/CORINAIR[31]. (J. Graichen, B. Gugele; 2006).

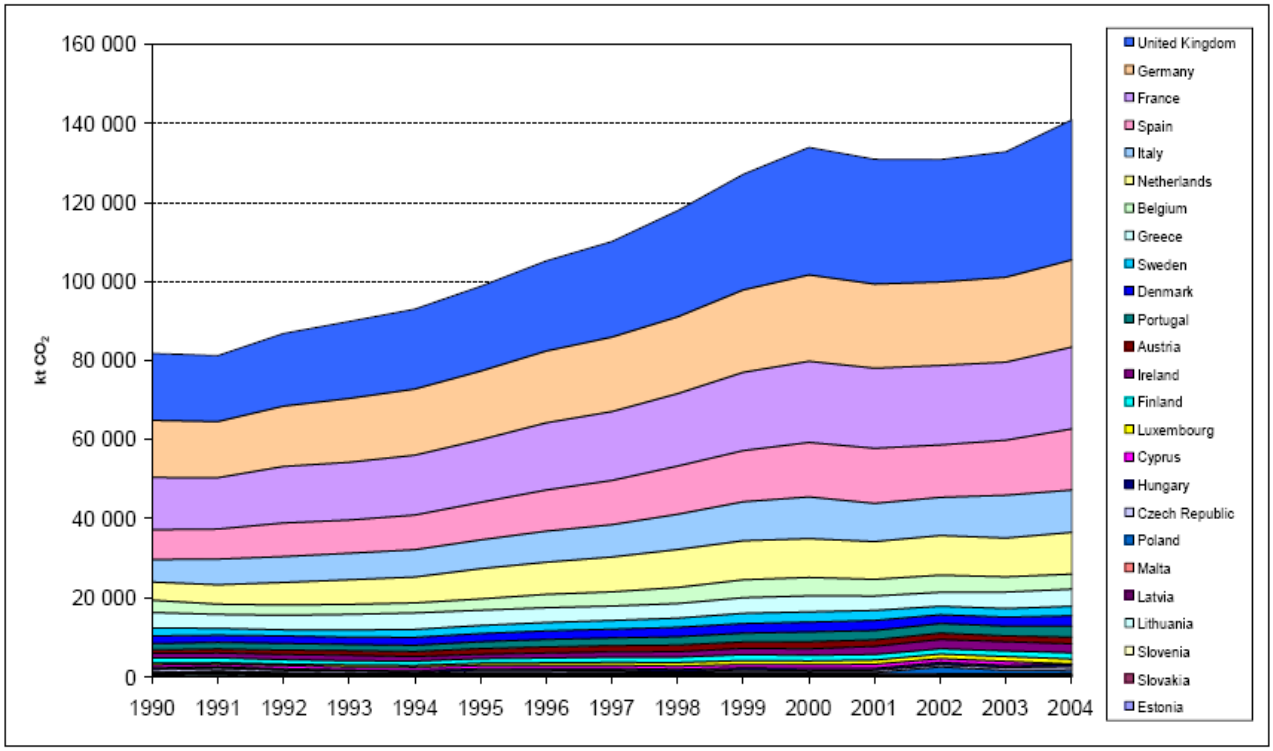
De CO_2-emissies zijn redelijk gemakkelijk en correct te achterhalen: de emissies hangen vooral af van de totale hoeveelheid verkochte brandstof. Deze worden goed bijgehouden in de nationale energiestatistieken. De grootste moeilijkheid is de scheiding tussen de binnenlandse en internationale vluchten. Over het algemeen kan men zeggen dat alle vluchten die in éénzelfde land vertrekken en aankomen als binnenlandse vluchten mogen beschouwd worden. Vluchten die in een bepaald land vertrekken en in een ander land toekomen worden aangeduid als '*international bunker flights*'. (J. Graichen, B. Gugele; 2006).
Nationale statistieken maken vaak geen onderscheid tussen deze twee categorieën of definiëren deze anders. Dit heeft geen invloed op de totale schatting van de emissies van de luchtvaartsector. Het kan echter wel leiden tot zware fouten in de gegevens betreffende de binnenlandse en internationale vluchten. Voor de hele luchtvaartsector (zowel binnenlandse als internationale vluchten) toont een vergelijking van schattingen van emissies voor het jaar 2000 tussen nationale inventarisrapporten en schattingen van EUROCONTROL[32] (op basis van gedetailleerde modellen) slechts een afwijking van 10% voor de meeste landen. Als men echter de twee categorieën apart bekijkt komt men aan verschillen tot 200% voor bepaalde landen. Nu wordt de onzekerheid rond CO_2-emissies afkomstig van binnenlandse vluchten geschat op 20% voor de EU. Doordat er meer onzekerheden bestaan omtrent de emissiefactor van NO_x en de hoeveelheid SO_2 aanwezig in de kerosine, ligt dit percentage voor deze stoffen hoger. (J. Graichen, B. Gugele; 2006).

[31] Deze organisatie heeft als doelstelling doelgerichte, relevante en betrouwbare informatie over het milieu te verstrekken aan iedereen die betrokken is bij de ontwikkeling en invoering van Europees en nationaal miilieubeleid, en aan het grote publiek. (http://local.nl.eea.europa.eu, 2006)
[32] *European Organisation for the Safety of Air Navigation:* het is een civiele en militaire organisatie met als doel een goed beheer uit te werken voor het Europese luchtvaartverkeer. (http://www.eurocontrol.int, 2007).

IV.3.2 Evolutie van de luchtvaartemissies doorheen de tijd

IV.3.2.1 Verleden

Uit figuur 21 is af te leiden dat de broeikasgasemissies van de luchtvaart in de EU toegenomen zijn van ongeveer 80.000 kt CO_2 in 1990 tot ongeveer 140.000 kt in 2004. Binnen de EU zijn het Verenigd Koninkrijk, Duitsland, Frankrijk, Spanje, Italië en Nederland verantwoordelijk voor 82% van de totale hoeveelheid emissies. De EU 15-lidstaten zijn verantwoordelijk voor meer dan 95% van de totale CO_2-emissies van de luchtvaartsector.
Uit tabel 3 blijkt dat binnen de EU Ierland, Luxemburg, Nederland, Polen, Slowakije, Spanje en het Verenigd Koninkrijk de grootste toename van CO_2-emissies kenden. De CO_2-emissies in Estland, Letland, Lithouwen en Slovenië zijn over de periode 1990-2004 afgenomen. Uit tabel 3 is af te leiden dat de emissies van CO_2, afkomstig van de luchtvaartsector in de EU 25, tussen 1990 en 2004, zijn toegenomen met 73%. De emissies t.g.v. het luchtvaartverkeer zijn dus gemiddeld jaarlijks met 4% toegenomen (ondanks de afname na de aanslagen op 11 september 2001).
De emissies van NO_x en SO_2 vertonen een vergelijkbare trend (tabel 3).



Figuur 21: CO_2-emissies t.g.v. de luchtvaart in de EU voor de periode 1990-2004 (bron: J. Graichen, B. Gugele; 2006).

Tabel 3: CO_2-, NO_x- en SO_2- emissies t.g.v. de luchtvaart in de EU voor de periode 1990-2004 (bron: J. Graichen, B. Gugele; 2006).

	kt CO_2				kt NO_x				kt SO_2			
	1990	1995	2000	2004	1990	1995	2000	2004	1990	1995	2000	2004
Oostenrijk	918	1385	1757	1724	2,8	4,4	5,6	5,5	0,29	0,44	0,58	0,55
België	3108	2895	4665	3825	1	1,3	2,7	3,7	0,09	0,11	0,22	0,3
Cyprus	745	820	898	1017	3,4	3,7	3,5	0	0,05	0,05	0,05	0
Tsjechië	766	499	447	889	4,8	3,1	2,8	1	0,48	0,31	0,28	0,06
Denemarken	1979	2066	2504	2575	8,1	8,5	10,2	11	0,63	0,66	0,8	0,82
Estalnd	103	52	65	89	0,4	5,8	6,9	9,4	0	0	0	0
Finland	1369	1130	1408	1584	3,9	3,2	4,1	4,1	0,33	0,28	0,36	0,41
Frankrijk	13158	15818	20534	20715	32,5	39,7	50,9	50,9	4,18	5,02	6,52	6,58
Duitsland	14487	17359	21861	22040	63,2	85,9	97,1	97,9	4,9	2,08	2,77	2,8
Griekenland	3902	3819	4062	4333	18,1	18,9	20,4	22,1	1,33	1,33	1,43	1,52
Hongarije	475	524	641	609	-	0,2	0,3	0,3	-	0,01	0,02	0,02
Ierland	1118	1148	1662	2223	3,5	3,2	4,5	5,2	0,35	0,36	0,52	0,7
Italië	5713	7304	10551	10736	27,5	34,5	56,5	62	1,88	2,36	3,86	4,23
Letland	221	78	83	149	0,8	0,3	0,3	0,5	0,07	0,02	0,03	0,05
Lithouwen	418	128	81	120	-	-	-	-	-	-	-	-
Luxemburg	399	574	972	1290	0,2	-	-	-	0,01	-	-	-
Malta	207	333	335	343	0	1,4	1,4	0	0	0,01	0,01	0
Nederland	4582	7625	9190	10544	1,9	2,4	3,1	3,3	0,16	0,19	0,24	0,15
Polen	317	308	358	854	0	0	0	0,2	0	0	0	0
Portugal	1555	1764	2495	2775	6,4	7,3	10,5	11,4	0,4	0,46	0,65	0,72
Slowakije	51	65	69	103	0	0	0	0	0,01	0	0,01	0,01
Slovenië	82	60	74	62	-	-	-	-	-	-	-	-
Spanje	7587	9519	13811	15421	32,4	44,3	63,6	71,4	2,4	3,02	4,38	4,9
Zweden	2009	2060	2570	2439	8,1	8,5	11,3	10,8	0,64	0,66	0,82	0,78
Verenigd Koninkrijk	16946	21459	32212	35426	80,1	98,4	145,4	157,9	3,23	5,45	7,36	9,22
EU 10	3386	2867	3051	4268	9,4	14,4	15,2	11,4	0,6	0,4	0,4	0,1
EU 15	78811	95925	130856	137653	290	360,5	485,9	517,3	50,8	22,5	30,5	33,7
EU 25	82196	98792	133907	141888	299,4	374,8	501,1	528,6	21,4	22,9	30,9	33,8

IV.3.2.2 Toekomstperspectief

Trends van globale emissies van broeikasgassen t.g.v. het luchtvaartverkeer tonen voor de periode 1990-2015 een substantiële groei van NO_x met 140-190%. De andere componenenten zouden een groei kennen van 180-250%. Deze groei is groter in vergelijking met emissies van andere energie-gerelateerde sectoren aangezien verwacht wordt dat luchtvaartsector sneller zal groeien dan deze sectoren. (J.G.J. Olivier; 1995).

Afhankelijk van het soort emissie, kan een aanzienlijke reductie bekomen worden indien technologische maatregelen in hoge mate worden toegepast. Het cumulatieve effect van een geïntegreerde politiek (technologisch, operationeel of economisch) kan goede resultaten

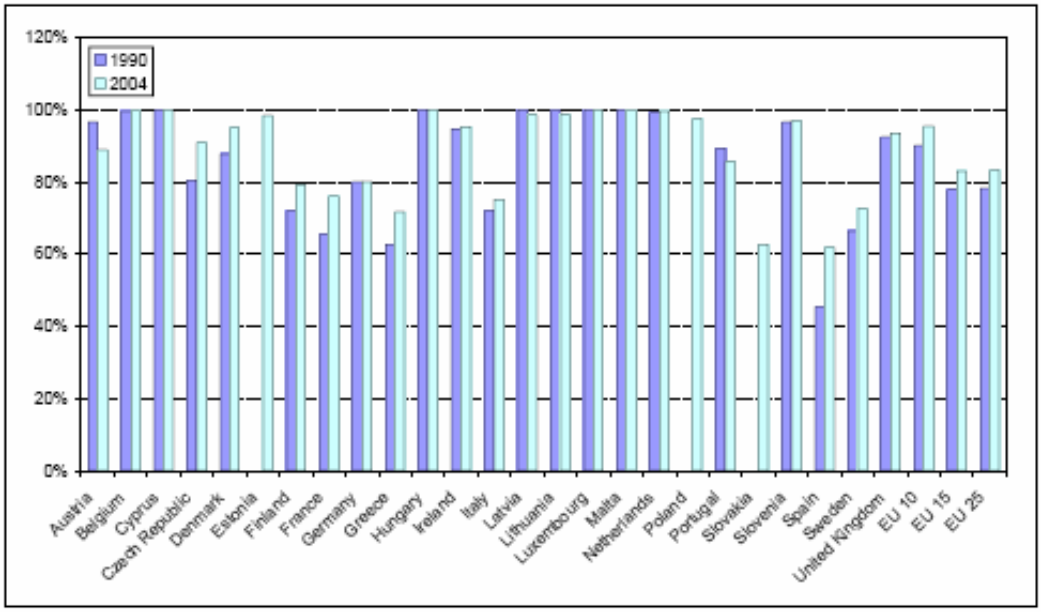
opleveren (zie punten VI en VII). Er kan dus een behoorlijke beperking, of in sommige gevallen zelfs een reductie, van de ongecontroleerde groei van emissies bekomen worden als zo een technologische ontwikkeling zich inderdaad zou voordoen en zou geïmplementeerd worden, in combinatie met andere operationele en economische beleidsmaatregelen. (J.G.J. Olivier; 1995).

In punt VI.2 worden enkele toekomstscenario's (*business as usual* en *technical feasible*) meer in detail besproken.

IV.3.3 Binnenlandse en internationale CO_2-emissies t.g.v. de luchtvaart

In het verdrag van Kyoto (punt V) worden enkel de emissies door de binnenlandse luchtvaart opgenomen. De beperkingen gelden dan voor de betrokken landen.

Gegevens in de nationale inventarisrapporten tonen dat de internationale vluchten verantwoordelijk zijn voor het grootste deel van het totale brandstofverbruik (Figuur 22). Het aandeel van internationale vluchten is het kleinst in de grotere landen, terwijl het internationale luchttransport verantwoordelijk is voor meer dan 95% van de emissies in de kleinere landen (waar slechts heel weinig binnenlandse vluchten plaatsvinden) (figuur 22).



Figuur 22: Aandeel van het internationale luchtvaartverkeer in het totale brandstofverbruik in 1990 en 2004 (bron: J. Graichen, B. Gugele; 2006).

EUROCONTROL heeft voor het jaar 2004 een meer gedetailleerde studie uitgevoerd naar het aantal vertrekken en de CO_2-emissies voor al de vluchten die vertokken vanuit een luchthaven in de EU (tabel 4). Van al de vertrekkende vluchten bleef ongeveer 85% binnen de EU, wat overeen kwam met ongeveer 40% van de totale CO_2-uitstoot van de Europese luchtvaart.
Het aantal lange-afstandsvluchten naar Noord-Amerika en het Verre Oosten bedroegen respectievelijk slechts 2,2% en 1,1%, maar waren verantwoordelijk voor 34% van de totale CO_2-uitstoot.

Tabel 4: Aantal vertrekken en de CO2-emissies van vluchten vertrekkende vanuit EU-luchthavens in 2004 (bron: J. Graichen, B. Gugele; 2006).

Flight destination region	Departures		CO_2 emissions	
	[1 000]	[%]	[kt]	[%]
EU 25	5 847	84.4%	52 328	39.9%
EU UPR	93	1.3%	4 157	3.2%
Europe (rest)	493	7.1%	7 370	5.6%
Africa	113	1.6%	6 570	5.0%
North America	152	2.2%	24 957	19.0%
Central America	21	0.3%	4 079	3.1%
South America	17	0.3%	3 882	3.0%
Middle East	109	1.6%	8 000	6.1%
Far East	73	1.1%	19 541	14.9%
Unknown	14	0.2%	249	0.2%
Total	6 931	100%	131 147	100%
Notes:	UPR: Ultra Peripheral Regions			

Er kan besloten worden dat ongeveer 40% van de CO_2-emissies uit de Europese luchtvaart afkomstig is van binnenlandse en intra-EU vluchten en ongeveer 60% van vluchten naar niet-EU-lidstaten.

HET VERDRAG VAN KYOTO

V.1 Ontstaan

De klimaatsverandering speelt zich af op internationaal niveau. Broeikasgassen komen terecht in de atmosfeer en hebben een grensoverschrijdende invloed op het klimaat. De inspanningen van één of enkele landen om de broeikasgasemissies te reduceren kunnen dus ongedaan gemaakt worden door andere landen die ongestoord massa's vervuilende stoffen de lucht zouden inpompen. Er moest dus gezocht worden naar een globale oplossing, een oplossing waarbij alle landen betrokken worden.

Een eerste stap in de goede richting was het ondertekenen van het 'UNFCCC' of 'United Nations Framework Convention on Climate Change'. Deze overeenkomst werd gesloten in 1992 tijdens een topconferentie in Rio de Janeiro als reactie op de klimaatsverandering. (http://www.pewclimate.org, 2006). Ze is in werking getreden op 21 maart 1994.

Deze Conventie werd ondertekend door 189 landen en vormt het kader voor de intergouvernementele inspanningen m.b.t. de aanpak van de klimaatsverandering. De bedoeling ervan is na te gaan hoe men de globale opwarming kan inperken en hoe men kan omgaan met de onvermijdelijke gevolgen van de temperatuurstijging (http://unfccc.int, 2006). De overeenkomst stelt het lange-termijn-doel voorop waarbij men de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer moet stabiliseren op een zodanig niveau dat deze gassen het klimaatsysteem niet kunnen aantasten (http://www.pewclimate.org, 2006) en onschadelijk zijn voor de menselijke samenleving en de ecosystemen. (C. Philibert; 1999). Daarnaast werd ook gepleit voor een reductie van broeikasgasemissies van de ontwikkelde landen tot het niveau van 1990, en dit tegen 2000. Er geldt een gezamenlijke maar gedifferentieerde verantwoordelijkheid. Dit betekent dat geïndustrialiseerde landen, zoals vermeld in Bijlage I van het Verdrag, meer verantwoordelijkheid dragen en dus meer verplichtingen hebben. Door hun economische en technologische gebreken, kunnen ontwikkelingslanden zich minder goed aanpassen aan klimaatsveranderingen. Daar komt nog eens bij dat de ontwikkelingslanden doorheen het verleden minder hebben bijgedragen tot het broeikaseffect. Hun CO_2-uitstoot bedraagt 45% van de totale emissies over heel de wereld,

terwijl zij twee derden van de wereldbevolking huisvesten. Sinds de Industriële Revolutie zouden zij verantwoordelijk zijn voor 15% van de cumulatieve emissies[33]. (C. Philibert; 1999). Overheden, gebonden aan de Conventie, verzamelen en delen informatie over de uitstoot van broeikasgassen en hun nationale beleid. Verder zetten ze strategieën op die de emissie van broeikasgassen moeten snoeren en voorzien ze de ontwikkelingslanden van financiële en technologische middelen, zodat deze zich, zonder de natuur extra te belasten, ten volle economisch zouden kunnen ontplooien. Tenslotte onderzoeken ze samen welke aanpassingen aan klimaatsverandering kunnen worden gedaan. (http://unfccc.int, 2006).

Het was duidelijk dat UNFCCC tekort schoot en dat er ingrijpender maatregelen nodig waren. Om die reden heeft men in 1997 besloten om naast deze Conventie een andere overeenkomst met krachtiger maatregelen, die ook nog eens bindend zijn, goed te keuren. Zo kwam het 'Kyoto Protocol' tot stand. Dit verdrag stelt gelijkaardige doelstellingen als deze van het UNFCCC voorop, maar is sterker doordat het individuele en bindende maatregelen oplegt aan de ondertekenende landen. (http://unfccc.int, 2006). De hoofddoelstelling van het Verdrag is dat de landen tegen 2012 hun broeikasgasemissies met 5,2% t.o.v. het niveau van 1990 moeten terugdringen. (http://unfccc.int, 2006). Het Protocol is op 16 februari 2005 in werking getreden. Op deze datum gingen ook de marktmechanismen, zoals vastgelegd in het Protocol (Zie punt V.2.3.2), van kracht.

Vandaag hebben 168 landen en de Europese Unie het Verdrag geratificeerd. Deze landen staan opgesomd in Bijlage I van het Verdrag. Van deze landen zijn 35 landen en de Europese Unie verplicht hun emissies te reduceren tot de niveaus zoals deze in het Protocol voor elk van hen zijn bepaald (Bijlage B). Deze doelstellingen moeten in de periode 2008 – 2012 gehaald worden. Daarnaast bevat het Protocol nog een indicatieve lijst met maatregelen die landen (indien ze dit willen) kunnen nemen. (C. Philibert; 1999).

V.2 Werking

V.2.1 Gedifferentieerde verantwoordelijkheid

De doelstellingen zoals vermeld in het Kyoto Protocol zijn niet voor alle geïndustrialiseerde landen gelijk. Zo zullen de Europese Unie en de Centraal-Europese staten hun emissies

[33] Met cumulatieve emissies wordt bedoeld de toename van de concentratie van de gassen in de atmosfeer die de drijvende kracht zijn achter de klimaatsverandering. (C. Philibert; 1999).

moeten reduceren met 8% t.o.v. het niveau van 1990, de VS met 7% en Canada, Japan, Hongarije en Polen met 6%. Rusland, Oekraïne en Nieuw-Zeeland moeten hun emissies niet reduceren en Noorwegen, Australië en Ijsland mogen hun emissies verhogen met respectievelijk 1%, 8% en 10%. Deze waarden worden in het Protocol aangeduid als de '*assigned amounts*' of vrij vertaald de 'toegekende hoeveelheden'. Deze doelstellingen moeten bereikt worden in de periode 2008-2012. (C. Philibert; 1999).
De toegestane hoeveelheden broeikasgasemissies worden als volgt berekend: men neemt het emissieniveau van een bepaald land en vermenigvuldigt dit met vijf (het gaat over een periode van vijf jaren 2008-2012). Tenslotte vermenigvuldigt men de bekomen waarde met het percentage toegestane emissies. Een voorbeeld ter verduidelijking: de toegewezen hoeveelheid voor een Europees land is vijf maal haar emissies in het jaar 1990, vermenigvuldigd met 92% (een Europees land moet haar emissies met 8% terugdringen t.o.v. het niveau van 1990). Dit land mag dan over de periode 2008-2012 deze hoeveelheid broeikasgassen uitstoten (C. Philibert; 1999).
In bijlage 1 zit een lijst met de emissiegrenzen van de aangesloten landen (Annex B).

V.2.2 Flexibiliteit

Aangezien broeikasgassen zich vermengen met de atmosfeer, is de plaats waar ze uitgestoten worden niet bepalend voor hun effect op het klimaat[34]. Door het invoeren van 'volledige flexibiliteit', kan de bestrijding van de CO_2-emissies gebeuren in een andere sector dan waar deze vrijkomen. Daarnaast is er ook 'flexibiliteit in de tijd' mogelijk. Dit wordt besproken in punt V.2.2.2. (C. Philibert; 1999).

V.2.2.1 Volledige flexibiliteit

Wanneer een land een verhoging kent van de CO_2-uitstoot van bijvoorbeeld de transportsector, kan deze toename gecompenseerd worden door bijvoorbeeld het aanleggen van *sinks* (zie punt V.2.3.1). Volledige flexibiliteit komt er dus eigenlijk op neer dat men, zolang het

[34] Voor de bestrijding ervan kan het echter wel zinvol zijn te weten waar ze zijn uitgestoten.

eindresultaat een reductie van broeiksgassen oplevert, elke verhoging van CO_2 mag gecompenseerd worden door maatregelen te nemen in een andere sector. (C. Philibert; 1999).
Bijlage 2 bevat een lijst met de sectoren die verantwoordelijk zijn voor de uitstoot van broeikasgassen en waartussen bovenstaande flexibiliteit binnen de Kyoto-overeenkomsten geldt.

V.2.2.2 Flexibiliteit in tijd

De Protocol-verbintenis bestrijkt een periode van vijf jaar. Dit zorgt ervoor dat kleine onverwachte afwijkingen, veroorzaakt door korte-termijn economische of klimatologische veranderingen, worden afgezwakt. Daarnaast kan een land zijn toegewezen hoeveelheden 'opslaan'. Dit betekent dat als een land onder zijn *assigned amounts* zit, zij een deel van deze emissierechten kan stockeren om zo toekomstige verbintenissen tegemoet te komen. (C. Philibert; 1999).

V.2.3 Mechanismen

Volgens het Protocol mogen de deelnemende landen een deel van hun reductie realiseren in een ander land. Dit is het geval als milieugunstige maatregelen in een ander land goedkoper te realiseren zijn dan in het eigen land.
Daarnaast kunnen landen, die hun opgelegde reductie van emissies niet kunnen waarmaken, 'emissierechten' van andere landen kopen.
Ook bossen kunnen worden meegeteld als vorm van reductie (zie punt V.2.3.1). Hieronder wordt een overzicht gegeven van de vooropgestelde maatregelen volgens het Kyoto-Protocol.

V.2.3.1 LULUCF

Opdat de Bijlage I-partijen hun doelstellingen zouden halen, moeten ze een beleid en maatregelen voorop stellen. Het Protocol vermeldt een lijst van mogelijke beleidsmaatregelen die kunnen helpen de opwarming te matigen en de duurzame ontwikkeling te promoten en

kan aldus als leidraad dienen voor de betrokken partijen. Zo mogen landen hun emissies compenseren door de broeikasgassen te verwijderen uit de atmosfeer door zogenaamde '*carbon sinks*' of 'koolstof *sinks*' te integreren in hun landgebruik. Dit duidt men aan als 'LULUCF'-sector, wat staat voor '*land use, land-use change and forestry*'. De idee hierachter is dat bomen koolstofdioxide opnemen. Het aanplanten van nieuwe bossen zorgt dus voor een reductie van CO_2 in de atmosfeer. Broeikasgassen die op die manier uit de atmosfeer worden verwijderd, worden aangeduid met de term '*removal units*' of 'RMUs'. (http://unfccc.int, 2006).

V.2.3.2 *Internationale marktgebaseerde mechanismen*

In het Verdrag van Kyoto staan nog drie mechanismen die gebaseerd zijn op het marktprincipe: '*joint implementation*', '*clean development mechanism*' en '*international emissions trading*'. (http://unfccc.int, 2006). Deze kunnen in principe ook geplaatst worden onder de titel flexibiliteit. Het gaat dan om flexibiliteit tussen landen. (C. Philibert; 1999).

a. Joint implementation

Joint implementation kan vertaald worden als 'gezamenlijke uitvoering'. Daarmee wordt bedoeld dat een Bijlage I-partij een project dat emissies reduceert of dat de verwijdering ervan bevordert, op het territorium van een andere Bijlage I-partij mag inrichten. De resulterende eenheden emissiereductie (ERUs[35]) mogen dan toegevoegd worden aan de eigen prestaties. (http://unfccc.int, 2006).

b. Clean development mechanism (CDM)

Bij dit mechanisme mogen Bijlage I-partijen emissie-reducerende projecten opzetten op het grondgebied van landen die niet vermeld staan in de Bijlage I[36]. De bekomen reductie van de emissies (CERs[37]) helpen de geïndustrialiseerde landen hun doelstellingen te bereiken.

[35] Emission Reduction Units
[36] De ontwikkelingslanden
[37] Certified Emission Reductions

Een bijkomende doelstelling van het CDM is de ontwikkelingslanden te helpen een duurzame ontwikkeling op te bouwen.
Binnen dit mechanisme is een belangrijke rol weggelegd voor officieel erkende onafhankelijke organisaties, de zogenaamde '*operational entities*'. Deze zullen een belangrijke rol spelen bij het goedkeuren van voorgestelde projecten en het certificeren van emissie-reducties en –verwijderingen. (http://unfccc.int, 2006).

c. International emissions trading

Sommige landen kunnen zonder al te grote inspanningen de hen in het Protocol van Kyoto opgelegde reductiewaarden realiseren. Indien de landen op een goedkope manier meer kunnen doen dan wat verplicht is, zullen zij een overschot creëren op hun toegelaten quotum. Het Protocol laat toe deze overtollige emissierechten te verkopen aan landen die denken meer te zullen uitstoten dan hen toegelaten wordt in het Verdrag. Dit systeem noemt men 'emissiehandel' of 'handel in emissierechten'. Dit mechanisme zorgt ervoor dat inspanningen op een efficiënte manier worden verdeeld. Op die manier worden landen, die zelfs met zeer grote inspanningen de norm niet zouden halen, toch in staat gesteld om op een betaalbare manier in orde te zijn met hun verplichtingen. Het gemeenschappelijke resultaat is hetzelfde, terwijl de kosten lager zijn. (http://www.climatechange.be; 2006).
Door middel van een efficiënte Europese markt voor broeikasgasemissierechten kunnen de Europese Gemeenschap en haar lidstaten doeltreffender en met een zo gering mogelijke teruggang van de economische ontwikkeling en de werkgelegenheid aan hun verplichtingen voldoen.
Beschikking 93/389/EEG van de Raad van 24 juni 1993 inzake een bewakingssysteem voor de uitstoot van CO_2 en andere broeikasgassen, voorziet in een systeem voor de bewaking van de broeikasgasemissies en de evaluatie van de vorderingen die worden gemaakt met de nakoming van de met betrekking tot deze emissies aangegane verplichtingen. Op die manier kunnen de lidstaten de totale hoeveelheid van toe te wijzen rechten vaststellen.
De lidstaten moeten regels vaststellen die van toepassing zijn op schendingen van de bepalingen van de richtlijn en moet ervoor zorgen dat deze worden toegepast. De sancties moeten doeltreffend, evenredig en afschrikkend zijn.
De handel in emissierechten zou deel moeten uitmaken van een alomvattend, samenhangend pakket van beleidslijnen en maatregelen die door de lidstaten en op Gemeenschapsniveau worden uitgevoerd. Lidstaten kunnen, wanneer activiteiten onder de Gemeenschapsregeling

vallen, rekening houden met de gevolgen van regulerende, fiscale en andere beleidsmaatregelen waarmee dezelfde doelstellingen worden nagestreefd.

De marktgerichte mechanismen bieden veel mogelijkheden, maar dit betekent niet dat deze volstaan. Er moet een EU-strategie komen voor het tegengaan van klimaatverandering en deze moet rusten op een evenwicht tussen de regeling voor de handel in emissierechten en andere communautaire, nationale en internationale maatregelen. **(**2003/87/EG).

V.3 Kyoto en de luchtvaartsector

Ondanks het feit dat de luchtvaartsector een belangrijke rol speelt bij de uitstoot van broeikasgassen, is deze sector niet opgenomen in het Kyoto-Protocol. In dit Verdrag verwijst enkel Artikel 2 paragraaf 2 naar deze sector. Er staat dat de geïndustrialiseerde landen een beperking of reductie van emissies van broeikasgassen moeten bekomen via het ICAO. ICAO staat voor '*International Civil Aviation Organization*' en is een gespecialiseerd onderdeel van de VN. Het vormt een globaal forum voor de burgerluchtvaart. De doelstelling van de organisatie is het bekomen van een veilige en duurzame ontwikkeling van de passagiersluchtvaart d.m.v. samenwerking tussen de ledenstaten. (http://www.icao.int, 2006).

De emissies van binnenlandse vluchten worden wel bij de nationale totalen gerekend. Bunkeremissies, d.w.z. emissies t.g.v. internationale vluchten, worden slechts in een afzonderlijk deel (als memo-item) vermeld. In dit deel worden de emissies van de brandstoffen, verkocht in een bepaald land en bestemd voor internationale vluchten, vermeld. Deze emissies worden niet beschouwd als een onderdeel van de nationale emissie-totalen.
Emissies van legervliegtuigen die nationale vluchten verzorgen, worden in een andere categorie opgenomen. Emissies voor internationale militaire vluchten worden inbegrepen bij het bovenvermelde memo-item. (K. Rypdal, 2000).
Omdat er een onderscheid moet gemaakt worden tussen de emissies die vrijkomen tijdens binnenlandse vluchten en deze die vrijkomen tijdens internationale vluchten, is het belangrijk dat men deze gegevens afzonderlijk kan bekomen. Dit werd in punt IV.2.1 reeds besproken.

Door het toenemende belang van de luchtvaartsector is het is erg belangrijk dat wordt onderzocht hoe men de luchvaartsector kan integreren in een verdrag volgend op dat van Kyoto. Het vervolg van deze scriptie staat volledig in het kader van deze doelstelling.

VI. NIET-POLITIEKE MAATREGELEN

VI.1 Inleiding

Het is duidelijk dat er iets moet gedaan worden om de impact van vliegtuigen op het klimaat in te perken.

Er bestaan verschillende opties: men kan opteren voor het investeren in technologische vernieuwingen en onderzoek, het verbeteren van het luchtverkeerbeheer, het optimaliseren van de operationele efficiëntie of nog voor het doorvoeren van economische of politieke maatregelen.

Zoals de titel van dit werk reeds laat vermoeden verdient de post-2012 politiek rond de klimaatsverandering t.g.v. het internationale luchtvaartverkeer, hier de meeste aandacht. Hieronder worden de verschillende mogelijkheden per optie kort besproken. De politieke maatregelen zullen aan een meer uitgebreide analyse onderworpen worden.

VI.2 Technologische vernieuwingen

Onder technologische vernieuwingen wordt verstaan:

- het verbeteren van het motorontwerp zodat de brandstofverbranding op een meer efficiënte manier kan verlopen (S. Cairns, C. Newson; 2006).
- onderzoek naar hoe men de toestellen lichter kan maken
- onderzoek naar een beter vliegtuigontwerp: de optimalisatie van het ontwerp is er doorgaans op gericht om de directe operationele kosten (DOC[38]) zo veel mogelijk te drukken. Men kan het optimale ontwerp afstemmen op een grote verandering van deze kosten (bijvoorbeeld een vooraf aangekondigde stijging van de brandstofkosten). In dit geval zal men erop toezien dat het nieuwe ontwerp minder brandstof verbruikt door bijvoorbeeld aan een lagere snelheid te vliegen. (W.J. Dijkstra et al.; 1997).
- de capaciteit van de vliegtuigen groter maken: het brandstofverbruik per pax.km[39] neemt meestal af naarmate de capaciteit van de vliegtuigen groter wordt. (W.J. Dijkstra et al.; 1997).

[38] *Direct Operating Costs*

[39] Passenger-kilometre. RPK of Revenue Passenger Kilometres is de maat voor het aantal passagiers van een vliegtuig. De RPK van een vliegtuig komt overeen met het totale aantal kilometers die alle passagiers samen

- onderzoek naar alternatieve brandstoffen. Aangezien de voorraad fossiele brandstoffen eindig is, is onderzoek naar alternatieven essentieel. Voorbeelden van alternatieve brandstoffen zijn: vloeibaar waterstofgas (punt VI.1.1), vloeibaar (gemaakt) aardgas of biobrandstoffen [40]. Op middellange termijn lijken biobrandstoffen de meest interessante optie, terwijl vloeibare waterstof misschien vooral interessant is op lange termijn. (S. Marquart et al.; 2000).

VI.2.1 Cryoplanes

Vloeibaar waterstofgas (LH_2) lijkt vandaag het meestbelovende alternatief te zijn. Dit is vooral zo omdat deze energiebron overal ter wereld beschikbaar is, omdat het mogelijk is om deze onafhankelijk van fossiele brandstoffen te vervaardigen en omdat het een zeer grote hoeveelheid energie per massa-eenheid bevat. Vliegtuigen die aangedreven worden door LH_2 worden *cryoplanes* genoemd.

Tot op heden is er echter nog maar weinig onderzoek geleverd naar de impact van *cryoplanes* op de atmosfeer. Wel is geweten dat de enige emissies die dit soort vliegtuigen uitstoot H_2O en NO_x zijn. (S. Marquart et al.; 2000). De energie is afkomstig van hernieuwbare energiebronnen en er zijn geen zwavel- of koolstofemissies. In de strijd tegen CO_2-emissies kunnen dus met dit soort vliegtuigen resultaten geboekt worden.

Er zijn echter ook nadelen verbonden aan *cryoplanes*: gezien de lage hoeveelheid energie per volume-eenheid van waterstof zou een groter vliegtuig vereist zijn voor de opslag ervan. (S. Cairns, C. Newson; 2006). De omschakeling naar dat soort brandstof zou dus een deel van de verbeteringen aan het vliegtuigontwerp teniet doen. Een ander neveneffect is dat er meer waterdamp zal vrijkomen dan bij de huidige vliegtuigen. Zoals in punt IV.1.1.2 reeds werd uiteengezet, heeft het vrijkomen van waterdamp op grote hoogte (in bepaalde atmosferische omstandigheden) de vorming van condensatiesporen (of *contrails*) als rechtstreeks gevolg. (S. Cairns, C. Newson; 2006). Na een tijdje kunnen deze zelfs evolueren tot cirruswolken. Aangezien er nog veel onzekerheden bestaan over de gevolgen van zulke *contrails* en cirruswolken op het klimaat, is verder onderzoek zeker vereist.

---

hebben afgelegd. Het is dus de som van de producten van het aantal passagiers met het aantal gevlogen kilometers. (http://moneyterms.co.uk; 2007).

[40] Op basis van biomassa.

Het omschakelen naar *cryoplanes* zal, onder andere gezien de belangrijke vereiste technische omwentelingen, dus op korte termijn geen oplossing kunnen bieden.

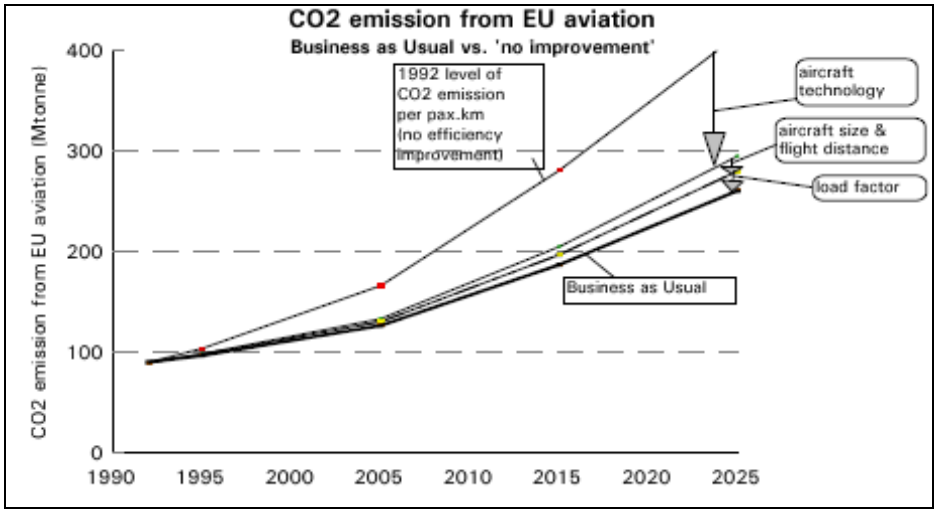
VI.3 Operationele maatregelen

Het verbeteren van de operationele efficiëntie[41] houdt in (S. Cairns, C. Newson; 2006):

- het verhogen van de ladingsfactor: het vliegtuig zo veel mogelijk laden (zodat het aantal vluchten voor eenzelfde hoeveelheid lading kan beperkt worden tot een minimum) (S. Cairns, C. Newson; 2006). De emissiereductie t.g.v. deze maatregel zou echter slechts bescheiden zijn omdat de ladingsfactor tegenwoordig al redelijk hoog is. Een verhoging van de ladingsfactor tot 77% zou doenbaar zijn en zou kunnen leiden tot een bijkomende reductie van 6-7% van de energie-intensiteit. (W.J. Dijkstra et al.; 1997).
- overbodig gewicht vermijden: hoe zwaarder een toestel is, hoe meer brandstof verbruikt wordt
- het optimaliseren van de vliegsnelheid[42]
- zo weinig mogelijk extra energie verbruiken door de *auxiliary power unit* te beperken (bv. voor verwarming of voor airconditioning wanneer het toestel op de grond is)
- het taxiën[43] tot een minimum beperken.

Op figuur 23 is duidelijk te zien welke positieve effecten operationele en technologische verbeteringen op de emissies zouden hebben.
Het *Business as Usual scenario* (BaU) geeft de gevolgen weer als de huidige trend (inzake bevolking, economie, technologie en cultuur) in de toekomst op eenzelfde manier wordt verdergezet. (http://glossary.eea.europa.eu; 2007).

[41] De emissiereductie door operationele maatregelen zou beperkt blijven tot 2-6%.
[42] De optimale vliegsnelheid is op klimatologisch vlak de snelheid waarbij het energieverbruik minimaal is (http://student.kuleuven.be; 2007) doordat de weerstand vergeleken met de snelheid minimaal is (Y. Van Dam et al.; 2003).
[43] Grondbewegingen van het vliegtuig



Figuur 23: Emissietrends volgens het *Business as Usual*-scenario (bron: J.M.W. Dings et al.; 1997).

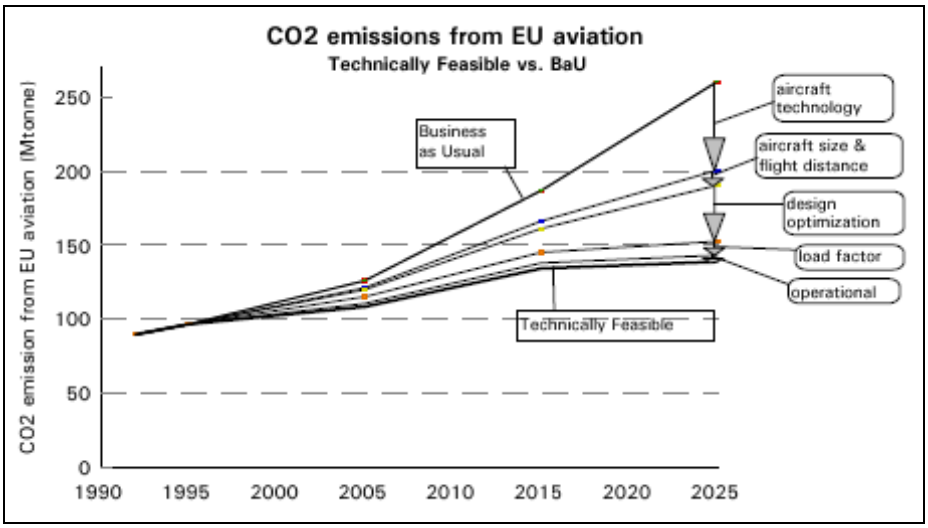
Volgens het *Business as Usual*-scenario zou het aantal gevlogen pax.km tussen 1992 en 2025 met een factor 4 of 5 toenemen. De vereiste hoeveelheid energie (en de daarmee samengaande hoeveelheid uitgestoten CO_2) per pax.km zou tegelijkertijd, door de technologische en operationele verbeteringen, met 35 tot 40% afnemen. Gedurende deze periode zou de CO_2-uitstoot, afkomstig van de Europese luchtvaart, verdrievoudigd worden ten gevolge van de groei van de luchtvaartsector. De NO_x-emissies zullen zelfs aan een hoger tempo toenemen. Er zou, in plaats van een neerwaartse, eerder een opwaartse trend zijn in de NO_x-emissies per eenheid verbrande brandstof (g/kg), ondanks de veelbelovende labo-resultaten. Dit is te wijten aan de toename van de gemiddelde drukgradiënt en de grotere vliegtuigmotoren (nodig om de CO_2-uitstoot te beperken). Daar komt bij dat de wetgeving hogere NO_x-emissies voor dit soort motoren toelaat. (W.J. Dijkstra et al.; 1997).

Tabel 5 geeft een overzicht van de CO_2-emissietrend van de luchtvaart binnen de EU.

Tabel 5: CO_2-emissietrend van de luchtvaart binnen de EU (bron: J.M.W. Dings et al.; 1997).

		1992	2005	2015	2025[b]
pax.km	billions	386	715	1,209	1,789
	index	100	185	313	463
annual growth, %			4.9%	5.4%	4.0%
fuel consumption, Mtonnes		28.5	40.7	59.4	82.2
CO_2 emissions total	Mtonnes	89.8	126	187	261
	index	100	141	208	290
CO_2 emissions per pax.km	grammes	232	177	155	146
	index	100	76	67	63

Betere resultaten kunnen geboekt worden met het *Technically Feasible*-scenario (TF). Dit is heel duidelijk te zien op figuur 24.



Figuur 24: Trend van CO_2-emissies volgens het *Technical Feasible*-scenario (bron: J.M.W. Dings et al.; 1997).

Het TF-scenario impliceert dat al de (niet-) technologische opties in 2025 zo goed als mogelijk zijn gecommercialiseerd.

Met extra technologische verbeteringen, bovenop de verbeteringen die plaatsgrijpen binnen het BaU scenario, zou een grotere reductie van de energie-intensiteit van nieuwe vliegtuigen kunnen bekomen worden (meer dan 20% bovenop de resultaten van het BaU scenario). Deze

verbeteringen zouden vooral te danken zijn aan de nog meer geavanceerde motortechnologieën en de snelle introductie van deze technologieën in de vloot, dankzij een hogere *turnover*.
De optimalisatie van het vliegtuigontwerp (zoals een grotere vleugelspanwijdte en lagere operationele snelheden) zou een grote rol kunnen spelen bij de reductie van emissies. Ook hiermee zou nog eens een reductie van 20% kunnen gehaald worden. Verder onderzoek hieromtrent is echter vereist. (W.J. Dijkstra et al.; 1997).

VI.4 Het beheer van het luchvaartverkeer

De klimaateffecten van de vliegtuigen kunnen ook door verbeteringen van het luchttransportmanagement aangepakt worden. De efficiëntie ervan kan door de juiste maatregelen met 6 tot 12% verbeterd worden.

Een eerste manier is het optimaliseren van de huidige structuur van het vliegruim: elk land beschikt over de soevereiniteit over een deel van het luchtruim. Dit deel is afgebakend volgens de landsgrenzen. Om die reden zijn de vliegroutes vaak complex en inefficiënt. EUROCONTROL en *SESAR*[44] hebben deze problematiek reeds bestudeerd waardoor toch al enkele resultaten zijn geboekt. Zo heeft men heden minder te kampen met vertragingen door een verbeterde efficiëntie door de invoering van *RVSM* of *Reduced Vertical Separation Minima*, wat neerkomt op een vermindering van de vereiste vertikale afstanden tussen vliegtuigen. (S. Cairns, C. Newson; 2006). De vertikale minimumafstanden, tussen de vlieghoogtes van 29.000 voet en 41.000 voet, zijn ingekort van 2000 voet tot 1000 voet. Op die manier kan de capaciteit van het luchtruim verhoogd worden terwijl er veilig kan gevlogen blijven terwijl er brandstof bespaard wordt door minder ontwijkingsroutes te moeten gebruiken. (http://www.faa.gov, 2007).

Door overbelasting van luchthavens is het vaak zo dat vliegtuigen boven de luchthaven moeten blijven cirkelen tot er een mogelijkheid tot landen is. Op die manier verbruikt een vliegtuig meer brandstof dan nodig is. Aangezien het volume uitgestoten CO_2 evenredig is

[44] *Single European Sky Air Traffic Management Research Programme:* dit project heeft als doelstelling een luchtvaartbeheersysteem van een nieuwe generatie te ontwikkelen om zo de veiligheid en de 'vlotheid' van het luchttransport wereldwijd gedurende de volgende dertig jaar, te verzekeren. (http://ec.europe.eu/transport, 2007).

met de verbruikte hoeveelheid brandstof, is het duidelijk dat ook hieraan iets moet gedaan worden. (S. Cairns, C. Newson; 2006).
De meest voor de hand liggende manier zou een uitbreiding van de luchthavencapaciteit zijn. Dit is echter niet steeds mogelijk en zeker niet de meest ideale manier. Dit zal namelijk leiden tot een toename van het vliegverkeer en van het wegverkeer van en naar de luchthaven, wat overlast in de omgeving met zich meebrengt. Zo zal de geluidsoverlast, wat vandaag het onderwerp is van vele discussies (vooral in dicht bewoonde gebieden), door een uitbreiding toenemen. Een grotere luchthaven zal meer ruimte in beslag nemen, die hierdoor niet meer kan gebruikt worden voor andere doeleinden, ... (http://www.nrc.nl; 2007). Een andere oplossing zou kunnen zijn de routes van deze vluchten aan te passen zodanig dat andere nabijgelegen luchthavens (waarvan de capaciteit onderbenut is) hier voordeel van kunnen ondervinden. Ter compensatie hiervan zouden de passagiers dan bijvoorbeeld gratis met speciaal ingezet openbaar vervoer naar hun eindbestemming kunnen gebracht worden.

Een tweede manier bestaat erin vliegpatronen te ontwikkelen waarbij men rekening houdt met de heersende atmosferische omstandigheden. Dit kan gebeuren door het aanmoedigen van 'milieuvriendelijke' routes en dienstregelingen van vliegtuigen, waarbij minder spoorvorming optreedt. Op die manier kan de impact van (andere dan CO_2-[45]) emissies geminimaliseerd worden. (S. Cairns, C. Newson; 2006). In punt IV.1.2.4.a werden de diurnale verschillen met betrekking tot de vorming van *contrails* reeds besproken: het effect van contrails is 's nachts groter dan overdag omdat er overdag twee processen plaatsvinden. De sporen beletten dat de warmte de atmosfeer verlaat, wat opwarming als gevolg heeft, terwijl het inkomend zonlicht teruggekaatst wordt naar de ruimte. Dit heeft een afkoelend effect. Beide effecten heffen elkaar dus gedeeltelijk op. 's Nachts is er echter enkel een opwarmend effect doordat de warmte in de atmosfeer gehouden wordt. Er is geen zonlicht dat kan teruggekaatst worden.
Hier biedt zich dus de mogelijkheid om nachtvluchten te beperken en zo veel mogelijk te vervangen door dagvluchten.
Er zijn ook seizoenale verschillen waar te nemen bij de vorming van condensatiesporen. De kans op vorming van condensatiesporen is 's winters (december, januari en februari) groter dan in de zomer waardoor dan meer condensatiesporen kunnen gevormd worden (zie ook punt

[45] Vliegtuigmotoren zullen (zonder technologische omschakelingen) steeds CO_2 blijven uitstoten. Door bijvoorbeeld lager te vliegen, zal er niets veranderen aan de CO_2–uitstoot, maar kunnen wel de ideale omstandigheden voor de vorming van *contrails* vermeden worden (zie ook punt IV.1.2.4).

IV.1.2.4.a). Eventueel zou ook hiermee rekening kunnen gehouden worden, hoewel deze aanpassing complexer is dan de nachtvluchten te vervangen door dagvluchten.

Een andere manier om de vorming van *contrails* te beperken, is het vermijden van gebieden waar de omstandigheden geschikt zijn voor de vorming van condensatiesporen. Het kan hierbij bijvoorbeeld gaan over algemene hoogtebeperkingen (afhankelijk van de maand of van het tijdstip van de dag). Wat tot nog betere resultaten zou kunnen leiden, is het incorporeren van de heersende atmosferische omstandigheden op een bepaald moment, in de vliegroute. Men kan zich dan hierop baseren om, per vlucht, de vlieghoogte aan te passen. (S. Cairns, C. Newson; 2006).

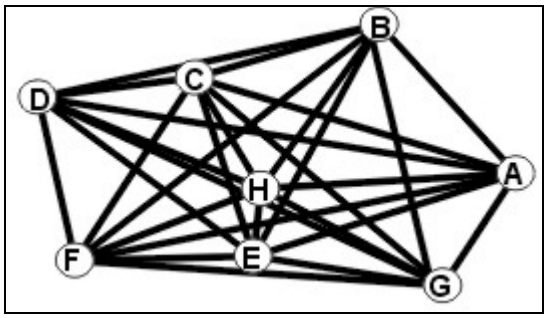
Sommige van deze maatregelen (omleiden van vluchten, het vermijden van gebieden waar de kans op spoorvorming groot is) kunnen echter ook een verlenging van de vliegroute inhouden. Dit betekent een verhoogd brandstofverbruik en dus ook en toename van de CO_2-emissies. (S. Cairns, C. Newson; 2006). Er moeten dus zeker afwegingen worden gemaakt. Dit maakt het uitstippelen van een optimaal luchtvaartmanagement een uiterst complexe zaak.

VI.5 Hubs and Spokes

VI.5.1 Concept

Dit onderdeel is gebaseerd op het artikel '*Flying where you don't want to go: an empirical analysis of hubs in the global airline network*' van B. Derudder et al. (2007).
Steeds meer mensen nemen het vliegtuig om zich te verplaatsen. Om zich van punt A naar punt B te verplaatsen bestaan er in de luchtvaartsector verschillende manieren. Om bijvoorbeeld acht plaatsen rechtstreeks met elkaar te verbinden, moeten er heel wat vliegroutes uitgestippeld worden (figuur 25). Daarom werd het *hubs-and-spokes*-model in het leven geroepen (figuur 26): men kiest een luchthaven als *hub* (bv. vanwege de gunstige centrale ligging ervan of omdat het gelegen is nabij een grote stad), waar de vliegtuigen, afkomstig van al de andere steden, een tussenlanding maken. Daar stappen de passagiers over op een andere vlucht om zo hun eindbestemming te bereiken. Een *hub* is dus eigenlijk een centraal verzamelpunt voor vliegtuigen waar passagiers kunnen overstappen op andere

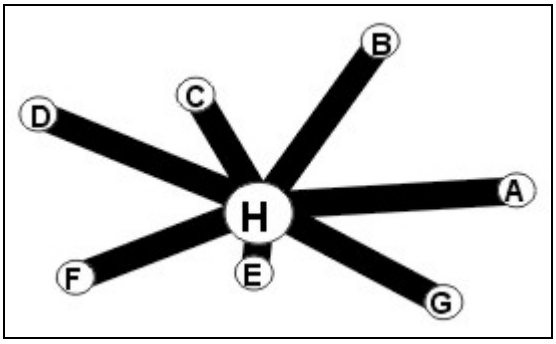
vluchten om hun uiteindelijke bestemming te bereiken. Doorgaans worden de passagiers van een bepaald land (bv. Duitsland) of continent (bv. Europa) met kleinere toestellen verzameld om samen met grotere toestellen een intercontinentale reis uit te voeren.



Figuur 25: *Point-to-point* netwerk (bron: B. Derudder et al.; 2007).

Vliegnetwerken kennen steeds meer een polycentrische organisatie. Als gevolg hiervan zijn sommige steden, door hun centrale ligging, in dit netwerk een prominente rol beginnen spelen, niet als vakantiebestemming (dus niet als eindbestemming), maar als *hub*.

Een voorbeeld van een *hub-and-spoke*-netwerk wordt op figuur 26 voorgesteld. Het is te vergelijken met een fietswiel waarvan de as de *hub* voorstelt en de spaken de *spokes*. Toegepast op de luchtvaart kan gesteld worden dat er één of meer overstapplaatsen zijn voor de passagiers (*hubs*) van waaruit op meer efficiënte manier vluchten (via de spokes) naar hun eindbestemming worden georganiseerd. Een *hub* is dus eigenlijk een faciliteit die op een zodanige manier in een netwerk wordt geïmplementeerd, dat het als overstappunt kan dienen voor vluchten naar andere knooppunten. Typische voordelen van *hub*-luchthavens zijn Londen Heathrow (voor British Airways) en Frankfurt (voor Lufthansa).



Figuur 26: *Hub-and-spoke* netwerk (bron: B. Derudder et al.; 2007).

Als een vliegtuigmaatschappij haar netwerk organiseert volgens een '*point-to-point*'-model (zie figuur 25), zullen er in totaal [N * (N-1)]/2[46] routes nodig zijn om al de knopen in een netwerk met elkaar te verbinden. In het geval van figuur 25, zullen dus 28 routes moeten georganiseerd worden. Dit aantal vermindert drastisch als een luchtvaartmaatschappij beslist gebruik te maken van het *hub-and-spoke*-model: daar zijn slechts (N-1) routes nodig als er een *hub* wordt erkend zodat er directe vluchten kunnen georganiseerd worden tussen de *hub* en al de andere knopen van een netwerk. Op figuur 26 is de situatie volgens het *hub-and-spoke* model voorgesteld. Zeven (i.p.v. 28) routes volstaan hier om al de knopen van het netwerk met elkaar te verbinden. (B. Derudder et al.; 2007)

VI.5.2 Bespreking binnen het kader van de klimaatproblematiek

Analyse van zo een model in het kader van de klimaatproblematiek leidt tot tegenstrijdige elementen. Enerzijds bieden de *hubs* en *spokes* een oplossing voor de congestie van het luchtruim: er moeten minder routes uitgestippeld worden en dus misschien ook minder vliegtuigen ingezet worden[47] om luchthavens met elkaar te verbinden (7 t.o.v. 28). Anderzijds moet, om volgens het model de (korte) afstand tussen B en C (figuur 26) te overbruggen, een dubbel zo lange afstand (B – H – C) afgelegd worden. In het kader van de klimaatseffecten t.g.v. vliegtuigemissies, scoort dit model in dit geval dus niet zo goed.

Voordelen zoals de mogelijkheid tot hogere vliegfrequenties en grotere vliegtuigen werden door de auteurs aangehaald. Het inzetten van grotere vliegtuigen werd reeds vermeld als een mogelijke oplossing in de strijd tegen de globale opwarming van de Aarde (zie punt VI.1). Hogere vliegfrequenties staan daarentegen in contrast met de reductie van emissies. Het gaat dus om een voordeel voor de passagiers, maar de milieukwestie werd hierbij niet in beschouwing genomen.

Een ander voordeel dat verbonden is aan het *hubs-and-spokes*-model is het feit dat de kans dat de vluchten, vertrekkende uit de *hub*, zullen volgeladen zijn, groter is dan bij een vluchten vertrekkende vanuit een knoop. Ook dit is een reeds aangehaalde maatregel die vruchten kan afwerpen in de strijd tegen *global warming* (zie punt 6.2).

[46] met N gelijk aan het aantal knopen
[47] Als de frequentie laag gehouden wordt en de vliegtuigen optimaal gevuld zijn.

De optimale organisatie van een *hubs-and-spokes*-model (in het kader van de milieuproblematiek) zou zijn dat de vliegtuigen vertrekkende vanuit de knooppunten, met als eindbestemming een *hub*, klein zijn en deze die vertrekken vanuit de *hub* en landen op een eindbestemming, van een groter kaliber. De reden hiervoor is dat er per knooppunt weinig passagiers opstappen. In de *hubs* echter komen de passagiers, afkomstig van verschillende knooppunten en met eenzelfde eindbestemming, samen.

VI.5.3 Conclusie

Er kan besloten worden dat het *hubs-and-spokes*-model mooie kansen biedt wat betreft de organisatie van het vliegverkeer. Ook vanuit milieustandpunt gezien zijn er voordelen aan verbonden. Er zijn echter ook potentiële nadelen, waardoor verdere optimalisatie nodig is.
Hoewel er dus zeker nog een afweging moet gemaakt worden tussen de pro's en de contra's van dit model, biedt het zeker mooie kansen om het luchtruim op een efficiënte manier te organiseren met de milieukwestie in het achterhoofd.

VII. POLITIEKE MAATREGELEN

VII.1 Inleiding

Uit punt VI is gebleken dat de niet-politieke maatregelen potentieel bezitten om de negatieve effecten van de vliegtuig-emissies te voorkomen en/of te beperken. Daarnaast is ook duidelijk geworden dat veel van die maatregelen op korte termijn niet haalbaar zijn en dat de totale bijdrage zou beperkt blijven tot enkele percentages, wat niet volstaat. Deze niet-politieke opties moeten dus aangevuld worden met andere (politieke) maatregelen.

Hoewel de emissies t.g.v. de internationale luchtvaart een groot effect hebben op het klimaat, werden deze niet opgenomen in het verdrag van Kyoto (zie punt V.3). Eén van de redenen hiervoor is dat het erg moeilijk is te achterhalen wie verantwoordelijk kan gesteld worden voor deze emissies. (M.G.J. den Elzen et al., 2007). Talrijke vragen rijzen op: welk land moet instaan voor de emissies van een vliegtuig? Het land van aankomst? Het land van vertrek? De landen die zich onder de vliegroute bevinden? (Europese Commissie; 2006).

Hieronder worden enkele politieke maatregelen besproken die een effect kunnen hebben op de impact van de internationale luchtvaart op het klimaat. In punt VII.2 wordt besproken hoe en aan wie de emissies t.g.v. de internationale luchtvaart kunnen toegewezen worden. In punten VII.3 en VII.4 wordt dieper ingegaan op emissiehandelsystemen en in punt VII.5 tenslotte, worden enkele taksen besproken.

VII.2 Allocatiemethodes

In 1996 heeft het *SBSTA* [48] acht manieren waarop de verantwoordelijkheden voor de internationale emissies kunnen worden toegekend aan de landen, uitgewerkt (D.S. Lee, B. Owen; 2005):

- Optie 1: Geen allocatie aan landen

[48] *Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice:* deze organisatie is een onderdeel van het UNFCCC en geeft de Raad advies i.v.m. het klimaat, het milieu, technologieën en methodologieën. (http://unfccc.int/, 2007)

- Optie 2: Allocatie van globale bunkeraankopen en de bijhorende emissies aan de Bijlage I-Partijen, evenredig met hun nationale emissies
- Optie 3: Allocatie volgens het land waar de bunkerbrandstof is verkocht
- Optie 4: Allocatie volgens de nationaliteit van de transportmaatschappijen, of aan het land waar een vliegtuig (of boot) is geregistreerd.
- Optie 5: Allocatie volgens het land van vertrek of aankomst van een vliegtuig.
- Optie 6: Allocatie volgens het land van vertrek of aankomst van de passagiers of de lading.
- Optie 7: Allocatie volgens het land van oorsprong van de passagiers of van de eigenaar of van de lading.
- Optie 8: Al de emissies die binnen het nationale luchtruim van een bepaald land vrijkomen, toewijzen aan dit land.

In een studie in opdracht van het *Dutch Civil Aviation Authority* (CAA-NL) (A. van Velzen, R.C.N. Wit; 2000) of Nederlandse Luchtvaart Autoriteit[49] (http://www.nieuwsbank.be, 2007) is men nagegaan hoe deze acht opties kunnen vertaald worden in kwantitatieve waarden. (A. van Velzen, R.C.N. Wit; 2000)

Volgens het SBSTA is het de bedoeling de acht opties te baseren op emissies t.g.v. de verbranding van bunkerbrandstof. Deze gegevensset is echter onvolledig en onbetrouwbaar: elk land gebruikt een andere methode om haar bunkeremissies te berekenen. Bovendien is het niet eenvoudig een onderscheid tussen brandstofverbruik voor binnenlandse vluchten en dit voor buitenlandse vluchten. Dit onderscheid is echter nodig om de allocatie op een correcte wijze te organiseren: emissies t.g.v. binnenlandse vluchten, worden bij de nationale emissies gerekend (zie ook punt IV.2.1). (A. van Velzen, R.C.N. Wit; 2000). Daarom heeft het IPCC in haar '*Good practice Guidance*', methodes en adviezen gegeven over hoe de emissies t.g.v. de binnenlandse en deze t.g.v. de internationale vluchten afzonderlijk kunnen berekend worden. Ondanks deze richtlijnen, blijven er moeilijkheden bestaan: om de IPCC-richtlijnen te kunnen volgen, moet er bepaalde informatie beschikbaar zijn (vb. gegevens van het aantal passagiers of de lading die geladen of gelost worden). Sommige landen hebben deze gegevens niet ter beschikking, waardoor het moeilijk is om de nationale broeikasgasstatistieken op te stellen.

[49] Een onderdeel van de vroegere Rijksluchvaartdienst (RLD) dat verantwoordelijk is voor de uitvoering van het beleid (vergunningverlening en uitvoeringsregelgeving). (Nieuwsbank, 2007)

Ook *tankering* (punt VII.4.2.2.c.3) kan voor moeilijkheden zorgen bij het schatten van de verbruikte brandstof. (UNFCCC, 2004).

VII.2.1 Bespreking verschillende opties

VII.2.1.1 Optie 1

Bij deze optie worden de emissies ten gevolge van de internationale luchtvaart niet aan de verschillende landen toegekend. De achterliggende gedachte hierbij is dat deze emissies kunnen gereduceerd worden op internationaal niveau, bijvoorbeeld via het ICAO. De emissies worden dan niet toegekend aan individuele landen. (A. van Velzen, R.C.N. Wit; 2000). Zo een internationale organisatie moet dan een systeem ontwikkelen om de emissies te beheren. De emissies kunnen dan bijvoorbeeld toegekend worden aan de luchtvaartmaatschappijen. (D. Dimitriu et al.; 2005). Binnen het EU-ETS worden de emissies volgens deze optie verdeeld (punt VII.4.2.2.c).

VII.2.1.2 Optie 2

Optie 2 bestaat erin de globale emissies ten gevolge van het internationale luchtvaartverkeer, toe te wijzen aan de verschillende landen, op basis van hun aandeel in de globale uitstoot van CO_2. (A. van Velzen, R.C.N. Wit; 2000). De emissies kunnen geschat worden op basis van de verkoopcijfers van bunkerbrandstof in de verschillende landen. Hier is toch enige voorzichtigheid aangewezen: enkel de brandstof bedoeld voor internationale vluchten mag in aanmerking komen.

Deze optie kan nog verder ingedeeld worden in een deel 2a en een deel 2b. Bij optie 2a baseert men zich bij de allocatie van CO_2-emissies uit de (internationale) luchtvaart op de totale nationale CO_2-emissies, terwijl bij optie 2b gestreefd wordt naar evenredigheid met de nationale CO_2-equivalenten[50]. Hierbij moet opgemerkt worden dat ook hier de gegevens niet altijd correct of volledig zijn. (D.S. Lee, B. Owen; 2005).

[50] CO_2-equivalent betekent dat al de uitgestoten broeikasgassen met een bepaalde sleutel, die overeenkomt met de klimaatimpact van de betrokken broeikasgassen, zijn omgerekend naar deze van CO_2. (http://energie-klimaat.blogspot.com, 2007). Het CO_2-equivalent van CH_4 is gelijk aan de massa van CH_4, vermenigvuldigd met

Optie 2 kan een vertekend beeld geven: het kan gebeuren dat er voor bepaalde landen een link gevonden wordt tussen nationale CO_2-emissies en emissies ten gevolge van de internationale luchtvaart, terwijl deze regel niet opgaat voor andere landen. Een voorbeeld ter verduidelijking: Polen kent binnen haar grenzen een hoge uitstoot van CO_2, terwijl haar aandeel in de internationale luchtvaartactiviteiten relatief laag ligt. (D. Dimitriu et al.; 2005). Op basis van optie 2 wordt dan een te groot aandeel aangerekend aan dit land.

VII.2.1.3 Optie 3

Bij deze optie moet, net als bij optie 2, een onderscheid gemaakt worden tussen brandstof voor binnenlandse en internationale vluchten[51].

Optie 3 kan onderverdeeld worden in twee delen (3a en 3b). Bij optie 3a baseert men zich op de hoeveelheid brandstof die verbruikt wordt voor internationale vluchten[52]. Bij optie 3b schat men de emissies op basis van de verkochte hoeveelheden brandstof. Deze gegevens worden geleverd door het UNFCCC. (D.S. Lee, B. Owen; 2005).

Enkel de vluchten tussen twee steden van verschillende landen komen in aanmerking. De emissies van een gegeven vlucht worden dan toegewezen aan het land waar het vliegtuig vertrokken is. (A. van Velzen, R.C.N. Wit; 2000). Deze optie leunt dus sterk aan bij optie 5.

VII.2.1.4 Optie 4

Volgens deze optie worden de emissies toegewezen aan het land (D. Dimitriu et al.; 2005):

---

23. Dit van N_2O komt overeen met de massa van N_2O maal 296. (B. Owen, D.S. Lee, 2005). (Zie ook punt III.3.2.1, tabel 1).

[51] Een bijkomende moeilijkheid bij deze optie is dit van *tankering*. Dit betekent dat er meer brandstof wordt opgenomen dan nodig is voor de vlucht. (D.S. Lee, B. Owen; 2005). Door deze strategie toe te passen, kunnen de totale brandstofkosten gereduceerd worden en kunnen significante besparingen gerealiseerd worden. Men zal slechts *tankeren* als de situatie daarom vraagt : als er een groot prijsverschil is tussen twee luchthavens als het vliegtuig korte afstanden overbrugt. (http://tankering.com, 2007). *Tankering* wordt vaak niet in rekening gebracht wegens te complex: deze praktijk verschilt naargelang de luchtvaartmaatschappij en hangt af van de geldende economische omstandigheden en van de heersende brandstofprijzen. (D.S. Lee, B. Owen; 2005).

[52] Men gaat uit van ideale omstandigheden (geen wind, geen wachttijden,...) en enkel van vluchten die in de dienstregeling zijn opgenomen (D.S. Lee, B. Owen; 2005).

- van origine van de luchtvaartmaatschappij (de 'nationaliteit' van de luchtvaartmaatschappij).
- waarin het vliegtuig is geregistreerd.
- waar de zetel van de luchtvaartmaatschappij zich bevindt.

Door een gebrek aan betrouwbare gegevens over het brandstofverbruik werd geopteerd de emissies toe te wijzen op basis van het totale jaarlijkse RTK of *Revenue Tonne Kilometres*[53] van de luchtvaartmaatschappijen van het betrokken land. (A. van Velzen, R.C.N. Wit; 2000)

VII.2.1.5 Optie 5

De vijfde optie is gebaseerd op de idee om de emissies toe te wijzen op basis van het land waar het vliegtuig vertrekt, of waar het aankomt (A. van Velzen, R.C.N. Wit; 2000): de emissies t.g.v. internationale vluchten worden toegekend aan het land waar het vliegtuig 'oorspronkelijk' vertrokken is. Dat wil zeggen dat de emissies van uitgaande vliegtuigen worden toegewezen aan het land van vertrek en de emissies van de terugvluchten aan het land waar het vliegtuig toekomt. (M.G.J. den Elzen et al.; 2007). Het SBSTA heeft voorgesteld om eventueel de emissies te delen tussen het vertrek- en het aankomstland. Hierbij zou elk land 50% van de emissies voor zijn rekening nemen. (A. van Velzen, R.C.N. Wit; 2000).

De toekenning van de emissies volgens optie 5 hebben enkel betrekking op de Bijlage I-landen. Dit houdt in dat als een vlucht vertrekt in een Bijlage I-land en aankomt in een land dat niet tot die Bijlage behoort, de emissies van de heenvlucht worden toegewezen, terwijl de emissies van de terugvlucht niet in aanmerking komen[54]. (D. Dimitriu et al.; 2005).

VII.2.1.6 Optie 6

Bij deze optie worden de emissies toegewezen op basis van het land van vertrek of van aankomst van de passagiers of de lading. Deze vorm van allocatie is erg complex aangezien

[53] RTK is een maat voor de totale vliegactiviteit op basis van het aantal getransporteerde passagiers of goederen. Men gaat uit van een gemiddeld gewicht van 100 kg (bagage bijgerekend). (A. van Velzen, R.C.N. Wit; 2000).
[54] Mathematisch gezien is dit wel mogelijk, maar de landen die geen deel uitmaken van de Bijlage I??? van het Protocol van Kyoto, hebben geen verplichtingen. (D. Dimitriu et al.; 2005).

men de passagiers en de goederen van individuele vluchten moet bijhouden om tussenstops en transfers naar andere vluchten te omvatten[55]. Dit kan opgelost worden door niet de eindbestemming als gegeven te gebruiken, maar door het vertrek en de aankomst van elke individuele vlucht/passagier/lading te bekijken. Dan kunnen de gegevens over het brandstofverbruik gedurende zo een vlucht én de gegevens over het aantal passagiers (of de lading) gebruikt worden om de emissies toe te kennen[56].

Meestal wordt geopteerd voor deze laatste aanpak waarbij geen rekening wordt gehouden met tussenstops waarbij goederen en/of passagiers worden overgezet op andere vluchten op hun eindbestemming te bereiken. (D. Dimitriu et al.; 2005).

Ook hier heeft het SBSTA als alternatief gegeven om de emissies evenredig te verdelen tussen de landen van vertrek en van aankomst van de passagiers of van de lading. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de RTK: men berekent het gemiddelde van de globale CO_2-emissies per RTK voor de internationale luchtvaart, waarna men de nationale RTK's toekent aan de individuele vluchten: 50% aan het land van vertrek en de andere helft aan het land van bestemming. Op basis hiervan kunnen de nationaal toegewezen emissies berekend worden. (A. van Velzen, R.C.N. Wit; 2000).

VII.2.1.7 Optie 7

Voor deze optie zijn gegevens vereist over de nationaliteit van de passagiers en/of van de eigenaar van de lading, die gebruik maken van de internationale vluchten. Door een gebrek aan betrouwbare gegevens i.v.m. de domicilie van de klanten, wordt deze optie als weinig aantrekkelijk beschouwd. (D. Dimitriu et al.; 2005).

Als alternatief kunnen de emissies toegewezen worden aan een land, evenredig met hun relatieve aandeel in het globale Bruto Nationale Prodict (BNP). Hierbij wordt aangenomen dat het nationale BNP rechtstreeks evenredig is met het volume van luchtvaartactiviteiten, gegenereerd door de nationale bevolking. Een hoog BNP zou een grote bijdrage aan de internationale luchtvaart betekenen. (A. van Velzen, R.C.N. Wit; 2000). Er zijn echter te

[55] Sommige vliegtuigmaatschappijen delen passagiersruimte met een andere maatschappij. Dit is *interlining*. (D. Dimitriu et al.; 2005). Dit houdt dus een vermindering van het aantal KPI's in en dus ook van de toegewezen emissies.

[56] Bij deze vereenvoudiging wordt met *interlining* geen rekening gehouden wat in het nadeel van sommige Partijen speelt: de toegewezen emissiehoeveelheden zullen hoger zijn dan wanneer wel met *interlining* wordt rekening gehouden. (D. Dimitriu et al.; 2005).

weinig gegevens om een eenduidige relatie tussen het BNP en het aantal passagiers van internationale vluchten voor een bepaald land te ondersteunen. (D. Dimitriu et al.; 2005).

VII.2.1.8 Optie 8

Deze optie verschilt van de opties 2 t.e.m. 7 in die zin dat niet al de emissies t.g.v. de internationale luchtvaart worden verdeeld onder de landen: enkel de emissies die vrijkomen in het nationale luchtruim van een bepaald land worden dus toegekend. (A. van Velzen, R.C.N. Wit; 2000). Ook emissies boven zeeën die deel uitmaken van het rechtsgebied van een bepaald land, worden toegekend aan het betreffende land. Het gaat om territoriale wateren (12 mijlen zone), het continentaal plat en de exclusieve economische zone. (M.G.J. den Elzen et al.; 2007). Emissies die vrijkomen boven internationale zeeën en oceanen komen niet in aanmerking (A. van Velzen, R.C.N. Wit; 2000). Als de allocatie gebeurt volgens optie 8, zijn de echte vluchtgegevens nodig.

Het belangrijkste nadeel van deze manier van verdeling is dat het grootste deel van de emissies t.g.v. de internationale luchtvaart niet kan toegewezen worden omdat deze boven internationale wateren vrijkomen. (D. Dimitriu et al.; 2005).
Een ander nadeel is dat grote territoria, zoals Denemarken (waarbij ook Groenland kan gerekend worden), Polen en Frankrijk, worden benadeeld door deze allocatiemethode: aan kleinere territoria zoals het Verenigd Koninkrijk, Portugal en België zullen minder emissies worden toegekend, hoewel hun luchtvaartsector uitgebreid is. (D. Dimitriu et al.; 2005). Deze laatste stelling moet toch met enige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd: België is één van de drukst overvlogen regio's (http://www.kortenbergkiest.be, 2007), waardoor veel emissies aan dit kleine land zullen worden toegekend. Dus niet enkel de grootte van een land is van belang, maar ook de ligging ervan.

In bijlage 3 zijn een aantal tabellen terug te vinden met een overzicht van de resultaten van de verschillende allocatieopties, voor de jaren 2005, 2010, 2015, 2020, 2030, 2040 en 2050.

VII.2.2 Bevindingen

Om een conclusie te trekken i.v.m. de verschillende allocatieopties, wordt één tabel nader bekeken (tabel 6, zie ook bijlage 3): een overzicht van de verdeling van CO_2-emissies volgens de allocatiemethodes 3, 5, 6 en 8 voor het jaar 2005 (voor de EU25).

Tabel 6: Overzicht van de verdeling van CO_2-emissies volgens de allocatiemethodes 3, 5, 6 en 8 voor het jaar 2005 (bron: D.S. Lee, B. Owen; 2006).

	Binnelandse vluchten	3	5	6	8
Oostenrijk	92	1921	1920	1667	1502
België	0	2909	2857	2718	1394
Cyprus	4	361	363	391	51
Tsjechië	5	390	390	322	893
Denemarken	234	1525	1519	1801	1504
Estland	0	51	50	41	148
Finland	358	1365	1352	1375	324
Frankrijk	2796	11459	11397	10981	9482
Duitsland	1773	14624	14539	13822	7642
Griekenland	460	1565	1563	1505	653
Hongarije	0	460	460	377	778
Ierland	77	1056	1091	765	1005
Italië	2464	6278	6278	5702	2661
Letland	0	62	62	40	159
Lithouwen	5	65	66	48	155
Luxemburg	0	387	382	349	112
Malta	0	161	159	165	0
Nederland	30	6400	6389	6274	1146
Polen	65	445	445	362	1418
Portugal	246	1038	1049	999	407
Slowakije	6	29	29	22	357
Slovenië	0	65	64	42	208
Spanje	3141	5684	5698	5342	2814
Zweden	1084	1414	1389	1155	1390
Verenigd Koninkrijk	2479	22339	22429	21984	4517
Totaal EU 25	15322	82053	81940	78247	40719
Totaal Bijlage I	171220	165986	165553	164046	84487
Globale totaal (enkel internationale vluchten)		263648	263865	26448	142444

Uit de tabel is af te leiden dat de allocatie volgens optie 3 en 5 redelijk gelijk lopen. Toewijzing volgens optie 6 leidt vaak tot (kleine) onderschattingen. Allocatie volgens optie 8 wijkt het meest af. De emissiehoeveelheden worden bij deze laatste optie, afhankelijk van het

land, vaak erg over- of onderschat. Om dit nader toe te lichten, wordt wat dieper ingegaan op een aantal landen, waar de afwijking erg duidelijk is.

Zoals bij de bespreking van optie 8 reeds werd aangehaald, wordt aan de kleine landen een kleine emissiehoeveelheid toegekend, ondanks het feit dat deze toch een uitgebreide luchtvaartsector kennen. In tabel 6 is af te lezen dat dit het is geval voor België en Portugal, waar de toegekende emissies volgens optie 8 de helft zijn van de waarden volgens andere opties. In het Verenigd Koninkrijk gaat het zelfs om vier keer minder emissiehoeveelheden.
Daartegenover staat dat Polen volgens optie 8 ongeveer vier keer meer emissies toegewezen krijgt. Ook dit werd reeds besproken (punt VII.2.1.8).
Onder punt VII.2.1.8 werd beschreven dat grote landen door allocatie volgens optie 8 zouden benadeeld worden t.o.v. de kleinere (drukker bevlogen) gebieden. Hierbij werden als voorbeeld Frankrijk en Denemarken aangehaald. In de tabel zien we dat deze cijfers niet veel afwijken van de cijfers die berekend werden volgens de opties 3, 5 en 6. Dit kan betekenen dat de grootte van het luchtruim van deze landen in deze gevallen een goede indicatie is voor de luchtvaartemissies die vrijkomen boven deze landen (en kan het volume van het luchtruim evenredig geacht worden met de emissies door de internationale luchtvaart van dit land). Dit is echter niet het geval bij de kleine landen, waar de cijfers wel sterke afwijkingen vertonen (vb. België, Portugal). In deze gevallen gaat die evenredigheid niet op, waardoor de cijfers worden onderschat. Met in het achterhoofd dat België één van de drukst overvlogen regio's is, moet hierbij opgemerkt worden dat deze cijfers niet echt blijken te kloppen. Doordat er veel vluchten in het Belgische luchtruim plaatsvinden, zou het cijfer van de laatste kolom meer moeten overeenstemmen met de cijfers in de overige kolommen. Deze fout kan te wijten zijn aan een berekeningsfout of aan onbetrouwbare gegevens.

VII.2.3 Conclusies

Als de allocatie van emissies evenredig met de nationale CO_2-uitstoot gebeurt, kan dit leiden tot een onrechtvaardige verdeling van deze uitstoot. In punt VII.2.1.2 werd het voorbeeld gegeven van Polen dat een hoge nationale CO_2-uitstoot kent, maar waar de luchtvaartsector slechts een klein onderdeel uitmaakt van de emissies van het land. Daar komt nog bij dat de gegevens (over de CO_2-uitstoot van de betrokken landen) om de allocaties te berekenen juist en betrouwbaar moeten zijn, wat tot nog toe vaak niet het geval is.

Optie 3 lijkt sterk op optie 5, waarbij de emissies worden toegewezen aan het land van vertrek. De vereenvoudigde optie 6 (punt VII.2.1.6) is ook sterk te vergelijken met optie 5.

Het alternatief van optie 5 (punt VII.2.1.5) verdient de voorkeur boven het oorspronkelijke idee erachter: het is eerlijker[57] als de emissies gelijk verdeeld worden tussen de landen waartussen een vlucht plaatsvindt. Is dit niet het geval dan neemt het vertrekland van een retourvlucht al de kosten op zich , zowel van de heen- als van de terugvlucht. Ook het feit dat de niet-Bijlage I-landen geen emissies toegewezen krijgen, is een groot nadeel aan optie 5. Het alternatief van de vijfde optie, verzacht deze nadelen door de Bijlage I-landen slechts van de helft van de emissies te voorzien, maar desondanks blijft het oneerlijk.

Optie 7 is erg complex en het zal veel tijd en moeite vragen om de nationaliteit van al de reizigers te achterhalen en te betrekken bij de berekeningen. Het alternatief waarbij wordt aangenomen dat het nationalte BNP rechtstreeks evenredig is met het volume van luchtvaartactiviteiten, gegenereerd door de nationale bevolking, is een ruwe benadering waarbij de resultaten niet betrouwbaar, noch nauwkeurig zullen zijn.
Om dit na te gaan werd door middel van een steekproef het BNP van enkele landen vergeleken met de resultaten volgens de optie 3[58] (tabel 6). De resultaten worden voorgesteld in tabel 7.

Tabel 7: Trend volgens optie 3 versus trend BNP (V. Geranios; 2007)

Land	Optie 3	BNP
Duitsland	14.624	2.906.658
Verenigd Koninkrijk	22.339	2.295.039
Frankrijk	11.459	2.216.273
Italië	6.278	1.836.407
Spanje	5.684	1.120.312
Nederland	6.400	629.391
België	2.909	387.840
Zweden	1.414	358.810
Oostenrijk	1.921	318.242
Polen	445	312.257

[57] De vluchten vinden plaats tussen twee landen. Beide landen 'leveren' passagiers of goederen, daarom moeten de twee landen verantwoordelijk worden gesteld voor de emissies.
[58] De trend van de cijfers bij optie 3 is dezelfde als bij de opties 5 en 6.

Uit de tabel is af te leiden dat de verdeling van de CO_2-emissies volgens optie 3 niet dezelfde trend vertoont als het BNP. Een voorbeeld ter illustratie: het BNP van Duitsland is hoger dan dit van het Verenigd Koninkrijk, terwijl het aantal toegewezen emissies[59] aan het Verenigd Koninkrijk hoger is dan aan Duitsland. Hetzelfde geldt voor Spanje en Noorwegen enerzijds en Zweden en Oostenrijk anderzijds.

Optie 8 is de optie die het minst in aanmerking komt aangezien deze een aanzienlijk deel van de CO_2-emissies buiten beschouwing laat, nl. deze die boven internationale wateren vrijkomen. Ook het feit dat sommige (grote) landen door deze optie benadeeld worden in het voordeel van andere (kleine) landen, maken deze optie onbetrouwbaar.

Als de allocatie volgens optie 4 gebeurt, zullen de emissies, uitgestoten door bepaalde luchtvaartmaatschappijen, toegewezen worden aan ofwel het land waar de zetel van de maatschappij is gevestigd, ofwel het land van origine van de maatschappij (de nationaliteit) ofwel het land waar het vliegtuig is geregistreerd.
Omdat in principe niet de landen zelf, maar de vliegtuigen en dus de luchtvaartmaatschappijen verantwoordelijk zijn voor de CO_2-emissies, lijkt het het meest aangewezen om te kiezen voor optie 1. Daar worden de emissies niet toegekend aan individuele landen, maar bijvoorbeeld aan de luchtvaartmaatschappijen zelf. Deze bepalen namelijk de ticketprijzen waarmee ze mensen verleiden tot een vliegreis. Landen zijn weliswaar vaak (hoofd)aandeelhouders van de luchtvaartmaatschappijen en de passagiers zijn afkomstig van de landen, maar de uiteindelijke beslissing om initiatieven te nemen ter reductie van de emissies ligt bij de luchtvaartmaatschappijen. Daar komt nog eens bij dat zij het gemakkelijkst toegang hebben tot gedetailleerde gegevens. (R. Wit et al.; 2005) (zie ook punt VII.4.2.2.c.1). In plaats van de luchtvaartmaatschappijen zouden ook de brandstofleveranciers of andere actoren binnen de luchtvaartsector verantwoordelijk kunnen worden gesteld voor de emissies. Dit wordt uitgebreider besproken in punt VII.4.2.2.c.

VII.2.4 Opmerking

Bij bovenstaande opties werd enkel rekening gehouden met het broeikasgas CO_2. Vliegtuigen stoten echter ook nog roetdeeltjes en andere broeikasgassen uit. Deze extra elementen

[59] Volgens optie 3 en dus ook volgens de opties 5 en 6.

veroorzaken een broeikaseffect dat 2,6 keer hoger ligt dan het effect van enkel CO_2. **(**M.G.J. den Elzen et al.; 2007).
Door deze elementen buiten beschouwing te laten, wordt er geen efficiënte oplossing geboden voor de klimaatsproblematiek. Om de globale opwarming aan te pakken is het noodzakelijk de oorzaken als een geheel aan te pakken. Door slechts fracties van de oorzaken te onderwerpen aan regels, is het onmogelijk het probleem op een effectieve manier aan te pakken. Dit wil niet zeggen dat bovenstaande allocatiemethodes moeten verworpen worden. Integendeel, er zou verder moeten onderzocht worden hoe de andere luchtvaartemissies bij bovenstaande opties kunnen betrokken worden. In theorie is dit mogelijk, maar in de praktijk is dit moeilijker omdat daarover tot op heden geen betrouwbare en volledige informatie beschikbaar is.

VII.3 Emissierechten en handel van emissierechten

VII.3.1 Inleiding

Zoals in punt VI werd besproken kunnen operationele, technologische en management-maatregelen wel tot goede resultaten leiden, zij het op middellange tot lange termijn.
De klimaatsoverandering is echter een dringend probleem dat zo snel mogelijk moet aangepakt worden als men niet wil dat de gevolgen onomkeerbaar worden. Er moet er een oplossing komen die op korte termijn reeds haar vruchten afwerpt.
In dit kader heeft de Europese Commissie besloten dat een (nieuw) marktgebaseerd instrument de voorkeur verdient boven andere financiële maatregelen: '*... the best way forward from an economic and environmental point of view, lies in including the climate impact of the aviation sector in the (Community) scheme*'. Op 4 juli 2006 heeft het Europese Parlement een Resolutie goedgekeurd waarin erkend wordt dat de emissiehandel een belangrijke rol kan spelen in de strijd tegen de klimaatsproblematiek t.g.v. de internationale luchtvaart. (Europese Commissie; 2006).

Er bestaat reeds een emissiehandelsysteem op Europees niveau voor de andere sectoren, waardoor de drempel om dit systeem ook toe te passen op de luchtvaartsector kleiner is.

VII.3.2 Oorsprong emissiehandel

De oorsprong van het concept emissiehandel ligt in Noord-Amerika. De idee om vervuiling te beperken door emissieplafonds vast te stellen en de emissierechten te verhandelen werd in 1980 door Amerikaanse economen bedacht. Dit concept kwam er als reactie op de bezorgdheid over energiecentrales die zwavel- en stikstofoxiden uitstootten en zo zure regen veroorzaakten.
Met het plan werden grote successen geboekt: emissies van zwaveloxiden door bedrijven die gedekt werden door het VS-systeem, zijn afgenomen van 16 miljoen ton in 1980 tot ongeveer 9 miljoen ton in 2005. (E. Marris; 2007).

VII.3.3 Concept

Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen handel met absolute of met relatieve emissieplafonds.

VII.3.3.1 Handel met absolute emissieplafonds

Een 'emissieplafond' is het niveau van milieukwaliteit. Het is de maximaal aanvaardbare vervuiling[60]. Eens het emissieplafond, ook wel *cap*, voor een bepaald gebied en voor een bepaalde periode is vastgesteld door de overheid, mag de gezamelijke uitstoot van de vervuilers die aan het systeem deelnemen dit plafond niet overschrijden. De *caps* kunnen, als de periode is afgelopen, worden verstrengd.
In theorie wordt door deze benadering de zekerheid geboden dat de beoogde milieudoelstelling wordt gehaald. (J. De Mulder, F. Maes; 2007).
Een variante van de absolute emissieplafonds is de *absolute emission ceiling with a price cap*: als de kosten van de emissiereductie een bepaald bedrag overschrijden, kunnen de emissierechten aan dit bedrag verkocht worden op de markt. Hier wordt een afweging

[60] De maximaal toegelaten vervuiling kan bijvoorbeeld uitgedrukt worden in x ton uitstoot van een bepaalde stof per jaar in de lucht of in het water. (J. De Mulder, F. Maes; 2007).

gemaakt tussen de resultaten van de milieudoelstellingen en de kosten. Op die manier zullen ambitieuze milieudoelstellingen gemakkelijker worden aanvaard en zullen landen zich niet snel terugtrekken uit het klimaatregime. (O. Deuber, J. Graichen; 2007).

Er is echter één nadeel verbonden aan de *price cap*: als de kosten van technologische maatregelen dit prijsplafond overschrijden, zullen deze maatregelen niet worden getroffen en zullen in de plaats daarvan emissierechten gekocht worden. (O. Deuber, J. Graichen; 2007).

VII.3.3.2 *Handel met relatieve emissieplafonds*

Absolute doelstellingen stuiten op veel weerstand bij snelgroeiende sectoren (zoals de luchtvaartsector), omdat gevreesd wordt dat deze de groei zullen belemmeren.
Een alternatief voor absolute emissieplafonds zijn de relatieve emissieplafonds. Deze zijn afhankelijk van de veranderingen van een gekozen referentieparameter (bv. BNP, bevolking, energieproductie). (O. Deuber, J. Graichen; 2007).
Als de overheid een relatieve emissiedoelstelling bepaalt, spreekt men van een 'prestatienorm'. Hierbij wordt de maximaal aanvaardbare vervuiling per eenheid product vastgelegd: de *performance standard*[61]. In plaats van met *caps*, wordt er met *baselines* gewerkt. Een *baseline* is de emissieruimte van een vervuiler die aan het systeem deelneemt. Deze ruimte wordt bepaald door het productievolume van de vervuiler te vermenigvuldigen met de prestatienorm.
De prestatienorm kan worden verstrengd (dynamisch) of ongewijzigd blijven (statisch). (J. De Mulder, F. Maes; 2007).

VII.3.3.3 *Emissierechten*

Nadat de prestatienorm of het emissieplafond werd vastgesteld, wordt de totale vervuilingshoeveelheid verdeeld in vervuilingseenheden. Deze worden dan gekoppeld aan een 'recht' of vergunning (allowance, permit, quotum). Een voorbeeld: stel dat er in totaal 100 vervuilingseenheden worden toegelaten, dan kunnen 100 vergunningen die elk één

[61] Bijvoorbeeld x ton uitgestoot van een bepaalde stof.

vervuilingsrecht inhouden, toegewezen worden aan de vervuilers. (J. De Mulder, F. Maes; 2007).

Deze primaire verdeling of initiële allocatie vormt het startpunt van de verhandeling van de vervuilingsrechten.
In het geval van absolute emissieplafonds, spreekt men van *permit*-handel. Hierbij worden de emissierechten op voorhand verleend, zonder dat men weet tot welke resultaten de handel zal leiden. Pas op het einde van de periode wordt duidelijk of er overeenstemming is tussen de verkochte rechten en de gerealiseerde emissiereducties. De handel van de emissierechten gebeurt op de secundaire (financiële) markt. (J. De Mulder, F. Maes; 2007).
Men spreekt van *credit*-handel in het geval van prestatienormen (relatieve emissieplafonds). De emissierechten worden gratis verleend, op voorwaarde dat de emissiereductie is bewezen. De hoeveelheid verhandelbare emissierechten [62] is gebaseerd op de gerealiseerde emissiereductie. Om deze reductie vast te stellen, baseert men zich op een basisscenario. De gerealiseerde emissiereducties worden vergeleken met de *baseline*-reductie volgens het basisscenario. Het aantal emissiekredieten dat men kan verkopen is gelijk aan het verschil tussen de werkelijke en de *baseline*-emissies. (J. De Mulder, F. Maes; 2007).

De handel van emissierechten zal meestal als volgt verlopen: een bedrijf dat geconfronteerd wordt met dure investeringen in milieutechnologie, om aan de emissienormen te voldoen, zal vervuilingsrechten overkopen van 'schone' producenten die een overschot hebben aan deze rechten. (J. De Mulder, F. Maes; 2007).
De vraag wordt bepaald door de verplichtingen die de landen werden opgelegd om hun emissies te beperken en de hoeveelheid rechten die deze landen toegewezen kregen. Het verschil tussen de toegewezen emissierechten en de eigenlijke emissies beïnvloeden de vraag. Het aanbod wordt bepaald door de emissiereductiemogelijkheden van de betrokken industrieën en de daarmee gepaard gaande kosten, de beschikbare CER's en de ERU's. (ICF Consulting, 2006).

Als men wil dat zo een handelsysteem goed werkt, moet men erop toezien dat alles verloopt zoals het hoort: enkel zij die in het bezit zijn van vervuilingsrechten mogen emitteren en dit

[62] Bij de *baseline & credit*-variant spreekt men vaak van emissiekredieten in plaats van emissierechten. (J. De Mulder, F. Maes; 2007).

tot op het toegestane niveau. Degelijk georganiseerd toezicht is dus onmisbaar. (J. De Mulder, F. Maes; 2007).

VII.3.3.4 Allocatie

De verdeling van de emissierechten kan op verschillende manieren gebeuren: op basis van de route, sectoraal of regionaal. (O. Deuber, J. Graichen; 2007).

a. Nationaal

Bij de nationale benadering[63] worden de emissies aan het land van vertrek of aankomst toegewezen. Deze emissies worden dan bij de nationale emissie-totalen gerekend (VII.2.1.2 t.e.m. VII.2.1.8). (O. Deuber, J. Graichen; 2007). De toedeling kan in dit geval gebeuren op basis van de routes van de vliegtuigen of van de routes van de lading en de passagiers. (J. Faber et al.; 2007).

b. Sectoraal

Bij de sectorale benadering wordt een emissiehandelsysteem voor de luchtvaartsector opgezet door het ICAO. Deze schema's zouden een route-gebaseerde differentiatie moeten mogelijk maken, en kunnen gelinkt worden aan andere emissieschema's. Bij deze benadering moeten de staten erop toezien dat de luchtvaartmaatschappijen de regels naleven.
Een voordeel van sectorale doelstellingen is dat deze op internationale schaal op een geharmoniseerde manier kunnen geïmplementeerd worden. Een ander voordeel is dat de (geavanceerde) ontwikkelingslanden vlugger kunnen geïntegreerd worden in een globaal emissiehandelsysteem omdat de sectorspecifieke drempels in het kader van een *multi-stage approach* kunnen worden opgesteld. Zo wordt een oplossing geboden voor de verschillende ontwikkelingsgraden van de ontwikkelingslanden. (O. Deuber, J. Graichen; 2007).

[63] Of route-benadering

Om de strenge emissiereductiedoelstellingen van 450 ppm [64] te realiseren lijkt een emissiereductiebeleid op sectoraal niveau volgens M.G.J. den Elzen et al. (2007) weinig interessant: de bunkeremissies zorgen slechts voor een klein aandeel in de totale emissieconcentraties: ongeveer 2,5 %[65] van de totale CO_2-uitstoot en het is moeilijk om op korte termijn door technologische vernieuwingen grote reducties te realiseren. Toch is het belangrijk ook de luchtvaartsector te betrekken bij de klimaatpolitiek, want de beste manier om de drempel van 450 ppm te realiseren is door er zo veel mogelijk sectoren bij te betrekken. **(**M.G.J. den Elzen et al.; 2007).

c. Regionaal

Om de beste resultaten te bekomen, zou het klimaatbeleid van de luchtvaartsector op globaal niveau moeten georganiseerd worden. Dit is echter erg moeilijk en zal veel tijd in beslag nemen. Ook de gedifferentieerde verantwoordelijkheid van de verschillende landen zou kunnen leiden tot onenigheden. Volgens R. Wit et al. moet daarom geopteerd voor een regionaal inititief. (R. Wit et al.; 2004).

Bij de regionale benadering worden de emissies van het internationale luchtvaartverkeer niet omkaderd door een globaal klimaatregime. De politieke maatregelen om de klimaatimpact van internationaal transport te beperken, worden door een groep van landen (bv. de EU) voorgesteld. Het Europese emissiehandelsysteem is gebaseerd op de regionale benadering. Als het systeem wordt uitgebreid tot buiten de Europese grenzen, wordt een gedifferentieerde last van verschillende routes denkbaar. (O. Deuber, J. Graichen; 2007).
Om een goed regionaal systeem uit te werken is het belangrijk een evenwicht te vinden tussen doeltreffendheid op vlak van milieu en economisch en politieke haalbaarheid. (R. Wit et al.; 2004).

[64] Om de temperatuurstijging te beperken tot 2°C, heeft het IPCC de grenswaarde voor het CO2-equivalent bij 450 ppm gelegd (tegen 2025 t.o.v. ongeveer 430 ppm nu). (http://www.ipcc.ch; 2007).
[65] J. Graichen, B. Gugele; 2006

VII.3.4 Pro's en contra's

Om de emissiehandel uitvoerbaar te maken, is er nood aan duidelijke en accurate informatie bij de initiële verdeling van de rechten en bij de uitwerking, toepassing en bijsturing van het systeem. Er moeten constant accurate schattingen van de emissies worden gemaakt en dit kan problemen opleveren. Er is niet geweten welke graad van accuraatheid nodig is om het systeem feilloos te laten werken. (J. De Mulder, F. Maes; 2007).

Bij het concept van emissiehandel rijzen ook nog twee fundamentele (ethische) vragen:

- Boet men niet in aan milieukwaliteit bij het gebruik van verhandelbare emissierechten?
- Kan het wel dat vervuiling wordt toegestaan mits betaling van de juiste prijs?

Deze bezwaren kunnen worden aangevochten door te stellen dat de klassieke regelgeving (zoals milieuvergunningen) ook een vorm van vervuiling toestaat. (J. De Mulder, F. Maes; 2007).

Een bijkomend bezwaar tegen het concept is dat het de kloof tussen arm en rijk in de hand werkt: '*(...) Especially when applied on a global scale, emissions trading could allow the rich to buy their way out of their obligations and continue their wasteful lifestiles, while the poor, in need of money for their development, are forced to sell their emission rights. Emissions trading would thus consolidate the economic power of the rich, by allowing them to buy emission rights from the poor, without which their development will be even more difficult. (…)*'. (J. De Mulder, F. Maes; 2007). Doordat de rijke landen geld genoeg hebben om emissierechten te kopen, kunnen ze ontsnappen aan de vaak dure investeringen die vereist zijn om de emissies aan te pakken. Arme landen hebben geld nodig om hun economisch ontwikkelingspeil te verhogen, waardoor deze genoodzaakt worden hun emissierechten te verkopen, zodat de kansen om zich verder te ontwikkelen hen ontnomen worden. Een andere bron (http://www.milieudefensie.nl, 2007) bekijkt de situatie anders en ziet de emissiehandel als een voordeel voor de ontwikkelingslanden: veel van deze landen stoten weinig broeikasgassen uit, zodat ze hun emissierechten kunnen verkopen en het geld gebruiken voor hun economische ontwikkeling.

De initiële allocatie (punt VII.4.2.2.b) van de emissierechten roept eveneens vragen op: het gratis toewijzen van emissierechten aan vervuilers op basis van hun uitstoot in het verleden is

als het ware een beloning voor deze actoren. Het systeem is een kosteneffectief instrument, maar met een morele prijs. (J. De Mulder, F. Maes; 2007).

VII.3.5 Voorbeelden van emissiehandelsystemen

Zowel het systeem van internationale emissiehandel onder het Verdrag van Kyoto als het goedgekeurde EU-systeem (EU-ETS) vallen onder de noemer *permit*-handel en zijn dus van het *cap-& trade*-type. (J. De Mulder, F. Maes; 2007).

VII.3.5.1 Kyoto

Het initiatief om emissiehandel op te nemen in het Verdrag van Kyoto kwam van een delegatie van de Verenigde Staten. De EU was aanvankelijk geen voorstander om de emissiehandel in te voeren in het Verdrag, waardoor de onderhandelingen erg moeizaam verliepen.
Artikel 17 van het Protocol van Kyoto luidt als volgt: "De Conferentie van de Partijen legt de relevante beginselen, modaliteiten, regels en richtlijnen vast, in het bijzonder voor de verificatie en de rapportage van en het afleggen van de verantwoording over emissiehandel. De in Bijlage I opgenomen Partijen kunnen deelnemen aan emissiehandel teneinde aan hun verplichtingen ingevolge artikel 3[66] te voldoen. Deze handel vormt een aanvulling op de nationale maatregelen om de gekwantificeerde verplichtingen inzake emissiebeperking en –reductie uit hoofde van dat artikel na te komen." (https://portal.health.fgov.be, 2007).

Het te verhandelen emissierecht wordt een *Assigned amuont unit* (AAU) genoemd en is een deel van de totale hoeveelheid verdeelde emissierechten.
De *Commitment period* of verplichtingenperiode van Kyoto loopt van 2008 t.e.m. 2012. Na het einde van deze eerste periode, krijgt een Partij nog 100 dagen de tijd om rechten bij te

[66] *Gekwantificeerde verplichtingen tot emissiebeperking en –reductie* (https://portal.health.fgov.be; 2007).
Artikel 3, paragraaf 10: "Emissieverminderende eenheden of delen van een toegewezen hoeveelheid die een Partij overeenkomstig het bepaalde in artikel 6 of artikel 17 van een andere Partij overneemt, worden opgeteld bij de aan de overnemende Partij toegewezen hoeveelheid." (https://portal.health.fgov.be; 2007).
Artikel 3, paragraaf 11: "Emissieverminderende eenheden of delen van een toegewezen hoeveelheid die een Partij overeenkomstig het bepaalde in artikel 6 of artikel 17 aan een andere partij overdraagt, worden afgetrokken van de aan de overnemende Partij toegewezen hoeveelheid." (https://portal.health.fgov.be; 2007).

kopen om aan zijn verplichtingen te voldoen. Gebeurt dit niet tijdig, dan kunnen er sancties genomen worden. Zo kan men deze Partij verplichten om in de tweede periode 33% reductie bovenop de ontbrekende reducties te realiseren. Als een Partij rechten over heeft na het aflopen van de eerste periode, kunnen deze overgezet worden op de tweede periode. (J. De Mulder, F. Maes; 2007).

VII.3.5.2 Regionaal emissiehandelsysteem

Het Europese emissiehandelsysteem is een voorbeeld van een regionaal emissiehandel systeem. Er wordt voor geopteerd om in het kader van de post-2012 politiek de luchtvaartsector in dit systeem te betrekken.
De werking en de organisatie van het EU-ETS worden uitgebreid besproken in punt VII.4.

VII.4 EU-ETS

VII.4.1 Werking

Het EU-ETS (of VER-systeem[67]) ging van kracht in januari 2005. Dit emissiehandelsysteem op Europees niveau omvat ongeveer 11.500 energieproducerende en energie-intensieve installaties. Elke lidstaat krijgt een aantal emissierechten toegewezen waardoor het de mogelijkheid krijgt een bepaalde hoeveelheid CO_2 uit te stoten. (S. Cairns, C. Newson; 2006).
Onder het EU-ETS kan CO_2, net zoals arbeid, grond en kapitaal, als een productiefactor beschouwd worden waarvoor moet betaald worden. (R. Wit et al.; 2005).
Met één emissierecht mag één ton CO_2 uitgestoten worden. Het totale aantal gealloceerde rechten limiteert de totale emissies van elke Partij die gebonden is aan het systeem.
Elk jaar op 30 april, moeten de lidstaten rechten afstaan om zo hun eigen emissies te compenseren. Ze kunnen ook rechten verkopen zodat hun emissiereducties kunnen verwezenlijkt worden op plaatsen waar ze het meest kostenefficiënt zijn. (Europese Commissie; 2006).

[67] Verhandelbare emissierechten (J. De Mulder, F. Maes; 2007)

Door de emissierechten te voorzien van een bovengrens wordt een schaarste gecreëerd waardoor het marktprincipe kan gehanteerd worden: bedrijven die hun emissierechten niet opgebruiken, dus die minder uitstoten dan ze mogen, kunnen deze rechten verkopen. De prijs wordt bepaald door de vraag een het aanbod.
Bedrijven die niet toekomen met de aan hen toegewezen emissierechten, kunnen ofwel zelf stappen ondernemen om emissiereducties te bekomen (bv. door het ontwikkelen van een betere technologie), of kunnen extra emissierechten kopen. (S. Cairns, C. Newson; 2006).

Het EU-ETS is (zeker tot 2012) een nationaal georiënteerd systeem waarbij de emissierechten initieel door *grandfathering* (punt VII.4.2.2.b.2) worden verleend aan de afzonderlijke landen. Door haar nationale oriëntatie, kan het systeem aangepast worden aan de socio-economische situatie van elk land: de landen bepalen zelf hoe ze de aan hen toegewezen emissierechten verdelen over de sectoren. (M.M. Berk et al.; 2007).

De eerste fase van het VER-systeem loopt af in 2007 terwijl de tweede fase de periode 2008-2012 bestrijkt en zo samenvalt met de eerste *commitment*-periode van Kyoto. (S. Cairns, C. Newson; 2006).

VII.4.2 De luchtvaartsector en het EU-ETS

De luchtvaartsector maakt tot nog toe geen deel uit van het Europese emissiehandelsysteem. Het systeem van emissiehandel wordt echter gezien als de meest efficiënte (kosteneffectieve) manier om de klimaatsproblematiek van deze sector aan te pakken (A. Andersen 2001): het is erg duur om in de luchtvaartsector zelf emissiereducties te realiseren. Het is goedkoper en dus economisch efficiënter om de vliegtuigemissies te compenseren door emissierechten te kopen van andere sectoren. **(**M.G.J. den Elzen et al.; 2007).
De belangrijkste reden waarom destijds besloten werd om de luchtvaartsector buiten het domein van het Verdrag van Kyoto te houden, is dat men niet goed wist wie verantwoordelijk kon worden gesteld voor de emissies. Tot op vandaag is men het er niet over eens hoe de allocatie zou kunnen gebeuren (O. Deuber, J. Graichen; 2007), maar in punt VII.4.2.2.c worden enkele mogelijkheden op een rijtje gezet.

Vandaag dekt het EU-ETS de CO_2-emissies van verbrandingsinstallaties, van olieraffinaderijen, coke-ovens en activiteiten van sectoren zals de ferro-metalen, glas, keramiek, hout en cement. Voor de periode na 2012 worden enkele wijzigingen voorzien. Zo zou het EU-ETS ook andere dan CO_2-broeikasgassen dekken zoals bijvoorbeeld methaan of NO_x.

Daarnaast wil men ook het huidige werkingsdomein uitbreiden naar andere sectoren zoals de luchvaartsector, om zo meer milieu- en economische efficiëntie te bekomen. Anderzijds wil men kleine installaties van het schema schrappen door de hoge administratiekosten die deze installaties met zich meebrengen in verhouding tot hun klein aandeel in de totale emissies. (M.M. Berk et al.; 2007).

VII.4.2.1 Effecten

Door het EU-ETS ook te betrekken op de internationale luchtvaart, zou de impact van deze sector op het klimaat op drie manieren kunnen worden ingeperkt (S. Cairns, C. Newson; 2006):

1. Als luchtvaartmaatschappijen[68] hun emissierechten niet willen overschrijden, moeten ze extra rechten kopen van andere industrieën. Op die manier wordt de CO_2-markt ondersteund en zullen de andere sectoren meer doen om hun emissies te beperken.
2. Door de luchtvaartsector in het systeem te betrekken, zullen de verschillende actoren uit de luchtvaartsector gestimuleerd worden om hun efficiëntie op verschillende vlakken te verbeteren en zo hun eigen emissies te beperken[69].
3. Door de kosten die de punten 1 en 2 met zich meebrengen, zal het systeem een impact hebben op de ticketprijzen, wat misschien een effect zal hebben op de vraag.

VII.4.2.2 Verantwoordelijkheid en allocatie

Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen ‘allocatie’ en ‘distributie’: allocatie is het bepalen van de totale hoeveelheid emissierechten voor de hele luchtvaartsector en distributie

[68] In het geval dat luchtvaartmaatschappijen verantwoordelijk worden gesteld voor de emissies. Andere opties worden besproken in punt VII.4.2.1.c
[69] Zie hoofdstuk VI

is he bepalen van het precieze aantal rechten dat een individuële entiteit (zoals een luchtvaartmaatschappij) zal toegewezen krijgen. (IACA e.a.; 2005).

Het toekennen van CO_2-rechten gaat gepaard met enkele onzekerheden. Het is moeilijk uit te maken wie verantwoordelijk moet worden gesteld voor de uitstoot van de CO_2.
Luchtvaartmaatschappijen zouden hiervoor het best in aanmerking komen aangezien deze de meeste controle hebben over de matigende maatregelen en omdat zij het gemakkelijkst toegang hebben tot gedetailleerde gegevens. (R. Wit et al.; 2005).

a. Allocatieregels

Om de luchtvaartsector in het EU-ETS te integreren moet beslist worden of en hoe de emissierechten kunnen worden verdeeld.
Het aantal rechten moet bepaald worden op EU-niveau en de allocatieregels moeten identiek zijn voor al de entiteiten in de luchtvaartsector. Twee argumenten die deze stelling ondersteunen:

- Internationale luchtvaart is niet geïntegreerd in het EU-*Burden Sharing*[70]-akkoord (IACA e.a.; 2005): met het *Burden Sharing*-akkoord heeft de EU haar 8% emissiereductiedoelstellingen verdeeld onder haar lidstaten. (A. Andersen; 2001). Aangezien deze regel niet geldt voor de internationale luchtvaart, kunnen de rechten op een geharmoniseerde manier verdeeld worden: als de allocatie naar de lidstaten gebeurt, kan dit leiden tot concurrentieverstoringen. Als de verdeling daarentegen gebeurt op EU-niveau, kunnen de rechten toegewezen worden op een homogene manier. (IACA e.a.; 2005).
- Het voorkomen van concurrentieverstoringen en administratieve kosten: als de rechten op een uniforme manier zouden verdeeld worden, worden concurrentieverstoringen voorkomen aangezien al de entiteiten rechten toegewezen krijgen op basis van dezelfde regels. Daarnaast zullen ook de administratieve kosten voor de lidstaten worden gedrukt. (R. Wit et al.; 2005).

[70] Lastenverdeling

b. Allocatiemethode

Er bestaan verschillende manieren om de emissierechten initieel te verdelen:

1. Veiling

Veiling rust op het principe van 'de vervuiler betaalt' en sluit geen actoren uit: ook de 'nieuwkomers' kunnen deelnemen aan de veiling. (R. Wit et al.; 2005). Het verplicht de deelnemers na te denken over hun behoeften en hecht waarde aan deze behoeften: de deelnemers willen vermijden dat ze te veel betalen of dat ze te veel rechten kopen. (A. Andersen; 2001).

Het belangrijkste nadeel van veiling is dat het de kosten van een deelnemend land doet toenemen: als externe concurrenten deze extra kosten niet opgelegd krijgen, leidt dit tot oneerlijke concurrentie. Als het enkel binnen het EU-ETS wordt toegepast, zal de concurrentiepositie van Europese industrieën op de internationale markt verzwakken, wat kan leiden tot een vermindering van de economische groei, minder inkomsten en minder werkgelegenheid. Slechts vanaf het moment dat een mondiaal klimaatbeleidsregime wordt ingevoerd, d.w.z. als alle relevante concurrenten dezelfde kostenstijgingen door klimaatbeleid aangerekend krijgen, kan veiling eerlijk toegepast worden op alle ETS-deelnemers. (M.M. Berk et al.; 2007).

Door de rechtstreekse kosten die veiling met zich meebrengt, wordt het emissiehandelsysteem als onaantrekkelijk gezien, zodat landen ontmoedigd worden om deel te nemen aan het systeem.

Als de opbrengsten van de veiling naar de staat gaan, kunnen deze vergeleken worden met een taks. Als opbrengsten binnen de sector gebruikt worden om reductiemaatregelen te nemen, worden ze gezien als *revenue-neutral*. (A. Andersen; 2001).

2. Grandfathering

Grandfathering vormt de basis van de meeste bestaande emissiehandelsystemen. (A. Andersen; 2001).

Hierbij worden de emissierechten gratis verdeeld op basis van huidige of historische emissies. In het geval dat de emissies zullen toegewezen worden op huidige emissies, zal men zich

baseren op het vliegschema van het komende jaar. Dit is geen goede methode aangezien de luchtvaartmaatschappijen de extra kosten van bijkomende activiteiten hier niet op zich moeten nemen. In het geval van toewijzing op basis van historische emissies kan een toename van emissies door meer vliegactiviteiten wel doorgerekend worden.

'Nieuwkomers' zullen emissierechten toegewezen krijgen op basis van het verwachte toekomstige prestatieniveau (A. Andersen; 2001). Als geopteerd wordt om de emissies toe te wijzen op basis van historische gegevens (wat volgens A. Andersen (2001) geen optie is), moet een zo recent mogelijke basisperiode gekozen worden, zodanig dat 'jonge' deelnemers ook rechten kunnen toegewezen krijgen (R. Wit et al.; 2005) en omdat deze gegevens meestal betrouwbaarder zijn. (A. Anderson; 2001).

De methode heeft als nadeel dat dat luchtvaartmaatschappijen die relatief oude en vervuilende technologieën gebruiken, bevoordeeld worden tegenover de luchtvaartmaatschappijen die reeds in nieuwere technologieën hebben geïnvesteerd (B. Boon et al.; 2004) en nieuwkomers (R. Wit et al.; 2005).

3. Benchmarking

Bij *benchmarking* worden de emissierechten gratis verdeeld op basis van specifieke emissiefactoren (*benchmarks*) die in relatie staan met een typische prestatiefactor van een sector of de gebruikt technologieën. (M.M. Berk et al.; 2007). Een *benchmark* verwijst naar de emissies per prestatie-eenheid. (R. Wit et al.; 2005). Het is de enige methode die rekening houdt met reeds gerealiseerde maatregelen. Hierdoor worden de betrokken actoren ertoe aangezet om hun prestaties te verbeteren. (IACA e.a.; 2005).

Voor deze benadering zijn er, in tegenstelling tot de *grandfathering*-benadering, geen gegevens van een bepaalde basisperiode nodig, maar gegevens over de vliegactiviteiten. Deze worden dan vermenigvuldigd met een *benchmark*. Door *benchmarking* wordt het mogelijk de prestaties van de verschillende vliegtuigen met elkaar te vergelijken.

Een voorbeeld: als prestatie-eenheid kan het transport van lading over een bepaalde afstand gekozen worden. De *benchmark* zal dan een gemiddelde zijn van de emissies per prestatie-eenheid van een Best Beschikbare Techniek (BBT).

Deze benadering speelt in het voordeel van nieuwe en weinig vervuilende vliegtuigen. (R. Wit et al.; 2005).

4. ***Baseline***

Hierbij worden entiteiten verplicht de emissies te compenseren die (een percentage van) het niveau van een bepaald basisjaar overschrijden. Om deze emissies te compenseren worden emissierechten gekocht op de markt.
Zolang de emissies onder deze van het basisjaar liggen, zal geen actie ondernomen worden om emissiereducties te bekomen. (R. Wit et al.; 2005).

5. **Geen allocatie**

In dit geval krijgt de luchtvaartsector initieel geen emissierechten toegewezen, maar moet deze kopen van andere sectoren om haar emissies te compenseren. Er worden dus geen *aviation units* gecreëerd. De emissiehandel zou enkel gebaseerd zijn op emissierechten van het Protocol van Kyoto en van het EU-ETS (respectievelijk AAU's en EUA's).
Vanuit milieustandpunt is dit de beste optie aangezien zowel de luchtvaartsector als de andere sectoren aangemoedigd worden om milderende maatregelen te nemen.
Ook vanuit administratief standpunt is dit een goede optie omdat er geen nood is aan initiële allocatie. Daarnaast stelt zich ook het probleem niet van wat er moet gebeuren met de veilingsopbrengsten.
Nog een voordeel is dat de interactie met het Kyoto Protocol groter zal zijn omdat de luchtvaartentiteiten enkel rechten kunnen verkopen die ze voordien hebben gekocht.
Er is echter één groot nadeel verbonden aan deze optie: ze zou een grote economische last veroorzaken voor zowel de luchtvaartsector als voor de andere entiteiten die gedekt worden door het EU-ETS omdat de sectoren zelf reductiemaatregelen zullen moeten nemen (door de 'schaarste' aan emissierechten). (R. Wit et al.; 2005).

Vanuit politiek standpunt, lijkt *benchmarking* de meest logische optie (A. Andersen; 2001): nieuwkomers worden op dezelfde manier behandeld en de administratieve lasten, die gepaard

gaan met de noodzakelijke gegevens (over emissies), zullen gedrukt worden. (R. Wit et al.; 2005). Economen vinden echter dat veiling de meest efficiënte manier is om de emissierechten te verdelen. (A. Andersen; 2001).

Voor de luchtvaartmaatschappijen maakt het niet veel uit of ze de emissierechten krijgen via *benchmarking* (of *grandfathering*) of via veiling. In beide gevallen ondervinden ze voordeel als ze hun emissies beperken: ofwel door de (gratis gekregen) emissierechten te verkopen, ofwel omdat ze dan minder rechten moeten kopen (door veiling). (R. Wit et al.; 2005). De opties waarbij de intiële allocatie van emissierechten gratis gebeurt, kan echter als oneerlijk worden beschouwd omdat de luchtvaartmaatschappijen er geld kunnen uit scheppen. (S. Cairns, C. Newson; 2006). Anderzijds kunnen de 'vervuilers' die de kosten van emissiehandel niet in hun prijzen kunnen doorrekenen, toch meedoen aan het systeem als de rechten initieel gratis verdeeld werden. Hierdoor zullen deze vervuilers het EU-ETS gemakkelijker aanvaarden, wat de implementatie van het systeem vergemakkelijkt. (M.M. Berk et al.; 2007).

A. Andersen (2001) stelt bij wijze van compromis een combinatie van veiling en *grandfathering* voor: het grootste deel van de emissierechten zal gratis verdeeld worden (*grandfathering*), terwijl de emissies te wijten aan een onverwachte toename van de groei van de sector, aan een onverwachte toetreding van nieuwkomers of aan zeer vervuilende partijen, kunnen gedekt worden door geveilde emissierechten.

c. Wie[71]?

Eerst en vooral moet uitgemaakt worden of de initiële distributie zal plaatsvinden op niveau van de lidstaten of van de EU.

Aangezien de initiële allocatie op een geharmoniseerde manier zou moeten gebeuren, verdient allocatie op Europees niveau de voorkeur. Op die manier kan de secundaire allocatie (naar één van de vijf onderstaande mogelijke partijen) gebeuren volgens dezelfde regels. De reductiedoelstellingen per lidstaat kunnen dan berekend worden door de toegewezen emissierechten van de luchtvaartactiviteiten die op hun territorium plaatsvinden, te sommeren. (R. Wit et al.; 2004).

[71] Behalve indien anders vermeld, wordt verwezen naar R. Wit et al. (2005).

Welke entiteit van de luchtvaartsector moet verantwoordelijk worden gesteld voor de emissies, m.a.w. wie krijgt de emissierechten in handen, wie mag ze verhandelen?
Er zijn vijf mogelijkheden (R. Wit et al.; 2005):

- de luchtvaartmaatschappijen
- de luchthavenuitbaters
- de brandstofleveranciers
- de luchtvaartbeheerders
- de vliegtuigconstructeurs

1. Luchtvaartmaatschappijen

In het geval dat de luchtvaartmaatschappijen rechten moeten aankopen voor de emissies die zij veroorzaken, zullen ook de niet-EU-luchtvaartmaatschappijen op dezelfde manier behandeld worden. Ook zij moeten rechten kopen om te emitteren binnen de geldende geografische schaal van het EU-ETS (VII.4.2.2.d).

- Voordelen

Luchtvaartmaatschappijen hebben directe controle over de technologische en operationele maatregelen om de klimaatimpact te verminderen, wat tot efficiënte emissiereducties kan leiden. Daarnaast beschikken ze over al de nodige gegevens. (IACA e.a.; 2005). Met deze optie zou het ook mogelijk zijn om al de klimaateffecten in rekening te brengen[72], ook al is het EU-ETS beperkt tot enkel CO_2 en NO_x. (R. Wit et al.; 2005).

- Nadelen

Bij deze optie wordt er vanuit gegaan dat de niet-Europese vliegtuigmaatschappijen op dezelfde manier zullen worden behandeld als de Europese. (R. Wit et al.; 2005). Indien dit niet kan gegarandeerd worden, kunnen er problemen optreden: als op eenzelfde route

[72] Van zodra de wetenschappelijke kennis er is.

verschillende luchtvaartmaatschappijen verschillende verplichtingen hebben, kan dit leiden tot oneerlijke concurrentie[73]. (IACA e.a.; 2005).

2. Luchthavenuitbaters

Al de luchthavenuitbaters die een luchthaven uitbaten op het territorium van de Europese Unie, rechten moeten aankopen voor de emissies van de vliegtuigen die landen en aankomen op hun luchthaven. Ook hierbij worden de luchtvaartmaatschappijen actief betrokken omdat deze gegevens over de emissies van de vliegtuigen aan de luchthavenuitbaters moeten doorgeven.

- Voordelen

Hiermee kunnen ook de niet-CO_2-effecten worden aangepakt.
De luchthaven kan gezien worden als een 'vaste installatie'. Dit is voordelig bij de implementatie van de luchtvaartsector in het EU-ETS omdat het EU-ETS is opgesteld voor vaste installaties.

- Nadelen

De luchthavenuitbaters hebben noch de nodige gegevens noch directe controle over de klimaatimpact van vliegtuigen. Daarom moeten zij de kosten van het EU-ETS doorspelen aan de luchtvaartmaatschappijen, bijvoorbeeld door middel van taksen.
Er is geen garantie dat de prijssignalen in de verschillende luchthavens op een gelijkaardige manier zullen doorgegeven worden. Dit kan opgelost worden door het invoeren van een geharmoniseerd mechanisme, wat extra moeite zal kosten in vergelijking met de vorige optie. (R. Wit et al.; 2005).
De luchthavenuitbaters moeten de gegevens waarop zij zich baseren krijgen van de luchtvaartmaatschappijen. Nadien worden de kosten van het EU-ETS berekend door de

[73] Als bv. niet-Europese luchtvaartmaatschappijen geen rechten moeten kopen voor de broeikasgassen die zij uitstoten binnen de geografische schaal van het EU-ETS, zullen deze bevoordeeld worden t.o.v. de luchtvaartmaatschappijen die deze rechten wel moeten betalen: de niet-Europese luchtvaartmaatschappijen zullen geen extra kosten aan hun klanten moeten doorrekenen, waardoor ze goedkopere vliegtickets kunnen aanbieden.

luchthavenuitbaters, waarna ze doorgerekend worden aan de luchtvaartmaatschappijen. Dit is erg omslachtig en verhoogt de administratieve lasten en kosten..

3. Brandstofleveranciers

Bij deze optie moeten de brandstofleveranciers emissierechten kopen om de CO_2-emissies die vrijkomen bij het verbranden van 'hun' brandstof te dekken. (R. Wit et al.; 2005). Om deze extra kosten te dekken, moeten zij hun brandstofprijzen verhogen. Het enige moment waarop luchtvaartmaatschappijen zullen betrokken worden bij het emissiehandelsysteem, is als zij deze brandstof kopen. (A. Andersen; 2001).
Luchtvaartmaatschappijen zullen operationele of technologische aanpassingen doen om het brandstofverbruik in te perken, als deze voordeliger uitkomen dan de verhoogde brandstofprijzen. Ze kunnen ook de prijsstijging doorrekenen aan de passagiers. Op die manier wordt de vraag beïnvloed. (R. Wit et al.; 2005).

- Voordelen

Bij deze optie worden al de CO_2-emissies van intra-EU en uitgaande vluchten gedekt: er wordt geen onderscheid gemaakt tussen niet-EU en EU-luchtvaartmaatschappijen. (R. Wit et al.; 2005).
De administratieve last is laag omdat er weinig brandstofleveranciers zijn: het emissiehandelsysteem wordt niet betrokken op talrijke actoren, maar wordt gecentraliseerd. (A. Andersen; 2001).

- Nadelen

Het is gemakkelijk om de hogere brandstofprijzen te ontwijken: bij *tankering* koopt men kerosine (meer dan nodig is voor de vlucht) in gebieden waar de regels van het systeem niet gelden.
Enkel CO_2- en H_2O-emissies kunnen toegekend worden aan het brandstofverbruik, waardoor het moeilijk wordt de totale impact op het klimaat aan te pakken. Deze optie kan enkel volledig doeltreffend zijn als er andere politieke maatregelen worden voorzien om de effecten, die niet rechtstreeks door het brandstofverbruik worden veroorzaakt, aan te pakken.

De brandstofleveranciers kunnen de emissierechten die ze gratis toegewezen hebben gekregen, doorrekenen aan hun klanten waardoor zij extra winst zouden opstrijken (*windfall profits*). (R. Wit et al.; 2005).

Een ander nadeel is dat dit kan gezien worden als een vorm van brandstoftaks, waarbij de luchtvaartmaatschappijen niet kunnen ontkomen aan de prijsrisico's van de emissierechten. Tot er geen financiële instrumenten worden ontwikkeld om deze risico's in te perken, zullen de brandstofmaatschappijen deze risico's niet kunnen omzeilen: als al de brandstof zou gedekt worden met emissierechten, zouden de luchtvaartmaatschappijen minder kans krijgen om de emissiereducties zelf te bekomen als zij vinden dat dit hen voordeliger uitkomt[74] (omdat de kosten van bv. technologische maatregelen lager liggen dan de heersende marktprijzen). (A. Andersen; 2001).

4. Luchtvaartbeheerders (ATC[75]-providers)

In dit geval moet het luchtvaartmanagement emissierechten kopen voor al de vluchten die gedekt worden door het EU-ETS. De beheerders moeten dan deze kosten doorrekenen aan hun klanten, zijnde de luchtvaartmaatschappijen. Om aan deze extra kosten te ontkomen, kunnen de luchtvaartmaatschappijen (goedkopere) maatregelen treffen om hun uitstoot te beperken. (R. Wit et al.; 2005)

- Voordelen

Luchtvaartbeheerders verlenen diensten aan de luchtvaartmaatschappijen en rekenen hen daarvoor een som aan. Er bestaat dus al een mechanisme om kosten door te rekenen, wat deze optie gemakkelijk invoerbaar maakt. Daarnaast worden ook al de klimaatimpacten aangepakt. Deze voordelen zijn echter vergelijkbaar met deze bij de optie waar de luchtvaartmaatschappijen verantwoordelijk gesteld worden voor de emissies, waardoor deze optie niet veel meerwaarde biedt.

[74] De emissierechten zijn bestemd voor de brandstof. Als de rechten duur zijn, kunnen de luchtvaartmaatschappijen er niet aan ontkomen door zelf maatregelen te treffen die hen goedkoper uitkomen, omdat ze die brandstof nodig hebben. Als de luchtvaartmaatschappijen echter zelf rechtstreeks worden geconfronteerd met de prijzen van de emissierechten, kunnen ze zelf iets ondernemen op het moment dat zij dit als voordeliger zien.

[75] *Air Traffic Control*

- Nadelen

De extra kosten moeten worden doorgerekend aan de luchtvaartmaatschappijen waardoor er gelijkaardige problemen optreden als bij optie 2.
De marktstructuur van het luchtvaartbeheer is erg complex: sommige luchtvaartbeheerders zijn half-openbare ondernemingen, terwijl andere helemaal openbaar zijn. Er bestaat geen concurrentie tussen deze entiteiten. Het is dan ook onwaarschijnlijk dat er een competitieve markt kan gecreëerd worden in dit kader. Deze complexe sructuur maakt het erg moeilijk om volgens dit systeem de luchtvaartsector in het EU-ETS te integreren.

5. Vliegtuigconstructeurs

In dit geval moeten de vliegtuigconstructeurs een bepaald aantal emissierechten kopen als zij een vliegtuig verkopen aan hun klanten. Deze optie vormt een aanzet voor de constructeurs om meer 'klimaatvriendelijke' vliegtuigen te bouwen.

- Voordelen

Bij deze optie worden weinig actoren betrokken, waardoor de administratieve last vermindert.

- Nadelen

Vliegtuigconstructeurs van buiten de EU kunnen niet verplicht worden om hieraan mee te doen (R. Wit et al.; 2005). Hierdoor zullen sommige luchtvaartmaatschappijen opteren om hun toestellen bij niet-Europese vliegtuigconstructeurs te kopen, waardoor de Europese vliegtuigbouwers zullen te maken krijgen met oneerlijke concurrentie.
Deze optie beoogt enkel technologische maatregelen. Operationele maatregelen worden hierdoor beperkt en het is niet mogelijk om de volledige klimaatimpact aan te pakken (R. Wit et al.; 2005).

6. Conclusie

Elke optie kent zijn voor- en nadelen:

Met de opties 3 (brandstofleveranciers) en 5 (vliegtuigconstructeurs) kunnen niet al de klimaateffecten worden aangepakt, waardoor deze het minst geschikt zijn. Deze problemen kunnen echter opgelost worden door deze opties aan te vullen met politieke maatregelen voor de andere klimaateffecten. Hierdoor kan optie 3 toch nog meetellen omdat de voordelen ervan veelbelovend zijn (vooral het feit dat zowel de EU- als de niet-EU-luchtvaartmaatschappijen bij de maatregelen zullen betrokken worden). Om deze optie overlevingskansen te geven, moet echter iets gedaan worden aan de *tankering*-praktijken[76].
De oneerlijke concurrentie die zal ontstaan bij optie 5, maakt dat het verantwoordelijk stellen van de vliegtuigconstructeurs voor de vliegtuig-emissies, niet de beste manier is.
De opties 2 (luchthavenuitbaters) en 4 (luchtvaartbeheerders) hebben als nadeel dat ze de kosten moeten doorrekenen aan de luchtvaartmaatschappijen omdat zijzelf niet de nodige gegevens bezitten en omdat ze geen directe controle hebben over de effecten van de vliegtuigen. Dit is erg omslachtig [77] in vergelijking met optie 1, waar de luchtvaartmaatschappijen verantwoordelijk worden gesteld voor de emissies, omdat daar die 'secundaire' stap niet nodig is: de luchtvaartmaatschappijen worden rechtstreeks verantwoordelijk gesteld, de kosten moeten niet meer verder doorgerekend worden. Het zijn de luchtvaartmaatschappijen die directe controle hebben over de technologische en operationele maatregelen om de effecten op het klimaat te reduceren, wat in het voordeel speelt van optie 1.

Optie 1 komt dus naar voor als de meest veelbelovende manier. Optie 3 heeft ook potentieel, op voorwaarde dat de *tankering*-praktijken ontmoedigd worden en dat er bijkomende politieke maatregelen komen om de klimaateffecten van andere emissies dan CO_2 en H_2O aan te pakken. Daarnaast impliceren beide opties dat ook de niet-EU-luchtvaartmaatschappijen bij het emissiehandelbeleid zullen betrokken worden, wat concurrentieverstoringen beperkt.

[76] Een manier om de *tankering*-praktijken te ontmoedigen wordt besproken in punt VII.5.1.2.
[77] Daarnaast wordt niet gegarandeerd dat de doorrekening van de kosten altijd even eerlijk en consequent zal verlopen.

A. Anderson (2001) komt tot dezelfde conclusie, maar zegt dat het nog te vroeg is om deze besluiten te trekken. Een combinatie van verschillende opties zou eveneens mogelijk moeten zijn: luchtvaartbeheerders zouden kunnen instaan voor de emissies die vrijkomen tijdens vertragingen en omleidingen van een vlucht. De luchtvaartmaatschappij kan niets doen aan die vertraging, dus zou niet verantwoordelijk gesteld worden voor de bijhorende extra emissies (*excess emissions*). Ze zullen enkel moeten instaan voor de emissies die vrijkomen tijdens de rechtstreekse vlucht; de bijkomende emissies zullen gedekt worden door de luchtvaartbeheerders.

d. Allocatie - Geografische schaal

Vooraleer de emissies worden toegewezen aan één van de bovengenoemde actoren, moet bepaald worden op welke basis de allocatie zal gebeuren: op basis van de route, regionaal of sectoraal (zie punt VII.3.3.4). (O. Deuber, J. Graichen; 2007).
De geografische schaal verwijst naar het geografische gebied waarbinnen de luchtvaartemissies onder het handelsysteem vallen. Daarin zijn de landen, de routes en de types vliegtuigen inbegrepen (R. Wit et al.; 2005).

Er bestaan vijf scenario's wat betreft het geografische aspect binnen de emissiehandel (R. Wit et al.; 2005):

1. Intra-EU routes (onafhankelijk van de nationaliteit van de luchtvaartmaatschappijen) (IACA e.a.; 2005).

2a. Intra-EU routes en 50% van de emissies op vluchten (afkomstig van buiten de EU) van en naar luchthavens van de EU.

2b. Emissies van al de vluchten die vertrekken vanuit een luchthaven in de EU.

3. Al de emissies in het luchtruim[78] van de EU.

7. Emissies van alle vluchten die vertrekken vanuit EU-luchthavens, aangevuld met al de resterende emissies in het Europese luchtruim[79].

8. Intra-EU routes en routes van en naar derde landen die het Protocol van Kyoto hebben geratificeerd.

[78] In deze context omvat het luchtruim niet enkel de nationale territoria van individuele lande, maar ook stukken zee en oceaan. Voor de intra-EU routes wordt verondersteld dat de hele route wordt gedekt, ook als het luchtruim van niet-EU-lidstaten wordt gebruikt. (R. Wit et al.; 2005).
[79] Dit scenario is een combinatie van de scenario's 2b en 3.

In tabel 8 wordt voorgesteld hoeveel CO_2-uitstoot gepaard gaat met elk geografisch scenario voor het jaar 2004. Daarnaast is ook af te lezen hoeveel emissierechten onder het EU-ETS werden verdeeld voor de periode 2005-2007. De percentages van de toegewezen hoeveelheden liggen tussen de 2,4 en 7,4% van de totale hoeveelheid toegewezen emissierechten. Als al de niet-CO_2-effecten van de luchtvaartsector mee in rekening zouden worden gebracht, zouden deze percentages nog hoger oplopen. (R. Wit et al.; 2005).

Tabel 8: Vergelijking van de CO_2-emissies onder het huidige Europese emissiehandelsysteem (EU-ETS) en de CO_2-emissies t.g.v. de luchtvaart bij de verschillende geografische scenario's voor het jaar 2004. (Bron: R. Wit et al.; 2005).

	CO_2-emissies in 2004 (10^6 kg)	% van de huidige CO_2-emissies in het EU-ETS
CO_2-emissies onder het huidige emissiehandelsysteem (2005 – 2007)		
Gealloceerde CO_2-emissies	2.200.000	100,0%
Geografische scenario's voor de luchtvaartemissies (2004)		
1. Intra-EU	51.875	2,4%
2a. Intra-EU + 50 % routes van/naar de EU	130.287	5,9%
2b. Vertrekkend vanuit de EU	130.403	5,9%
3. Emissies in het EU-luchtruim	114.337	5,2%
4. Vertrekkend vanuit de EU + EU-luchtruim	161.988	7,4%
5. Intra-EU +en routes van/naar andere KP*-staten	72.449	3,3%

* Kyoto Protocol

Hoe groter de geografische schaal van een emissiehandelsysteem, hoe meer partijen erbij zullen betrokken worden. (A. Andersen; 2001). Dus opties waarbij gewerkt wordt op kleine schaal, zoals de opties 1 en 3 zijn in het voordeel van lange-afstandsvluchten aangezien deze niet volledig door het schema worden gedekt. Korte-afstandsvluchten daarentegen vallen wel volledig onder het schema, zodat de emissies van heel de vlucht moeten gecompenseerd worden. (R. Wit et al.; 2005).

Als geopteerd wordt om al de vluchten die vertrekken vanuit een Europese luchthaven, te onderwerpen aan een emissiehandelsysteem, kan dit veel weerstand creëren bij landen die zichzelf niet zien als gedekt onder het schema. De niet-EU-listaten uitsluiten van het systeem

zou echter kunnen leiden tot concurrentieverstoringen, waardoor de werking van het systeem aangetast wordt. (R. Wit et al.; 2004).
Het beste resultaat op milieu-vlak zal geleverd worden als het emissiehandelsysteem wereldwijd wordt geïmplementeerd. Tegelijkertijd zullen ook concurrentieverstoringen binnen de transportsector vermeden worden. Een globaal emissiehandelsysteem zal slechts mogelijk zijn als het Protocol van Kyoto wereldwijd zal worden aanvaard. (IACA e.a.; 2005).

VII.4.2.2 Totale impact van de luchtvaartsector op het klimaat betrekken bij het EU-ETS

De huidige emissiehandelsystemen zijn enkel gericht op CO_2-emissies. (A. Andersen; 2001).
De luchtvaartsector heeft echter ook enkele 'specifieke' effecten op het klimaat: het is een bron van talrijke broeikasgassen. Daarnaast veroorzaakt deze sector ook nog andere specifieke effecten (vb. vorming van condensatiesporen). **(**M.G.J. den Elzen et al.; 2007). (zie ook punt VI.1).
Om de totale impact van de luchtvaartsector op het klimaat aan te pakken, volstaat het niet om enkel de CO_2-emissies te onderwerpen aan restricties. Om de problematiek echt efficiënt aan te pakken moeten alle factoren die invloed hebben op het klimaat, in acht genomen worden.
Daarom moet nagegaan worden hoe de andere impacten kunnen gedekt worden door het emissiehandelsysteem (zonder de werking van dit systeem aan te tasten).

In dit kader werden drie scenario's naar voor geschoven: de multiplicator-benadering, een individuele benadering gebaseerd op de verschillende effecten en enkel CO_2 in combinatie met andere politieke instrumenten. (R. Wit et al.; 2005).

a. Multiplicator-benadering

Het Verdrag van Kyoto en het EU-ETS zijn gebaseerd op het principe dat emissies verhandelbaar zijn. Om deze handel vlot te laten verlopen moet er een graad van 'equivalentie' tussen de verschillende gassen gevonden worden. (R. Wit et al.; 2005).
De vraag die hierbij gesteld wordt is hoe de klimaatimpact van andere dan CO_2-emissies van de luchtvaartsector kan omgezet worden in één grootheid die dan als multiplicator kan

gebruikt worden. Hiervoor is een eenheid nodig die toelaat om de equivalentie van verschillende gassen te berekenen. Het CO_2-equivalent is de meest erkende grootheid waarop de emissiehandel kan gebaseerd worden. Met deze grootheid wordt het mogelijk handel te drijven in een op CO_2-gebaseerd emissiehandelsysteem en kunnen andere broeikasgassen ook in het systeem betrokken worden. (A. Andersen; 2001). In het Verdrag van Kyoto en het EU-ETS wordt daarvoor gebruik gemaakt van het *Global Warming Potential* of GWP (punt III.3.2.1). (R. Wit et al.; 2005).

Als men al de klimaateffecten wil nagaan, moet de vraag gesteld worden op welk klimaateffect men zich wil baseren: *radiative forcing*, temperatuursverandering, verandering in de neerslag, frequentie van extreme omstandigheden, stijging van het zeeniveau of zelfs de monetaire waarde t.g.v. de schade veroorzaakt door de klimaatsverandering? (D. Wuebbles et al.; 2006). In de gevallen die hieronder besproken worden, baseert men zich op de *radiative forcing* (GWP) en op de verandering van de temperatuur (GTP).

1. Radiative Forcing (RF) en Global Warming Potential (GWP)

De *Radiative Forcing* (RF) wordt gebruikt om de impact van broeikasgassen op het klimaat te benaderen.

Door de *Radiative Forcing Index* (RFI) als multiplicator voor de emissies te gebruiken, kan het totale effect van de luchtvaartsector op het klimaat nagegaan worden. Het is de som van de individuele *radiative forcings* (totale *radiative forcing*) gedeeld door de CO_2-*forcing* op een bepaald tijdstip. (R. Wit et al.; 2005).

De methode kan niet gebruikt worden om de impact van de emissies gedurende een bepaalde periode te berekenen omdat er een groot contrast bestaat tussen de verblijftijden van de verschillende bijdragers aan de RF. Het effect van kortlevende gassen kan hier problemen geven[80]. Tot op heden is nog geen betrouwbare schatting gemaakt van de RF van door vliegtuig geïnduceerde cirruswolken. Volgens sommige auteurs kan deze RF dominant zijn t.o.v. al de andere effecten. Het is belangrijk dat betrouwbare waarden kunnen gevonden worden voor de effecten van al de vliegtuigemissies vooraleer de relatieve impacten worden benaderd. (D. Wuebbles et al.; 2006).

[80] Omdat kortlevende gassen niet gedurende de volledige vooropgestelde periode blijven bestaan.

De RF wordt gebruikt bij de berekening van het *Global Warming Potential* (GWP). De GWP kan worden gebruikt om de impact van broeikasgassen op de globale opwarming over verschillende tijdsperiodes te achterhalen. (UNEP; 2005).
Met het *Global Warming Potential* is het mogelijk om de equivalentie tussen CO_2 en andere broeikasgassen na te gaan. (R. Wit et al.; 2005). Het wordt berekend door het effect van de *radiative forcing* te vermenigvuldigen met de concentratie van het toegevoegde gas, dit voor een bepaalde periode[81]. (E.S. Takle; 1995). Bij de berekening van het GWP wordt dus zowel rekening gehouden met de *radiative forcing* als met de verblijftijd in de atmosfeer. (D. Wuebbles et al.; 2006).
Het GWP komt overeen met de verhouding van de *radiative forcing* die ontstaat door het vrijkomen van 1 kg van een gas t.o.v. radiative forcing van 1 kg van een referentiegas (meestal CO_2) (R. Wit et al.; 2005): de GWP van CO_2 wordt gelijk gesteld aan 1 zodat de andere broeikasgassen relatief ten opzichte van deze waarde kunnen gedefinieerd worden. (UNEP; 2005).

Doordat het GWP is gebaseerd op een *radiative forcing* op een bepaald tijdstip, kan het GWP niet als unieke indicator voor de effecten van emissies op de temperatuur gebruikt worden: doordat de verschillende broeikasgassen verschillende verblijftijden hebben in de atmosfeer, kan een sterk broeikasgas met korte verblijftijd hetzelfde GWP hebben als een zwakker broeikasgas met een langere verblijftijd. Een identieke hoeveelheid uitstoot van de twee gassen kan een verschillend effect hebben op de temperatuur. (K.P. Shine et al.; 2003).
Het GWP wordt het best gebruikt wordt voor langlevende gassen zoals CO_2, CH_4 en NO_x (tabel 1). (R. Wit et al.; 2005). Bij kortlevende gassen hangt het GWP af van de locatie, het tijdstip en de hoogte van de emissies. Het is dus moeilijk om het GWP te gebruiken voor partikels of voor hun indirecte effecten (condensatiesporen). Ook het feit dat het GWP van emissies (en hun effecten) berekend wordt t.o.v. een langlevend gas (CO_2), is het GWP van kortlevende emissies laag[82]. (D. Wuebbles et al.; 2006).
Ook de ozonconcentratie die gevormd wordt door NO_x is moeilijk te berekenen omdat deze het resultaat is van complexe atmosferische chemische processen en afhangen van de hoeveelheid aanwezige chemische reactiestoffen.

[81] CO_2 heeft een relatief lage *radiative forcing*, maar er komt jaarlijks veel van in de atmosfeer terecht en het heeft een lange verblijftijd, waardoor het een hoog GWP heeft. (E.S. Takle; 2005).
[82] Het GWP wordt berekend t.o.v. CO_2 dat lang in de atmosfeer verblijft (tabel 1). Aangezien het GWP van CO_2 wordt gelijkgesteld aan 1, is de GWP van stoffen met een veel lagere verblijftijd bijna te verwaarlozen.

Om bovengenoemde redenen is het moeilijk een geschikt GWP te bepalen die de totale *radiative forcing* t.g.v. de luchtvaart kan omvatten. (R. Wit et al.; 2005).
Daarnaast bekritiseren economen de grootheid omdat deze geen rekening houdt met de schade die wordt aangericht door de emissies: de impact van emissies op het klimaat kunnen als volgt worden voorgesteld:

emissieveranderingen → concentratieveranderingen → *radiative forcing* → klimaatimpact → impact op samenleving en ecosysteem → economische schade.

(K.P. Shine et al.; 2003).

Het belang van de impacten wordt groter naarmate men vordert in deze keten. Er is dus een grootheid nodig die rekening houdt met de meest relevante parameters. Hierbij moet opgemerkt worden dat de zekerheid afneemt, naarmate men verder gaat in de keten.
Het GWP gaat slechts tot stap 3 in deze ketting. Er zou dus een grootheid moeten komen die (minstens) één stap verder gaat in deze keten. Daarom is heeft men besloten een nieuwe maat te zoeken. De *Global Potential Temperature* biedt hier mogelijkheden. (K.P. Shine et al.; 2003).

2. Global Temperature Potential (GTP)

Met het *Global Temperature Potential* (GTP) wordt de impact van de emissies op de verandering van de globale gemiddelde temperatuur berekend. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen GTP_p en GTP_s.
Met GTP_p kunnen de effecten op de temperatuur van verschillende emissies op een bepaald moment vergeleken worden, terwijl met GTP_s de effecten van duurzame emissieveranderingen nagegaan worden. Deze grootheden hebben het voordeel t.o.v. het GWP dat ze de actuele klimaatsverandering beschrijven (d.m.v. de verandering van de temperatuur), terwijl bij het GWP de *radiative forcing* gebruikt wordt, wat eerder een abstract concept is. (K.P. Shine et al.; 2003).
Doordat het GTP een stap verder gaat in de keten en dus een meer relevante parameter in beschouwing neemt dan het GWP, verdient het GWP de voorkeur.
De methode van GTP staat echter nog niet op punt, waardoor verder onderzoek nodig is. (R. Wit et al.; 2005).

Tot er geen betere methode zal gevonden worden, zal blijven gewerkt worden met het GWP om de totale impact van vliegtuigemissies op het klimaat te berekenen.

b. Individuele benadering gebaseerd op de effecten

Bij deze benadering gaat men uit van de dagelijkse operaties en de effecten van individuele vliegtuigen. (R. Wit et al.; 2005). Er wordt gekeken naar CO_2- en NO_x-gegevens en naar de vormingsomstandigheden van *contrails* en cirruswolken. De impact op de klimaatsverandering wordt berekend op basis van de actuele emissies en gegevens over de temperatuur en luchtvochtigheid op de vliegroute. Dit is onder andere belangrijk om te achterhalen of er al dan niet persistente spoorvorming zal optreden. Om de volledige impact van één vlucht na te gaan worden al deze gegevens omgezet in een CO_2-equivalent. (R. Wit et al.; 2004).

Hiervoor is een goed ontwikkeld model nodig dat de ozon- en methaan concentratieveranderingen in de atmosfeer t.g.v. NO_x-emissies en de condensatiesporen en cirruswolken kan achterhalen. Dit bevindt zich nog allemaal in de ontwikkelingsfase en is erg complex. (R. Wit et al.; 2005).

c. Enkel CO_2 in combinatie met andere politieke instrumenten

In dit scenario wordt verondersteld dat de luchtvaartsector in het EU-ETS wordt geïntegreerd op basis van enkel CO_2-emissies. Op die manier zou de werking van het systeem niet[83] ondermijnd worden. (R. Wit et al.; 2004).

Om de effecten van de andere emissies aan te pakken, kunnen andere politieke maatregelen voorzien. Hieronder volgt een overzicht van eventuele mogelijkheden (R. Wit et al.; 2005):

[83] Door een open emissiehandel in het EU-ETS toe te laten, wordt de werking van het systeem ondermijnd: de bedoeling van het systeem is sectoren ertoe aan te zetten om maatregelen te nemen ter reductie van emissies. De eerste jaren wordt er verondersteld dat de luchtvaartsector zelf niet voldoende maatregelen ter verlaging van de CO_2 emissies zal kunnen bewerkstelligen, onder andere omdat het voor hen economisch efficiënter zou zijn om emissierechten te kopen (zie ook punt VII.4.2.9).

- *NO_x-luchthaventaksen*: als in de buurt van een luchthaven de luchtkwaliteitsnormen worden overschreden, moet de lokale overheid maatregelen nemen. Zulke maatregelen zullen in de toekomst een barrière vormen voor de groei en de ontwikkeling van luchthavens, zodat de nadruk moet gelegd worden op het reduceren van NO_x-emissies. Het is een goed initiatief dat ook nog eens de nadruk legt op goede luchtkwaliteit. Het nadeel van deze benadering is dat de condensatiesporen buiten beschouwing blijven.
- *NO_x-vluchttaksen* (*'en route'*): de NO_x-emissies kunnen berekend worden uit het brandstofverbruik. Om dit op een zo correct mogelijke manier te doen, wordt rekening gehouden met het type motor, de temperatuur en de luchtvochtigheid. Het is een haalbare optie die in de nabije toekomst reeds kan worden aangewend. (R. Wit et al.; 2005).

  De vragen die hierbij rijzen zijn hoe de opbrengsten van deze taks verdeeld en gebruikt zullen worden en wie de opbrengsten krijgt van de NO_x-emissies die boven de zee vrijkomen. Hiervoor is verder onderzoek vereist. (S. Cairns, C. Newson; 2006).
- Het regelen van de vlieghoogtes om de vorming van condensatiesporen tegen te gaan: als de vluchtroutes met 6.000 voet worden verlaagd, zou dit een reductie van 43% van de contrail-bedekking inhouden. Het neveneffect hierbij is echter dat er dan meer CO_2- en NO_x-emissies vrijkomen. Het vrijkomen van NO_x-emissies op lagere hoogte zou wel leiden tot een afname van ozon (in plaats van een stijging). Deze pro's en contra's moeten tegen elkaar opgewogen worden. Dit zou dus slechts een mogelijke oplossing op lange termijn opleveren.

Andere politieke maatregelen worden besproken in punt VII.5.

d. Opmerking

Volgens R. Wit et al. (2004) kan heel het emissiehandelsysteem ontregeld worden als ook de niet-CO_2-emissies betrokken worden bij het EU-ETS. Daarom zou men zich in de nabije toekomst enkel moeten richten op de impact van CO_2-emissies op het klimaat. Zo kan de luchtvaartsector gemakkelijk geïntegreerd worden in het EU-ETS. Dit wordt vaak verantwoord door de neveneffecten van andere dan CO_2-emissies als kleinschalig te beschouwen. Ook volgens A. Andersen (2001) moet het emissiehandelsysteem (op korte

termijn) beperkt blijven tot CO_2-emissies omdat er nog te veel onzekerheden zijn rond de CO_2-equivalenten van de andere broeikasgassen.

e. Conclusie

De beste manier om de klimaatproblematiek efficiënt aan te pakken, is door deze zo snel mogelijk en als een geheel aan te pakken. Aangezien de CO_2-emissies van vliegtuigen slechts 37% deel uitmaken van al de broeikasgassen samen, zou het aanpakken van de klimaateffecten van de luchtvaartsector met een op CO_2-gebaseerd emissiehandelsysteem de ecologische efficiëntie beperken. Het is dus belangrijk om zo snel mogelijk de andere broeikasgassen bij het emissiehandelsysteem te betrekken. (A. Andersen; 2001).
In de bestaande emissiehandelsystemen wordt hiervoor gebruik gemaakt van het *Global Warming Potential*. Deze methode heeft echter enkele nadelen, waardoor deze niet als de ideale manier kan beschouwd worden. Er is een alternatief in de maak dat meer mogelijkheden biedt: *Global Temperature Potential*.

In afwachting van een goed alternatief voor het GWP, zou men deze grootheid moeten blijven gebruiken om de totale impact van de luchtvaart te benaderen. Om de gebreken hiervan te compenseren, kan men het GWP in combinatie met andere politiek maatregelen gebruiken[84].

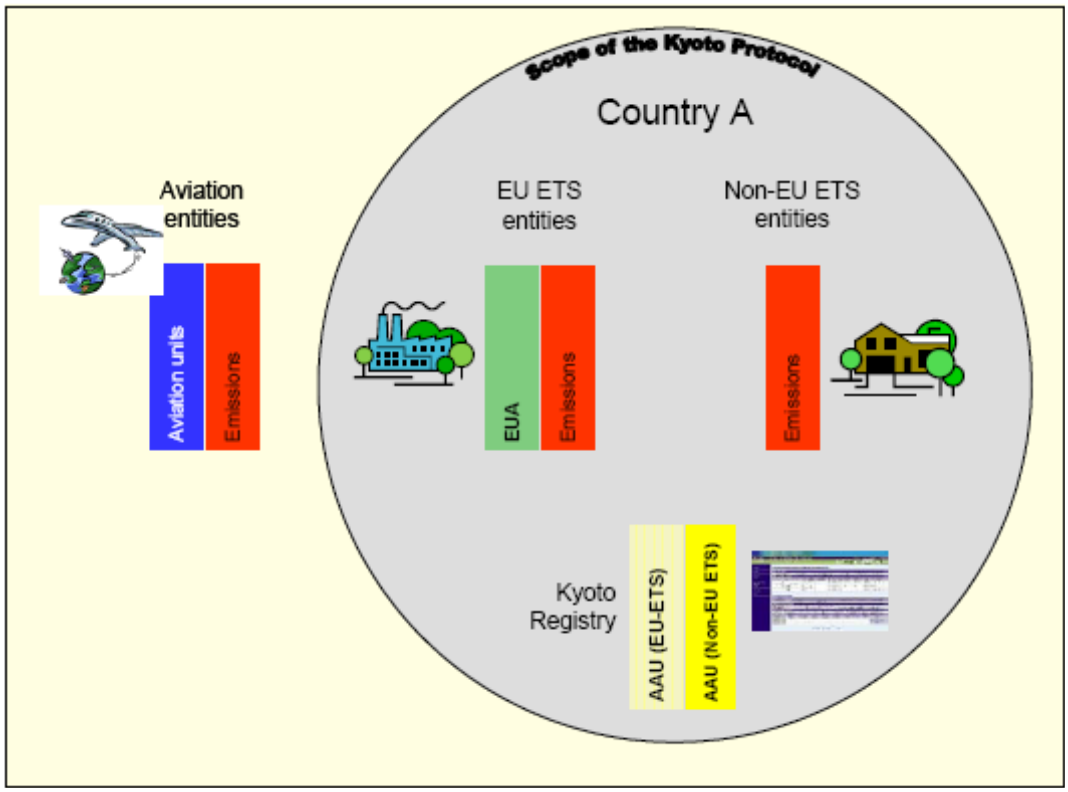
VII.4.2.3 Moeilijkheden bij de integratie in het EU-ETS

a. Probleemstelling

Door de internationale luchtvaart te implementeren in het EU-ETS en in het Verdrag van Kyoto, kunnen talrijke problemen ontstaan doordat de emissies van de internationale luchtvaart niet ondersteund worden door de toegewezen emissie-eenheden AAU's: de broeikasgasemissies t.g.v. de internationale luchtvaart worden, in tegenstelling tot de emissies van de binnenlandse vluchten, niet verdeeld onder het Verdrag van Kyoto (S. Cairns, C.

[84] Een combinatie van de opties b en c

Newson; 2006). De belangrijkste problemen rijzen waar verhandelbare emissie-eenheden van de luchtvaartsector zouden overgedragen worden naar sectoren die wel onder het EU-ETS vallen. (R. Wit et al.; 2005).



Figuur 27: De initiële situatie waarbij de luchtvaartsector zich buiten de schaal van het Verdrag van Kyoto bevindt (bron: R. Wit et al.; 2005).

Figuur 27 illustreert de initiële situatie bij het invoeren van een ETS voor de luchtvaart waarbij de luchtvaartsector buiten de reikwijdte van het Protocol van Kyoto ligt.

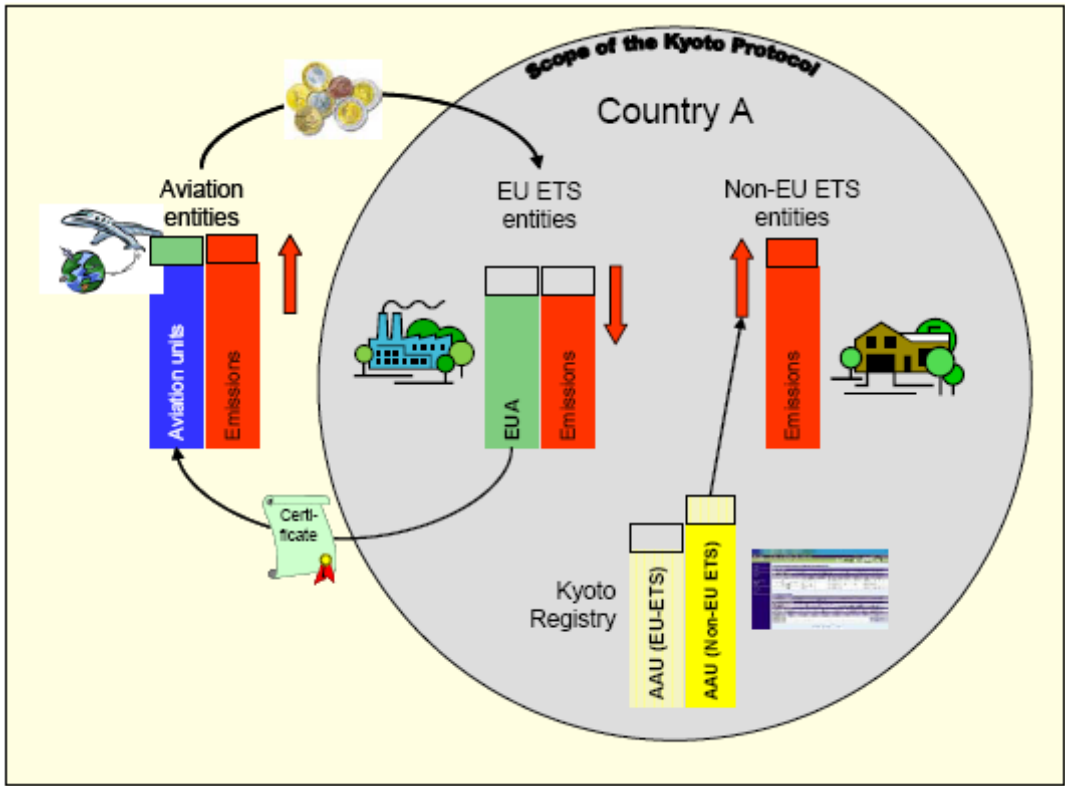
De deelnemende partijen van het EU-ETS krijgen EUA's[85] toegewezen. Deze emissierechten mogen tegen het einde van de *commitment*-periode niet overschreden worden.

De vliegtuigemissies zouden *aviation-units* toegewezen krijgen. Deze worden niet ondersteund door AAU's omdat deze emissierechten buiten het domein van Kyoto werden gecreëerd. Hierdoor kunnen de luchtvaartmaatschappijen deze 'niet-Kyoto emissierechten' niet ruilen met andere sectoren binnen het EU-ETS. (IACA e.a.; 2005).

[85] *European Union Allowances :* in sectoren die vallen onder het EU-ETS, worden de AAU's (onder het Verdrag van Kyoto) EUA's. Eens de EUA's de 'Kyoto-zone' verlaten, bestaan deze op zichzelf (als emissierecht onder het EU-ETS) en wordt die 'leegte' opgevuld door de AAU's (als emissierechten onder het Protocol van Kyoto).

De entiteiten die geen deel uitmaken van het EU-ETS[86] hebben geen emissierechten (EUA's), hoewel hun emissies wel gedekt worden door de AAU's van de desbetreffende lidstaten. (R. Wit et al.; 2005). Al de AAU's (deze voor het EU-ETS en voor de niet-EU-ETS) worden voor elk land geregistreerd in het Kyoto-register. (S. Cairns, C. Newson; 2006).

Als een EU-ETS-entiteit zijn emissies met 1 tCO_2e[87] heeft gereduceerd, kan deze één EUA-certificaat verkopen aan een entiteit van de luchtvaartsector. Figuur 28 stelt de situatie voor nadat één EAU door een EU-ETS-entiteit werd verkocht aan de luchtvaartsector.



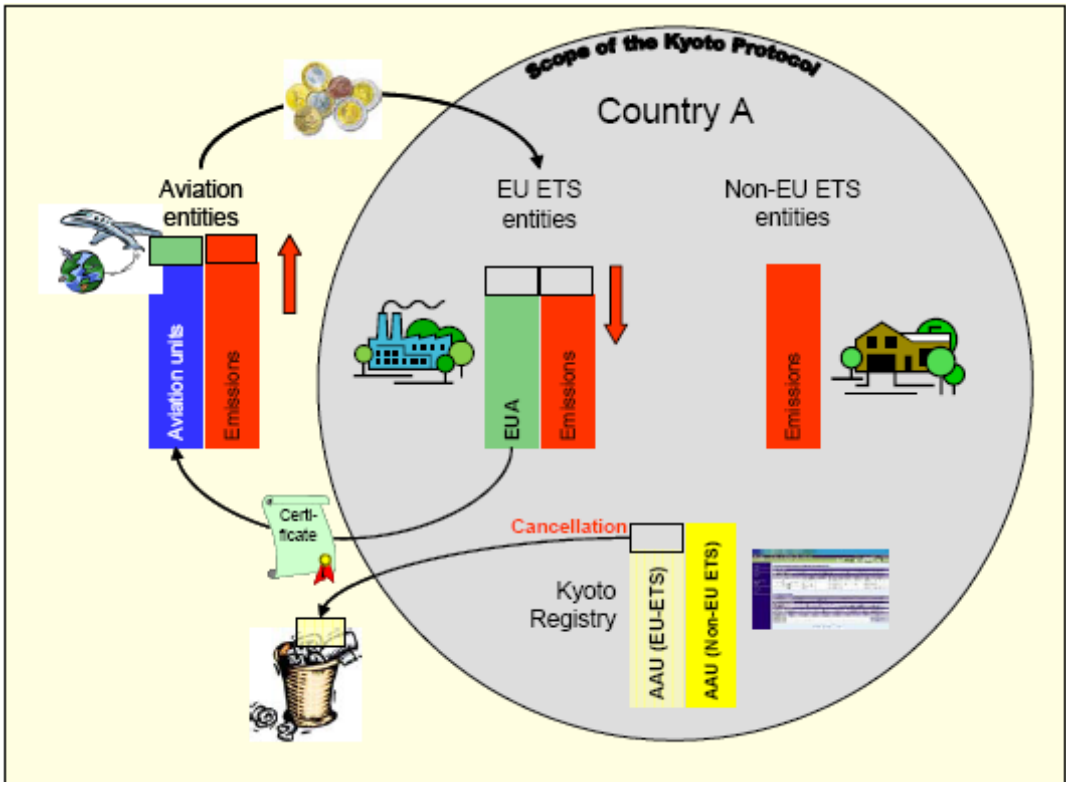
Figuur 28: Situatie waarbij de luchtvaartsector een emissierecht koopt van een EU-ETS-entiteit waarna het EAU vervangen wordt door een AAU (bron: R. Wit et al.; 2005).

Door dit EUA kan de luchtvaartsector, die buiten het bereik van het EU-ETS valt, één ton CO_2-equivalent meer uitstoten. Hierdoor heeft het betrokken land één extra AAU voor niet-EU-ETS-entiteiten in haar register. Deze kan gebruikt worden om de emissies van de niet-EU-ETS-entiteiten met 1 tCO_2e te laten toenemen. Dus dit komt er eigenlijk op neer dat er in

[86] Huishoudens, wegtransport, tertiaire sector
[87] één ton CO_2-equivalent

plaats van 1 tCO_2e nu 2 tCO_2e toegelaten zijn (één buiten de Kyoto-zone en één erbinnen), wat heel het systeem van emissieplafonds aantast.

Dit kan opgelost worden door die extra AAU te laten wegvallen. Figuur 29 illustreert hoe de situatie er dan zou uitzien. (R. Wit et al.; 2005).

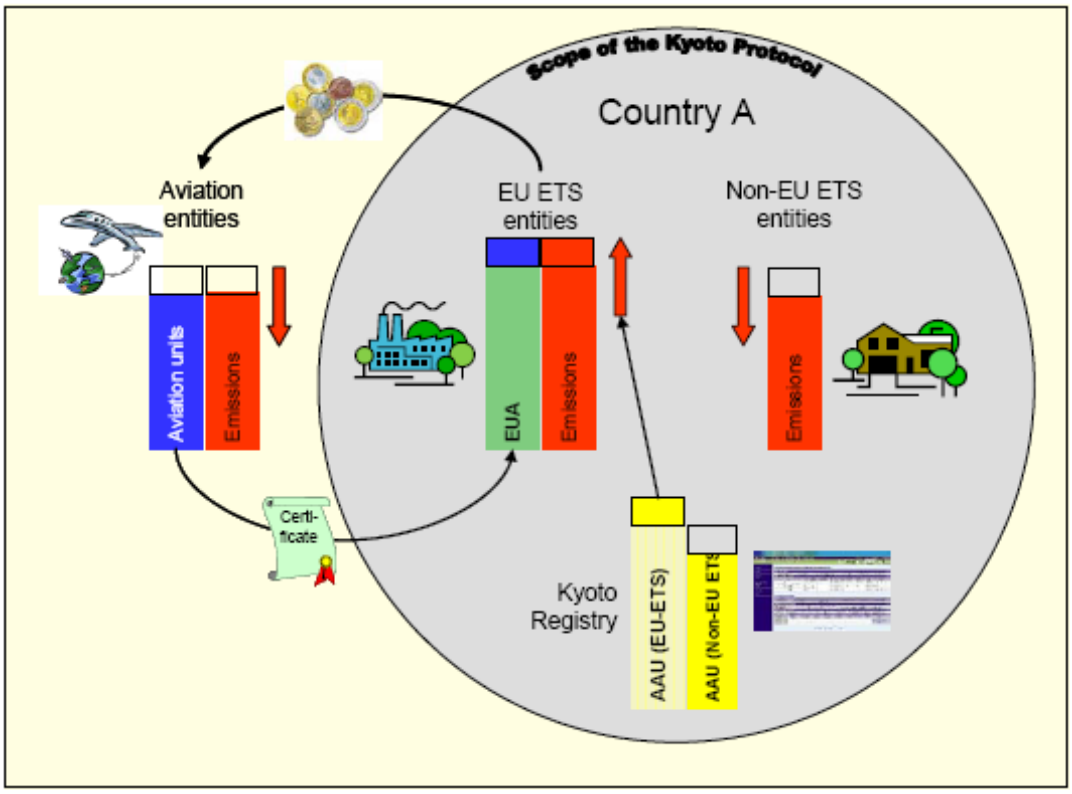


Figuur 29: Situatie waarbij de luchtvaartsector een emissierecht koopt van een EU-ETS-entiteit zonder dat het EAU vervangen wordt door een AAU. (bron: R. Wit et al.; 2005).

Door de verkochte EAU niet te vervangen door een AAU zal het emissieplafond niet aangetast worden.

In de omgekeerde richting zullen ook problemen ontstaan: als een luchtvaartentiteit haar emissies met 1 tCO_2e kan verminderen, zal ze één *aviation unit* verkopen. Zo een *unit* wordt noch door een AAU, noch door een EU-ETS-entiteit (EUA) gedekt. De EU-ETS-entiteit kan door de aankoop van zo een *aviation unit* 1 tCO_2e meer uitstoten. Om de emissies van de EU-ETS-entiteiten te dekken heeft het betrokken land een extra AAU nodig. Doordat *aviation*

units niet gedekt worden door AAU's kan een land de emissies van de EU-ETS-entiteiten slechts compenseren als het AAU's gebruikt van de niet-EU-ETS-entiteiten zodat deze laatste hun emissies met 1 tCO_2e moeten verminderen (figuur 30).



Figuur 30: Situatie waarbij een EU-ETS-entiteit een emissierecht koopt van de luchtvaartsector. (bron: R. Wit et al.; 2005).

Zolang dat de *aviation units* niet gedekt worden door AAU's, zullen de EU-ETS-entiteiten na de aankoop van een *aviation unit* meer mogen uitstoten, terwijl de entiteiten die geen deel uitmaken van het EU-ETS aan strengere emissienormen zullen moeten voldoen.

b. Mogelijke oplossingen

1. <u>Overzicht</u>

Om bovenstaande problemen te vermijden, werden enkele opties voorgesteld (R. Wit et al.; 2005):

1. *Schaalvergroting van het Verdrag van Kyoto*: kwantitatieve verplichtingen (AAU's) ook op de luchtvaartsector betrekken. (R. Wit et al.; 2005). Het is echter onwaarschijnlijk dat hiervoor een internationaal akkoord kan bereikt worden voor de eerste *commitment* periode, zodat dit ten vroegste in 2013 zal kunnen doorgevoerd worden. (S. Cairns, C. Newson; 2006).
2. *AAU's lenen van sectoren die niet door het EU-ETS systeem worden gedekt*: de luchtvaartsector kan, zonder enige beperking, emissierechten kopen van en verkopen aan andere sectoren die niet onder het EU-ETS vallen. Deze rechten worden aan het einde van de periode van verbintenis, teruggegeven, waardoor de verdeelde AAU's enkel geleend werden aan de luchtvaartsector. De AAU's zullen gebruikt worden om internationale luchtvaartmaatschappijen tijdelijk het recht te geven om te emitteren binnen de geografische schaal waarbinnen de AAU's gelden.
3. *Geen toewijzing van rechten aan de luchtvaartsector*: de luchtvaartsector moet al de rechten die nodig zijn om haar emissies te compenseren, kopen van andere sectoren. Er worden geen additionele emissierechten toegekend aan de vliegsector, zodat de emissiehandel in de luchtvaartsector enkel gebaseerd is op rechten van het EU-ETS en de AAU's.
4. *Verplichting om emissierechten te kopen voor de emissiegroei boven een limiet*: deze optie is te vergelijken met de bovenstaande met als enig verschil dat er slechts emissierechten moeten gekocht worden voor de emissiegroei t.o.v. een bepaald basisjaar of basisperiode.
5. *Half-open emissiehandel voor de luchtvaartsector*: de luchtvaartentiteiten krijgen emissierechten toegewezen. Daarnaast kunnen ze extra rechten kopen van andere sectoren. Ze kunnen echter geen rechten verkopen aan deze entiteiten.
6. *'Gateway' (handelsrestricties)*: de luchtvaartmaatschappijen krijgen emissierechten toegewezen. Ze kunnen additionele AAU's kopen van andere sectoren en kunnen ook rechten verkopen. Het aantal rechten dat zij mogen verkopen is echter beperkt tot de totale hoeveelheid rechten die de hele luchtvaartsector, gedurende de handelsperiode, heeft gekocht van andere sectoren. (R. Wit et al.; 2005). De luchtvaartmaatschappijen kunnen wel onderling de *aviation units* ruilen. Aangezien de meeste luchtvaartmaatschappijen emissierechten zullen kopen, is deze laatste optie van ondergeschikt belang: een markt functioneert slechts goed als er zowel kopers als verkopers zijn. In dit geval zijn de meeste luchtvaartmaatschappijen echter kopers. (IACA e.a.; 2005).

2. Bespreking en conclusie

De eerste optie zou alle handelsbeperkingen voorkomen omdat de AAU's ook voor de internationale luchtvaart zullen worden aangewend. Op die manier zal de luchtvaartindustrie op een gelijkaardige wijze behandeld worden als de sectoren die reeds onder het Verdrag van Kyoto vallen. Deze optie is slechts mogelijk op lange termijn omdat de *commitment*-periode van Kyoto nog loopt tot 2012. Tijdens de nieuwe onderhandelingen, i.v.m. een post-Kyoto beleid kan deze optie aangehaald worden. Ondanks dit minpunt verdient optie 1 de voorkeur. (IACA e.a.; 2005).

Optie 2, waarbij de emissierechten geleend worden, stimuleert de luchtvaartmaatschappijen om reductiemaatregelen te nemen: als een luchtvaartmaatschappij op het einde van de verbintenisperiode haar geleende emissierechten moet teruggeven, zullen ze deze rechten opnieuw moeten kopen in de daarop volgende periode. Het kan dus voordeliger zijn voor een luchtvaartmaatschappij om zelf reducerende maatregelen te nemen, in plaats van elke keer opnieuw nieuwe emissierechten te moeten kopen.

De opties die op milieu-vlak de meeste voorkeur verdienen zijn 3 en 4. In deze gevallen worden geen extra emissie-rechten 'gecreëerd' en moeten al de sectoren zelf extra maatregelen nemen om hun emissies te reduceren. Doordat het aantal emissierechten op de markt beperkt is, zal de vraag toenemen en dus ook de prijs. Vanuit economisch standpunt is dit geen optimale optie omdat de kosten hierdoor kunnen oplopen: het is vaak goedkoper om emissierechten te kopen dan zelf maatregelen te nemen.

Opties 5 en 6 leggen beperkingen op aan het aantal emissierechten dat de luchtvaartsector mag verkopen. Dit kan demotiverend werken voor deze sector: omdat de luchtvaartentiteiten geen emissierechten kunnen verkopen, zullen ze waarschijnlijk minder moeite doen om extra inspanningen te leveren om hun emissies te reduceren. Ze zullen hun emissies zodanig beperken dat ze zo weinig mogelijk emissierechten van andere sectoren moeten kopen. Verdergaande reductiemaatregelen zouden niet lonen, aangezien ze de zo verkregen emissierechten toch niet kunnen verkopen.

De opties 1 en 2 verdienen dus de meeste voorkeur. Aangezien de kosten hoger zullen oplopen bij de tweede optie, zal vanuit economisch standpunt geopteerd worden voor de eerste optie.

VII.4.2.4 Impact op de ticketprijzen

De prijs van de emissierechten wordt weerspiegeld in duurdere vliegtickets: hoe hoger de prijs van een emissierecht, hoe meer een vliegticket zal kosten. (A. Andersen; 2001).

a. Overzicht kosten

Als de luchtvaartsector wordt geïntegreerd in het EU-ETS, zal dit volgende kosten met zich meebrengen (R. Wit et al.; 2005):

- *Kosten van de geveilde emissierechten*[88]*:*

Bij een veiling zijn de kosten gelijk aan het product van het aantal geveilde emissierechten met de verrekeningskosten die samengaan met de veiling

- *Alternatieve kosten (opportunity costs):*

Als de rechten initieel gratis verdeeld worden, zullen deze rechten toch alternatieve kosten met zich meebrengen als ze gebruikt worden om de emissies van de luchtvaartoperator te dekken: doordat de eigenaar van de emissierechten deze zelf zal gebruiken om haar emissies te dekken, kan ze deze niet verkopen op de emissierechtenmarkt.

- *Kosten die gepaard gaan bij het nemen van reductiemaatregelen:*

In het EU-ETS zullen reductiemaatregelen genomen worden als deze goedkoper zijn dan de prijs van de emissierechten op de markt.

- *Kosten om emissierechten te kopen:*

De kosten van emissierechten zijn gelijk aan het product van het aantal gekochte rechten met de marktprijs.

- *Administratie- en transactiekosten:*

Het registreren, rapporteren en controleren van emissies en de handel ervan brengen kosten met zich mee.

[88] In het geval de initiële allocatie zal gebeuren door veiling (in plaats van bv. *grandfathering* of *benchmarking*).

b. Bespreking

Als de luchtvaartmaatschappijen deze extra kosten helemaal op zich zouden nemen (door hun winstmarges te verlagen) zullen de ticketprijzen onveranderd blijven. Zo blijft de vraag onveranderd. Luchtvaartoperatoren zullen echter meestal deze kosten wel doorrekenen aan hun klanten.
In de ideale situatie zullen al de luchtvaartmaatschappijen al de extra kosten volledig doorrekenen aan hun klanten. Zo een perfecte markt is echter een utopie. Vaak zullen maatschappijen de extra kosten voor een deel zelf voor eigen rekening nemen door hun winstmarges te verlagen om zo de negatieve impact van duurdere ticketprijzen op de vraag te matigen. Vooral chartermaatschappijen en goedkopere luchtvaartmaatschappijen (*low-cost carriers*) zullen wellicht zoveel mogelijk extra kosten opnemen in de ticketprijzen omdat hun winstmarges al erg laag zijn. (R. Wit et al.; 2005).

De extra kosten kunnen de concurrentiepositie van luchtvaartmaatschappijen aantasten: EU-vluchten vallen volledig onder het EU-ETS en dus zullen maatschappijen die voornamelijk in Europa actief zijn deze kosten niet kunnen spreiden. Niet-Europese luchtvaartmaatschappijen zullen vaak slechts een klein deel van hun activiteiten in Europa uitoefenen, waardoor een groot deel van hun vluchten niet onder het EU-ETS valt. De kostentoename door de vluchten die binnen Europa plaatsvinden kan dan gespreid worden over al de vluchten, waardoor per vlucht de prijstoename minder hoog is. Hierdoor hebben de niet-Europese luchtvaartmaatschappijen een steviger marktpositie dan de Europese luchtvaartmaatschappijen. Daartegenover staat echter dat de concurrentiepositie van niet-Europese vluchten op de niet-Europese markt zal afnemen doordat ze de extra kosten, horend bij de vluchten binnen de EU-ETS-zone, in de prijs doorrekenen, terwijl de niet-Europese maatschappijen die geen Europese bestemmingen hebben deze extra kosten niet moeten verwerken. (R. Wit et al.; 2005)

c. Invloed op de ticketprijzen

In de studie van A. Anderson worden de prijzen van de emissierechten geschat tussen de $ 25 en $ 50[89]. In een gesloten emissiehandelsysteem zou deze prijs oplopen tot $ 600 per ton CO_2.

[89] Dit komt ongeveer overeen met € 18 tot € 37.

Voor een reis van Londen naar New-York zou, in het geval van een open emissiehandelsysteem, de prijs van de tickets toenemen met $ 11 tot $ 21[90] per ticket (A. Andersen; 2001).
Het interval van de prijsstijgingen hangt af van de prijzen van de emissierechten en de gevlogen afstanden. (R. Wit et al.; 2005). Er wordt verwacht dat door deze prijsstijging de vraag naar luchttransport zal blijven toenemen, zij het aan een lagere snelheid: tegen 2008 zou de groeisnelheid van de vraag dalen met 0,1% en tegen 2012 met 2,1%. Op langere termijn (2017) zou het effect op de vraag gelijkaardig zijn als in 2012. (S. Cairns, C. Newson; 2006).

VII.4.2.5 Prijsstijgingen en gedrag luchtvaartmaatschappij

Als de luchtvaartmaatschappijen de kosten niet doorrekenen aan de klanten, zullen de emissierechten in de meeste gevallen gekocht worden van de andere sectoren. Als de kosten wel doorgerekend worden aan de klanten, zullen de emissiereducties vooral binnen de vliegtuigsector gerealiseerd worden zodat minder rechten van andere sectoren moeten gekocht worden. (R. Wit et al.; 2005).
Relatief 'brandstof-efficiënte' luchtvaartmaatschappijen zouden extra winst kunnen opstrijken als de stijging van de ticketprijzen groter is dan de stijging van de prijzen van de emissierechten. Dit zal vooral het geval zijn als de stijging van de ticketprijzen gedreven wordt door de kosten van de 'minder brandstof-efficiënte' luchtvaartmaatschappijen. (A. Andersen; 2001).

VII.4.2.6 Belangrijkste voordelen van de implementatie van de luchtvaartsector in het EU-ETS

Het betrekken van de luchtvaartsector in het emissiehandelsysteem heeft talrijke voordelen:

- Het sterkste punt van een emissiehandelsysteem is dat er zekerheid gecreëerd wordt omtrent de toekomstige emissies omdat deze niveaus bepaald worden door de bovengrenzen die in het systeem gelden. (A. Andersen; 2001).

[90] Ongeveer € 8 tot € 15.

- De emissiereducties kunnen bekomen worden aan de laagste kosten (punt VII.4.2.9). (A. Andersen; 2001).
- Doordat er reeds een emissiehandelsysteem bestaat (EU-ETS), moeten geen nieuwe regels opgesteld worden voor de uitwisseling van de emissierechten. (S. Cairns, C. Newson; 2006).
- Zoals in punt VI.1 werd besproken, gaan technologische maatregelen ter reductie van CO_2-emissies soms gepaard met een toename van NO_x-emissies. Door de luchtvaartsector te integreren in het EU-ETS, zal men echter niet te kampen krijgen met dit nadeel. De reden hiervoor is dat de reductie van het totale brandstofverbruik voor een groot deel zal te danken zijn aan maatregelen waarbij tegelijkertijd ook de NO_x-emissies zullen reduceren: operationele maatregelen (zie punt VI.2) en een afname van de vraag.

  Doordat technologische vernieuwingen in sommige gevallen zullen leiden tot een toename van NO_x-emissies, blijft het noodzakelijk om naast het EU-ETS ook nog andere politieke instrumenten te voorzien om de impact van vliegtuigen op het klimaat aan te pakken. (R. Wit et al.; 2005).
- Het implementeren van de luchtvaartsector in het EU-ETS is economisch efficiënter dan het introduceren van emissieheffingen (zie punt VII.5.1.3) omdat verwacht wordt dat (op korte termijn) het reduceren van emissies d.m.v. verbeterde efficiëntie, meer zal kosten voor de luchtvaart dan voor andere sectoren. De reductie van de luchtvaartemissies zal dus (vanuit kostenoverwegingen) vooral in de andere sectoren gerealiseerd worden. Hierdoor wordt de efficiëntie verbeterd: dezelfde reducties worden bekomen aan een lagere kost. (S. Cairns, C. Newson; 2006).
- De concurrentiepositie van de milieu-efficiënte luchtvaartmaatschappijen zou verstevigd worden t.o.v. deze van de niet-efficiënte luchtvaartmaatschappijen. (R. Wit et al.; 2005).
- Op korte termijn zouden de meeste emissiereducties plaatsvinden in de andere sectoren. Zo zullen de emissiereducties verspreid gebeuren. Op langere termijn zou het emissiehandelsysteem de luchtvaartsector ertoe verplichten zelf emissiereducties te realiseren. (S. Cairns, C. Newson; 2006).

VII.4.2.7 Belangrijkste nadelen van de implementatie van de luchtvaartsector in het EU-ETS

De implementatie van de luchtvaartsector in het EU-ETS kent ook een aantal belangrijke nadelen:

- De gemakkelijkste manier om emissiereducties in de luchtvaartsector te bekomen, is door deze reducties te realiseren in andere sectoren. Het is echter voor de andere sectoren ook niet gemakkelijk om hun emissies te beperken, waardoor het niet als vanzelfsprekend mag worden beschouwd dat deze sectoren emissies op overschot hebben. (S. Cairns, C. Newson; 2006).

- Door de emissiereducties te laten verwezenlijken door andere sectoren, zal de luchtvaartsector blijven groeien, tot de vraag zal aangetast worden. Als de groei van de luchtvaartsector vraagafhankelijk zou worden, zou het moeilijk om in de toekomst reductiedoelstellingen te halen, omdat het luchttransport onmisbaar zal geworden zijn in de nieuwe levensstijl. Daarom zou de vraag zo vlug mogelijk (bv. door prijsstijgingen) moeten beperkt worden. (S. Cairns, C. Newson; 2006).

- Indien de luchtvaartsector veel emissierechten zou kopen van andere sectoren, zou de prijs van de rechten in de andere sectoren enorm toenemen (schaarste). Daarom werd geopteerd voor een gesloten emissiehandelsysteem, enkel bestemd voor de luchtvaartsector (zie punt VII.4.2.9). (S. Cairns, C. Newson; 2006).

- Het zou investeringen in weinig-CO_2-intensieve technologieën ontmoedigen. De doelstelling om te streven naar een minder koolstofintensieve economie, zou op die manier worden ondermijnd. (M.M. Berk et al.; 2007).
- Doordat er via het EU-ETS vaak geen emissiereducties zouden worden gerealiseerd door de luchtvaartsector binnen de zes jaar[91], volstaat het niet enkel een beroep te doen op het EU-ETS. Er zullen ook andere maatregelen, zoals bijvoorbeeld operationele

[91] De luchtvaartmaatschappijen zullen wellicht eerst een financiële afweging maken tussen emissierechten kopen bij andere sectoren, en zelf reductiemaatregelen nemen. (S. Cairns, C. Newson; 2006). Als de emissierechten duur zijn, zullen ze zelf reductiemaatregelen nemen.

maatregelen, moeten genomen worden om de klimaatproblematiek efficiënt aan te pakken. (S. Cairns, C. Newson; 2006).

- Concurrentiepositie vliegtuigmaatschappijen

Als het emissiehandelsysteem enkel op Europees niveau zou geïmplementeerd worden, kan dit leiden tot concurrentieverstoringen, zowel binnen de luchtvaartsector als in andere sectoren: de positie van de Europese luchtvaartmaatschappijen kan aangetast worden door de niet-Europese maatschappijen (punt VII.4.2.4.b).
Door de luchtvaartsector te implementeren in het EU-ETS zal de groei van de sectormarkt vertragen doordat de prijzen zullen stijgen. Door de prijsstijgingen wordt de concurrentiepositie op de markt nog meer aangetast.
Het aandeel vluchten van niet-Europese luchtvaartmaatschappijen binnen het Europese handelsysteem blijft beperkt tot de vluchten van en naar een Europese bestemming. Enkel voor deze vluchten moeten zij emissierechten kopen. Deze luchtvaartmaatschappijen kunnen hun marktpositie nog versterken door voor deze vluchten nieuwe minder vervuilende vliegtuigen in te zetten. Een neveneffect is dat de routes die buiten het EU-ETS vallen nog kunnen bevlogen worden door minder efficiënte toestellen. (R. Wit et al.; 2005).

- Toeristische sector

Hogere ticketprijzen kunnen leiden tot een overschakeling naar een andere transportmodus, een verandering van het consumentenpatroon of een verandering van de keuze van de bestemming. (R. Wit et al.; 2005). Dit zou economische gevolgen kunnen hebben voor toeristische bestemmingen die sterk afhankelijk zijn van de luchtvaart (bv. eilandengroepen).

VII.4.2.8 Legaal kader

De EU beschikt over de legale basis om de luchtvaartsector te implementeren in het EU-ETS. Dit systeem zal enkel verplichtingen opleggen aan de luchtvaartmaatschappijen betreffende het vertrek en de aankomst van vliegtuigen binnen het Europees territorium. Dit betekent dat de luchtvaartmaatschappijen de mogelijkheid blijven hebben om te doen wat hen het beste lijkt: ze kunnen blijven uitstoten, als dit voor hen voordeliger uitkomt. De soevereniteit van de

staten wordt niet aangetast: de landen mogen zelf een beleid uitstippelen. Zo kunnen landen nog steeds zelf beslissen of ze bijvoorbeeld al dan niet landingstaksen zullen invoeren. (R. Wit et al.; 2005).

VII.4.2.9 Gesloten emissiehandelsysteem

Een open emissiehandelsysteem is de meest kostenefficiënte manier om de klimaatproblematiek aan te pakken: de emissiereducties zullen meestal bekomen worden buiten de luchtvaartsector omdat dit de minste kosten met zich meebrengt. Het is namelijk vaak goedkoper om emissierechten te kopen dan om zelf emissiereducerende maatregelen te nemen. Op die manier worden de totale kosten van het systeem gedrukt. De luchtvaartsector zal in zo een systeem een 'netto-koper' zijn: uit economische analyses is gebleken dat de luchtvaartsector 90% van haar emissiedoelstellingen van een andere sector koopt. (A. Andersen; 2001).
Als de luchtvaartsector zou worden geïntegreerd in het EU-ETS, zou het grootste deel van de reducties bekomen worden door andere sectoren omdat dit de minste kosten voor de luchtvaartmaatschappijen met zich meebrengt (S. Cairns, C. Newson; 2006).

Om een effectieve emissiereductie binnen de luchtvaartsector zelf te bekomen, zou het beter zijn om een 'gesloten emissiehandelsysteem' op te richten, dat enkel bedoeld is voor de luchtvaartsector. (S. Cairns, C. Newson; 2006). De reden hiervoor is dat de luchtvaartmaatschappijen dan geen emissierechten zullen kopen bij andere sectoren, zodat de emissiereducties (door technologische, beheers- en operationele maatregelen) in de luchtvaartsector zelf zullen moeten gebeuren. (S. Cairns, C. Newson; 2006).
De prijzen van de emissierechten in een gesloten systeem zouden tien tot twintig keer hoger zijn dan in een open systeem: tot $ 600 per ton CO_2 (VII.4.2.4). Als gevolg hiervan zou de invloed van een gesloten systeem op het transportvolume groter zijn dan in een open systeem. Ook de vraag zal sterker beïnvloed worden als deze hoge kosten worden doorgerekend aan de klanten. (A. Andersen; 2001).

Een gesloten emissiehandelsysteem zou dus veel betere resultaten kunnen opleveren op vlak van milieu. Vanuit economisch standpunt is deze optie echter te duur.

VII.4.2.10 Toekomstperspectief

a. Uitbreiding schaal - Globale aanpak?

Uitgaande van de veronderstelling dat de luchtvaartsector feilloos kan worden geïmplementeerd in het EU-ETS, kan de vraag gesteld worden hoe dit systeem kan geherorganiseerd worden zodat de doeltreffendheid op milieuvlak kan geoptimaliseerd worden, zonder concurrentieverstoringen te veroorzaken.
Een mogelijkheid is om al de emissies die uitgestoten worden op internationale routes tussen landen die het Protocol van Kyoto hebben geratificeerd, te integreren in een uitgebreider emissiehandelsysteem. Voorwaarde hierbij is wel dat deze landen willen deelnemen aan het EU-ETS.
Voor de EU zou dit betekenen dat, naast de emissies van binnenlandse en intra-EU-vluchten, ook de emissies die vrijkomen op routes tussen een EU-lidstaat en een derde land, door het systeem zullen worden gedekt (op voorwaarde dat dit land ook het Kyoto protocol heeft ondertekend). Zo een route-systeem zou niet-discriminerend zijn, wat wil zeggen dat al de luchtvaartmaatschappijen die een bepaalde route bevliegen (onafhankelijk van de nationaliteit) op dezelfde manier zullen behandeld worden.
In de praktijk zal het echter moeilijk zijn om derde landen ervan te overtuigen deel te nemen aan het systeem[92].
Als het emissiehandelsysteem zich in de toekomst uitbreidt, dan is het het meest waarschijnlijk dat de landen die Kyoto hebben geratificeerd het meest zullen gemotiveerd zijn om eraan deel te nemen. (R. Wit et al.; 2004).

Het centraliseren en harmoniseren van het proces van vaststelling van het EU-ETS-plafond en van de allocatieregels voor ETS-installaties, kan concurrentieverstoringen en andere nadelige effecten die voorkomen uit een nationaal georiënteerd allocatieproces, verminderen. Dit betekent echter een verschuiving van competenties van nationaal naar EU-niveau wat een grote verandering is vergeleken met de huidige situatie. Door in de periode direct na 2012 een tussenoplossing te voorzien waarbij een aantal onderdelen[93] van het allocatieproces worden

[92] Deze landen zouden er eerst van moeten overtuigd worden om het Verdrag van Kyoto te ratificeren.
[93] Het vaststellen van een EU-breed plafond voor het ETS als geheel of het volledig harmoniseren van rechten en allocatieregels voor nieuwe toetreders, terwijl andere delen overgelaten worden aan nationale besluitvorming of onderworpen worden aan een geleidelijk proces van toenemende harmonisatie van allocatieregels in de handelsperiode na 2012. (M.M. Berk et al.; 2007).

gecentraliseerd, kan men deze verandering geleidelijk aan laten gebeuren. (M.M. Berk et al.; 2007).

Momenteel wordt er nog een onderscheid gemaakt tussen binnenlandse en internationale vluchten. Het afzonderlijk bijhouden van de vlieggegevens brengt een grote administratieve last met zich mee. Bij de invoering van een emissiehandelsysteem, kunnen ook de binnenlandse vluchten daardoor gedekt worden (IACA e.a.; 2005), waardoor het in de toekomst niet meer nodig zal zijn om een onderscheid te maken tussen de internationale en de binnenlandse vluchten. Hierdoor de administratie kan vereenvoudigd worden.

b. Ontwikkelingslanden

De doelstelling van het UNFCCC is het stabiliseren van de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer. De vraag die hierbij rijst is wie maatregelen moet nemen en hoeveel moet gereduceerd worden.
Volgens het UNFCCC zouden de industrielanden het voortouw moeten nemen. Dit blijkt ook duidelijk uit het Verdrag van Kyoto waar de industrielanden (Bijlage I-landen) gekwantificeerde reductiedoelstellingen opgelegd gekregen hebben. Er wordt verwacht dat ontwikkelinglanden snel zullen volgen. (B. Brouns et al.; 2006)
De deelname van ontwikkelingslanden zou leiden tot betere (milieu)resultaten en zou de competitieve storingen tussen de luchttransportindustrieën afzwakken: (afhankelijk van de allocatiemethode) zullen op een bepaalde vliegroute sommige luchtvaartmaatschappijen (die onder het EU-ETS vallen) hun emissies moeten compenseren, terwijl andere gespaard blijven van deze kosten. Als al de luchtvaartmaatschappijen aan dezelfde regels zouden worden onderworpen, kunnen concurrentieverstoringen vermeden worden. (A. Andersen; 2001).

Tussen het Noorden en het Zuiden bestaan grote verschillen. Deze uiten zich in volgende drie punten (M.G.J. den Elzen et al.; 2006):

- *verantwoordelijkheid:* wie wordt verantwoordelijk gesteld voor de vervuiling?
- *bekwaamheid:* in welke mate kan een land reductiemaatregelen nemen en betalen?

- *potentieel:* welke kansen heeft een land om de broeikasgasemissies te reduceren? Dit hangt af van de emissieconcentraties en van de emissies per individu.[94]

De gedifferentieerde verantwoordelijkheid van de geïndustrialiseerde en ontwikkelinglanden moet dus zeker in de toekomst blijven bestaan. Dit is een grote uitdaging in de luchtvaartsector aangezien het om een erg competitieve markt gaat waarin de vooruitgestreefde ontwikkelingslanden een aanzienlijk marktaandeel hebben. De schuldenlasten van de verschillende luchtvaartmaatschappijen op dezelfde route kunnen tot concurrentieverstoringen leiden. (O. Deuber, J. Graichen; 2007).

Om rekening te houden met de verschillende ontwikkelingsfasen van de verschillende landen kan geopteerd worden voor een *no-lose*-doelstelling. Deze wordt opgesteld voor ontwikkelingslanden. Het gaat om niet-bindende doelstellingen. Als de landen hun *no-lose*-doelstellingen gehaald hebben, kunnen ze hun emissiereducties die de doelstellingen overstijgen, verkopen. Op die manier worden de minder ontwikkelde landen aangezet om inspanningen te leveren. (O. Deuber, J. Graichen; 2007).

Er wordt verwacht dat in de post-2012 politiek al de geïndustrialiseerde landen absolute emissieplafonds zullen toegewezen krijgen. Deze zorgen er namelijk voor dat de groei van de sector binnen (opgelegde) grenzen blijft en bieden de meeste zekerheid wat betreft het halen van de doelstellingen. De ontwikkelingslanden zullen relatieve doelstellingen opgelegd krijgen.
Een belangrijke vraag die in deze context moet gesteld worden, is of de luchtvaartsector op dezelfde manier als de andere sectoren van een (geavanceerd) ontwikkelingsland mag/kan behandeld worden. De concurrentiepositie en ontwikkelingsfase van de luchtvaartsector en deze van de nationale economie komen immers vaak niet overeen. (O. Deuber, J. Graichen; 2007).

VII.4.2.11 Sancties

Als luchtvaartmaatschappijen zich niet aan de regels van het emissiehandelsysteem houden of als ze zich niet houden aan hun verbintenis, moeten ze gesanctioneerd worden. Deze sancties

[94] Hoe economisch efficiënter een land is (weinig CO_2-emissies per eenheid BNP), hoe moeilijker het zal zijn om reductiemaatregelen te nemen. (B. Brouns et al.; 2006)

moeten voldoende streng zijn zodanig dat ze de voordelen van het niet nakomen van de verplichtingen, overtreffen. Te lichte straffen zou aanzetten tot *free-riding* en dit ten koste van de deelnemers die zich wel aan hun verplichtingen houden.
Het kan gaan om finaciële straffen, het verbeurd verklaren van emissierechten en het uitsluiten van de emissiehandel gedurende een bepaalde periode. (A. Andersen; 2001).

VII.4.2.12 Conclusie

Een emissiehandelsysteem kan helpen in de strijd tegen de negatieve klimaatimpact t.g.v. de internationale luchtvaartsector. De verantwoordelijken voor de uitstoot worden met een naam genoemd (VII.4.2.2.c), de vooropgestelde emissiebovengrenzen worden met zo weinig mogelijk kosten gehaald en de vraag wordt beïnvloed.
Door zo veel mogelijk landen en/of regio's bij een emissiehandelsysteem betrekken, kan een beter resultaat bekomen worden. Daarom moet nagegaan worden hoe de (geografische) schaal van het EU-ETS in de toekomst kan uitgebreid worden.

Bij het toewijzen van de emissierechten worden de luchtvaartmaatschappijen of de brandstofleveranciers gezien als ideale partijen. In het geval dat de brandstofleveranciers verantwoordelijk zouden worden gesteld voor de emissies, moeten wel de *tankering*-praktijken ontmoedigd worden.

Een belangrijk voordeel van het EU-ETS is dat (in de toekomst) ook de andere dan CO_2-emissies kunnen aangepakt worden. Dit is erg belangrijk als men de klimaatproblematiek op een efficiënte manier wil oplossen. In de bestaande emissiehandelsystemen wordt gebruik gemaakt van het GWP. Aangezien deze grootheden enkele tekortkomingen heeft, moet gezocht worden naar een andere manier om de klimaatimpact van alle vliegtuigemissies te achterhalen. Er is een alternatief in de maak (GTP), maar deze zit nog in haar ontwikkelingsfase. Doordat het geschikte instrument om de totale impact te berekenen nog niet beschikbaar is pleiten sommige auteurs[95] ervoor om in afwachting daarvan het EU-ETS enkel te betrekken op de CO_2-emissies. Dit is echter een misvatting omdat, als men de klimaatproblematiek efficiënt wil aanpakken en wil vermijden dat de situatie onomkeerbaar

[95] R. Wit et al. (2004) en A. Andersen (2001)

wordt, een snelle en volledige aanpak nodig is. Daarom kan geopteerd worden om ondertussen gebruik te maken van het GWP in combinatie met politieke maatregelen die de andere effecten aanpakken.

Een bedenking bij een emissiehandelsysteem is het ethische aspect: de problemen worden verschoven. Als een land veel uitstoot, kan het steeds terecht op de emissiemarkt om emissierechten te kopen, in plaats van zelf inspanningen te doen. Dit komt omdat de aankoop van emissierechten vaak goedkoper is dan zelf maatregelen ter reductie van emissies te nemen. Op die manier zal een land bijna onleefbaar worden door de vele emissies, terwijl het toch haar milieudoelstellingen kan halen. Toegepast op de luchtvaartsector leidt dit tot dezelfde conclusie: hoewel de impact van vliegtuigen op het klimaat erg groot is (punt IV), zal deze sector er zelf weinig aan doen zolang zij de kans heeft emissierechten te kopen.
Om betere resultaten te bekomen zou het nuttig kunnen zijn een schaarste op de markt te creëren: als er weinig emissierechten beschikbaar zijn, zullen deze duur worden. Hierdoor zullen de ‘vervuilers’ ertoe aangezet worden zelf emissiereducerende maatregelen te nemen. Dit zou kunnen gerealiseerd worden door het invoeren van een gesloten emissiehandelsysteem, dat enkel handel van emissierechten binnen de luchtvaartsector toelaat. Dit is vanuit economisch standpunt echter niet de ideale oplossing omdat deze optie hoge kosten met zich mee zou brengen.

Het integreren van de luchtvaartsector in het EU-ETS kan dus verschillende voordelen geven, maar zal ook leiden tot een vorm van gemakszucht. Daarom is het belangrijk dat dit niet als enige oplossing voor de klimaatproblematiek gezien wordt. Naast het emissiehandelsysteem, moeten ook de niet-politieke maatregelen gepromoot worden en ook andere politieke maatregelen zoals taksen (punt VII.5) zouden moeten ingevoerd worden.

VII.5 Andere politieke instrumenten

De implementatie van het emissiehandelsysteem blijkt een goede methode te zijn om de klimaatproblematiek die de luchtvaartsector veroorzaakt, aan te pakken, zij het in combinatie met andere politieke instrumenten (bv. om de niet-CO_2-effecten aan te pakken). In punt VII.4.2.2.c werden reeds enkele politieke instrumenten besproken.

Hieronder volgt een bespreking van de belangrijkste maatregelen die op de politieke agenda liggen.

VII.5.1 Taksen en heffingen

VII.5.1.1 Inleiding

In artikel 24 van de Conventie van Chicago (1944) staat dat het (nationaal) luchtruim vrij moet zijn en dat het geen recht mag geven op een taks. Er mogen dus geen brandstoftaksen geheven worden op vluchten voor internationaal transport.

De hoofddoelstelling van het invoeren van taksen is het verzekeren van de internalisatie van externe kosten van de verleende diensten. In het geval van milieuheffingen moet de vervuiler de kosten van de vervuiling betalen[96]. (S. Fitz-Gibbon et al.; 2003). Door deze kosten te internaliseren, kan de vraag beïnvloed worden. (L. Maurice et al.; 2005).
Daarnaast hebben taksen ook een effect op technologische vernieuwingen: door het invoeren van taksen wil men de emissies beperken door het product te belasten, waardoor de overheid een invloed uitoefent over de kwantiteit aan emissies. Door de hoeveelheid van een bepaald product te beperken, worden ook de emissies beperkt. (J. De Mulder, F. Maes; 2007). Bijvoorbeeld het belasten van brandstoffen zal de aanzet geven tot het ontwikkelen van zuiniger motoren of tot minder of efficiënter vliegen, omdat op die manier minder brandstof zal verbruikt worden.

[96] Het ‘vervuiler betaalt’-principe

VII.5.1.2 Brandstoftaksen

De brandstoftaksen kunnen de klimaatsverandering t.g.v. de luchtvaart aanpakken (IACA e.a.; 2005): door het invoeren van kerosinetaksen zullen de brandstofprijzen stijgen en kan de vraag van de luchtvaartsector beïnvloed worden[97]. (M. Evans; 2005).
De inkomsten van de taksen zouden kunnen gebruikt worden om milderende maatregelen te nemen. Dit kan echter niet gegarandeerd worder waardoor brandstoftaksen weinig voorkeur verdienen. (IACA e.a.; 2005).

Een probleem dat zich stelt is welke routes/vluchten moeten getakseerd worden. Het takseren van al de routes/vluchten vertrekkend vanuit Europa, zou veel efficiënter en minder concurrentieverstorend werken dan het takseren van enkel de intra-EU-routes omdat zo een groter deel van de emissies kan gedekt worden.
Een andere vraag is of enkel de Europese luchtvaartmaatschappijen zo een taks moeten betalen, of ook de niet-EU-maatschappijen die gebruik maken van het Europese luchtruim. Om spanningen te vermijden moet aan de basis van zulke internationale aangelegenheden, een internationaal akkoord liggen.
De belangrijkste vraag is echter hoe hoog de taks moet zijn opdat deze de vraag effectief kan beïnvloeden. (A. Warren; 2005).

Er werden reeds verschillend standpunten ingenomen rond brandstoftaksen. M.J. Haese beweert dat door het heffen van taksen op kerosine slechts een minimale emissiebeperking kan verwezenlijkt worden, terwijl de Europese luchtvaartindustrie hierdoor op concurrentieel en economisch vlak zal benadeeld worden. Ook M. Evans (2005) beschouwt het als een niet-effectief economisch instrument omdat deze taksen de schadelijke emissies niet efficiënt aanpakken: de prijsverhoging van de brandstof heeft geen rechtstreeks effect op de uitstoot van de toestellen. Hij nuanceert zijn mening echter door te stellen dat de groei van de luchtvaartsector door het heffen van deze taksen zou geremd worden. A. Warren (2005) daarentegen, ziet brandstoftaksen als een eenvoudige en logische oplossing in het debat rond duurzame luchtvaart.

[97] Dit effect zal bij een beperkte belasting echter niet zo groot zijn als dit van de stijgende brandstofprijzen. Als de brandstofprijzen op het huidige niveau blijven, komt er vanzelf druk op de luchtvaartindustrie om de brandstofefficiëntie te verbeteren. Hierdoor zullen ook de emissies verminderen. (M. Evans; 2005).

Een bijkomend verschijnsel van kerosinetaksen is het potentieel aanmoedigen van *tankering* waarbij men de taksen tracht te omzeilen door meer brandstof te tanken dan nodig is voor de vlucht, zodat de resterende brandstof kan gebruikt worden voor de volgende vlucht. Bij introductie van een brandstoftaks, zullen de luchtvaartmaatschappijen meer brandstof tanken in luchthavens waar de brandstof niet belast is. Door deze handelingen zou de economische efficiëntie van brandstoftaksen sterk achteruitgaan (tussen 5 en 20%). (A. Warren; 2005). Ook zou de impact op het milieu hierdoor zelfs kunnen versterkt worden aangezien het vliegtuig zwaarder zal geladen zijn door de extra brandstof en dus meer zal verbruiken. (S. Cairns, C. Newson; 2006).

VII.5.1.3 Emissieheffingen

Emissieheffingen zijn een alternatief voor brandstoftaksen. De omvang van de heffingen zal de efficiëntie ervan bepalen. (S. Cairns, C. Newson; 2006). De hoogste heffingen worden in principe toegewezen aan de meest vervuilende vliegtuigen. (S. Fitz-Gibbon et al.; 2003). Doordat op de minder vervuilende vluchten minder taksen worden geheven, zullen deze taksen de aanzet geven om maatregelen ter reductie van emissies te treffen.
Emissieheffingen zouden kunnen geïmplementeerd worden op EU-niveau zodat al de vliegtuigmaatschappijen die Europese luchthavens[98] aandoen deze moeten betalen. (S. Cairns, C. Newson; 2006).
Als de vliegtuigmotoren CO_2-efficiënter worden gemaakt, zou dit gepaard gaan met een toename aan NO_x-emissies. Het is dus moeilijk om NO_x-emissies op technologische wijze te reduceren. Daarom zijn andere maatregelen nodig om deze emissies te betrekken in het klimaatbeleid. Hierbij kunnen emissieheffingen de oplossing bieden.

VII.5.1.4 Belasting op de toegevoegde waarde (BTW)

BTW staat voor *Belasting op de Toegevoegde Waarde*. Het is een omzetbelasting die een overheid heft op de levering van goederen en diensten en dus betaald wordt door de

[98] Ook de niet-Europese luchtvaartmaatschappijen

consument. Deze taks wordt momenteel niet betaald op vliegtuigtickets. Door deze te heffen op vliegtickets, zou het principe van 'de vervuiler betaalt' geïmplementeerd kunnen worden in de luchtvaartsector en kan de vraag beïnvloed worden. (S. Cairns, C. Newson; 2006).
Doordat er geen directe link bestaat tussen het takseren van vliegtickets en het brandstofverbruik, zal een taks op vliegtickets de luchtvaartmaatschappijen onvoldoende kunnen motiveren om hun emissies te beperken. Door BTW te heffen op de tickets wordt geen voordeel geleverd aan de 'schone' luchtvaartmaatschappijen. Het enige effect dat met deze taks kan bekomen worden is een afname van de vraag.
Volgens J. Giblin (2005) zou het heffen van BTW op vliegtickets dezelfde effecten op de vraag als brandstoftaksen, maar op vlak van emissiereducties scoort de brandstoftaks beter.
Terwijl de economische kosten van zo een BTW dezelfde zijn als deze bij brandstoftaksen, zijn de resultaten op vlak van milieu slechter. (J. Giblin; 2005).
Het heffen van een brandstoftaks is dus geen goede manier om de CO_2-uitstoot te reduceren.
Doordat BTW-percentages per land verschillen, is deze optie trouwens niet eerlijk: in een land waar dit percentage hoog is, zal de prijsstijging van een ticket hoger zijn dan in een land waar de BTW lager is.

VII.5.1.5 Landingstaksen

Een luchtvaartmaatschappij moet taksen betalen om te mogen landen op een bepaalde luchthaven. (http://www.shellharbour.nsw.gov.au, 2007). De landingstaksen zijn doorgaans afgestemd op de grootte van het vliegtuig en hangen soms af van de uitstoot van NO_x en koolwaterstoffen van het landend vliegtuig (Vier federaties, 2006).
Ze beïnvloeden de prijs van het vliegen en kunnen dus de vraag beïnvloeden. Daarnaast kunnen ze de vliegtuigmaatschappijen ertoe aanzetten om te investeren in vliegtuigen met een beperkte uitstoot[99].
Landingstaksen zijn niet echt geschikt om al de klimaatseffecten van de luchtvaart aan te pakken (bv.condensatiesporen). Ze kunnen wel de luchtvaartmaatschappijen ertoe aanzetten om hun vliegtuigen zo optimaal mogelijk te benutten[100]. Door het heffen van landingstaksen

[99] Weinig vervuilende vliegtuigen zullen minder landingstaksen moeten betalen dan meer vervuilende vliegtuigen.
[100] Bv. als de vliegtuigen volgeladen zijn, zullen er minder vluchten moeten ingezet worden, waarmee ook het aantal landingstaksen afneemt.

worden, net zoals bij de emissieheffingen, ook de andere emissies dan CO_2 betrokken in het klimaatbeleid.

VII.5.1.6 Taksen versus emissiehandelsysteem

Zowel de invoering van taksen als van een emissiehandelsysteem zullen de luchtvaartmaatschappijen er nog sterker [101] toe aanzetten om te investeren in meer branstofefficiënte vliegtuigen. (M. Evans; 2005).
Bij een emissiehandelsysteem moet de totale vervuiling onder een vooraf vastgesteld plafond blijven. Doordat de individuele vervuilers twee opties hebben, nl. zelf reduceren of op de markt emissierechten kopen, kunnen ze hun kosten optimaliseren. Daarom is het voor de maatschappij als geheel efficiënter om de CO_2-emissies te controleren via een prijzenmechanisme (emissiehandelsysteem) dan via taksen. (J. De Mulder, F. Maes; 2007).

VII.5.1.7 Bespreking en conclusie

Het heffen van taksen kan helpen bij de reductie van broeikasgasemissies van de internationale luchtvaart. Dit effect zal echter beperkt blijven.
De grootste problemen die rijzen bij deze politieke instrumenten, zijn dat taksen kunnen leiden tot concurrentieverstoringen en dat ze kunnen omzeild worden als ze niet consequent worden toegepast.
Tankering is bijvoorbeeld een manier waarop taksen kunnen vermeden worden. Indien men dit wil vermijden moet de taksatie dus overal op eenzelfde, homogene manier gebeuren.
Als het invoeren van taksen zou beperkt blijven tot het Europese niveau, zullen de luchtvaartmaatschappijen die vluchten uitvoeren binnen Europa steeds benadeeld worden t.o.v. de luchtvaartmaatschappijen die voornamelijk vluchten uitvoeren buiten Europa. Dus om de werking van de taksen efficiënter en minder concurrentieverstorend te laten verlopen, moeten deze globaal op dezelfde manier worden ingevoerd. Op die manier zullen ze ook de grootste doeltreffendheid hebben aangezien praktijken zoals *tankering* op die manier niet meer aangemoedigd zouden worden.

[101] Door de steeds hogere brandstofprijzen zullen de luchtvaartmaatschappijen zich (zelfs als geen taksen geheven worden) genoodzaakt zien om te investeren in brandstofefficiëntere vliegtuigen.

Een ander belangrijk neveneffect van taksen is dat op bestemmingen, die bereikbaar zijn met andere transportmodi dan vliegtuigen, een competitief voordeel zullen halen uit de maatregel, terwijl de bestemmingen die enkel bereikbaar zijn via luchttransport het tegenovergestelde affect zullen ondervinden. (CEC; 2005c).

Taksen (op niet-CO_2-emissies), niet-politieke maatregelen en een emissiehandelsysteem kunnen als complementair beschouwd worden in de strijd tegen het broeikaseffect. Taksen kunnen de neveneffecten van technologische vernieuwingen [102] aanpakken en zijn (in afwachting dat het EU-ETS al de klimaateffecten t.g.v. de luchtvaart kan aanpakken) een goede aanvulling op het emissiehandelsysteem.
Taksen en een emissiehandelsysteem beïnvloeden alletwee de vraag op hun eigen manier en motiveren de luchtvaartmaatschappijen om te investeren in schonere vliegtuigen.
Elk afzonderlijk volstaan de verschillende instrumenten niet om de milieuproblematiek op een efficiënte manier aan te pakken. Ze kunnen elkaar wel goed aanvullen, wat een motivatie is om zowel beide politiek-economische instrumenten als niet-politieke maatregelen in te voeren in het toekomstige luchtvaartbeleid[103].

VII.5.2 Andere marktgebaseerde instrumenten

Naast de bovenstaande (belangrijkste) maatregelen, kunnen voor de luchtvaartsector ook volgende initiatieven genomen worden (Green Paper, 2007):

a. Afschaffen van 'klimaatonvriendelijke' subsidies
b. Technologische standaarden[104]
c. Investeren in R&D

Deze zouden eveneens een aanvulling kunnen zijn op de overige maatregelen in het (toekomstige) klimaatbeleid.

[102] Motoren met een lager verbruik, stoten minder CO_2 uit, maar meer NO_x.
[103] Naast niet-politieke maatregelen
[104] Door het opleggen van strenge technologische standaarden, kan ervoor gezorgd worden dat erg vervuilende vliegtuigen uit de vloot worden geweerd.

VIII. CONCLUSIE

De opwarming van de Aarde is vandaag meer dan ooit actueel. De symptomen worden elk jaar duidelijker: het afsmelten van gletsjers en ijskappen en de extreme weersomstandigheden verschijnen dagelijks in het nieuws.

Men is lang blijven ontkennen dat deze *global warming* zou veroorzaakt worden door de mens, maar de laatste jaren is daarin verandering gekomen. Cijfers vormen het ontegensprekelijke bewijs dat de temperatuurstijging 'abnormaal' snel gaat in vergelijking met de klimaatcycli die de Aarde in haar bestaansgeschiedenis onderging. Anderzijds mogen we niet ontkennen dat de cyclische processen van de natuur, zoals de zonne-activiteit en de Milankovitch-cyclus, ook een niet te verwaarlozen rol spelen bij de temperatuurbepaling van de planeet. De stijgende temperatuur is dus zowel te wijten aan natuurlijke als aan antropogene invloeden, maar de mens heeft enkel een invloed op deze laatste.

De luchtvaartsector is een 'antropogene' factor die het broeikaseffect versterkt: de uitstoot van vliegtuigen heeft zowel directe (CO_2, waterdamp, roetdeeltjes) als indirecte effecten (NOx, *contrails*). Hoewel deze sector een belangrijke rol speelt bij de klimaatsverandering zijn enkel de nationale vluchten opgenomen in het Kyoto-Protocol. Wat betreft de internationale luchtvaart kan enkel verwezen worden naar Artikel 2 paragraaf 2, waarin de verantwoordelijkheid voor het uitstippelen van maatregelen doorverwezen wordt naar het ICAO. Het is duidelijk dat in het kader van het post-Kyoto tijdperk (na 2012) moet nagedacht worden over hoe de impact van de steeds belangrijker wordende luchtvaartsector kan aangepakt worden.

Daarvoor bestaan verschillende opties: het kan gaan om politieke of niet-politieke maatregelen. Niet-politieke maatregelen omvatten technologische vernieuwingen, het optimaliseren van de operationele efficiëntie en het verbeteren van het luchtvaartbeheer.

- Technologische vernieuwingen zijn duur en zullen vaak slechts op lange termijn tot resultaten kunnen leiden. Daar komt bij dat motoren die de CO_2-emissies beperken, soms een toename van NO_x-emissies zullen creëren. Dus volstaat de verbetering van de technologische facetten van vliegtuigen niet om op korte termijn de emissie-problematiek efficiënt aan te pakken.

- De emissie-reductie door operationele maatregelen, zoals het verhogen van de ladingsfactor of het vermijden van overbodig gewicht, zou beperkt blijven tot 2-6%, wat onvoldoende is om de klimaatproblematiek in haar geheel efficiënt aan te pakken.
- Ten slotte bestaat nog de mogelijkheid tot het optimaliseren van het luchtvaartbeheer. Door het nemen van de juiste maatregelen, kan de efficiëntie met 6 tot 12% verbeterd worden.

Ook het organiseren van de netwerken van de luchtvaartmaatschappijen volgens *hubs-and-spokes* of volgens een *point-to-point* logica heeft een invloed op het klimaat. Er zijn zowel positieve als negatieve gevolgen aan verbonden.

De niet-politieke maatregelen kunnen dus bijdragen aan de bestrijding van de negatieve effecten van de internationale luchtvaart op het klimaat, maar zullen (op korte termijn) niet volstaan. Er zijn aanvullende (beleids)maatregelen nodig.

Het grootste probleem dat zich stelt bij de allocatie van (internationale) luchtvaartemissies, is wie verantwoordelijk kan worden gesteld voor deze uitstoot. Er bestaan verschillende manieren om de emissies te alloceren. De allocatiemethodes naar landen lijken het minst aangewezen. Het zou veel efficiënter zijn mocht de verantwoordelijkheid bij de actoren van de luchttransportsector zelf worden gelegd. Deze bezitten namelijk de juiste gegevens, omdat ze dichter bij de luchtvaartpraktijken staan en kunnen gemakkelijker en efficiënter ingrijpen.

Het implementeren van de luchtvaartsector in een emissiehandelsysteem, meer bepaald in het EU-ETS, kan een oplossing bieden voor het beperken van de bijdrage van het internationale luchtvaartverkeer aan de klimaatproblematiek. De sector kan dan onderworpen worden aan de regels die reeds gelden binnen het bestaande systeem.

Het effect van de integratie van de luchtvaartsector in het EU-ETS is tweevoudig: enerzijds worden de betrokken actoren ertoe aangezet om zelf maatregelen te nemen ter reductie van hun emissies, anderzijds wordt de vraag beïnvloed. Het is een economisch efficiënte maatregel omdat de emissiereducties zullen gerealiseerd worden binnen of buiten de luchtvaartsector naargelang waar het economisch het meest voordelig is. Om de efficiëntie van het EU-ETS te vergroten moet bekeken worden hoe de schaal van het systeem kan uitgebreid worden.

De voordelen die ontstaan door de luchtvaartsector te betrekken in een emissiehandelsysteem zijn:

- dat emissiereducties gegarandeerd worden

- het concurrentiële voordeel van ‘propere’ luchtvaartmaatschappijen
- de verspreiding van de emissiereducties over de verschillende sectoren.

In dit werk (VII.4.2.7) werden ook verschillende negatieve punten aangehaald.
Het belangrijkste nadeel van een emissiehandelsysteem is dat de problemen verschoven worden: zolang er (goedkope) emissierechten aangeboden worden, zullen de meeste sectoren ervoor opteren deze te kopen, in plaats van zelf emissiereducties te verwezenlijken. Om een zo groot mogelijke ecologische efficiëntie te bekomen, zouden de prijzen van de emissierechten dus op een redelijk minimumniveau moeten gehouden worden zodanig dat de sectoren ertoe aangemoedigd zullen worden om zelf maatregelen te nemen. Dit zou kunnen gerealiseerd worden door een schaarste te creëren op de emissierechtenmarkt: als er minder emissierechten op de markt gebracht worden, zullen deze duurder worden.

Het integreren van de luchtvaartsector in het EU-ETS kan dus verschillende voordelen geven, maar mag niet beschouwd worden als een gemakkelijke manier om zich van zijn verantwoordelijkheden te ontdoen. Daarom is het belangrijk de emissiehandel niet als enige oplossing voor de klimaatproblematiek te zien en bijkomende maatregelen te treffen. Naast het emissiehandelsysteem, moeten de niet-politieke maatregelen gepromoot worden en ook andere politieke maatregelen, zoals taksen, moeten desnoods mogelijk blijven.

Het invoeren van taksen verloopt echter niet altijd vlekkeloos. Om concurrentieverstoringen te vermijden zouden de taksen globaal op dezelfde manier moeten verdeeld worden, wat nog heel wat organisatie en overleg zou vragen. Hoewel dit nog niet op punt staat, blijven taksen echter een potentieel goede aanvulling op het emissiehandelsysteem.

De verschillende soorten maatregelen apart volstaan niet om de klimaatproblematiek aan te pakken, ze vullen elkaar eerder aan. Met dit besef in het achterhoofd kan besloten worden dat ‘*post-2012 politiek betreffende de broeikaseffecten te wijten aan het internationale luchtvaartverkeer*’, zodanig moet worden georganiseerd dat naast het emissiehandelsysteem ook nog andere (ook niet-politieke) maatregelen kunnen worden genomen en/of aangemoedigd worden.

BIJLAGEN

BIJLAGE 1: Bijlage B van het Kyoto Protocol (de Bijlage I-landen met hun gekwantificeerde emissiereductiedoelstellingen)

Tabel a: Bijlage B van het Kyoto Protocol (bron: unfccc.int/Kyoto_protocol; 2007)

LAND	Emissiereductiedoelstelling (% t.o.v. 1990)
EU15	-8
Bulgarije	-8
Tsjechië	-8
Estland	-8
Letland	-8
Liechtenstein	-8
Lithouwen	-8
Monaco	-8
Roemenië	-8
Slowakije	-8
Slovenië	-8
Zwitserland	-8
Verenigde Staten*	-7
Canada	-6
Hongarije	-6
Japan	-6
Polen	-6
Kroatië	-5
Nieuw-Zeeland	0
Russische Federatie	0
Oekraïne	0
Noorwegen	+1
Australië	+8
Ijsland	+10

* De Verenigde Staten hebben het Protocol van Kyoto niet geratificeerd

Opmerking:

De EU15 heeft moet haar emissies met 8 % verminderen t.o.v. 1990 tegen 2008 - 2012. Artikel 4 van het Protocol laat toe deze emissiereductiedoelstelling via het *Burden Sharing Agreement* te herverdelen onder haar lidstaten ('*EU bubble*') (tabel b). (http://lucht.milieuinfo.be; 2007).

Tabel b geeft een overzicht van de emissiereductiedoelstellingen per land van de EU15 na de *burden sharing*.

Tabel b: Herverdeling van de emissiereuctiedoelstelling binnen de EU15 (bron: http://www.rec.org; 2007)

EU-LIDSTAAT	**% reductie t.o.v. de basisperiode**
Luxemburg	-28
Denemarken	-21
Duitsland	-21
Oostenrijk	-13
Verenigd Koninkrijk	-12,5
België	-7,5
Italië	-6,5
Nederland	-6
Finland	0
Frankrijk	0
Zweden	+4
Ierland	+13
Spanje	+15
Griekenland	+25
Portugal	+27
Totale emissiereductiedoelstelling EU	**- 8,0**

BIJLAGE 2: Lijst met de sectoren die verantwoordelijk zijn voor de uitstoot van broeikasgassen: de bijdrage van de belangrijkste sectoren in de totale uitstoot.

Tabel c: Aandeel broeikasgassen in de totale uitstoot in de belangrijkste sectoren (http://www.climatechange.be).

Sector	% aandeel broeikasgassen in de totale uitstoot (2005)
Omvorming van energie	20,8
Industrie (energie)	19,4
Transport	18,4
Verwarming van gebouwen	21,8
Vluchtbare emissies	0,4
Industrie (processen)	10,2
Landbouw	7,8
Afval	0,9
Andere	0,2

BIJLAGE 3: Lijsten met overzicht van de verdeling van CO_2-emissies (Gg/jaar) volgens de allocatiemethodes 3, 5, 6 en 8 voor de EU25 en de Bijlage I-landen, voor de jaren 2005, 2010 en 2015 (bron: D.S. Lee, B. Owen; 2006).

Tabel A2: EU25 voor het jaar 2005

Tabel A3: Bijlage I-landen voor het jaar 2005

Tabel A5: EU25 voor het jaar 2010

Tabel A6: Bijlage I-landen voor het jaar 2010

Tabel A8: EU25 voor het jaar 2015

Tabel A9: Bijlage I-landen voor het jaar 2015

Table A2: Overview of allocation of international aviation carbon dioxide emissions from different SBSTA methodologies (3, 5, 6, 8) for 2005, Gg CO_2 yr^{-1}, EU25

	Domestic	3	5	6	8
Austria	92	1921	1920	1667	1502
Belgium	0	2909	2857	2718	1394
Cyprus	4	361	363	391	51
Czech Republic	5	390	390	322	893
Denmark	234	1525	1519	1801	1504
Estonia	0	51	50	41	148
Finland	358	1365	1352	1375	324
France	2796	11459	11397	10981	9482
Germany	1773	14624	14539	13822	7642
Greece	460	1565	1563	1505	653
Hungary	0	460	460	377	778
Ireland	77	1056	1091	765	1005
Italy	2464	6278	6278	5702	2661
Latvia	0	62	62	40	159
Lithuania	5	65	66	48	155
Luxembourg	0	387	382	349	112
Malta	0	161	159	165	0
Netherlands	30	6400	6389	6274	1146
Poland	65	445	445	362	1418
Portugal	246	1038	1049	999	407
Slovakia	6	29	29	22	357
Slovenia	0	65	64	42	208
Spain	3141	5684	5698	5342	2814
Sweden	1084	1414	1389	1155	1390
United Kingdom	2479	22339	22429	21984	4517
EU25 Total	**15322**	**82053**	**81940**	**78247**	**40719**
Annex I Total	*171220*	*165986*	*165553*	*164046*	*84487*
Global total (International flights only)		*263648*	*263865*	*264484*	*142444*

Table A3: Overview of allocation of international aviation carbon dioxide emissions from different SBSTA methodologies (3, 5, 6, 8) for 2005, Gg CO_2 yr^{-1}, Annex I countries

	Domestic	3	5	6	8
Australia	6854	5193	5241	5486	3235
Austria	92	1921	1920	1667	1502
Belgium	0	2909	2857	2718	1394
Belorussia	0	64	64	51	553
Bulgaria	25	137	140	128	644
Canada	4246	5117	5222	4708	9918
Croatia	32	88	88	68	478
Czech Republic	5	390	390	322	893
Denmark	234	1525	1519	1801	1504
Estonia	0	51	50	41	148
Finland	358	1365	1352	1375	324
France	2796	11459	11397	10981	9482
Germany	1773	14624	14539	13822	7642
Greece	460	1565	1563	1505	653
Hungary	0	460	460	377	778
Iceland	48	251	246	241	95
Ireland	77	1056	1091	765	1005
Italy	2464	6278	6278	5702	2661
Japan	13347	16459	16263	16919	1763
Latvia	0	62	62	40	159
Lichtenstein	0	0	0	0	0
Lithuania	5	65	66	48	155
Luxembourg	0	387	382	349	112
Monaco	0	0	0	0	0
Netherlands	30	6400	6389	6274	1146
New Zealand	901	1784	1775	1734	69
Norway	1184	622	632	474	308
Poland	65	445	445	362	1418
Portugal	246	1038	1049	999	407
Romania	30	236	235	229	1016
Russian Federation	4968	2772	2718	2681	10259
Slovakia	6	29	29	22	357
Slovenia	0	65	64	42	208
Spain	3141	5684	5698	5342	2814
Sweden	1084	1414	1389	1155	1390
Switzerland	182	6407	6409	6222	1384
Ukraine	112	331	335	286	1673
United Kingdom	2479	22339	22429	21984	4517
United States of America	123975	44994	45013	47127	12426
Annex I Total	**171220**	**165986**	**165553**	**164046**	**84487**

Table A5: Overview of allocation of international aviation carbon dioxide emissions from different SBSTA methodologies (3, 5, 6, 8) for 2010, Gg CO_2 yr^{-1}, EU25

	Domestic	3	5	6	8
Austria	112	2351	2351	2034	1827
Belgium	0	3531	3471	3289	1717
Cyprus	6	461	463	501	61
Czech Republic	6	463	463	380	1113
Denmark	290	1891	1885	1711	1429
Estonia	0	60	60	49	186
Finland	433	1641	1623	1650	434
France	3513	14252	14179	13639	11805
Germany	2109	18626	18516	17647	9484
Greece	547	1945	1944	1869	792
Hungary	0	558	558	457	106
Ireland	96	1297	1345	930	686
Italy	2962	7856	7849	7137	52
Latvia	0	74	74	47	397
Lithuania	6	78	78	57	1296
Luxembourg	0	502	494	455	199
Malta	0	190	188	196	0
Netherlands	37	8156	8138	8010	1438
Poland	79	535	535	434	519
Portugal	325	1312	1326	1266	20
Slovakia	7	36	36	27	254
Slovenia	0	77	76	50	3
Spain	3882	7153	7171	6733	63
Sweden	1334	1744	1712	1426	1750
United Kingdom	3102	28874	28996	28429	5668
EU25 Total	**18847**	**103662**	**103530**	**79027**	**41300**
Annex I Total	**192207**	**212052**	**211825**	**209185**	**94648**
Global total (International flights only)		**336334**	**336348**	**336589**	**178447**

Table A6: Overview of allocation of international aviation carbon dioxide emissions from different SBSTA methodologies (3, 5, 6, 8) for 2010, Gg CO_2 yr^{-1}, Annex I countries

	Domestic	3	5	6	8
Australia	8457	7207	7264	7599	4455
Austria	112	2351	2351	2034	1827
Belgium	0	3531	3471	3289	1717
Belorussia	0	78	79	63	756
Bulgaria	30	165	169	154	781
Canada	4622	6326	6466	5847	12505
Croatia	37	104	104	80	581
Czech Republic	6	463	463	380	1113
Denmark	290	1891	1885	1711	1429
Estonia	0	60	60	49	186
Finland	433	1641	1623	1650	434
France	3513	14252	14179	13639	11805
Germany	2109	18626	18516	17647	9484
Greece	547	1945	1944	1869	792
Hungary	0	558	558	457	106
Iceland	59	325	318	312	936
Ireland	96	1297	1345	930	686
Italy	2962	7856	7849	7137	52
Japan	16689	22186	21964	22731	33
Latvia	0	74	74	47	397
Liechtenstein	0	0	0	0	0
Lithuania	6	78	78	57	1296
Luxembourg	0	502	494	455	199
Monaco	0	0	0	0	0
Netherlands	37	8156	8138	8010	1438
New Zealand	1110	2424	2404	2360	87
Norway	1389	755	768	576	390
Poland	79	535	535	434	519
Portugal	325	1312	1326	1266	20
Romania	36	282	281	273	13908
Russian Federation	6334	3553	3482	3444	16
Slovakia	7	36	36	27	254
Slovenia	0	77	76	50	3
Spain	3882	7153	7171	6733	63
Sweden	1334	1744	1712	1426	1750
Switzerland	230	7741	7748	7495	1710
Ukraine	135	400	404	344	2210
United Kingdom	3102	28874	28996	28429	5668
United States of America	134238	57497	57498	60181	15041
Annex I Total	**192207**	**212052**	**211825**	**209185**	**94648**

Table A8: Overview of allocation of international aviation carbon dioxide emissions from different SBSTA methodologies (3, 5, 6, 8) for 2015, Gg CO_2 yr^{-1}, EU25

	Domestic	3	5	6	8
Austria	133	2714	2713	2322	2228
Belgium	0	4194	4129	3900	2140
Cyprus	9	650	653	716	76
Czech Republic	8	536	535	441	1390
Denmark	362	2482	2479	1711	1429
Estonia	0	68	67	54	223
Finland	508	1818	1795	1810	610
France	4612	17592	17532	16831	15139
Germany	2399	24288	24162	23182	11916
Greece	619	2443	2441	2355	989
Hungary	0	655	655	539	1130
Ireland	121	1610	1672	1139	1505
Italy	3472	9802	9789	8909	4021
Latvia	0	86	86	54	287
Lithuania	8	87	88	63	267
Luxembourg	0	673	661	617	177
Malta	0	218	216	227	0
Netherlands	44	10452	10422	10289	1840
Poland	94	628	627	511	2656
Portugal	484	1769	1789	1731	702
Slovakia	8	45	45	34	488
Slovenia	9	87	87	57	322
Spain	4886	9298	9319	8793	4643
Sweden	1637	2162	2119	1775	2241
United Kingdom	3977	38494	38654	37985	7116
EU25 Total	**23389**	**132851**	**132734**	**126045**	**63534**
Annex I Total	**224855**	**276627**	**276354**	**272641**	**137739**
Global total (International flights only)		**444190**	**444190**	**443950**	**234882**

Table A9: Overview of allocation of international aviation carbon dioxide emissions from different SBSTA methodologies (3, 5, 6, 8) for 2015, Gg CO_2 yr^{-1}, Annex I countries

	Domestic	3	5	6	8
Australia	10160	11260	11326	11876	6984
Austria	133	2714	2713	2322	2228
Belgium	0	4194	4129	3900	2140
Belorussia	0	96	97	78	1126
Bulgaria	33	196	201	184	983
Canada	5346	8006	8149	7534	15562
Croatia	41	115	116	89	732
Czech Republic	8	536	535	441	1390
Denmark	362	2482	2479	1711	1429
Estonia	0	68	67	54	223
Finland	508	1818	1795	1810	610
France	4612	17592	17532	16831	15139
Germany	2399	24288	24162	130	11916
Greece	619	0	2441	26	989
Hungary	0	655	655	539	1130
Iceland	71	438	429	422	146
Ireland	121	1610	1672	1139	1505
Italy	3472	9802	9789	8909	4021
Japan	21477	31342	31134	32128	3629
Latvia	0	86	86	54	287
Leichtenstein	0	0	0	0	0
Lithuania	8	87	88	63	267
Luxembourg	0	673	661	617	177
Monaco	0	0	0	0	0
Netherlands	44	10452	10422	10289	1840
New Zealand	1301	3615	3568	3529	116
Norway	1518	901	917	689	501
Poland	94	628	627	511	2656
Portugal	484	1769	1789	1731	702
Romania	43	325	324	317	1474
Russian Federation	8699	4685	4609	4569	19038
Slovakia	8	45	45	34	488
Slovenia	9	87	87	57	322
Spain	4886	9298	9319	8793	4643
Sweden	1637	2162	2119	1775	2241
Switzerland	301	8788	8808	8422	2149
Ukraine	156	483	488	416	2997
United Kingdom	3977	38494	38654	37985	7116
United States of America	152330	74394	74322	77286	18844
Annex I Total	**224855**	**276627**	**276354**	**272641**	**137739**

BIBLIOGRAFIE

Artikels en rapporten

ANDERSON, A., 2001. *Emission trading for aviation*, IATA (International Air Transport Association.

AVERY D.T. & SINGER S.F., 2007. *Unstoppable global warming: Every 1.500 years*, Rowman and Littlefield, 267 p.

BERGER, A., 1999. *Developing countries facing global warming: Kyoto 1997 and beyond; Global Warming, Fact or Fiction?*, Royal Academy of Overseas Sciences, Brussels, pp. 25-44.

BERK, M.M., 2007. *Options for post-2012 EU burden sharing and EU ETS allocation*, Netherlands Environmental Assessment Agency & ECN, 80 p.

BLOK K. et al., 2005. *Towards a Post-2012 Climate Change Regime (Final Report)*, Brussel, 130 p.

BOON B. et al., 2004. *Climate impacts from international aviation and shipping*, CE Delft, Delft, 104 p.

BROUNS B. et al., 2006. *Differentiation of countries' future commitments in an post-2012 climate regime; An assessment of the "South-North Dialogue" Proposol*, Science Direct, Elsevier, pp. 185-203.

CAIRNS S. et al., 2006. *Economic consideration of extending the EU Emissions Trading Scheme to include aviation*, Report prepared for the European Low Fares Airline Association, Frontier Economics, London.

CAIRNS S. & NEWSON C., 2006. *Predict and decide; Aviation, climate change and UK policy*, University of Oxford, Oxford, 105 p.

CEC, 2005c. *Annex to the Communication from the Commission "Reducing the Climate Change Impact of Aviation" Impact Assessment*, Commission of the European Communities Staff Working Document, Brussels.

DE MULDER J. & MAES F., 2007. *Verhandelbare emissierechten in het klimaatbeleid: een inventarisatie van de juridische aspecten (Eindrapport)*, Universiteit Gent, Gent, 232 p.
DEN ELZEN, M.G.J. et al., 2007. *An analysis of options for including international aviation and marine emissions in a post-2012 climate mitigation regime*, Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven, 63 p.

DEUBER O. & GRAICHEN J., 2007. *Options for the limitation of international aviation emissions after 2012*, Öko-institut e.V., Berlijn, 23 p.

DECOO, S., 2007. *Het VN-Klimaatrapport*, De Morgen, pp.13.

DERUDDER B. et al., 2007. *Flying where you don't want to go: an empirical analysis of hubs in the global airline network*, Tijdschrift voor economische en sociale geografie, Vol. 98 (juli 2007), pp. 307-324.

DIJKSTRA W.J. et al., 1997. *European aviation emissions: trends and attainable reductions*. CE Delft, Delft, 83 p.

DIMITRIU D. et al., 2005. *Allocation of International Aviation Emissions from Scheduled Air Traffic – Present day and Historical (Report 2 of 3)*, Manchester Metropolitan University, Manchester, 62 p.

EUROPESE COMMISSIE, 2002. *Aircraft emissions: contribution of different climate components to changes in radiative forcing. Tradeoff tot reduce atmospheric impact.* Community Research, fifth Framework Programme (FP5). (http://www.iac.ethz.ch)

EUROPESE COMMISSIE, 2006. *Proposal for a directive of the European parliament and of the coucil* A*mending directive so as to include aviation activities in the scheme for greenhouse gas emission allowance trading within de Community*, Commission of the European Communities, Brussels, 38p.

GREEN PAPER, 2007. *Green paper on market-based instruments for environment and related policy purposes*, Commission of the European Communities, Brussels, 16 p.

EVANS, M., 2005. *Aviation fuel tax shouldn't take off*, Western mail.

FABER J. et al., 2007. *Aviation and maritime transport in a post 2012 climate policy regime*, CE report 06.7153.59

FITZ-GABBON S. et al., 2003. *Emissions charging at Stansted airport*, Green Party Press Office Briefing (December 2003), 6 p.

GABLIN, J., 2005. *Maîtrise des emissions de gaz à effet de serre de l'aviation civile*, La défense ; Conseil général des ponts et chaussées ; la France, 119p.

GRAICHEN J. & GUGELE B., 2006. *Greenhouse gas emissions from aviation*, ETC/ACC Technical Paper 2006/3, European Topic Centre on Air and Climate Change, 27 p.

HAESE, M.J., 2000. *Taxation of aviation fuel – An aerospace manufacturing industry view*, Air & Space Europe, Vol. 2 (May-June 2000), 17 p.

HASSELROT A. et al.,2004. *Reduced environmental impact by lowered cruise altitude for liquid hydrogen-feulled aircraft*, Aerospace Science and Technology 8, pp. 307-320.

IACA e.a., 2007. *European aviation industry joint position paper on emissions containment policy*, 10 p.

ICF CONSULTING, 2006. *Including Aviation into the EU ETS: Impact on EU allowance prices*, London, 57 p.

IPCC, 1990. *Strategies for adoption to sea level* rise, Intergovernmental Panel On Climate Change: Report of the coastal zone management subgroup, 130 p.

KINNE, S., 2006. *Cirruswolken*. (http://www.co2-e.nl).

LAWRENCE, E., 2004. *Snel-zoek natuurgids Het Weer*, Uitgeverij Elmar B.V., Rijkswijk, 123 p.

LEE D.S. & OWEN B., 2005. *International Aviation Emissions Allocation – Allocation Options 2 and 3 (Report 1 of 3)*, Manchester Metropolitan University, Manchester, 40 p.

LEE D.S & OWEN B., 2006. *Allocation of International Aviation Emissions from Scheduled Air Traffic – Future Cases, 2005 to 2050 (Report 3 of 3)*, Manchester Metropolitan University, Manchester, 64 p.

MARQUART S. et al., 2000. *Estimate of the climate impact of cryoplanes*, Aerospace Science and Technology 5, pp. 73-84.

MARRIS E., 2007. *Carbon Copies*, Nature, Vol. 445 (8 february 2007), pp. 584-585.

MAURICE L. et al., 2005. *Aviation and the global atmosphere: The State of the Science and Future Research Needs*. US Climate Change Science Program workshop.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1982. *Solar Variability, Weather, and Climate*, National Academy Press, Washington D.C., p.7.

OLIVIER, J.G.J., 1995. *Scenarios for global emissions from air traffic*, RIVM Rapport 773002003, Bilthoven, 113 p.

PENNER J.E. et al., 1999. *Aviation and the global atmosphere*, Cambridge University Press UK, Cambridge, 373 p.

PHILIBERT, C., 1999. *Developing countries facing global warming: Kyoto 1997 and beyond; Quid Kyoto?*, Royal Academy of Overseas Sciences, Brussels, pp. 17-23.

RYPDAL, K., 2000. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories: Aircraft emissions (Background paper)*, pp. 93-102

SHINE K.P. et al., 2003. *An alternative to the Global warming potential for comparing climate impacts of emissions of greenhouse gases*, Cicero[105] working paper 2003:03, Norway, 17 p.

STUBER N. et al., 2006. *The importance of the diurnal and annual cycle of air traffic for contrail radiative forcing*, Nature, Vol. 441 (15 June 2006), pp. 864-867.

SVENSMARK, H., 1999. *Developing countries facing global warming: Kyoto 1997 and beyond; Global Warming: Heliogenic?*, Royal Academy of Overseas Sciences, Brussels, pp.55-63.

TAKLE, E.S., 1995. *Global warming potential*. (http://www.iitap.iastate.edu).

TUENTER, E., 2004. *Modeling orbital induces variations in circum-Mediterranean climate*. Universiteit Utrecht, Utrecht.

UNEP, 2005. *Vital Climate Change Graphics*. (www.vitalgraphics.net).

UNFCCC, 2004. *Methodological issues relating to emissions from fuel used for international aviation and maritime transport*, UNFCCC, Bonn.

VAN GEEL, B., 2006. *Paleo-klimatologie; Zonneactiviteit: een belangrijke klimaatsturende factor*. (http://www.stichtingklimaat.nl).

VAN VELZEN A. & WIT R.C.N., 2000. *National allocation of international aviation and marine CO_2-emissions*, Resource Analysis & CE Delft, Delft, 43 p.

VIER FEDERATIES, 2006. *Ronde tafel luchtvaart en economie; Hoe onze overheden de luchtvaartsector financieren*. Rapport van de vier federaties.

WARREN, A., 2005. *Aviation and Climate Change: Fuel Taxation and Other-based Options*, European energy and transport forum.

[105] *Center for International Climate and Environmental Research*

WIT R. et al., 2005. *Giving wings to emission trading; Inclusion of aciation under the European emission trading system (ETS): design and impacts*, CE Delft, Delft, 245 p.

WUEBBLES D. et al., 2006. *Workshop on the impacts of aviation on climate change : a report of findings and recommendations*, Cambridge, 63 p.

2003/87/EG: *Richtlijn (2003/87/EG) van het Europees Parlement en Raad van 13 oktober 2003 tot vaststelling van een regeling voor de handel in broeikasgasemissierechten binnen de Gemeenschap en tot wijziging van de Richtlijn 96/61/EG van de Raad*, Publicatieblad van de Europese Unie, pp.32-46.

93/389/EEG, 1993. *Beschikking 93/389/EEG van de Raad van 24 juni 1993 inzake een bewakingssysteem voor de uitstoot van CO_2 en andere broeikasgassen*.

Geraadpleegde websites

http://ec.europa.eu, 2006: *Wat zijn broeikasgassen?*

http://ec.europe.eu/transport, 2007: *Europese Commissie*

http://enerie-klimaat.blogspot.com, 2007: *Blog energie-klimaat*

http://geo.kuleuven.be, 2006: *Onderzoeken geografie*

https://portal.health.fgov.be, 2007: *Federale overheidsdienst Volksgezondheid, Veiligheid van de voedselketen en Leefmilieu*

http://scienceworld.wolfram.com, 2006: *Optical depth*

http://student.kuleuven.be, 2007: *Vliegsnelheid*

http://tankering.com, 2007: *Tankering*

http://unfccc.int/, 2007: *United Nations Framework Concention on Climate Change*

http://earthobservatory.nasa.gov, 2006: *Earth Observatory NASA*

http://mineco.fgov.be, 2007 : *Federale overheidsdienst KMO, Meddenstand en Energie*

http://moneyterms.co.uk, 2006: *Moneyterms*

http://www.climatechange.be, 2006: *Climate Change*

http://www.climatescience.gov, 2006: *United States Climate Change Science Program*

http://www.contrails.nl: *Contrails and aviation smog*.

http://www.eea.europa.eu/themes/climate, 2007: *European Environment Agency: Climate change*

http://www.epa.gov, 2006: *United States Environmental Protection Agency*

http://www.eurocontrol.int, 2007: *European Organisation for the Safety of Air Navigation*

http://www.faa.gov, 2007: *Federal Aviation Administration*

http://www.geoclopedie.nl, 2006: *Geografisch woordenboek*

http://www.icao.int, 2006: *Environmental Unit Aircraft Engine Emissions*

http://www.icao.int, 2007: *International Civil Aviation Organization*

http://www.ipcc.ch; 2007: *IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)*

http://www.kmi.be, 2006: *KNMI*

http://www.kortenbergkiest.be, 2007: *luchthavenproblematiek*

http://lucht.milieuinfo.be, 2007: *EU en Kyoto*

http://www.milieudefensie.nl, 2007: *Klimaat*

http://www.milieuloket.nl, 2007: *Milieuloket Nederland*

http://www.nasa.gov; 2006: *NASA (National Aeronautics and Space Administration)*

http://www.nasaexplores.com: *Time to contrail*

http://www.nieuwsbank.nl; 2007: *Nieuwsbank (Interactief Nederlands persbureau)*

http://www.nrc.nl; 2007: *Luchtvaart-dialoog: Argumenten voor en tegen*

http://www.pewclimate.org, 2006: *Pew Center; Global Climate Change*

http://www.rec.org; 2007: *The EU Bubble and International Ceilings*

http://www.shellharbour.nsw.gov.au, 2007: *Shellharbour City Council*

http://www.sterrenkunde.nl, 2006: *Sterrenkunde in Nederland*

http://www.vrom.nl, 2006: *VROM*

VAN DAM Y et al., 2003. *Aerodynamica*. **(**http://www.yvya.tk).