

Oktober 2001

ECN-C--01-106

**VERIFICATIE CO₂-METER VOOR
DE STICHTING FACE**

M. Menkveld

Verantwoording

Dit project is uitgevoerd in opdracht van de Stichting Face. Contactpersoon bij de stichting Face is de heer I.M. Emmer. Bij ECN Beleidsstudies is het project bekend onder het nummer 7.7409.

Abstract

The Face CO₂ calculator can be used for a quick calculation of a company's, an organisation's, or somebody's personal or family CO₂ emissions. ECN has made a review of the emission factors that is used in this CO₂ calculator for energy use in buildings and production processes and energy use for transport by car, train, bus or plane.

INHOUD

1. INLEIDING	5
2. ENERGIEGEBRUIK VAN GEBOUWEN EN PROCESSEN	7
2.1 Verbruik van gas en stookolie	7
2.2 Benutting van restwarmte	7
2.3 Elektriciteitsverbruik	8
3. ENERGIEGEBRUIK VAN TRANSPORT	11
3.1 Bedrijfsactiviteiten samenhangend met transport	11
3.2 Zakelijk verkeer	11
3.2.1 Dienstreizen per auto	11
3.2.2 Dienstreizen per trein of bus	12
3.2.3 Dienstreizen per vliegtuig	13
3.3 Woon-werkverkeer	16
3.4 Goederentransport	16
4. EMISSIEFACTOREN CO ₂ -METER	19
REFERENTIES	21

1. INLEIDING

Face financiert aanplant, het herstel en behoud van bossen voor de vastlegging van het broeikasgas CO₂. Een wijze van financiering is certificering van de CO₂ die is vastgelegd in de bossen en verkoop van deze credits. Elke credit vertegenwoordigt een ton gecertificeerde CO₂ die als gevolg van een Face-project is vastgelegd. Face biedt bedrijven en organisaties de mogelijkheid hun CO₂-uitstoot te compenseren door aankoop van deze credits. Met de CO₂-meter kan een bedrijf/organisatie zelf bepalen hoeveel ton CO₂ zij zou moeten laten vastleggen om klimaatneutraal te worden. Bedrijven en organisaties doen opgave van hun activiteiten of energiegebruik en de CO₂-meter vertaalt dit naar een CO₂-emissie. ECN is door de stichting Face gevraagd voor deze CO₂-meter de benodigde emissiefactoren te leveren, inclusief onderbouwing van de cijfers. Deze rapportage doet daarvan verslag.

Startpunt voor de werkzaamheden is de CO₂-meter zoals deze door de Stichting Face op hun internetsite wordt aangeboden (www.co2meter.nl):

interieur		jaarverbruik
Aardgas	(in m ³)	<input type="text"/>
Stadsverwarming	(in GJ)	<input type="text"/>
Elektriciteit (Normaal)	(in kWh)	<input type="text"/>
Elektriciteit (Groen)	(in kWh)	<input type="text"/>
auto		
Benzine (invullen in liters óf km)	(in liters)	<input type="text"/>
	(in km)	<input type="text"/>
Diesel (invullen in liters óf km)	(in liters)	<input type="text"/>
	(in km)	<input type="text"/>
LPG (invullen in liters óf km)	(in liters)	<input type="text"/>
	(in km)	<input type="text"/>
bus en trein		
Openbaar Busvervoer	(in km)	<input type="text"/>
Openbaar Treinvervoer	(in km)	<input type="text"/>
Touringcar	(in km)	<input type="text"/>
vliegen		
Retourvluchten Europa	(aantal)	<input type="text"/>
Retourvluchten Afrika, N-Amerika, Midden-Oosten	(aantal)	<input type="text"/>
Retourvluchten Midden en Latijns-Amerika, Azië, Australië	(aantal)	<input type="text"/>
Of de totaal gevlogen afstand	(in km)	<input type="text"/>

Figuur 1.1 Overzicht gevraagde gegevens in de CO₂-meter

De Stichting Face heeft ervoor gekozen in de CO₂-meter alleen de directe emissies mee te nemen die samenhangen met het energiegebruik van een bedrijf of organisatie. Dit sluit indirecte emissie, bijvoorbeeld de emissie van de raffinage van benzine, uit. De ketenverantwoordelijkheid dient volgens Face op een andere manier te worden opgelost. Het betekent ook dat emissies via bijvoorbeeld materiaalgebruik achterwege blijven.

Het energiegebruik dat in de CO₂-meter moet worden ingevuld onder ‘interieur’ betreft het energiegebruik voor gebouwen en processen. Dit deel van de CO₂-meter wordt besproken in Hoofdstuk 2. Het overige deel van de CO₂-meter heeft betrekking op transport en wordt besproken in Hoofdstuk 3. Eerst wordt nagegaan waaruit het energiegebruik van een bedrijf/organisatie bestaat en wordt de huidige opzet van de CO₂-meter beoordeeld op volledigheid en de beschikbaarheid van gegevens binnen organisaties. Het gaat dan om de vraag of er nog posten ontbreken en in welke vorm de benodigde gegevens voor ieder organisatie eenvoudig zijn in te vullen. Vervolgens worden de emissiefactoren voor de verschillende primaire energiedragers bepaald: aardgas, stookolie, benzine, diesel, LPG en kerosine. In principe gaat het hier om vaststaande waarden.

Omdat in de CO₂-meter niet altijd het energiegebruik, maar in plaats daarvan ook een activiteitsniveau (bijvoorbeeld het aantal transportkilometers) kan worden ingevuld, wordt in de hoofdstukken aandacht besteedt aan de efficiency van activiteiten: het energiegebruik per eenheid activiteit (bijvoorbeeld het benzinegebruik per kilometer). Die efficiency speelt ook een rol bij het bepalen van een CO₂-emissiefactor voor secundaire energiedragers als elektriciteit en warmte. De efficiency van activiteiten en opwekking van secundaire energiedragers is een momentopname en zal een ontwikkeling in de tijd laten zien. De vraag is op welke termijn de CO₂-emissiefactoren om die reden herzien moeten worden. Dit hangt samen met de gewenste nauwkeurigheid van de berekening die met de CO₂-meter wordt beoogd.

In de huidige opzet kan de CO₂-meter tevens door particulieren worden gebruikt. In dit rapport ligt de focus op het gebruik van de CO₂-meter door bedrijven en organisaties, hoewel de CO₂-meter ook voor particulieren bruikbaar blijft.

2. ENERGIEGEBRUIK VAN GEBOUWEN EN PROCESSEN

De CO₂-emissie van een bedrijf hangt samen met het energiegebruik voor gebouwen en processen waarvoor een bedrijf aardgas, elektriciteit, warmte of (stook)olie inkoopt. Het gebruik van olieproducten als grondstof voor een productieproces (feedstock) blijft buiten beschouwing, omdat dit alleen bij grote chemische industrie een rol speelt en zij niet tot de doelgroep behoren voor compensatie.

2.1 Verbruik van gas en stookolie

De meeste verwarmingsinstallaties van gebouwen worden met aardgas gestookt. Er zijn echter met name in grote gebouwen ook nog wel oliegestookte installaties te vinden. De CO₂-emissiefactor van aardgas bedraagt 56,0 kg CO₂ per GJ. De stookwaarde van aardgas is 31,65 MJ per m³. De CO₂-emissiefactor van huisbrandolie bedraagt 73,0 kg per GJ, de stookwaarde 35,87 MJ per liter (Spakman, 1997).

2.2 Benutting van restwarmte

Een bedrijf of organisatie kan aangesloten zijn op een stadsverwarmingsnet. De uit een stadsverwarmingsnet afgenomen warmte is in principe restwarmte van een elektriciteitscentrale of een AVI (afvalverbrandingsinstallatie). Toch is het niet zo dat deze warmte helemaal geen energie heeft 'gekost'. De aftap van warmte in een centrale gaat wel ten koste van de elektriciteitsproductie van een centrale. Dit wordt aangegeven met een 'bijstookfactor'. Die term verwijst naar het feit dat door de aftap van warmte een elektriciteitscentrale extra brandstof moet bijstoken om toch evenveel elektriciteit te produceren als zonder warmteaftap. De bijstookfactor is ca. 0,30. Dit betekent dat voor iedere GJ warmte, 0,3 GJ gas moet worden bijgestookt om in de centrale of AVI dezelfde hoeveelheid elektriciteit te produceren. Als de warmte afkomstig is van een gasmotor warmtekrachtinstallatie moet een bijstookfactor van 0,6 worden gehanteerd.

De distributie van warmte gaat gepaard met relatief hoge distributieverliezen. Aangezien het hier gaat om de CO₂-emissie van een eindgebruiker moet rekening worden gehouden met distributieverliezen van ca. 20% van de centrale tot aan de afnemer.

Als bron voor deze bijstookfactoren en de distributieverliezen is gebruik gemaakt van de rekenregels van NIRIS, de subsidieregeling voor niet-industriële restwarmte-infrastructuur (VROM, 1998).

De CO₂-emissie van de door een bedrijf/organisatie afgenomen warmte kan worden berekend door de CO₂-emissie van het bijgestookte gas te berekenen en de distributieverliezen te verdisconteren.

2.3 Elektriciteitsverbruik

De CO₂-emissie van elektriciteit is in de conventionele elektriciteitsopwekking afhankelijk van de efficiency en de brandstofmix van elektriciteitscentrales. De CO₂-emissie van elektriciteit kan worden bepaald door van de brandstofinzet van centrales (kolen, gas) met de betreffende emissiefactoren (van kolen, gas) de CO₂-emissie te berekenen en te delen door de elektriciteitsproductie. Daarbij zijn er een paar factoren die speciale aandacht verdienen:

- import van elektriciteit,
- duurzaam opgewekte elektriciteit,
- elektriciteit uit centrales met restwarmtebenutting (stadsverwarming),
- particuliere opwekking.

Import van elektriciteit

Een berekening van de CO₂-emissie van elektriciteit gebeurt aan de hand van een energiebalans van Nederland, waarin de totale elektriciteit en warmteproductie en de totale brandstofinzet staat. Conform internationale afspraken staat op de energiebalans wel de netto import van elektriciteit (gelijk aan export minus import), maar niet de daarmee gemoeide brandstofinzet. Immers deze elektriciteit is in het buitenland opgewekt en de bijbehorende emissies worden op het conto van het betreffende land geschreven. Voor de compensatie van de CO₂-uitstoot van een bedrijf of organisatie is dit echter niet relevant, zij wil de CO₂-uitstoot van haar hele elektriciteitsverbruik compenseren, ook als deze in het buitenland heeft plaatsgehad.

Hier is de CO₂-emissiefactor alleen berekend over de binnenlandse productie. In de berekening van de emissiefactor is daartoe van de totale elektriciteitsproductie de netto import afgetrokken. Impliciet nemen we daarmee aan dat geïmporteerde elektriciteit met dezelfde CO₂-emissie wordt opgewekt als in Nederland. In werkelijkheid is dat natuurlijk niet het geval. De in Nederland geïmporteerde elektriciteit wordt opgewekt in Duitsland, Frankrijk, en België. Duitsland is daarvan de grootste leverancier. De brandstofmix van de Duitse elektriciteitsproductie kent een groter aandeel kolen en kernenergie dan de Nederlandse. De elektriciteit opgewekt uit kolen kent een hogere CO₂-emissie dan de gemiddelde Nederlandse productie. De elektriciteit opgewekt uit kernenergie daarentegen is CO₂-vrij. Per saldo zal de CO₂-emissie van in Duitsland geproduceerde elektriciteit weinig verschillen van de binnenlandse productie in Nederland (Scheepers, 2001). De andere landen waarvandaan Nederland elektriciteit importeert kennen een elektriciteitsproductie met voornamelijk kernenergie (Frankrijk en België). Deze elektriciteitsimport kent een duidelijk lagere CO₂-emissie dan de binnenlandse productie in Nederland. Uiteindelijk is de aanname dat geïmporteerde elektriciteit met dezelfde CO₂-emissie wordt opgewekt als in Nederland daarom waarschijnlijk een conservatieve aanname.

Duurzaam opgewekte elektriciteit

Elektriciteit uit duurzame bronnen is opgewekt zonder CO₂-emissies. Als een bedrijf groene stroom inkoop bij zijn energieleverancier rekenen we in de CO₂-meter met een emissiefactor van 0%. Voor de berekening van de CO₂-emissiefactor van de 'normaal' opgewekte elektriciteit betekent dit dat de duurzaam opgewekte elektriciteit uit de energiebalans niet meer mag worden meegenomen. De CO₂-reductie hiervan wordt immers al 'geïncasseerd' door groene stroom klanten. We gaan er dus van uit dat alle binnenlands duurzaam opgewekte elektriciteit als groene stroom wordt verkocht.

Centrales met restwarmtebenutting

Elektriciteitscentrales die restwarmte leveren aan stadsverwarming zijn als geheel efficiënter dan elektriciteitscentrales zonder restwarmtebenutting. Zij produceren elektriciteit én warmte, tegenover een geringe verhoging van de brandstofinzet (de bijstookfactor vermenigvuldigd met de warmteproductie). De vraag is of deze efficiencywinst aan de elektriciteitsproductie moet worden toegerekend, of aan de warmteproductie of aan beide. Dit leidt tot verschillende manieren om de besparing of CO₂-reductie van warmte/kracht te berekenen. Binnen het energiebeleid

is en wordt hierover nog steeds discussie gevoerd en de uitslag is afhankelijk van het perspectief (of het belang) van betrokkenen.

Hier hebben we bij de berekening van de CO₂-emissiefactor voor warmte uit stadsverwarming al impliciet de keuze gemaakt om alle besparing/reductie aan warmte toe te rekenen. Voor de warmte rekenen we alleen het bijgestookte gas. Voor een consistente berekening van de emissiefactor van elektriciteit trekken we de hoeveelheid bijgestookte brandstof vanwege warmtelevering af van de totale brandstofinzet.

Particuliere opwekking

Ook kan een bedrijf eigen elektriciteitsopwekking hebben door middel van een WKK-installatie of bijvoorbeeld zonnepanelen. Een bedrijf zal de opgewekte elektriciteit (deels) zelf gebruiken. De aan het elektriciteitsnet teruggeleverde elektriciteit kan in mindering worden gebracht op de uit het openbare net ingekochte elektriciteit. De opwekking vindt plaats binnen de grenzen van het bedrijf, er is daardoor een lager elektriciteitsverbruik, maar wel een hoger gasverbruik (vanwege de gasinzet van de WKK-installatie).

Als een industrie (bijvoorbeeld chemie) netto meer elektriciteit aan het net levert dan zij afneemt, dan ontstaat echter een verkeerd beeld. Deze benadering betekent dat de opgewekte elektriciteit wordt gewaardeerd tegen de CO₂-emissiefactor van het gemiddelde park. Daarbij kan het argument worden gebruikt dat de particulier opgewekte elektriciteit zorgt voor vermeden productie van het gemiddelde park. In feite is dit een overschatting van de CO₂-reductie voor dit bedrijf, omdat zijn WKK-installatie bij benutting van de warmte efficiënter produceert dan het gemiddelde park (zie verder onder het kopje 'Centrales met restwarmtebenutting').

Bewust is voor de berekening van de CO₂-emissiefactor van elektriciteit alleen de openbare elektriciteitsopwekking meegenomen. Alle particuliere opwekking (ook die van de industrie) blijft buiten beschouwing om dubbeltellingen te voorkomen. De CO₂-reductie kan nu alleen door de betreffende particulier zelf worden geclaimd en niet door de productiesector als geheel.

Berekening CO₂-emissiefactor

De statistieken over elektriciteitsproductie zijn gedateerd, de meest recente statistische gegevens van de elektriciteitsproductie door centrales zijn van 1998. Gekozen is voor gegevens uit een reconstructie van de elektriciteitsproductie door ECN voor het jaar 2000 (Ybema, 2001). Tabel 2.1 geeft een overzicht van de belangrijkste gegevens. De CO₂-emissiefactor per kWh elektriciteit is berekend door de CO₂-emissie van de brandstofinzet voor elektriciteitsproductie te delen door de netto elektriciteitsproductie, gelijk aan de openbare elektriciteitsproductie minus import en duurzaam (zie uitleg hierboven). De brandstofinzet is gecorrigeerd voor warmteproductie door de brandstofinzet van de openbare elektriciteitsproductie te verminderen met de bijstook voor warmteproductie. De netto brandstofinzet bestaat uit kolen, gas en het fossiele deel van afval (kunststoffen). Voor het elektriciteitsverbruik bij afnemers wordt uiteindelijk nog gecorrigeerd voor distributieverliezen (ca. 5%).

Tabel 2.1 *Berekening CO₂-emissiefactor elektriciteit (2000)*

Openbare elektriciteitsproductie	262,6 [PJ]	A
Import	59,5 [PJ]	B
Duurzaam	5,5 [PJ]	C
Netto elektriciteitsproductie	197,6 [PJ]	D=A-B-C
	54,9 [mld kWh]	D
Brandstofinzet	453,8 [PJ]	E
Openbare warmteproductie	34,1 [PJ]	F
Bijstook voor warmteproductie	10,2 [PJ]	G=0,3*F
Netto brandstofinzet	443,6 [PJ]	H=E-G
waarvan: kolen	218,8 [PJ]	
gas	183,9 [PJ]	
afval	40,9 [PJ]	
CO ₂ -emissie ¹	32,7 [Mton]	I
CO ₂ -emissiefactor	0,60 [kg/kWh]	J=I/D

¹ Met een CO₂-emissiefactor voor kolen van 94 kg CO₂/GJ, en voor gas van 56 kg CO₂/GJ levert dat een CO₂-emissie van respectievelijk 20,6 door de inzet van kolen en 10,3 Mton door de inzet van gas. Daarbij komt de CO₂-emissie van elektriciteit uit afval ca. 1,8 Mton.

3. ENERGIEGEBRUIK VAN TRANSPORT

3.1 Bedrijfsactiviteiten samenhangend met transport

De activiteiten van een bedrijf of organisatie die resulteren in energieverbruik voor transport kunnen worden onderverdeeld in een paar categorieën: woon-werkverkeer van werknemers, zakelijk verkeer (dienstreizen van werknemers) en goederentransport.

Of het energieverbruik voor woon-werkverkeer moet worden meegenomen bij de compensatie van de CO₂-emissie van een bedrijf is discutabel. Enerzijds kan een bedrijf van mening zijn dat woon-werkverkeer buiten haar systeemgrens valt. Anderzijds kan een bedrijf met vervoersmanagement invloed uitoefenen op het woon-werkverkeer van haar werknemers en wordt het daarmee samenhangende energieverbruik nu eenmaal veroorzaakt door de activiteiten van het bedrijf. In de CO₂-meter kan een bedrijf of organisatie de keuze worden gelaten woon-werkverkeer al dan niet mee te nemen.

Het zakelijk verkeer van een bedrijf of organisatie bestaat uit de dienstreizen van haar werknemers. Deze zullen voornamelijk per auto, trein of vliegtuig worden gemaakt. Paragraaf 3.2 bespreekt het energieverbruik van deze vervoerswijzen naar verbruikte brandstof en afgelegde afstand.

Het zal voor de meeste bedrijven lastig zijn om van al haar werknemers te weten hoeveel kilometers zij dagelijks naar het werk reizen en met welk vervoermiddel zij dat doen. Om het invullen van de CO₂-meter zo eenvoudig mogelijk te maken, zou aan de hand van het aantal werknemers het energieverbruik voor woon-werkverkeer bepaald kunnen worden. Paragraaf 3.3 beschrijft wat in de literatuur bekend is over het gemiddeld energieverbruik per werknemer voor woon-werkverkeer.

Met goederen transport wordt bedoeld het vrachtvervoer als onderdeel van het bedrijfsproces. Het gaat hier om energieverbruik van logistiek binnen een bedrijf. Paragraaf 3.4 gaat in op het energieverbruik van goederentransport.

3.2 Zakelijk verkeer

3.2.1 Dienstreizen per auto

Het energieverbruik van personenvervoer per auto is afhankelijk van het type auto, het type brandstof (benzine, diesel of LPG), de afstand (stadsrit of lange afstanden) en het aantal inzittenden (bezettingsgraad). Voor de CO₂-meter is een energieverbruik per personenkilometer nodig: het energieverbruik niet alleen per kilometer maar per inzittende.

Tabel 3.1 geeft de gemiddelde energieverbruiksfactoren die in de Milieubalans van 2000 voor de analyse van het energieverbruik door Nederlanders zijn gebruikt (Brink, 2000). Gedeeld door de gemiddelde bezettingsgraad leveren deze cijfers het energieverbruik per personenkilometer (Brink, 1999). De emissiefactoren voor benzine en diesel bedragen 73 kg CO₂/GJ en voor LPG: 66 kg CO₂/GJ. De stookwaarden van de verschillende brandstoffen zijn: benzine 32,78 MJ per liter, diesel 35,868 MJ per liter, LPG 24,4 MJ per liter.

Tabel 3.1 *Energiegebruik en emissiefactoren auto's*

	Energiegebruik			Stookwaarde	Emissiefactoren		
	[MJ/km]	Bezettingsgraad	[MJ/pkm]	[MJ/l]	[kg CO ₂ /MJ]	[kg O ₂ /pkm]	[kg CO ₂ /l]
Benzine	2,7	1,6	1,7	32,780	0,073	0,12	2,39
Diesel	2,4	1,6	1,5	35,868	0,073	0,11	2,62
LPG	2,5	1,6	1,6	24,400	0,066	0,10	1,61

3.2.2 Dienstreizen per trein of bus

Trein

Om een emissiefactor voor de trein te berekenen is het elektriciteitsverbruik per reizigerkilometer noodzakelijk. Problemen zijn de dieseltreinen. We hebben het dieselgebruik omgerekend naar elektriciteit. Daarnaast moet het verbruik van goederentreinen buiten beschouwing worden gelaten (zie Tabel 3.2). Het totale elektriciteitsverbruik is gedeeld door de totale vervoersprestatie van treinen in Nederland: 14,9 miljard personenkilometers (bron CBS).

Dit levert een verbruik van 0,33 MJ elektriciteit per personenkilometer. Met de CO₂-emissiefactor voor elektriciteit kan dus een CO₂-emissiefactor per personenkilometer worden berekend (zie Paragraaf 2.3).

Tabel 3.2 *Berekening elektriciteitsverbruik trein in Nederland*

	[Mln kWh]	[PJe]	[PJ diesel]	Toelichting
Elektriciteitsverbruik transport	1630	5,87		Bron CBS
Dieselolieverbruik treinen			1,40	Bron RIVM
correctie diesel olieverb. goederen			-0,54	Schatting ECN
correctie elektriciteitsverbruik goederen	-176	-0,63		Schatting ECN
correctie bus tram metro	-185	-0,67		Schatting ECN (ECN-I-97-007)
Totaal		4,57	0,86	
Omrekening diesel naar elektriciteit		0,30	-0,86	Rendement dieselmotor (0,35)
Personentreinen 'totaal'		4,87		

Bus

Voor busreizen is gebruik gemaakt van de studie 'Energiegebruik en emissies van de luchtvaart en andere wijzen van personenverkeer op Europese afstanden', van CE (Roos, 1997). Voor het energiegebruik en emissies maakt deze studie gebruik van gegevens van TNO. Met de bezettingsgraad en een aanname over het aantal plaatsen (60) wordt in deze studie het energiegebruik per reizigerskilometer bepaald voor stads-, streek- en touringcarbussen (zie Tabel 3.3). In de studie wordt uitgegaan van diesel als brandstof. Met de emissiefactor van diesel (0,073 kg CO₂/MJ) is de CO₂-emissie per personenkilometer bepaald.

Tabel 3.3 *Energiegebruik busvervoer*

	Bezettingsgraad		Aantal plaatsen		[MJ/pkm]	[kg CO ₂ /pkm]
	[MJ/km]	[%]				
Stadsbus	20	40	60		0,8	0,06
Streekbus	13	40	60		0,5	0,04
Touringcar	10	80	60		0,2	0,02

RIVM gaat in de Milieubalans uit van een energiegebruik van 12 MJ/km en een bezettingsgraad van 15, dat resulteert in een energiegebruik per reizigerskilometer van 0,8 (Brink, 1999). Zowel het energiegebruik als de bezettingsgraad zijn laag in vergelijking met bovenstaande cijfers.

Voor de post 'openbaar busvervoer' in de CO₂-meter is uitgegaan van het gemiddelde van stads en streekvervoer. Apart zijn busreizen per touringcar opgenomen. Deze zijn voor een bedrijf of organisatie waar het gaat om dienstreizen waarschijnlijk niet van belang, maar deze post in de CO₂-meter is wel van belang voor berekening van de persoonlijke CO₂-emissie.

3.2.3 Dienstreizen per vliegtuig

Om het invullen van de CO₂-meter zo eenvoudig mogelijk te maken heeft Face reeds gekozen om een bedrijf of organisatie te vragen naar het aantal retourvluchten van bestemmingen binnen of buiten Europa (zie inleiding). Om de CO₂-emissie van die retourvluchten te bepalen is de gevlogen afstand nodig en de emissie (of het energiegebruik) per persoon per kilometer.

Het energiegebruik van vliegtuigen is afhankelijk van het type vliegtuig en het type motor. We zullen hier het gemiddelde moeten nemen en uitgaan van vliegtuig/motortypen die in werkelijkheid op bepaalde afstanden worden gebruikt.

Een vliegtuig vervoert naast passagiers vaak ook vracht. In emissieberekeningen voor vliegtuigen wordt de totale emissie van het vliegtuig gedeeld door het aantal 'passagiersequivalenten'. Deze zijn gedefinieerd als de som van het totale aantal passagiers en de in passagiers omgezette hoeveelheid betalende vracht. Een toestel met vracht heeft dus, denkbeeldig, meer passagiers aan boord; elke 95 kg vracht komt daarbij overeen met één passagier. Dit is een veel gebruikte waarde voor de gemiddelde massa van een passagier met zijn/haar bagage. Het resultaat van deze berekening is het energiegebruik en de emissies die aan een werkelijke passagier worden toegekend. Het meenemen van vracht verlaagt daarmee het energiegebruik en de emissies per meereizende passagier. Op vakantievluchten waar vaak geen of weinig betalende vracht wordt meegenomen, zou dat in vergelijking met lijndiensten leiden tot hogere emissies bij hetzelfde type vliegtuig. Dit effect wordt in de praktijk ongedaan gemaakt om twee redenen: vliegtuigconfiguraties bij vakantievluchten kennen vaak meer stoelen en er geleden veel hogere bezettingsgraden (Roos, 1997).

Voor vluchten binnen Europa is gebruik gemaakt van de studie 'Energiegebruik en emissies van de luchtvaart en andere wijzen van personenverkeer op Europese afstanden', dat door het CE, in samenwerking met het NLR is uitgevoerd in 1996/1997. Dit onderzoek is op initiatief van het reguliere overleg tussen overheid en luchtvaartsector over luchtvaart en milieu gestart en begeleid door de ministeries van VROM en V&W, Schiphol en Nederlandse luchtvaartmaatschappijen (Roos, 1997). In Tabel 3.4 worden de afstanden hemelsbreed gegeven tussen Amsterdam Schiphol en enkele Europese bestemmingen, plus de resultaten uit bovengenoemde studie voor de specifieke CO₂-emissie per personenkilometer. Daarbij gebruiken we ook voor vluchten over korte afstanden de specifieke emissie van een groot vliegtuigtype (Boeing 737-400).

Tabel 3.4 CO₂-emissie luchtvaart voor Europese afstanden (Roos, 1997)

	Hemelsbrede afstand vanaf Amsterdam [km]	CO ₂ -emissie [kg/pkm]
Athene	2174	0,10
Barcelona	1241	0,11
Hamburg	377	0,22
Londen	370	0,17
Oslo	918	0,13
Parijs	399	0,16
Rome	1296	0,12
Gemiddeld	≈1000	0,13

Uit Tabel 3.4 blijkt dat voor de specifieke CO₂-emissie grotere afstanden gunstiger zijn dan korte afstanden. Dit is een direct gevolg van het relatief grote energiegebruik van het opstijgen en klimmen.

De gemiddelde afstand van deze Europese bestemmingen is hemelsbreed 968 km. We kiezen als uitgangspunt voor de CO₂-meter 1000 km. Bovenstaande bestemmingen betreffen niet alle bestemmingen in Europa en houdt bovendien geen rekening met de verschillen in frequentie waarmee op verschillende Europese bestemmingen gevlogen wordt. De keuze voor 1000 km geeft aan dat dit een grove schatting van de afstand is en het gemiddelde niet nauwkeurig is bepaald. Vliegtuigen vliegen niet over de kortste afstand van A naar B. Vanwege bijvoorbeeld geluidshinder, 'corridors' in de lucht en de richting van start- en landingsbanen maken vliegtuigen een 'omweg'. De omweg is gemiddeld ca. 1,2 (Roos, 1997). De totale gemiddelde afstand voor een retourvlucht binnen Europa komt daarmee op 2400 km. De CO₂-emissie van een dergelijke gemiddelde vlucht binnen Europa kan gebaseerd worden op de specifieke CO₂-emissie van Amsterdam-Oslo uit Tabel 3.4, ca. 0,13 kg/pkm.

Voor vluchten buiten Europa is op advies van het NLR² gebruik gemaakt van een programma van de Swedish Civil Aviation Administration LFV dat via internet beschikbaar is (<http://www.lfv.se/site/lfv/environment/eng/environmentdata.asp>). Met dit programma kunnen de emissies van een vlucht tussen twee luchthavens berekend worden. Het programma biedt keuze in een redelijk aantal verschillende luchthavens over de wereld als bestemming of vertrekpunt. De andere luchthaven is dan automatisch Stockholm of een andere (voor Zweden) dichtstbijzijnde luchthaven in Europa. Voor sommige vluchten is keuze uit verschillende typen vliegtuigen. En tenslotte kan de gebruiker een keuze maken uit een bezettingsgraad van 65% of 90% (het percentage bezette plaatsen).

Het programma geeft zowel de totale CO₂-emissie van de vlucht, als de specifieke emissie per personenkilometer. Uit deze twee resultaten kan met de bezettingsgraad en de maximale capaciteit van een vliegtuig ook de door het vliegtuig afgelegde afstand worden berekend. Tabel 3.5 geeft voor een aantal binnen het programma geselecteerde bestemmingen voor verschillende regio's: het vliegtuigtype, het maximum aantal passagiers, de bezettingsgraad, de totale CO₂-emissie, de specifieke CO₂-emissie en de berekende afgelegde afstand.

² P. Brok (NLR), 25 september 2001.

Tabel 3.5 CO₂-emissies en afstanden luchtvaart

	Vliegtuigtype	Passagiers [max aantal]	Bezettings- graad [%]	Totale CO ₂ -emissie [ton]	Specifieke CO ₂ -emissie [g/pkm]	Afstand [km]
<i>Vluchten Europa</i>						
Stockholm-Amsterdam	Boeing 737-600	108	65	10,0	123	1158
	Boeing 737-600	108	90	10,1	90	1155
	DC-9-41	105	65	14,2	181	1149
	DC-9-41	105	90	14,9	137	1151
	MD-81	155	65	15,3	132	1150
	MD-81	155	90	16,2	101	1150
<i>Vluchten Afrika</i>						
Kaapstad-Londen	Boeing 747-400	400	65	321,7	128	9666
	Boeing 747-400	400	90	335,1	96	9696
<i>Vluchten Noord-Amerika</i>						
Seattle-Stockholm	Boeing 747-400	400	90	263,2	97	7537
	Boeing 767-300 ER	269	65	128,4	97	7571
Stockholm-New York	Boeing 767-300 ER	269	65	107,0	97	6309
	Boeing 767-300 ER	269	90	110,8	73	6269
Los Angeles-New York	Boeing 767-300 ER	269	65	68,1	98	3974
	Boeing 767-300 ER	269	90	70,9	74	3957
<i>Vluchten Midden- en Zuid-Amerika</i>						
Rio de Janeiro-Londen	Boeing 747-400	400	65	307,8	128	9249
	Boeing 747-400	400	90	320,6	96	9277
<i>Vluchten Azië</i>						
Bangkok-Stockholm	Airbus A330-200	253	65	141,9	104	8297
	Airbus A330-200	253	90	146,9	78	8271
Singapore-Copenhagen	Boeing 747-400	400	65	331,0	128	9946
	Boeing 747-400	400	90	344,8	96	9977
Tokyo-Copenhagen	Boeing 747-400	400	65	290,0	128	8714
	Boeing 747-400	400	90	302,0	96	8738
	Boeing 767-300 ER	269	65	147,5	97	8697
	Boeing 767-300 ER	269	90	152,4	72	8743
<i>Vluchten Australië</i>						
Sydney-Singapore	Boeing 747-400	400	65	211,1	129	6294
	Boeing 747-400	400	90	219,8	97	6294

De berekeningen voor vluchten binnen Europa maken een vergelijking mogelijk met de resultaten van de studie van CE. De specifieke CO₂-emissie is vergelijkbaar. Voor de vluchten buiten Europa blijkt de specifieke CO₂-emissie niet meer afhankelijk van de afstand, maar alleen van het vliegtuigtype en de bezettingsgraad. De Boeing 767-300 ER en de Airbus 330-200 laten vergelijkbare resultaten zien: bij een bezettingsgraad van 65% een specifieke CO₂-emissie van rond de 100 g/pkm, bij een bezettingsgraad van 90% rond de 75 g/pkm. De Boeing 747-400 geeft een hogere CO₂-emissie: bij een bezettingsgraad van 65% ca. 128 g/pkm, bij een bezettingsgraad van 90% ca. 96 g/pkm. Voor vluchten buiten Europa kiezen we voor de berekeningen in de CO₂-meter voor een specifieke CO₂-emissie van 0,10 kg CO₂/pkm als gemiddelde.

De met het LFV programma berekende afstanden in Tabel 3.5 geven aan dat de retourvluchten zouden moeten worden ingedeeld in vier categorieën (enkele reisafstand tussen haakjes):

1. Binnen Europa (1200 km)
2. Westkust Noord-Amerika, Midden-Oosten, Noord-Afrika (6000 km)
3. Oostkust Amerika, Midden- en Zuid-Amerika, Zuid-Afrika, en Azië (10.000 km)
4. Australië (16.000 km).

3.3 Woon-werkverkeer

Het CBS bepaalt jaarlijks de afgelegde afstand per persoon per dag, de wijze van verplaatsing (als autobestuurder of als auto-passagier of per OV) en het motief, waaronder 'van en naar het werk' (CBS, 2001). Deze cijfers zijn gebruikt om het aandeel van woon-werk verkeer in de totale vervoersprestatie te bepalen. Daarbij is de verdeling van reizigerskilometers tussen voertuigtypen (benzine/diesel/LPG) van de totale vervoersprestatie gebruikt. In Tabel 3.6 is de totale CO₂-emissie van het woon-werkverkeer bepaald, 5,9 Mton CO₂. De CO₂-emissie van woon-werk kilometers van auto-passagiers zijn gelijk aan nul gesteld: deze mensen rijden met een ander mee. Door te delen door de totale beroepsbevolking in arbeidsjaren (fte's, voltijdswerknemers) 5,6 miljoen in 1999 (CBS, 2001) kan worden berekend dat de CO₂-emissie voor woon-werkverkeer ruim 1000 kg CO₂/fte per jaar bedraagt.

Tabel 3.6 *Berekening CO₂-emissie van woon-werkverkeer*

	Eenheid	Autobestuurder	Autopassagier	OV	Totaal
Totale vervoersprestatie	[mld/km]	88,5	53,1	22,8	164,4
Motief woon-werk	[%]	33	13	32	
Vervoersprestatie woon-werk	[mld/km]	29,0	6,9	7,3	43,2
waarvan: benzine		19,6			
diesel		6,5			
LPG		2,9			
waarvan: trein				5,1	
bus, tram, metro				2,2	
CO ₂ -emissie	[mton]	5,5	0,0	0,4	5,9

Mogelijk heeft een bedrijf/organisatie collectief busvervoer geregeld. In dat geval kunnen voor de medewerkers die daarvan gebruik maken gerekend worden met de energiegebruikcijfers voor touringcars uit Tabel 3.3. Ook kan het zijn dat medewerkers in een lease-auto van het bedrijf rijden. Het brandstofverbruik van deze auto's zal dan bekend zijn en kan bij een berekening van CO₂-emissies worden gebruikt (zie Tabel 3.1). Lease-auto's worden echter niet alleen voor dienstreizen en woon-werkverkeer, maar ook voor privé-ritten gebruikt. Mogelijk zijn over privé-gebruik gegevens bekend, zodat daarvoor gecorrigeerd kan worden. Zijn geen gegevens bekend dan zou het gehele brandstofverbruik van lease-auto's toegeschreven moeten worden aan het bedrijf of de organisatie.

3.4 Goederentransport

Met goederentransport wordt bedoeld het vrachtvervoer als onderdeel van het bedrijfsproces. Vaak gaat het dan om vrachtvervoer in eigen beheer van het betreffende bedrijf/organisatie. Is dit het geval, dan zullen er gegevens bekend zijn over het brandstofverbruik. Voor de CO₂-emissie per liter brandstof kunnen de emissiefactoren uit Tabel 3.2 worden gebruikt. Een bedrijf/organisatie kan vrachtvervoer ook uitbesteden aan een transportbedrijf. In dat geval zal een transportbedrijf wellicht meerdere vrachten combineren. Voor de toerekening van CO₂-emissies is dan een specifiek energiegebruik per ton km (de verplaatsing van 1 ton over 1 km) nodig. Het energiegebruik van vrachtvervoer is echter niet alleen afhankelijk van de beladingsgraad, maar ook van het type voertuig waarmee de vracht wordt vervoerd. Het is onwaarschijnlijk dat een bedrijf/organisatie voor het invullen van de CO₂-meter beschikt over gedetailleerde gegevens omtrent de beladingsgraad en het type voertuig waarmee zijn vracht door een transportbedrijf wordt vervoerd. Daarom wordt hier uitgegaan van algemene gegevens uit de Milieubalans van het RIVM, die zijn bepaald op basis van CBS-statistieken over de gehele vervoersprestatie van het vrachtvervoer in Nederland. Het is wel belangrijk onderscheid te maken tussen bestelauto's en vrachtauto's.

Tabel 3.7 geeft het energiegebruik en de CO₂-emissie per km van bestelauto's en vrachtauto's op basis van gegevens uit de Milieubalans (Brink, 1999).

Tabel 3.7 *Energiegebruik en CO₂-emissie bestel- en vrachtauto's*

	[MJ/km]	[kg CO ₂ /MJ]	[kg CO ₂ /km]
<i>Bestelauto's</i>			
Benzine	3,2	0,073	0,23
Diesel	3,6	0,073	0,26
LPG	3,0	0,066	0,20
<i>Vrachtauto's</i>			
Diesel	12,0	0,073	0,88

4. EMISSIEFACTOREN CO₂-METER

De uitgangspunten zoals beschreven in Hoofdstuk 2 en 3 resulteren in CO₂-emissiefactoren voor de CO₂-meter zoals hieronder in Tabel 4.1 vermeld.

Tabel 4.1 CO₂-emissiefactoren voor de CO₂-meter

		CO ₂ -emissiefactor	Eenheid
<i>Energiegebruik gebouwen/processen</i>			
	<i>Jaarverbruik</i>		
Aardgas	[m ³]	1,77	[kg CO ₂ /m ³]
HBO	[l]	2,62	[kg CO ₂ /l]
Stadsverwarming	[GJ]	16,80	[kg CO ₂ /GJ]
Elektriciteit (normaal)	[kWh]	0,63	[kg CO ₂ /kWh]
Elektriciteit (groen)	[kWh]	0	[kg CO ₂ /kWh]
<i>Energiegebruik transport</i>			
<i>1. Zakelijk verkeer</i>			
<i>Auto</i>			
	<i>Jaarverbruik/afstand</i>		
Benzine	[l]	2,39	[kg CO ₂ /l]
	[km]	0,12	[kg CO ₂ /pkm]
Diesel	[l]	2,62	[kg CO ₂ /l]
	[km]	0,11	[kg CO ₂ /pkm]
LPG	[l]	1,61	[kg CO ₂ /l]
	[km]	0,10	[kg CO ₂ /pkm]
<i>Bus en trein</i>			
	<i>Afstand</i>		
Openbaar busvervoer	[km]	0,05	[kg CO ₂ /pkm]
Openbaar treinvervoer	[km]	0,05	[kg CO ₂ /pkm]
Touringcar	[km]	0,02	[kg CO ₂ /pkm]
<i>Vliegverkeer</i>			
	<i>Aantal retourvluchten</i>		
Binnen Europa		312	[kg CO ₂ /retourvlucht]
Westkust Amerika, Midden-Oosten, Noord-Afrika		1200	[kg CO ₂ /retourvlucht]
Oostkust Amerika, Midden- en Zuid-Amerika, Zuid-Afrika, en Azië		2000	[kg CO ₂ /retourvlucht]
Australië		3200	[kg CO ₂ /retourvlucht]
	<i>Afstand</i>		
Binnen Europa	[km]	0,13	[kg CO ₂ /pkm]
Buiten Europa	[km]	0,10	[kg CO ₂ /pkm]
<i>2. Woon-werk verkeer</i>			
Gemiddelde emissie per werknemer		1000	[kg CO ₂ /fte]
<i>3. Goederentransport</i>			
<i>Bestelauto's</i>			
	<i>Afstand</i>		
Benzine	[km]	0,23	[kg CO ₂ /km]
Diesel	[km]	0,26	[kg CO ₂ /km]
LPG	[km]	0,20	[kg CO ₂ /km]
<i>Vrachtauto's</i>	[km]	0,88	[kg CO ₂ /km]

Bij de berekening van bovenstaande CO₂-emissiefactoren is uitgegaan van de huidige efficiency van activiteiten (zoals het energiegebruik per km voor transport) en de huidige efficiency van opwekking van secundaire energiedragers. In de inleiding is reeds opgemerkt dat die efficiency een momentopname is en een ontwikkeling in de tijd zal laten zien.

De bijstookfactor van warmte wordt vooral bepaald door de temperatuurniveaus waarop in een elektriciteitscentrale warmte wordt afgetapt en zal voor bestaande stadsverwarmingsnetten niet veranderen. Alleen in nieuwe stadsverwarmingsprojecten wordt vaak lage temperatuur verwarming toegepast, wat resulteert in een lagere bijstookfactor. De CO₂-emissie van elektriciteit kan in de gekozen benadering alleen veranderen door een andere brandstofinzet of verbetering van het rendement door de inzet van nieuwere centrales. Bijstook van biomassa (in bijvoorbeeld kolencentrales) valt onder de noemer groene stroom en zal in de gekozen berekeningswijze de CO₂-emissiefactor van 'normale' elektriciteit niet beïnvloeden.

Zowel voor de CO₂-emissiefactor van elektriciteit als de factoren voor transport per km schatten we in dat actualisatie eens in de twee jaar zal leiden tot een bijstelling kleiner dan 5%. Dit geldt alleen uitgaande van trendmatige ontwikkelingen en een 'verrassingsvrij' toekomstperspectief.

Een ander punt is de nauwkeurigheid van de berekening van de CO₂-emissie, met andere woorden: hoe goed benadert de schatting van de CO₂-emissie met de CO₂-meter de werkelijke CO₂-emissie? Wanneer wordt gewerkt met kubieke meters gas, Gigajoules warmte, kilowatturen elektriciteit en liters brandstof is de schatting nauwkeurig. Bij de berekening van de CO₂-emissie van transport via het aantal kilometers moet men zich realiseren dat wordt gerekend met een gemiddeld energiegebruik. Een grove schatting is gemaakt van het energiegebruik voor woon-werkverkeer. Om die schatting te verbeteren zou voor het werknemersbestand een segmentering moeten plaats vinden naar woon-werkafstand en vervoersmode.

Het meest onnauwkeurig is de bepaling van de CO₂-emissie van vliegvluchten, omdat wordt uitgegaan van een gemiddelde afstand voor verschillende regio's in de wereld. In werkelijkheid kan een vliegvlucht al gauw duizend kilometer enkele reis meer of minder zijn. Voor een bedrijf of organisatie waar veel vliegvluchten worden gemaakt middelen de verschillen in positieve en negatieve zin elkaar uit. Maar voor kleine organisaties en zeker voor particulieren zullen de fouten in de gevlogen afstand en daarmee in de schatting voor de CO₂-emissie groot zijn. Juist ook omdat de emissie van eventuele vliegvluchten fors is en op de totale emissie van particulieren of kleine organisaties een grote invloed zal hebben. Dit punt kan alleen worden opgelost door voor vliegvluchten een minder grove indeling in bestemmingen en bijbehorende vliegafstanden te maken.

Uiteindelijk gaat het om een afweging tussen het maken van een nauwkeurige schatting en het gemak van het invullen van de meter. Met de in dit rapport gepresenteerde opzet van de CO₂-meter is een redelijke balans gevonden tussen eenvoud en nauwkeurigheid.

REFERENTIES

- Brink, R.M.M. van den (1999): *Verkeer en vervoer in de Milieubalans 1999*. RIVM, 251701042, maart 2000.
- Brink, R.M.M. van den (2000): *Verkeer en vervoer in de Milieubalans 2000*. RIVM, 251701044, december 2000.
- CBS (2001): *Statistisch Jaarboek 2001*.
- Roos, J.H.J. et al (1997): *Energiegebruik en emissies van de luchtvaart en andere wijzen van personenverkeer op Europese afstanden*. CE, Delft, 1997.
- Scheepers, M. et al (2001): *De kleur van stroom: de milieukwaliteit van in Nederland geleverde elektriciteit*. ECN, notitie voor Greenpeace, mei 2001.
- Spakman et al (1997): *Methode voor de berekening van broeikasgasemissies*, Publicatierreeks Emissieregistratie, nr. 37, juli 1997.
- VROM (1998): *NIRIS Subsidieregeling niet-industriële restwarmte-infrastructuur*. [Http://www.CO2reductie.nl/regeling/regeling_niris.pdf](http://www.CO2reductie.nl/regeling/regeling_niris.pdf).
- Ybema, R. et al (2001): *Referentieramingen*. ECN, 2001 (nog te verschijnen).