

Ontwikkeling van een rekenmethodiek voor broeikasgasemissies tijdens transport

Toepassing binnen het project Venlog



LEI

WAGENINGEN UR

Ontwikkeling van een rekenmethodiek voor broeikasgasemissies tijdens transport

Toepassing binnen het project Venlog

Heleen van Kernebeek

Gerben Splinter

LEI-nota 11-004

Januari 2011

Projectcode 2273000060

LEI, onderdeel van Wageningen UR, Den Haag

Het LEI kent de volgende onderzoeksvelden:



Sector & Ondernemerschap



Regionale Economie & Ruimtegebruik



Markt & Ketens



Internationaal Beleid



Natuurlijke Hulpbronnen



Consument & Gedrag

Ontwikkeling van een rekenmethodiek voor broeikasgasemissies tijdens transport; Toepassing binnen het project Venlog

Kernebeek, H.R.J. van en G.M. Splinter

LEI-nota 11-004

32 p., fig., tab.

Dit onderzoek is uitgevoerd met ondersteuning van Transforum.



© LEI, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2011.
Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.



Het LEI is ISO 9001:2008 gecertificeerd.

Inhoud

	Woord vooraf	6
	Samenvatting	7
1	Inleiding en probleemstelling	9
	1.1 Inleiding	9
	1.2 Doelstelling	9
	1.3 Opbouw rapport	9
2	Methodiek	10
	2.1 Inleiding	10
	2.2 Omschrijving van de casussen	12
	2.3 Emissies in de opkweek en teelt	14
	2.4 Emissies voor transport	15
	2.4.1 Inleiding methodiek	15
	2.4.2 Koeling tijdens transport	16
	2.4.3 Vrachtwagen	16
	2.4.4 Trein	17
	2.4.5 Binnenvaart	20
	2.4.6 Shortseaschepen	22
	2.5 Emissies voor opslag, inslag, uitslag, voor- en natransporten	24
3	Resultaten en conclusies	25
4	Discussie	26
	4.1 Transport	26
	4.2 Teelt	27
	4.3 Aanbeveling	14
	Literatuur en websites	29
	Begrippenlijst	31

Woord vooraf

Ketenbrede duurzaamheid is gericht op het verduurzamen van de keten van productie tot consument. Het Fresh Park Venlo is deze uitdaging aangegaan voor haar tomatenketen. Het Fresh Park richt zich hierbij op het thema van klimaatsverandering.

Met de ketenbrede aanpak worden de emissies van broeikasgassen in iedere stap in de keten zichtbaar gemaakt. Daarnaast wordt inzichtelijk hoe deze emissies kunnen worden verlaagd. Door alle stappen van productie, transport, opslag en koeling te integreren kunnen bij het formuleren van verbeteropties verschuivingen van emissies naar andere stappen in de keten worden voorkomen. Dit biedt Fresh Park Venlo een goede basis om bij te dragen aan duurzaamheid binnen haar tomatenketen.

Het LEI is gevraagd om een ketenmodel te ontwikkelen waarmee de broeikasgasemissies in de tomatenketen kunnen worden berekend. Hierbij is gekozen voor het berekenen van de carbon footprint van acht casussen van tomaten die in Nederland en Marokko worden geteeld en worden afgeleverd in Milaan via verschillende routes en vervoerswijzen. Hierbij is gebruik gemaakt van het bestaande broeikasgasmodel van het Productschap Tuinbouw, aangevuld met een nieuwe module voor het berekenen van broeikasgasemissies van verschillende transportmodaliteiten.

Voor de totstandkoming van dit project, evenals voor het aandragen van casussen en keteninhoudelijke kennis, gaat onze dank uit naar Jan Vorstermans en Adrie Visbeen. Wij danken ook Frans-Peter Scheer en Jim Groot voor de prettige samenwerking binnen het bredere Venlog-kader. Ook danken wij Mieke Eppink, Coen van Wagenberg en Peter Vermeulen voor hun kritische blik en kennisinhoudelijke betrokkenheid bij dit project. Speciaal woord van dank gaat uit naar collega Michiel van Galen voor zijn bijdrage in het allerlaatste stadium van het project. Als laatste danken wij ook Transform, die het project financieel mede heeft mogelijk gemaakt. Transform ondersteunt initiatieven om te komen tot een meer duurzame ontwikkeling in de agrosector en de benodigde kennisinfrastructuur om dit verder te ontwikkelen.



Prof.dr.ir. R.B.M. Huirne
Algemeen Directeur LEI

Samenvatting

Ontwikkeling van de rekenmethodiek

Voor het berekenen van de carbon footprint wordt gebruik gemaakt van de levenscyclusanalyse (LCA). Met deze methode kunnen de (broeikasgas)emissies worden berekend die in iedere schakel in de productieketen optreedt. Het Productschap Tuinbouw beschikt over een protocol dat specifiek is ontwikkeld voor het berekenen van broeikasgasemissies van tuinbouwproducten. Dit protocol bevat nog geen rekenmethodiek voor broeikasgasemissieberekeningen tijdens transport per trein, binnenvaartschip en shortseaschip. In dit rapport wordt een methodiek voor deze transportmodaliteiten ontwikkeld. Met de rekenregels behorende bij de ontwikkelde methodiek kunnen broeikasgasemissies per ton per kilometer worden berekend. Bij de rekenregels worden parameters van standaardwaarden uit de literatuur voorzien maar heeft de gebruiker zelf de vrijheid om eigen parameterwaarden te gebruiken. De binnen dit onderzoek ontwikkelde methodiek voor het berekenen van broeikasgasemissies tijdens transport met de trein, binnenvaartschip en shortseaschip is ter illustratie toegepast op acht casussen. Dit betreffen casussen van ronde tomaten geteeld in Nederland en Marokko die bestemd zijn voor de Milaanse markt. Hierbij wordt opgemerkt dat emissies in de opweek en teeltschakel van de Nederlandse casussen zijn uitgewerkt op basis van normwaarden, terwijl de emissies van de Marokkaanse casussen zijn gebaseerd op data van één bedrijf. De resultaten bieden hierom een te smalle basis voor harde uitspraken over de relatieve carbon footprint van de Nederlandse versus Marokkaanse tomaten. Iedere case betreft een 'teeltmodaliteit-transportroute'-combinatie. De cases zijn gebaseerd op huidige bestaande routings en op potentieel te ontwikkelen routings. Voor de productie wordt een onderscheid gemaakt tussen tomaten geteeld in West-Nederland en tomaten geteeld in Marokko, regio Agadir.

Uitkomsten cases

- Tomaten, geteeld in Marokko, hebben bij aankomst in Milaan een lagere broeikasgasemissie dan Nederlandse, mits zij vervoerd zijn per kustvaartschip. Dat is een uitkomst van deze studie waarin voor de Marokkaanse teelt de gegevens zijn gebruikt van één bedrijf, en voor de Nederlandse teelt de normwaarden zijn genomen.

Tabel S.1		Broeikasgasemissies (kg CO₂-eq/ton tomaten) per casus							
		NL		Marokko					
		1a	1b	2a	2b	2c	2d	2e	2f
Opweek + teelt		877	877	607	607	607	607	607	607
1e transport	Vrachtwagen	2	2	2	2	2	2	2	2
	Trein								
	Binnenvaartschip								
	Shortsea								
2e transport	Vrachtwagen	137	25	25	25	162	513	364	18
	Trein		22	22	18				
	Binnenvaartschip				9				
	Shortsea			22	22	20			14
Vrije schakel		2	2	2	2	2	2	2	2
Totaal		1.018	928	680	685	793	1.124	976	643

- Marokkaanse tomaten hebben in de teeltschakel een lagere broeikasgasemissie dan de Nederlandse, voornamelijk door de emissies die gepaard gaan met het verwarmen van de Nederlandse kas.
- Voor het transport van Nederland en Marokko naar Milaan zijn verschillende routes en transportmodaliteiten doorgerekend. Routes met relatief veel zeetransport hebben een relatief lage carbon footprint, terwijl vrachtwagentransport een relatief ongunstige uitwerking heeft op de carbon footprint van tomaten.

1 Inleiding en probleemstelling

1.1 Inleiding

Dit rapport gaat in op de methodiek voor het berekenen van de uitstoot van broeikasgassen tijdens de productie en transport van losse ronde tomaten middels de LCA-methodiek. Voor het uitwerken van deze methodiek is gekozen voor acht casussen van tomaten geteeld in Nederland (regio Westland) en Marokko (regio Agadir) en het transport van deze tomaten naar Milaan. Voor het transport worden meerdere routes uitgewerkt. Deze routes staan beschreven in paragraaf 2.2.

Aanleiding voor deze berekeningen vormt het project Venlog. In dit project wordt onderzocht wat de kracht is van Fresh Consolidation Centres (FCC's) ten opzichte van gespreide bedrijfslocaties en waar in Europa een locatie kan worden aangewezen dat het cluster bij Fresh Park Venlo versterkt.

Het LEI is gevraagd om inzichten ten aanzien van uitstoot van broeikasgassen in te brengen op basis van eerdere ervaringen in het project 'CO₂-rekentool voor tuinbouwketens'. In dit project heeft het LEI in samenwerking met partners een methodiek ontwikkeld voor het berekenen van de carbon footprint van tuinbouwproducten. Met behulp van deze methodiek kan voor alle schakels in de keten het aantal kilogrammen CO₂-equivalenten worden uitgerekend.

In het reeds afgeronde project voor de tuinbouwketens is in dit kader de carbon footprint van tomaten uit het Westland berekend. Deze analyse nam emissies tijdens de primaire productie van tomaten en het transport naar het distributiecentrum (DC) van de retail in Nederland mee.

1.2 Doelstelling

Het doel van het project is om voor de tomaten geteeld in Nederland en Marokko, en bestemd voor de Italiaanse markt, een routing te formuleren met een zo laag mogelijk broeikasgaspotentieel. Deze uitgangspunten zijn geformuleerd door de VENlog-consortiumleden onder aanvoering van Fresh Park Venlo.

Om deze doelen te bereiken zijn de volgende actiepunten gedefinieerd:

- A. het ontwikkelen van een methodiek voor het berekenen van broeikasgasemissies tijdens transport met de trein, binnenvaartschip en kustvaartschip;
- B. het berekenen van het broeikasgaspotentieel van de tomatenteelt in Marokko;
- C. het doorrekenen van de in paragraaf 2.2 geformuleerde casussen;
- D. het vergelijken van het broeikasgaspotentieel van de tomaten uit de verschillende casussen en het formuleren van de casus met het laagste broeikasgaspotentieel.

Voor het LEI staat actiepunt A centraal als uitkomst binnen dit rapport. De uitkomsten van de overige actiepunten zijn in de eerste plaats voor het eigen gebruik binnen Fresh Park Venlo van belang.

1.3 Opbouw rapport

Dit rapport is opgebouwd uit meerdere hoofdstukken. In hoofdstuk 1 wordt het kader geschetst waarbinnen het in dit rapport beschreven project heeft plaatsgevonden. Hoofdstuk 2 beschrijft de methodiek die is gebruikt om de carbon footprint van tomaten te berekenen. Deze is gebaseerd op de algemene methodiek van de levenscyclusanalyse. Vervolgens worden de casussen beschreven. Tot slot volgt een uitwerking van mogelijke transportroutes met een beschrijving van emissieberekeningen rondom opslag, inslag, uitslag, voor- en natransport. Hoofdstuk 3 beschrijft de resultaten en conclusie van de casussen. Hoofdstuk 4 sluit af met de discussie.

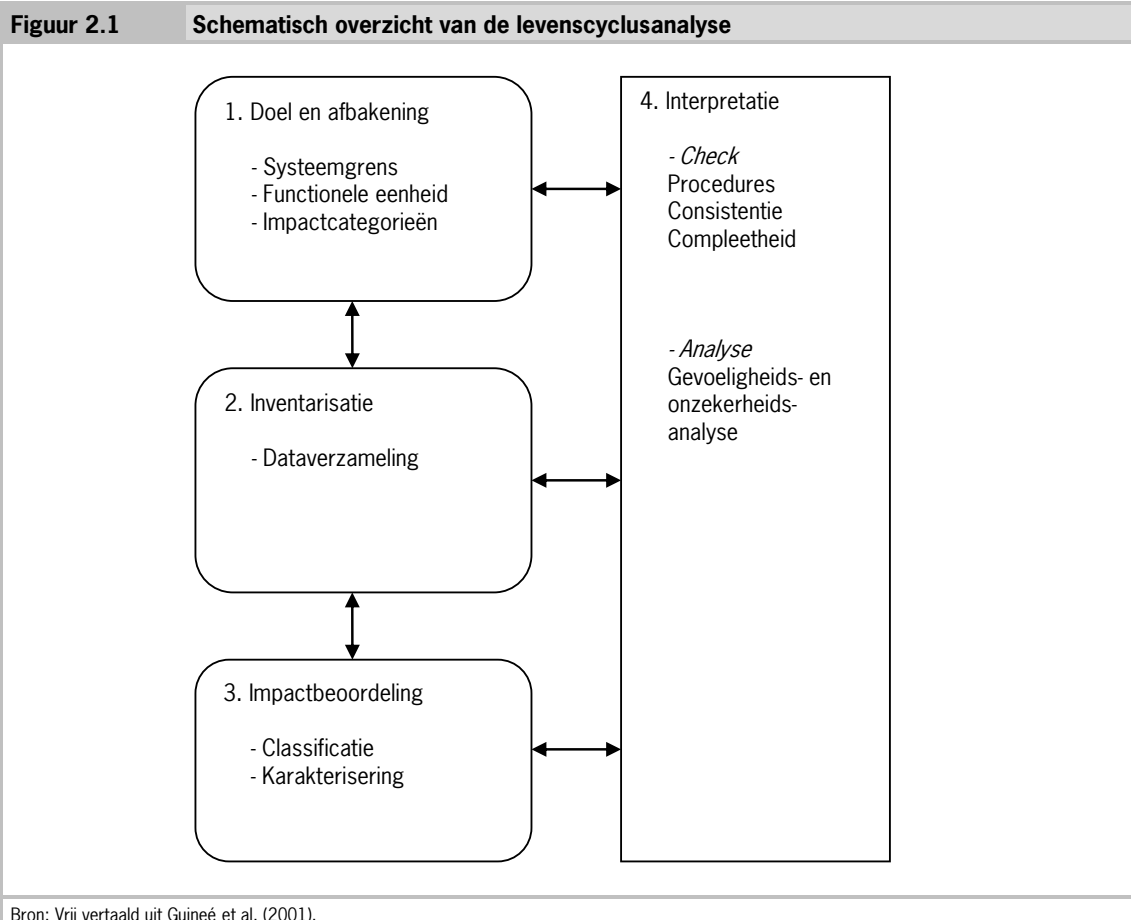
2 Methodiek

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de algemene methodiek die in dit onderzoek is gebruikt. Ook worden de casussen beschreven. Vervolgens wordt de ontwikkeling van rekenregels voor het berekenen van broeikasgasemissies tijdens transport uitgewerkt.

2.1 Inleiding

Voor het berekenen van de carbon footprint wordt gebruik gemaakt van de levenscyclusanalyse (LCA). Met deze methode kunnen de (broeikasgas)emissies worden berekend die zijn opgetreden bij de productie van een eenheid product. Met de keuze van de methodiek en alle keuzes die zich binnen deze methodiek voordoen, wordt aangesloten bij de CO₂-rekenmethodiek voor de tuinbouwsector (Blonk et al., 2009). Met deze methodiek zijn reeds de broeikasgasemissies van Nederlandse ronde tomaten uitgerekend. De resultaten hiervan zullen in dit project worden gebruikt. De toegepaste methodiek sluit aan bij het PAS 2050-protocol dat is opgesteld door het Britse Standaardinstituut in samenwerking met Defra en de Carbon Trust. Het PAS 2050-protocol wordt verondersteld leidend te zullen worden binnen onderzoek naar de broeikasgasemissie van producten.

Bij het uitvoeren van een LCA moeten een aantal methodologische stappen worden doorlopen. Deze stappen zijn beschreven in Guinée et al. (2001) en worden in deze paragraaf kort toegelicht. Figuur 2.1 is een schematische weergave van de stappen.



De vier stappen die worden onderscheiden zijn:

- 1) Doel en afbakening;
- 2) Inventarisatie;
- 3) Impactbeoordeling;
- 4) Interpretatie.

Stap 1) Doel en afbakening

Systeemgrens

De levenscyclus van een product is in principe oneindig. Om toch berekeningen te kunnen uitvoeren moet het systeem worden afgebakend. De systeemgrens geeft aan welke stappen in de gehele productieketen worden meegerekend. De systeemgrens is aangegeven in figuur 2. In dit onderzoek wordt gekozen voor een cradle-to-retail DC-systeemgrens. Dit houdt in dat emissies die optreden tijdens de productie van de inputs (bijvoorbeeld kunstmest en elektriciteit), emissies tijdens de teelt (bijvoorbeeld lachgasemissies uit de bodem) en emissies tijdens bewaring en transport (gebruik van elektriciteit en verbranding van brandstof) worden meegerekend. Emissies die plaatsvinden na de DC van de retail worden niet meegerekend. Kapitaalgoederen dienen volgens PAS 2050 buiten beschouwing gelaten te worden.

Functionele eenheid

De functionele eenheid is de entiteit waaraan de emissies worden toegeschreven. In dit onderzoek is gekozen voor één ton tomaten die de DC van de retail in Milaan bereikt.

Impact categorie

De impact categorie is het milieuthema waarover de analyse wordt uitgevoerd. De gekozen impact categorie is de 'global warming potential', ofwel de uitstoot van broeikasgassen. In het kader van broeikasgasemissies wordt ook vaak de term 'carbon footprint' gebruikt. Er wordt gedoeld op de uitstoot van alle broeikasgassen, en niet alleen op het broeikasgas CO₂. Naast CO₂ zijn methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) belangrijke broeikasgassen voor de carbon footprint van landbouwproducten. Methaan is een 25 keer sterker broeikasgas dan CO₂. Lachgas is 298 keer sterker (IPCC, 2006). Met behulp van deze wegingsfactoren worden de drie broeikasgassen omgerekend naar CO₂-equivalenten. Dit gebeurt met behulp van de volgende vergelijking:

$$\text{Carbon footprint} = \text{kg CO}_2\text{-eq} = 1 \times [\text{kg CO}_2] + 25 \times [\text{kg CH}_4] + 298 \times [\text{kg N}_2\text{O}]$$

Stap 2) Inventarisatie

In deze stap vindt de dataverzameling plaats. Voor de Nederlandse tomaten is in het kader van deze studie gebruik gemaakt van bestaande resultaten uit het CO₂-tuintbouwproject. Deze resultaten zijn gebaseerd op data uit de KWIN (Kwantitatieve Informatie glastuinbouw). De KWIN-cijfers voor de glastuinbouw hebben betrekking op moderne en goed geleide bedrijven. De KWIN is normatief van karakter, maar getoetst aan praktijkresultaten.

Voor data aangaande de teelt van Marokkaanse tomaten is gebruik gemaakt van aangeleverde data van één bedrijf, expertkennis en literatuur. Een beschrijving van deze teelt wordt gegeven in paragraaf 2.2.

De transportregels uit paragraaf 2.4 zijn opgesteld met behulp van gegevens uit de literatuur en expertkennis.

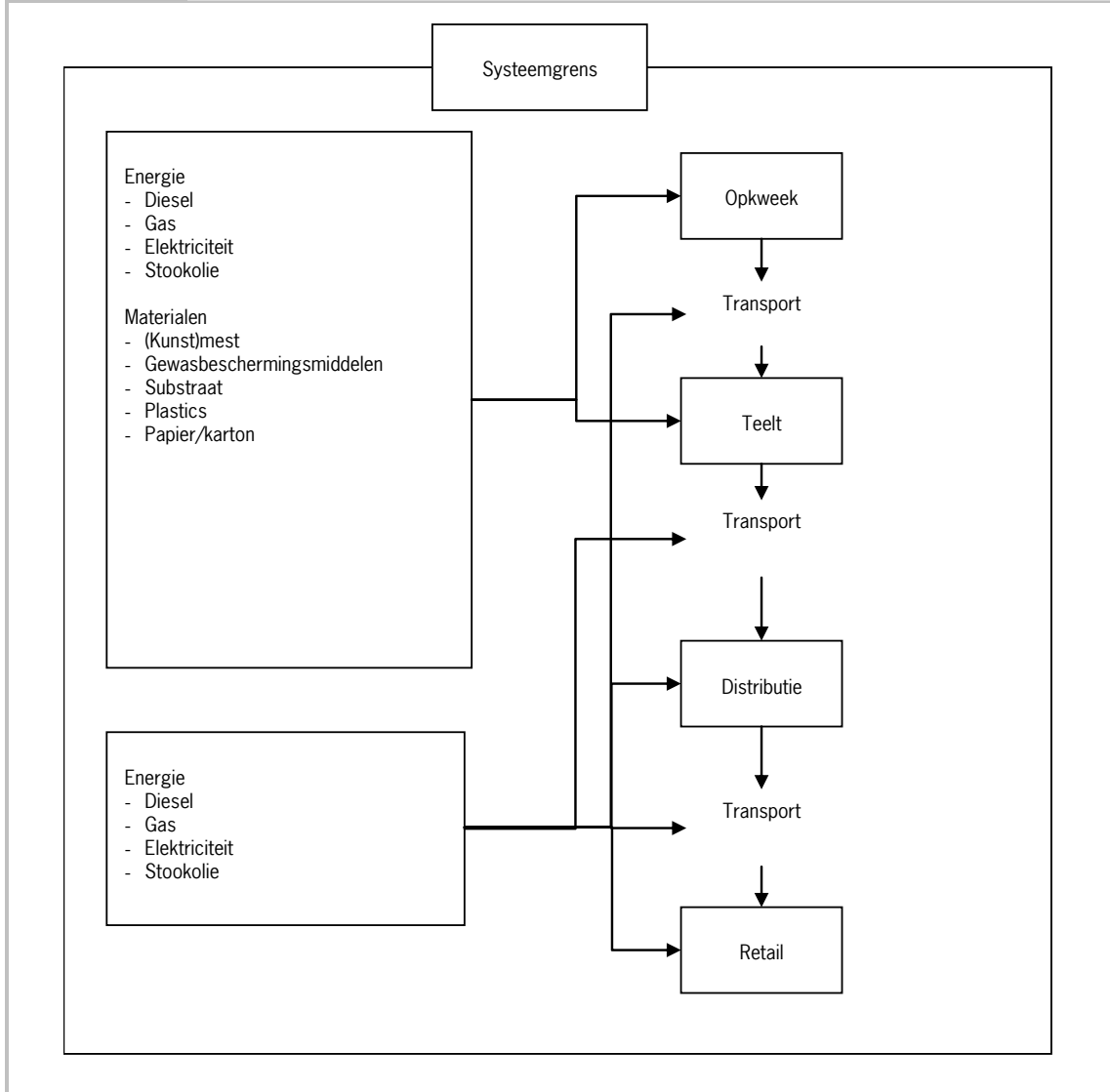
Stap 3) Impactbeoordeling

In deze stap worden de emissies berekend en toegewezen aan de betreffende impact categorieën. In deze studie worden alleen de broeikasgasemissies berekend en deze worden alleen toegekend aan de impactcategorie 'global warming potential'.

Stap 4) Interpretatie

Na het berekenen van de broeikasgasemissies worden de resultaten geanalyseerd en geïnterpreteerd. Ook wordt er gereflecteerd op de gevolgde aanpak. In dit rapport vindt u een discussie terug in hoofdstuk 4.

Figuur 2.2 Schematische procesmap van de productie van tomaten tot aan de aflevering bij de retail, inclusief systeemgrens



2.2 Omschrijving van de casussen

In dit project worden zeven cases uitgewerkt. Ieder case betreft een 'teeltmodaliteit-transportroute'-combinatie. De cases zijn gebaseerd op huidige bestaande routings en op potentieel te ontwikkelen routings. Voor de productie wordt een onderscheid gemaakt tussen tomaten geteeld in West-Nederland en tomaten geteeld in Marokko, regio Agadir. Bij het transport worden de modaliteiten 'vrachtwagen', 'trein', 'binnenvaartschip' en 'shortseaschip' onderscheiden. Er worden bovendien meerdere routes uitgewerkt. De cases worden hierna beschreven:

Case 1: Tomaten uit West-Nederland

- Case 1a: Tomaten geteeld in West-Nederland, die via Venlo naar Milaan worden getransporteerd met de vrachtwagen.
- Case 1b: Tomaten geteeld in West-Nederland, die via Venlo naar Milaan worden getransporteerd met de trein.

Case 2: Tomaten uit Marokko (regio Agadir)

- Case 2a: Tomaten geteeld in Marokko, die naar Rotterdam worden gebracht met een shortseaschip en van daaruit volledig met de trein via Venlo worden gebracht naar Milaan.
- Case 2b: Idem aan 2a, alleen vindt transport van Rotterdam naar Venlo plaats met de binnenvaart.
- Case 2c: Tomaten geteeld in Marokko, die naar Duinkerken worden gebracht met een shortseaschip en van daaruit per vrachtwagen via Venlo worden gebracht naar Milaan.
- Case 2d: Tomaten geteeld in Marokko, die volledig met de vrachtwagen vanaf Agadir - ferry naar Spanje - via Venlo worden gebracht naar Milaan.
- Case 2e: Idem aan 2d, alleen vind transport per vrachtwagen nu niet plaats via Venlo maar direct van Agadir naar Milaan.
- Case 2f: Tomaten geteeld in Marokko, die naar Genua worden getransporteerd met de shortseaschip en van daaruit per vrachtwagen worden gebracht naar Milaan.

Tomaten geteeld in West-Nederland

De Nederlandse tomatenteelt is reeds doorgerekend in de CO₂-tuintbouwproject (Blonk et al., 2009). De berekeningen zijn uitgevoerd conform het protocol van de broeikasgasemissies door de productie van tuintbouwproducten (Blonk et al., 2009). De tomaten worden in de kas op substraat geteeld. In week 51 worden de plantjes in de kas gezet en tot en met week 48 van het volgende jaar worden de tomaten geplukt. Met behulp van een aardgasgestookte cogenerator (wkk) wordt elektriciteit, warmte en CO₂ opgewekt. Het grootste deel van de elektriciteit die door de wkk wordt opgewekt wordt verkocht aan het elektriciteitsnet. De warmte en CO₂ worden in de kas gebruikt om de plantengroei en daarmee de productie van tomaten te bevorderen. De tomaten worden van nutriënten voorzien via N-, P en K- kunstmest. Er worden meerdere soorten plastics gebruikt. Polytheen (PE) wordt gebruikt als hoes om de steenwol matten en als gronddoek. Polystyreen (PS) vormt de isolatie van de steenwolmatten. Polyvinylchloride (PVC) als nylon steundraden voor de energieschermen (Vermeulen, 2010). Om de gewassen te beschermen worden ook gewasbeschermingsmiddelen gebruikt. Emissies voor de productie van kapitaalgoederen als glas, staal, beton en meerjarige plastics worden conform de PAS 2050 niet opgenomen in de berekeningen.

Tomaten geteeld in Marokko

Voor de berekening van broeikasgasemissies van tomatenteelt in Marokko wordt gebruik gemaakt van gegevens van één bedrijf uit de regio Agadir. Dit bedrijf is representatief voor de bedrijven die telen voor de export. De verkregen data zijn gemiddelden voor de drie teeltjaren van 2006 tot en met 2009. De kleine tomatenplantjes worden vanaf de kweker met een vrachtwagen over een afstand van 10 km naar de teler gebracht. Tijdens dit transport wordt niet gekoeld. De teelt vindt plaats in een plastic kas van oktober tot juni. Er wordt geen gebruik gemaakt van een wkk. Tomaten worden in Marokko veelal in de grond geteeld (Carretero, 2009). Daarom is voor deze studie ook gekozen voor tomaten uit de grond. Er wordt in de teelt een klein beetje veen gebruikt. Waarschijnlijk zit dit veen in de opkweekpotjes en wordt het jonge plantje bij de teler samen met dit veen geplant. Om de teelt te beschermen worden fungiciden en pesticiden gebruikt. De plantjes worden bemest met verscheidene N, P en K kunstmestsoorten. Tijdens de teelt worden geen plastics gebruikt maar wel papier/karton. De tomaten verlaten de teler onverpakt.

Productverlies

Bij de berekening van de carbon footprint van één ton tomaten wordt rekening gehouden met productverlies in de gehele keten. In de hele keten van primaire productie tot aan de DC van de retail treedt product-

verlies op door ziekten, rot, aantasting door schimmel, en fysieke schade door bijvoorbeeld verdrinking en stoten. Er wordt een correctiefactor voor productverlies opgenomen om de emissie per functionele eenheid te kunnen berekenen.

Transport

In tabel 2.1 worden de transportkilometers gegeven die per casus en per modaliteit worden afgelegd. Het 1e transport betreft het transport van de opkweker van de jonge tomatenplantjes naar de teler. Tijdens het 2e transport worden de geplukte tomaten van de teler naar de eindbestemming, Milaan, gebracht.

		Transportkilometers (km) per casus en per modaliteit voor 1e en 2e transport							
		NL		Marokko					
		1a	1b	2a	2b	2c	2d	2e	2f
1e transport	Vrachtwagen	15	15	15	15	15	15	15	15
	Trein								
	Binnenvaartschip								
	Shortsea								
2e transport	Vrachtwagen	1.100	200	200	200	1.300	4.120	2.930	142
	Trein		1.100	1.100	920				
	Binnenvaartschip				180				
	Shortsea			3.000	3.000	2.800			1.915

Opslag

Tijdens distributie vindt ook opslag van de tomaten plaats in koelcellen. De Marokkaanse tomaten worden in Marokko twee dagen opgeslagen ter buffering. Voor de Nederlandse tomaten kan dit zelfde worden aangenomen (Visbeen, 2010; Vorstermans, 2010).

2.3 Emissies in de opweek en teelt

Emissies in de opweek en teelt worden berekend volgens het protocol *Berekening van broeikasgasemissies door de productie van tuinbouwproducten* (Blonk et al., 2009). Dit rapport bevat de rekenregels waarop het onderliggende model is gebaseerd. Hieronder wordt kort aangegeven wat de structuur is van deze rekensystematiek. Voor rekenregels wordt verwezen naar Blonk et al. (2009).

In de CO₂-rekenmethodiek worden als vuistregels gehanteerd dat het opweekmateriaal voor één hectare teeltmateriaal afkomstig is van 1/10 hectare grond en dat de emissies van de opweek gelijk zijn aan 1/10 van de emissies van de teelt. Deze vuistregels zijn opgesteld op basis van de casussen die voor het ontwikkelen van het rekenprotocol zijn uitgevoerd.

Emissies in de teelt worden veroorzaakt door de productie van inputs (zoals pesticiden), het verbruik van elektriciteit en het verbranden van fossiele brandstoffen. Bij teelten in de volle grond komen er ook emissies voort uit de bemesting en het landgebruik. Emissies voor de productie van tuinbouwproducten worden kortweg berekend door de gebruikte hoeveelheden van de inputs te vermenigvuldigen met hun specifieke emissiefactor. Kapitaalgoederen worden niet opgenomen in de LCA-analyse. Bodememissies worden berekend op basis van het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) protocol (IPCC, 2006). Vervolgens worden de totale emissies van broeikasgassen gedeeld door de opbrengst om de emissies uit te drukken in ton product.

Onder materialen vallen fungiciden, herbiciden, insecticiden, plastics, substraten, papier, karton en kunstmest. Tijdens de productie van deze materialen worden inputs gebruikt zoals grondstoffen, elektriciteit en brandstoffen. De productie van deze grondstoffen wordt conform het PAS 2050-protocol meegenomen in de analyse. De emissiefactoren van de materialen zijn gehaald uit literaire bronnen en databases.

Emissies als gevolg van het verbruik van elektriciteit worden meegenomen door de hoeveelheid elektriciteit te vermenigvuldigen met een emissiefactor (IAE, 2009). Daarnaast wordt rekening gehouden met

de elektriciteit die wordt gegenereerd in een wkk en wordt geleverd aan het elektriciteitsnet. Voor de elektriciteit die aan het net wordt geleverd wordt de tuinder gecompenseerd.

2.4 Emissies voor transport

In deze paragraaf wordt de methodiek uitgewerkt voor het berekenen van broeikasgassen tijdens het transport van tuinbouwproducten. Voor de uitwerking van deze methodiek worden de routes en modaliteiten gebruikt zoals beschreven staan in de casussen in paragraaf 2.2. Eerst volgt een algemene inleiding van de methodiek voor het berekenen van broeikasgasemissies. Daarna volgt in paragraaf 2.4.2 een algemene inleiding en basisdata voor het berekenen van het energieverbruik als gevolg van het koelen van de containers tijdens transport. De rekenregel voor het koelen tijdens transport wordt geïntegreerd in de paragrafen van de modaliteiten zelf. Vervolgens worden in de paragrafen 2.4.3 tot en met 2.4.6 de rekenregels van de modaliteiten vrachtwagen, trein, binnenvaartschip en shortseaschip uitgewerkt. De uiteindelijke vergelijking waarmee CO₂-emissies berekend zullen worden staan gegeven aan het einde van de afzonderlijke paragrafen 2.4.3 tot en met 2.4.6.

2.4.1 Inleiding methodiek

In de cases die beschreven staan in paragraaf 2.2 vindt transport plaats middels vrachtwagens, treinen, binnenvaartschepen en shortseaschepen. In het CO₂-rekenprotocol van het Productschap Tuinbouw zijn, naast rekenregels voor het vliegtuig en zeeschepen, ook rekenregels opgenomen voor het berekenen van emissies als gevolg van transport met de vrachtwagen. Voor de overige drie transportmodaliteiten, zijnde trein, binnenvaartschip en shortseaschepen, zijn binnen dit project rekenregels opgesteld.

Emissies voor transport treden op als gevolg van de productie en het verbranden van fossiele brandstoffen en de productie van elektriciteit. Strikt genomen zouden volgens het LCA-principe ook emissies moeten worden inbegrepen als gevolg van het fabriceren van het voertuig zelf en het aanleggen van de infrastructuur. Het PAS 2050-protocol geeft echter aan dat emissies als gevolg van de productie van kapitaalgoederen niet mogen worden opgenomen in emissieberekeningen. Emissies ten gevolge van de bouw van vrachtwagens, treinen en schepen moeten dus niet worden meegerekend. Het protocol gaat niet specifiek in op emissies als gevolg van de aanleg van infrastructuur. Omdat infrastructuur over een periode van vele jaren wordt gebruikt, wordt in dit rapport infrastructuur beschouwd als kapitaalgoed en hierom niet opgenomen in de berekeningen. Deze afbakening is in lijn met die van andere rapporten over de broeikasgasemissies van transport (CE Delft, 2008; IFEU Heidelberg et al., 2010), evenals met de reeds in het CO₂-protocol opgenomen methodiek voor vrachtwagens. Voor de gebruikte methodiek wordt ook aangesloten bij bestaande initiatieven, zoals Lean en Green en Prorail. Beide initiatieven sluiten voor hun emissieberekeningen aan bij de methodiek van CE Delft.

In de rekenregels die voor treinen, binnenvaartschepen en shortseaschepen worden opgesteld, wordt dus alleen gerekend aan emissies als gevolg van brandstofwinning en productie (raffinage) van brandstoffen en elektriciteit en emissies als gevolg van de verbranding van brandstoffen. Hierbij is energieverbruik als gevolg van koeling inbegrepen. In de discussie wordt kort ingegaan op de consequentie van deze afbakening voor de carbon footprint.

De hoeveelheid benodigde energie uit brandstoffen en elektriciteit voor transport is van vele factoren afhankelijk. De belangrijkste parameters die de emissies bepalen zijn het gewicht van het voertuig, het laadvermogen, de beladingsgraad en het aantal productieve kilometers (IFEU Heidelberg et al., 2010). Deze parameters zijn als variabelen in de vergelijkingen opgenomen, zodat de gebruiker zelf de parameterwaarden kan bepalen. Andere parameters die van invloed zijn op het energieverbruik, zoals de waterweerstand, zijn zo complex dat deze worden geïncorporeerd in de gegeven constanten.

Voor de emissieberekeningen voor binnenvaart- en shortseaschip is gebruik gemaakt van het STREAM-rapport (CE Delft, 2008). Hierbij is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van prognosedata betreffende het jaar 2010. Parameterwaarden in CE Delft (2008) hebben betrekking op het Nederlandse modaliteitenpark.

Voor binnenvaart- en shortseaschepen kan worden aangenomen dat deze waarden ook geldig zijn voor transport binnen Europa (Den Boer, 2010). Voor treintransport geldt dit niet. Daarom is voor treintransport gebruik gemaakt van de methodiek van EcoTransIT, een internationaal georiënteerd initiatief (IFEU Heidelberg, 2010).

Voor alle transportmodaliteiten is aangenomen dat de tomaten vanwege hun fysieke kwetsbaarheid worden vervoerd in gekoelde containers van 40 foot.

2.4.2 Koeling tijdens transport

In deze paragraaf worden enkele basisdata voor koeling gegeven die in de berekeningen voor treinen, binnenvaartschip en shortseaschip terugkomen. Koeling tijdens vrachtwagen transport was al opgenomen in de rekenregel van het CO₂-protocol en wordt in de volgende paragraaf besproken. De in deze paragraaf berekende parameterwaarden komen in de paragrafen van de afzonderlijke transportmodaliteiten terug in de rekenregels.

Voor het koelen van de containers worden de containers geschakeld aan een generator. De koeling van containers kost voor alle modaliteiten een vergelijkbare hoeveelheid energie van 5,5 kW voor een 40ft-koelcontainer. (Lukasse, 2010). Elektrische treinen en binnenvaartschepen koelen met een generatorset op diesel (Visbeen, 2010; Volker, 2010). Shortseaschepen koelen met een generator die loopt op stookolie (Quiren, 2010).

Goederentreinen rijden door Europa met een gemiddelde snelheid van ongeveer 80 km per uur (Philips, 2010). Deze snelheid is inclusief niet-commerciële stops. Met een verbruik van 5,5 kW komt dit neer op 0,06875 kWh per koelcontainer per km. Dit is 0,2475 MJ per koelcontainer per km. Er staan gemiddeld 41 40ft-containers op een trein (Philips, 2010). Dit komt neer op 10,148 MJ per km per trein, indien alle containers koelcontainers zijn.

Een binnenvaartschip vaart gemiddeld met een snelheid van 15 km per uur tussen Rotterdam en Venlo (Volker, 2010). Met een verbruik van 5,5 kW voor koeling komt dit neer op 0,36667 kWh per koelcontainer per km. Dit is 1,32 MJ per koelcontainer per km.

Een shortseaschip vaart met een gemiddelde snelheid van 27 km per uur (Feederlines, 2010). Met een verbruik van 5,5 kW komt dit neer op 0,2037 kWh per container per km. Dit is 0,7333 MJ per container per km.

2.4.3 Vrachtwagen

De rekenregel voor het berekenen van broeikasgasemissies door vrachtwagentransport wordt overgenomen van het bestaande Tuinbouw Protocol (Scholten et al., 2009). In Scholten et al., 2009 zijn parameterwaarden gebaseerd op Nederlandse vrachtwagens. Hier wordt aangenomen dat dezelfde parameterwaarden gelden voor Europese vrachtwagens. De bijbehorende parameterwaarden staan gegeven in tabel 2.2. Deze rekenregel wordt gegeven in vergelijking 1.

$$GHG_{weg} = \frac{0,0065 \cdot LV + 0,22247 \cdot 0,25 \cdot LG + 0,75 \cdot km \cdot 1 + kmf \cdot 0,84 \cdot GHG_{diesel} \cdot 1 + 0,05 \cdot K}{LV \cdot LG} \quad (1)$$

Met de standaardwaarden uit tabel 2.2 komt de emissie van gekoeld vrachtwagentransport uit op 0,1244 kg CO₂-eq/tonkm.

Tabel 2.2 Parameters en standaardwaarden voor vrachtwagentransport			
Afkorting	Definitie	Standaardwaarde	Eenheid
GHGweg	Broeikasgasemissie afkomstig van wegtransport		kg CO ₂ -eq per ton
LV	Maximaal laadvermogen transportmiddel	14	ton
LG	Beladingsgraad ten opzichte van het maximale laadvermogen (LG>0)	1	
km	Afstand waarover goederen vervoerd worden		km
kmf	Extra km factor dat het vervoermiddel leeg aflegt na aflevering ten opzichte van heenreis (waarde tussen 0 en 1)	0,75	
K	Dummy voor wel (1) of niet (0) koelen	1	
GHG diesel	Emissiefactor diesel	3,6	kg CO ₂ /kg diesel

Bron: Blonk et al. (2009).

2.4.4 Trein

Treintransport van tomaten door Europa vindt plaats met elektrische containertreinen (Den Boer, 2010). De broeikasgasemissies van transport met deze trein worden veroorzaakt door het verbruik van elektriciteit om de trein voort te bewegen en het verbruik van diesel voor het aandrijven van de generatorset voor koeling. De emissieberekening wordt in twee delen gesplitst. Eerst wordt de emissie berekend van het voortbewegen van de trein (emissie van het voertuigtransport). Vervolgens wordt de emissie berekend voor de koeling. Beide emissies worden daarna bij elkaar opgeteld om tot de emissies per tonkm te komen. Voor de methodiek en de meeste parameters wordt gebruik gemaakt van IFEU Heidelberg et al. (2010). Met dit internationaal georiënteerde initiatief kunnen het directe energiegebruik en de hieraan gerelateerde CO₂-emissies van treintransport worden berekend. In de methodiek van IFEU Heidelberg et al. (2010) wordt rekening gehouden met technische standaarden van de voertuigen en emissies tijdens overladen bij grensovergangen. Ook worden de emissies die ontstaan tijdens de productie van elektriciteit, de zogenaamde upstreamemissies, meegenomen. Voor koeling wordt gebruik gemaakt van gegevens uit paragraaf 2.4.2.

In tabel 3 staan de parameters met hun eenheden en standaardwaarden weergegeven voor treintransport.

Emissieberekening van het voertuigtransport

Door EcoTransIT wordt een vergelijking gegeven voor het specifieke energieverbruik. Hierbij wordt het energieverbruik van de trein (E_{Gt}) gedeeld door een factor Nt/Gt . Deze wordt weergegeven in vergelijking 2.

$$E_{Nt} = E_{Gt} / \left(\frac{Nt}{Gt} \right) \quad (2)$$

[waarbij Nt/Gt moet worden berekend inclusief de 'empty trip' factor]

E_{Nt} (Wh/Ntkm) is het specifieke energieverbruik, E_{Gt} (Wh/Gtkm) is het energieverbruik van de trein. Nt voor nettolading (Net ton weight) en Gt staat voor brutolading (Gross ton weight).

Het energieverbruik van de trein (E_{Gt}), uitgedrukt in Wh/Gtkm, is gemodelleerd op basis van het energieverbruik van Europese treinen met een verschillend ladingsgewicht die rijden in omgevingen die zich onderscheiden op basis van landschapsgradiënten (vlak, heuvelachtig en bergachtig). Hiervoor is een gewogen gemiddelde van Europese treinen over verschillende landschapsgradiënten. Uit de metingen die hiervoor zijn verricht volgt vergelijking 3 voor het specifieke energieverbruik van de trein per bruto tongewicht per km.

$$E_{Gt} = 1200 \cdot (Gt^{-0.62}) \quad (3)$$

Waarbij Gt staat voor Gross ton weight. Gt is de optelsom van het gewicht van de lege trein (GLT) plus het gewicht van de lading (Nt). Hieruit ontstaat vergelijking 4.

$$Gt = GLT + Nt \quad (4)$$

In vergelijking 2 moet het energieverbruik van de trein E_{Gt} worden gedeeld door de relatie tussen Nt en Gt, waarbij Nt/Gt inclusief de 'empty trip' factor is. Door EcoTransIT worden voor deze deling standaardwaarden gegeven. In het geval van 'gemiddelde lading' zou het een factor 0,52 betreffen. Omdat het voor de berekeningen belangrijk is om zelf de 'empty trip' factor te bepalen wordt hier een vergelijking opgesteld waarmee, via de parameter voor belading (Nt), rekening kan worden gehouden met de 'empty trip' factor. Hierdoor ontstaat vergelijking 5.

$$\frac{Nt}{Gt} = \frac{Nt_{heen} + Nt_{terug}}{2 \cdot GLT + Nt_{heen} + Nt_{terug}} \quad (5)$$

Waarbij Nt_{heen} de lading betreft waarover men de emissies wil berekenen (bijvoorbeeld tomaten) en Nt_{terug} de lading betreft die het voertuig mee terug neemt. Naarmate het voertuig voller terug gaat is Nt_{terug} hoger. In vergelijking 12 betekent een hogere waarde voor Nt_{terug} een lagere uitstoot van CO₂ voor het tuinbouwproduct waarvoor men emissies wil berekenen.

Tabel 2.3 Parameters en standaardwaarden voor treintransport			
Afkorting	Definitie	Standaardwaarde	Eenheid
A	Afstand waarover goederen vervoerd worden		km
$d_{koeling}$	Dummy voor wel (1) of niet(0) koelen	0,5 a)	
$Em_{koeling}$	Emissie als gevolg van koeling	0,00147	kg CO ₂ -eq/tkm
$Em_{totincl.koeling}$	Totale broeikasgasemissie inclusief koeling	0,02	kg CO ₂ -eq/tkm
EMU	Emissiefactor per kWh	0,681 b)	kg CO ₂ /kWh
EMU_{tkm}	Emissie per netto ton km	0,0916	kg CO ₂ /Ntkm
GLT	Gewicht lege trein	522 c)	Ton
Gt	Brutolading	1122	Ton
Nt	Nettolading		Ton
Nt_{heen}	Nettolading op de heenweg	600 a)	Ton
Nt_{terug}	Nettolading op de terugweg	600 a)	Ton
E_{nt}	Specifiek energieverbruik van de trein	28,84	Wh/Ntkm
E_{gt}	Energieverbruik van de trein	15,42	Wh/Gtkm

a) Visbeen (2010); b) IFEU Heidelberg et al. (2010); c) CE Delft (2008).

Vergelijking 2 kan nu verder worden uitgewerkt. Hieruit ontstaat vergelijking 6.

$$E_{nt} = \frac{(1200 \cdot ((GLT + Nt_{heen})^{-0.62})}{\left(\frac{Nt_{heen} + Nt_{terug}}{2 \cdot GLT + Nt_{heen} + Nt_{terug}}\right)} \quad (6)$$

Door vergelijking 6 in te vullen met de standaardwaarden uit tabel 3 ontstaat vergelijking 7.

$$E_{nt} = \frac{(1200 \cdot ((522 + 600)^{-0,62})}{\left(\frac{600+600}{2 \cdot 522+600+600}\right)} \quad (7)$$

Waaruit volgt: $E_{nt} = 15,42 / 0,535 = 28,84 \text{ Wh/Ntkm}$

Het specifieke energieverbruik van de trein is dus 28,84 Wh/Ntkm.

Dit specifieke energieverbruik wordt middels een emissiefactor (EMU [kg CO₂/kWh]) omgerekend naar emissies per Ntkm. Hiervoor gebruiken we vergelijking 8.

$$EMU_{tkm} = \frac{E_{nt}}{1000} \cdot EMU \quad (8)$$

Schrijven we deze vergelijking helemaal uit dan ontstaat voor voertuigtransport vergelijking 9.

$$EMU_{tkm} = \frac{\frac{(1200 \cdot ((GLT + Nt_{heen})^{-0,62})}{Nt_{heen} + Nt_{terug}}}{\left(\frac{2 \cdot GLT + Nt_{heen} + Nt_{terug}}{1000}\right)} \cdot EMU \quad (9)$$

Waarbij E_{nt} met de standaardwaarden uit tabel 3 gelijk is aan 28,84 Wh/Ntkm en voor EMU een gemiddelde waarde voor Europa geldt van 0,681 kg CO₂/kWh (IFEU Heidelberg et al., 2010)

Met deze standaardwaarden volgt vergelijking 10.

$$EMU_{tkm} = \left(\frac{28,84}{1000}\right) 0,681 = 0,0196 \quad (10)$$

Emissieberekening voor koeling

Voor het koelen van de containers wordt een generatorset op diesel aangedreven. Zoals berekend in paragraaf 2.4.2 kost dit 10,148 MJ/km per trein. De emissiefactor voor diesel is 0,0872 kg CO₂/MJ (tabel 4). Hierdoor komt de emissie voor koeling uit op 0,8849 kg CO₂/km voor de hele trein. Met een standaardlading van 600 ton staat de emissie voor de koeling van alle containers op de trein gelijk aan $EM_{koeling} = 0,00147 \text{ kg CO}_2/\text{tkm}$.

Niet alle transport is gekoeld. Daarom wordt in de totale formule voor emissies (vergelijking 12) van broeikasgassen van transport nog een dummy ($d_{koeling}$) ingebouwd. De dummy is nul als er geen koeling plaatsvindt, 1 als alle containers gekoeld worden en 0.5 als de helft van de containers gekoeld worden, enzovoort. Voor de waarde van $d_{koeling}$ moet een gemiddelde factor worden ingevoerd voor de heen en terugweg.

Totale emissie van treintransport

De totale emissie van treintransport inclusief koeling is de optelsom van emissies als gevolg van het rijden van de trein en van koeling.

$$EM_{tot, incl. koeling} = EMU_{tkm} + EM_{koeling} \quad (11)$$

De resultante van alle bovenstaande vergelijking is vergelijking 12, waarmee de CO₂-emissie voor een totale rit kan worden berekend.

$$\begin{aligned}
EM_{tot,rit} &= A \cdot Nt_{heen} \cdot EMU_{tkm} + EM_{koeling} \\
&= A \cdot Nt_{heen} \cdot \frac{(1200 \cdot ((GLT + Nt_{heen})^{-0,62}))}{\frac{Nt_{heen} + Nt_{terug}}{2 \cdot GLT + Nt_{heen} + Nt_{terug}}} \cdot 0,681 + d_{koeling} \cdot 0,00147
\end{aligned} \tag{12}$$

Waarbij de GLT, Nt_{heen} , Nt_{terug} en $d_{koeling}$ standaard staan op de in tabel 3 genoemde waarde, maar kunnen worden aangepast. Voor de waarde van $d_{koeling}$ moet een gemiddelde factor worden ingevoerd voor de heen- en terugweg. Ook kan in de tool een waarde voor de afstand (A) worden ingevoerd.

Met de standaardwaarden (GLT = 522 ton, Nt_{heen} = 600 ton, Nt_{terug} = 600 ton en $d_{koeling}$ = 0,5) komt de emissie van een gekoeld treintransport uit op $EM_{tot, incl. koeling} = 0,02 \text{ kg CO}_2/\text{tkm}$.

2.4.5 Binnenvaart

De broeikasgasemissies van transport met binnenvaartschepen worden veroorzaakt door het verbruik van (rode) diesel om het schip voort te trekken en het verbruik van diesel voor het aandrijven van de generatorset voor koeling. De emissieberekening wordt in twee delen gesplitst. Eerst wordt de emissie berekend van het varen van het schip (emissie van het voertuigtransport). Vervolgens wordt de emissie berekend voor de koeling. Beide emissies worden daarna bij elkaar opgeteld om tot de emissies per tonkm te komen. Voor de methodiek en parameters wordt gebruik gemaakt van CE Delft (2008). In tabel 4 staan de parameters met hun eenheden en standaardwaarden gegeven.

Emissieberekening van het voertuigtransport

De emissie van het voertuigtransport (EM_{tot}) is de emissie als gevolg van het voorttrekken van het schip. Het is dus het transport exclusief koeling.

De emissie voor het voorttrekken van het schip wordt berekend op basis van het directe dieselvebruik per voertuigkilometer (EM_{vrt}) en bijbehorende emissies, alsook de emissies veroorzaakt door de raffinage van de brandstof EM_{raff} . Hieruit volgt de vergelijking 13:

$$EM_{tot} = EM_{vrt} + EM_{raff} \tag{13}$$

De emissies zijn afhankelijk van het energieverbruik van het binnenvaartschip (e_{vrt}), de belading (L), het percentage productieve kilometers (P) en de emissiefactoren van brandstofverbruik door het voertuig ($em_{MJ-diesel}$) en door raffinage ($em_{raff diesel}$). Productieve kilometers zijn de kilometers die het voertuig aflegt met lading aan boord. Als het voertuig leeg terug vaart is het aantal productieve kilometers 50%. Als het vol terug vaart is het percentage 100. Het percentage productieve kilometers wordt berekend door een gemiddelde te nemen van de volledige reis (heen en terug).

$$EM_{tot} = \left(\frac{e_{vrt}}{L \cdot P}\right) \cdot em_{MJ-diesel} + \left(\frac{e_{vrt}}{L \cdot P}\right) \cdot em_{raff diesel} \tag{14}$$

Ofwel:

$$EM_{tot} = \left(\frac{e_{vrt}}{L \cdot P}\right) \cdot (em_{MJ-diesel} + em_{raff diesel}) \tag{15}$$

Volgens CE Delft (2008) moet er nog een extra factor gerekend worden per procent dat het schip meer beladen wordt. Deze factor bedraagt 3,8 MJ/km voor iedere procent beladingsgraad. De beladingsgraad betreft het percentage bezette containerplaatsen. Hieruit volgt vergelijking 16.

$$EM_{tot} = \left(\frac{e_{vrt} + (bel. graad \cdot 3,8)}{L \cdot P}\right) \cdot (em_{MJ-diesel} + em_{raff diesel}) \tag{16}$$

Vullen we hiervoor de standaardwaarden in uit tabel 4 dan volgt vergelijking 17.

$$EM_{tot} = \frac{570 + 65 \cdot 3,8}{1300 \cdot 0,98} \cdot 0,0872 \quad (17)$$

Bij een standaardbinnenvaartschip met een belading van 1.300 ton en een percentage productieve kilometers van 98% bedraagt de totale broeikasgasemissie hierdoor 0,039 kg CO₂/tkm.

Emissieberekening voor koeling

Voor het koelen van de containers wordt een generatorset op diesel aangedreven. Zoals beschreven in paragraaf 2.4.2 kost dit 5,5 kW per 40ft-container. Een binnenvaartschip vaart met een snelheid van 15 km/uur en met 100 containers aan boord. Het energieverbruik voor koeling wordt hiermee 36,67 kWh/km voor het hele schip, indien alle containers gekoeld worden vervoerd. Dit is gelijk aan 132 MJ/km. De emissiefactor voor diesel is 0,0872 kg CO₂/MJ (CE Delft, 2008). Hierdoor komt de emissie voor koeling uit op 11.510,4 g CO₂/km. Met een standaardlading van 1.300 ton staat de emissie voor de koeling van alle containers op het schip gelijk aan $EM_{koeling} = 0,0089$ kg CO₂/tkm.

Niet alle transporten zijn gekoeld. Daarom wordt in de totale formule voor emissies (vergelijking 19) van broeikasgassen van transport nog een dummy ($d_{koeling}$) ingebouwd. De dummy is nul als er geen koeling plaatsvindt, 1 als alle containers gekoeld worden en 0,5 als de helft van de containers gekoeld worden, enzovoort. Voor de waarde van $d_{koeling}$ moet een gemiddelde factor worden ingevoerd voor de heen- en terugweg.

Tabel 2.4		Parameters en standaardwaarden voor binnenvaartschepen	
Afkorting	Definitie	Standaardwaarde	Eenheid
A	Afstand waarover goederen vervoerd worden		km
bel.graad	Beladingsgraad	0,65 a)	%
$d_{koeling}$	Dummy voor wel (1) of niet(0) koelen	1 b)	
$EM_{koeling}$	Emissie als gevolg van koeling	0,0089	kg CO ₂ -eq/tkm
$em_{MJ-diesel}$	Emissiefactor van diesel voor voertuigkilometers	0,073 a)	kg CO ₂ -eq/MJ diesel
EM_{raff}	Emissie tijdens brandstofraffinage		kg CO ₂ /tkm
$em_{raff diesel}$	Emissiefactor diesel raffinage	0,0142 a)	kg CO ₂ -eq/MJ diesel
EM_{tot}	Totale broeikasgasemissie van voertuigtransport	0,039	kg CO ₂ -eq/tkm
$EM_{tot,incl.koeling}$	Totale broeikasgasemissie inclusief koeling	0,045	kg CO ₂ -eq/tkm
EM_{totrit}	Totale broeikasgasemissie voor de gehele rit		kg CO ₂ -eq
EM_{vrt}	Directe emissie vervoermiddel		kg CO ₂ /tkm
e_{vrt}	Energiegebruik (uit brandstof) van voertuig	570 a)	MJ/km
L	Gemiddelde belading in tonnen per voertuig	1300 a)	ton
P	Percentage productieve ritten	0,98 a)	%

a) CE Delft, 2008; b) Visbeen (2010).

Totale emissie van binnenvaarttransport

De totale emissie van binnenvaarttransport inclusief koeling is de optelsom van emissies als gevolg van het voorttrekken van het schip en van koeling. Hieruit volgt vergelijking 18.

$$EM_{tot,incl.koeling} = EM_{tot} + EM_{koeling} \quad (18)$$

De resultante van alle bovenstaande vergelijkingen is vergelijking 19, waarmee de CO₂-emissie voor een totale rit kan worden berekend.

$$EM_{tot,rit} = A \cdot Nt_{heen} \cdot EMU_{tot} + EM_{koeling}$$

$$= A \cdot L \cdot \frac{570 + bel. graad \cdot 3,8}{L \cdot P} \cdot 0,0872 + d_{koeling} \cdot 0,0087 \quad (19)$$

Waarbij de beladingsgraad, L, P en $d_{koeling}$ standaard staan op de in tabel 4 genoemde waarde, maar kunnen worden aangepast. De beladingsgraad betreft de bezetting van het aantal containerplaatsen tijdens de betreffende rit. Ook kan in de tool een waarde voor de afstand (A) worden ingevoerd. Met de standaardwaarden (L=1.300, bel.graad = 65, P=0,98 en $d_{koeling} = 1$) komt de emissie van een gekoelde binnenvaartschip uit op $EM_{tot, incl. koeling} = 0,048$ kg CO₂/tkm.

2.4.6 Shortseaschepen

De broeikasgasemissies van transport met shortseaschip worden veroorzaakt door het verbruik van stookolie voor het varen en het verbruik van stookolie voor het aandrijven van de generatorset voor koeling. De emissieberekening wordt in twee delen gesplitst. Eerst wordt de emissie berekend van het varen (emissie van het voertuigtransport). Vervolgens wordt de emissie berekend voor de koeling. Beide emissies worden daarna bij elkaar opgeteld om tot de emissies per tonkm te komen. Voor de methodiek en parameters wordt gebruik gemaakt van CE Delft (2008). In CE Delft (2008) is feitelijk geen methodiek ontwikkeld voor de berekening van emissies door shortseaschepen, maar er kan worden aangenomen dat voor shortseaschepen dezelfde methodiek en parameterwaarden gelden als voor een containerzeeschip met een gewicht tot 10.000 GT (Den Boer, 2010). In tabel 5 staan de parameters met hun eenheden en standaardwaarden weergegeven.

Emissieberekening van het voertuigtransport

De totale broeikasgasemissie per tkm (EM_{tot}) voor het varen van het schip wordt berekend op basis van het directe dieselverbruik per voertuigkilometer (EM_{vrt}) en bijbehorende emissies, alsook de emissies veroorzaakt door de raffinage van de brandstof EM_{raff} . Hieruit volgt vergelijking 20:

$$EM_{tot} = EM_{vrt} + EM_{raff} \quad (20)$$

Met $EM_{vrt} = (e_{vrt}/(L \cdot P)) \cdot em_{MJ-stookolie}$ en $EM_{raff} = (e_{vrt}/(L \cdot P)) \cdot em_{raff\ stookolie}$

De emissies zijn afhankelijk van het energieverbruik van het voertuig (e_{vrt}), de belading (L), het percentage productieve kilometers (P) en de emissiefactoren van brandstofverbruik door het voertuig ($em_{MJ-stookolie}$) en raffinage ($em_{raff\ stookolie}$). Productieve kilometers zijn de kilometers die het voertuig aflegt met lading aan boord. Als het voertuig leeg terug vaart is het aantal productieve kilometers 50%. Als het vol terugvaart is het percentage 100. Het percentage productieve kilometers wordt berekend door een gemiddelde te nemen van de volledige reis (dus heen en terug).

Voor binnenvaartschepen wordt met een extra factor gerekend voor iedere extra procent dat het schip meer beladen is (CE Delft, 2008). Voor een shortseaschip geldt dit niet (CE Delft, 2008) (Brouwer, 2010). Het wordt dan ook niet meegenomen in de CO₂-emissies voor transport van tuinbouwproducten.

$$EM_{tot} = \frac{e_{vrt}}{L \cdot P} \cdot em_{MJ-stookolie} + \frac{e_{vrt}}{L \cdot P} \cdot em_{raff\ stookolie} \quad (21)$$

Ofwel:

$$EM_{tot} = \left(\frac{e_{vrt}}{L \cdot P}\right) \cdot (em_{MJ-stookolie} + em_{raff\ stookolie}) \quad (22)$$

Vullen we hier de standaardwaarden voor stookolie in dan volgt:

$$EM_{tot} = \left(\frac{e_{vrt}}{L \cdot P}\right) \cdot (0,0774 + 0,0113) \quad (23)$$

Dit resulteert in:

$$EM_{tot} = \left(\frac{e_{vrt}}{L \cdot P}\right) \cdot 0,0887 \quad (24)$$

Met de standaardwaarden uit tabel 2.5 ($e_{vrt} = 970$; $L=13800$; $P=0.98$) wordt dit:

$$EM_{tot} = 0,00636 \text{ kg CO}_2/\text{tkm}.$$

Emissieberekening voor koeling

Voor het koelen van de containers wordt een generatorset op stookolie aangedreven. Zoals beschreven in paragraaf 2.4.2 kost dit 0,7333 MJ per container per km. Op een shortseaschip staan gemiddeld 400 40ft-containers. Koeling kost dus 293,32 MJ per km voor het hele schip, indien elke container gekoeld wordt. Met een emissiefactor van 0,0887 kg CO₂/MJ voor stookolie komt dit uit op 26,02 kg CO₂/km. Met een standaardlading van 13.800 ton is dit $EM_{koeling} = 0,00189 \text{ kg CO}_2/\text{tonkm}$ (wanneer volledig gekoeld wordt).

In de vergelijking voor de totale emissie wordt een dummy ($d_{koeling}$) ingebouwd waarmee aangegeven kan worden of de lading wel (dummy = 1), niet (dummy = 0) of voor de helft (dummy = 0,5) gekoeld wordt. Voor de waarde van $d_{koeling}$ moet een gemiddelde factor worden ingevoerd voor de heen- en terugweg.

Tabel 2.5 Parameters en standaardwaarden voor shortseaschepen			
Afkorting	Definitie	Standaardwaarde	Eenheid
A	Afstand waarover goederen vervoerd worden		km
$d_{koeling}$	Dummy voor wel (1) of niet (0) koelen	0,5 a)	
$EM_{koeling}$	Emissie als gevolg van koeling	0,00137	kg CO ₂ -eq/tkm
$em_{MJ\text{-stookolie}}$	Emissiefactor stookolie voor voertuigkilometers	0,0774 b)	kg CO ₂ -eq/MJ stookolie
EM_{raff}	Emissie tijdens brandstofraffinage		kg CO ₂ /tkm
$em_{raff\text{ stookolie}}$	Emissiefactor stookolieraffinage	0,0113 c)	kg CO ₂ -eq/MJ stookolie
EM_{tot}	Totale broeikasgasemissie van voertuigtransport	0,00636	kg CO ₂ -eq/tkm
$EM_{tot,incl.koeling}$	Totale broeikasgasemissie inclusief koeling	0,00773	kg CO ₂ -eq/tkm
$EM_{tot,rit}$	Totale broeikasgasemissie voor de gehele rit		kg CO ₂ -eq
EM_{vrt}	Directe emissie vervoermiddel		kg CO ₂ /tkm
e_{vrt}	Energiegebruik (uit brandstof) van voertuig	970 c)	MJ/km
L	Gemiddelde belading in tonnen per voertuig	13800 a)	ton
P	Percentage productieve ritten	0,98 c)	%

a) Visbeen (2010); b)TNO (2002); c)CE Delft, 2008.
 Noot: de waarden voor emissiefactor stookolie voor voertuigkilometers en emissiefactor stookolieraffinage in deze tabel komen niet overeen met de waarde voor stookolie die gegeven wordt in het PT-model.

Totale emissie van shortseaschepen

De totale emissie van binnenvaarttransport inclusief koeling is de optelsom van emissies als gevolg van het voorttrekken van het schip en van koeling.

$$EM_{tot,incl.koeling} = EM_{tot} + EM_{koeling} \quad (25)$$

De resultante van alle bovenstaande vergelijking is vergelijking 19, waarmee de CO₂-emissie voor een totale rit kan worden berekend.

$$EM_{tot,rit} = A \cdot Nt_{heen} \cdot EMU_{tot} + EM_{koeling} = A \cdot L \cdot 0,0887 \cdot \frac{970}{L \cdot P} + d_{koeling} \cdot 0,00189 \quad (26)$$

Waarbij de L, P en $d_{koeling}$ standaard staan op de in tabel 5 genoemde waarde, maar kunnen worden aangepast. Ook kan in de tool een waarde voor de afstand (A) worden ingevoerd. Met de standaardwaarden (L=13.800 en P=0,98 en $d_{koeling}=0,5$) komt de emissie van een gekoelde shortseatransport uit op $EM_{tot, incl. koeling} = 0,0073 \text{ kg CO}_2/\text{tkm}$.

2.5 Emissies voor opslag, inslag, uitslag, voor- en natransporten

Tussen de teelt en alle transporten door worden de tomaten meermalen tussentijds opgeslagen, ingeslagen, uitgeslagen en vind voor- en natransport plaats. Inslag en uitslag is het inladen en het uitladen van de producten uit de transportmodaliteit. Dit gebeurt voornamelijk met een heftruck of een pallettruck. Voor- en natransport is het vervoeren van de producten van bijvoorbeeld het treinstation naar de opslagruimte of de DC van de retail. Voor- en natransport geschied doorgaans per vrachtwagen.

De emissies van deze relatief kleine tussenschakels hoeven conform PAS 2050 alleen meegenomen te worden als zij een bijdrage van ten minste 1% op de totale broeikasgasemissie leveren. Emissies voor inslag en uitslag zijn niet standaard opgenomen in de case van de Nederlandse tomatenteelt en zullen ook voor de Marokkaanse case niet worden opgenomen.

Tijdens opslag worden de tomaten gekoeld. Voor het koelen kan als gemiddelde een elektriciteitsverbruik van 1,5 kWh per ton per dag worden genomen (Van der Geijn, 2010). Het elektriciteitsverbruik is afhankelijk van het type apparatuur en de omgang hiermee. Hierdoor kan het werkelijke elektriciteitsverbruik per specifieke situatie een factor drie verschillen.

Emissies tijdens voor- en natransport kunnen berekend worden door voor de modaliteit vrachtwagen extra kilometers te rekenen. Bij vrachtwagenvervoer vindt geen voor- en natransport plaats omdat ervan wordt uitgegaan dat een vrachtwagen praktisch gezien overal kan komen (CE Delft, 2008). Bij de casussen 1b, 2a, 2b en 2c worden 200 km aan voor- en natransport gerekend (Visbeen, 2010).

3 Resultaten en conclusies

De binnen dit onderzoek ontwikkelde methodiek voor het berekenen van broeikasgasemissies tijdens transport met de trein, binnenvaartschip en shortseaschip is ter illustratie toegepast op de casussen zoals deze beschreven staan in paragraaf 2.2. In dit hoofdstuk worden de resultaten van deze casussen besproken. Hierbij wordt opgemerkt dat emissies in de opkweek en teeltschakel van de Nederlandse casussen zijn uitgewerkt op basis van normwaarden, terwijl de emissies van de Marokkaanse casussen zijn gebaseerd op data van één bedrijf. De resultaten bieden hierom een te smalle basis voor harde uitspraken over de relatieve carbon footprint van de Nederlandse versus Marokkaanse tomaten. De resultaten staan weergegeven in tabel 3.1.

De broeikasgasemissies in de opkweek en teelt zijn voor de Nederlandse teelt hoger dan voor de Marokkaanse teelt. Het verschil wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de Nederlandse teelt gebruik maakt van een verwarmde kas.

De laagste emissie vindt men bij casus 2f. In deze casus worden tomaten van Marokko met de shortsea naar Genua gebracht en van daaruit per vrachtwagen naar Milaan. Voor de tomaten uit Marokko telt deze casus de minste transportkilometers en relatief veel shortseakilometers. Na casus 2f hebben casussen 2a-2c de laagste emissies. Deze casussen hebben relatief veel shortseatransport vanuit Marokko en relatief weinig vrachtwagentransport. De hoogste emissie vindt men bij casus 2d waarin de tomaten volledig met de vrachtwagen van Marokko naar Milaan worden getransporteerd via Venlo. Over het algemeen geldt dat de emissies van de Nederlandse tomaten die in case 1a en 1b met de vrachtwagen en trein naar Milaan worden vervoerd even hoog zijn als de tomaten die met de vrachtwagen van Marokko - al dan niet via Venlo - naar Milaan worden getransporteerd. Ondanks het lagere aantal transportkilometers dat met de vrachtwagen wordt afgelegd in cases 1a en 1b, kan de hogere emissie in de teelt van Nederlandse tomaten niet voldoende gecompenseerd worden om (veel) gunstiger uit te komen dan de Marokkaanse tomaten in cases 2d en 2e.

Concluderend: voor de Milaanse markt hebben tomaten geteeld in Marokko en per shortseaschip direct vervoerd van Marokko, via Genua, naar Milaan de laagste emissie.

Tabel 3.1		Broeikasgasemissies (kg CO ₂ -eq/ton tomaten) per casus							
		NL		Marokko					
		1a	1b	2a	2b	2c	2d	2e	2f
Opkweek + teelt		877	877	607	607	607	607	607	607
1e transport	Vrachtwagen	2	2	2	2	2	2	2	2
	Trein								
	Binnenvaartschip								
	Shortsea								
2e transport	Vrachtwagen	137	25	25	25	162	513	364	18
	Trein		22	22	18				
	Binnenvaartschip				9				
	Shortsea			22	22	20			14
Vrije schakel		2	2	2	2	2	2	2	2
Totaal		1.018	928	680	685	793	1.124	976	643

4 Discussie

In dit hoofdstuk worden de methodieken en keuzen besproken die gemaakt zijn in dit project. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen methodieken en keuzen ten aanzien van transport en idem ten aanzien van de teelt.

4.1 Transport

Vergelijking eigen emissiewaarden met andere bronnen

In hoofdstuk 2 zijn rekenregels opgesteld voor het berekenen van broeikasgasemissies voor trein, binnenvaartschip en shortseaschip. Voor het opstellen van deze rekenregels is gebruik gemaakt van standaardwaarden die men terugvindt in de tabellen bij de respectievelijke paragrafen 2.4.3 tot en met 2.4.6. Aan het einde van deze paragrafen wordt de standaardemissiewaarden (kg CO₂-eq/tonkm) gegeven die op basis van deze standaardwaarden berekend is. Om aan te geven hoe deze standaardemissiewaarden zich verhouden tot emissiewaarden uit bestaande literatuur zijn van enkele bronnen de emissiewaarden gegeven in tabel 4.1. In deze tabel zijn de emissiewaarden opgenomen van de BUWALL-database, de Eco-inventdatabase, en rapporten van het World Economic Forum en CE Delft. Er kan geconcludeerd worden dat de in het kader van dit project berekende eigen emissiewaarden in lijn liggen met die van de overige bronnen. Voor trein, binnenvaartschip, vrachtwagen en zeeschip liggen de eigen emissiewaarden tussen de waarden van de overige bronnen in. Voor shortseaschip is de eigen emissiewaarde het laagste van allemaal, doch deze nadert de tweede laagste emissiewaarde, die van World Economic Forum. Wat opvalt, is dat de BUWALL- en Eco-inventdatabases hun emissiewaarden geven met een zekerheid van ten minste acht decimalen.

Tabel 4.1	Overzicht van emissiefactoren voor transportmodaliteiten gegeven door verscheidene bronnen					
	BUWALL a)	Eco-invent b)	World Economic Forum c)	Eigen emissiefactoren d)	Stream best case e)	Stream worst case e)
kg CO ₂ /tonkm						
Trein	0,03140748	0,03917607	0,03	0,02	0,014	0,0654
Binnenvaartschip	0,040938692	0,046329066		0,048	0,033	0,095
Shortseaschip	0,008579664	0,010667275	0,008	0,0073	0,02	0,068
Vrachtwagen			0,17	0,1244	0,105	0,142

a) BUWAL250 (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape) database. Emissiewaarde exclusief koeling; b) Eco-inventdatabase of the Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Emissiewaarde exclusief koeling; c) World Economic Forum (2009); d) De emissiefactoren die berekend zijn in deze studie; e) CE Delft (2008).

In deze studie zijn voor transport alleen emissies berekend voor de winning/productie (raffinage) van brandstof en de verbranding ervan tijdens transport. Emissies als gevolg van de productie van het transportmiddel en de aanleg van infrastructuur zijn niet meegenomen. Hiermee wordt aangesloten bij de methodiek van de bestaande emissieberekeningen van de modaliteiten vliegtuig, vrachtwagen en zeeschepen en omdat conform PAS 2050 de emissies als gevolg van de productie van kapitaalgoederen niet mogen worden meegerekend. Om de mogelijke consequenties van deze keuze kort in beeld te brengen vergeleken we de emissiedata uit de BUWAL250 (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape) database en de Eco-inventdatabase. Beide databases geven emissiefactoren uitgedrukt in kg CO₂/tonkm. De BUWAL250-database rekent alleen emissies als gevolg van de winning/productie (raffinage) van de brandstof en de verbranding ervan tijdens transport mee. De

Eco-inventdatabase neemt bovenop deze emissies ook de emissies als gevolg van de productie van gebouwen en voertuigen en de aanleg van de infrastructuur mee. De emissiefactoren van Eco-invent vallen voor trein en shortseaschip 25% hoger uit dan emissiefactoren van BUWALL250. Voor binnenvaartschepen zijn de emissiefactoren van Eco-invent 13% hoger. In een beperkte inventarisatie van de emissies als gevolg van de productie van vervoermiddelen en aanleg van infrastructuur voor personenvervoer, geeft CE Delft (2008) aan dat het aandeel van deze emissies op het totaal erg verschillen per modaliteit. Door het extensieve gebruik van spoorwegen is de relatieve bijdrage van de aanleg van infrastructuur voor treinvervoer het hoogste. CE Delft (2008) concludeert dat er meer onderzoek nodig is om echt te kunnen rekenen aan emissies voor productie van vervoermiddelen en aanleg van infrastructuur.

Transport en Logistiek Nederland (TLN) heeft op haar website een CO₂-calculator waarmee CO₂-emissies berekend kunnen worden voor een route over de weg van A naar B. De CO₂-calculator is een sterk vereenvoudigde interface als eerste ingang voor belangstellenden en dient niet gebruikt te worden als basis voor het doen van harde uitspraken omtrent emissies van transport (Aarse, 2010). Met de calculator kunnen de transportafstand, beladingsgraad en type transportmodaliteit worden gekozen. Voor vrachtverkeer van tomaten en een belading van 10 ton kan gerekend worden met een trekker met oplegger. Voor de beladingsgraad kan gekozen worden uit leeg, halfvol en vol. De tool geeft de emissie over de route van A naar B. Hierbij wordt geen rekening gehouden met de terugweg. Om de emissiewaarden van deze calculator te vergelijken met de emissiewaarden uit tabel 7 worden de uitkomsten van de Calculator omgerekend naar kg CO₂-emissies per tonkm. Afhankelijk van de opgegeven beladingsgraad liggen de emissies tussen 0,060 en 0,088 kg CO₂ per tonkm. Deze emissiefactoren zijn tot drie keer lager dan de emissiefactoren uit de literatuur. Dit kan deels worden verklaard door het niet meerekenen van het aantal productieve kilometers. Deels ook zal het verschil voortkomen uit de simplificatie die TLN voor deze calculator heeft toegepast.

Potentie van emissiereductie

De World Economic Forum (2009) beschrijft dat de kansen voor het verlagen van de uitstoot van CO₂ van een keten voornamelijk ligt in de transport en logistieke sector. De grootste kansen liggen op het terrein van schone technologie bij voertuigen en het vertragen van de bevoorrading. Door tijdsdruk als gevolg van leveringsafspraken wordt niet altijd gebruik gemaakt van transportmodaliteiten met de hoogste CO₂-efficiëntie of wordt de voertuigsnelheid verhoogd ten koste van de carbon footprint. Ook de keuze van landbouwproducten met een lagere carbon footprint kan emissies in de keten sterk verlagen. Producten die van ver komen hebben vergeleken bij regionaal geteelde producten een hogere CO₂-emissie voor transport, maar hebben in sommige gevallen in de teelt dusdanig lagere emissies dat de totale carbon footprint voor producten die van ver komen lager kan zijn.

De emissiewaarde van vrachtwagentransport is erg gevoelig voor de extra kilometerfractie. De extra kilometerfactor bij vrachtwagentransport bedraagt standaard 0,75 (Blonk, 2009). Dit betekent dat de vrachtwagen een groot deel van de terugreis leeg aflegt. Zou de vrachtwagen de terugweg volledig vol terug rijden met andere goederen dan hoeven de emissies van de terugweg niet aan de tomaten worden toegeschreven. Met een volledig beladen vrachtwagen op de terugweg kan de emissie per tonkm met ruim 40% worden verlaagd. Voor case 2d waar tomaten vanaf Agadir volledig met de vrachtwagen naar Milaan worden getransporteerd via Venlo, levert deze efficiëntieslag een emissiereductie op van 150 kg CO₂ per ton tomaten.

4.2 Teelt

Voor de Nederlandse tomaten is gekozen voor productie met wkk. Exacte cijfers zijn niet bekend maar geschat wordt dat 70-80% van de Nederlandse tomaten wordt geteeld met wkk (Vermeulen, 2010). De resultaten zijn gebaseerd op de Nederlandse KWIN-cijfers, welke betrekking hebben op moderne en goed geleide bedrijven. De resultaten voor de Marokkaanse tomatenteelt zijn gebaseerd op de gegevens van één bedrijf. Er kan met deze gegevens geen inschatting worden gemaakt van variabiliteit in data en

spreiding in resultaten voor de doorsnee Marokkaanse tomatenteelt. Bovendien is in deze studie alleen het aspect van klimaatsverandering inbegrepen en zijn andere duurzaamheidsaspecten zoals waterverbruik en vermisting buiten beschouwing gelaten. Er dient daarom voorzichtig omgegaan te worden met conclusies rondom de absolute duurzaamheid van Nederlandse versus Marokkaanse tomaten in de primaire productie.

Ongeveer 70% van de emissies van de Nederlandse teelt komt voort uit het verwarmen van de kas. De emissies als gevolg van meststoffengebruik ligt voor de Nederlandse teelt lager dan voor de Marokkaanse. Dit komt door de hogere hectareopbrengst en de hogere nutriëntenefficiëntie van de Nederlandse tomatenteelt ten opzichte van de Marokkaanse.

Er is in deze studie geen rekening gehouden met waterverbruik en de energie die nodig is voor het ontzilten van zout water. Het is onbekend of de Marokkaanse teler gebruik maakt van bestaand zoet water of van ontzilt water. Het ontzilten van water is een energie-intensief proces en hieraan gelieerde emissies zouden, indien gebruik gemaakt wordt van ontzilt water, moeten worden opgenomen in de emissieberekeningen.

4.3 Aanbeveling

Aanbevolen wordt om de ontwikkelde rekenregels voor trein, binnenvaartschip en kustvaartschip in te bouwen in de CO₂-rekentool van het Productschap Tuinbouw en de sectorspecificatie voor tuinbouwproducten in de PAS 2050.

De systematiek van deze ontwikkelde rekenregels sluit aan bij die van de reeds in de tool ingebouwde rekenregels voor transport per vrachtwagen, zeeschip en vliegtuig. Het inbouwen van deze rekenregels vergroot de keuzevrijheid omtrent transportmodaliteiten voor gebruikers in de tool.

Het Productschap Tuinbouw heeft de intentie om de PAS 2050 uit te breiden met een specificatie van de tuinbouw. Deze sectorspecificatie moet internationaal gedragen worden. De sectorspecificatie moet in mei 2011 geaccordeerd worden. Het verdient aanbeveling om de sectorspecificatie uit te breiden met de binnen Venlog ontwikkelde rekenmethodiek en bijbehorende rekenregels voor trein, binnenvaartschip en kustvaartschip.

Literatuur en websites

- Aarse, R., Transport en Logistiek Nederland (TLN). Persoonlijke communicatie, 2010.
- Blonk, H., A. Kool, B. Luske, T. Ponsioen en J. Scholten, *Berekening van broeikasgasemissies door de productie van tuinbouwproducten*. Blonk Milieu Advies, Gouda, 2009.
- Boer, E. den, CE Delft onderzoeker en mede-auteur van CE Delft 2008. Persoonlijke communicatie, 2010.
- Brouwer, F., CE Delft onderzoeker en mede-auteur van CE Delft 2008. Persoonlijke communicatie, 2010.
- BUWALL250 database. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape.
- Carretero, J., 'Nieuwsbericht AGF, 17-12-2009.' In: *Beter rendement Marokkaanse tomatenteelt door Nederlandse expertise*. 2009. <www.agf.nl/nieuwsbericht_detail.asp?id=53953>
- CE Delft, *Stream - Studie naar Transport Emissies van Alle Modaliteiten*. Versie 2.0., 2008.
- Eco-invent, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Feederlines, Rederij in de shortsea sector, 2010. <www.feederlines.nl/nl/investeren/begrippenlijst/>
- Geijn, F.G. van der, 2010. Persoonlijke communicatie. Food & Biobased Research, Postharvest Technology. Wageningen University and Research Centre, Wageningen, 2010.
- Guinée, J.B., M. Gorrée, R. Heijungs, G. Huppes, R. Kleijn, A. de Koning, L. van Oers, A. Wegener Sleeswijk, S. Suh, H.A. Udo de Haes, H. de Bruijn, R. van Duin, M.A.J. Huijbregts, E. Lindeijer, A.A.H. Roorda, B.L. van der Ven en B.P. Weidema, *Part 3; Scientific background. Citation from ISO International Standard 14042, 2000E, clause 5.3. Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle Impact assessment*. 2001.
- International Organisation for Standardisation (ISO), Genève.
- IAE, *CO₂ emissions from fuel combustion*. Highlights, 2009 edition.
- IFEU Heidelberg, Oko-Institut, IVE/RMCON, *Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports. Methodology and Data*. 2nd Draft Report, 2010.
- IPCC, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Prepared by the Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, en K. Tanabe (eds.). IGES, Hayama, Japan, 2006.
- Lukasse, L.J.S., Persoonlijke communicatie. DLO onderzoeker Fresh Food and Chains, Wageningen UR Food & Biobased Research, 2010.

Nienhuis, J. en P. Vermeulen, *Beschrijving case Nederlandse tomaat regulier incl. WKK*. 2008. Rapport niet openbaar.

Philips, M., Persoonlijke communicatie. Directeur voorlichtingsbureau Rail Cargo. Stichting Rail Cargo information Netherlands, 2010.

Ponsioen, T., Persoonlijke communicatie. Blonk Milieu Advies, Gouda, 2010.

Prorail, *Maatregelen reistijdverbetering. Verhoging van de minimumsnelheid van het goederenvervoer*. EDMS 20601670, 2007.

Scholten, J., S. Hiller en H. Blonk, *Rekenregels t.b.v. het Functioneel Ontwerp (FO)*. Protocol: Broeikasgasemissietool Tuinbouwproducten, 2009.

Senternovem, *Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO₂-emissiefactoren*. Versie december 2009.

TNO, CO₂ emission factors for fuels in the Netherlands. TNO report R2002/174.

Quiren, 2010. Persoonlijke communicatie. Manuport Sea Chartering NV, Antwerpen, 2002.

Vermeulen, P., Persoonlijke communicatie. Wageningen UR Glastuinbouw, 2010.

Visbeen, A., Persoonlijke communicatie. Algemeen directeur Visbeen Holding BV., 2010.

Volker, W., Persoonlijke communicatie. Bureau Voorlichting Binnenvaart, Rotterdam, 2010.

Vorstermans, J., Persoonlijke communicatie. Freshpark Venlo, 2010.

World Economic Forum, *Supply chain decarbonization. The role of logistics and transport in reducing supply chain carbon emissions*. 2009.

Begrippenlijst

- *Allocatie* wordt toegepast als er uit één proces meerdere outputs voortkomen. Met een verdeelsleutel (in dit onderzoek op basis van economische waarde van de outputs) wordt de emissie in het proces verdeeld over alle outputs van het proces.
- *Broeikasgassen* zijn gassen die een impact hebben op het klimaat. Volgens de IPCC zijn de belangrijkste gassen in de landbouw koolstofdioxide (CO₂), lachgas (N₂O) en methaan (CH₄).
- *Carbon footprint* is de term die wordt gebruikt voor het aantal kilogrammen CO₂-equivalenten die wordt uitgestoten in de gehele keten van de productie een product.
- *CO₂-equivalenten* is de optelsom van alle broeikasgassen, omgerekend naar CO₂-equivalenten. Er wordt apart uitgerekend hoeveel lachgas, methaan en CO₂ wordt geëmitteerd. Omdat lachgas een broeikasgas is die 200 keer sterker is dan CO₂, wordt deze hoeveelheid met 200 vermenigvuldigd om het aantal CO₂-equivalenten te berekenen. Methaan is een broeikasgas die 24 keer sterker is dan CO₂. De hoeveelheid methaan wordt vermenigvuldigd met een factor 24 om het aantal CO₂-equivalenten te berekenen.
- *Functionele eenheid* is de entiteit waaraan de emissies worden toegeschreven. In dit project kiezen we als functionele eenheid één ton tomaten. De carbon footprint is dus de broeikasgasemissie van één ton tomaten.
- *Inslag* is het vervoeren van de tomaten van de vrachtwagen naar de opslagplaats toe. Dit gebeurt doorgaans met een pallettruck.
- *Koolstofdioxide* is een broeikasgas. Dit gas krijgt de wegingsfactor 1 mee omdat de carbon footprint wordt uitgedrukt in CO₂-equivalenten.
- *Lachgas* is het sterkste broeikasgas die in deze studie wordt meegerekend. Het gas is 298 keer sterker dan koolstofdioxide en krijgt daarom wegingsfactor 298 om de lachgasemissies om te rekenen naar CO₂-equivalenten. Lachgas wordt scheikundig aangeduid als N₂O.
- *Levenscyclusanalyse* is een methodiek waarbij alle emissies in alle schakels worden meegenomen. Het betreffen hier onder andere emissies tijdens de productie van inputs (bijvoorbeeld fungiciden, steenwol, elektriciteit), emissies tijdens de teelt (bijv. lachgasemissies uit de bodem) en emissies tijdens transport.
- *Methaan* is een broeikasgas die 24 keer sterker is dan koolstofdioxide en krijgt daarom wegingsfactor 24 om de methaanemissies om te rekenen naar CO₂-equivalenten. Methaan wordt scheikundig aangeduid als CH₄.
- *Modaliteit* is een type transportvoertuig. In dit rapport worden onderscheiden: vrachtwagen, trein, binnenvaartschip en shortseaschip.
- *Natransport* is het transport van de producten (bijvoorbeeld tomaten) van een eindpunt van een transportmodaliteit (bijvoorbeeld treinstation) naar de volgende opslaglocatie. Natransport geschiedt doorgaans per vrachtwagen.
- *Niet-commerciële stop* is een stop die een trein maakt om andere redenen dan het laden/lossen van goederen. Een voorbeeld kan zijn het stoppen om een andere trein voorrang te verlenen.
- *Opslag* is het opslaan van de tomaten in een koeling gedurende enkele uren of dagen.
- *Shortseaschip* is een kustvaartschip.
- *Systeemgrens* geeft aan welke stappen in de productieketen worden bestudeerd. Het stellen van de grenzen bakent het onderzoek af.
- *Transportmodaliteit* is het type transportmiddel. Voorbeelden hiervan zijn de trein, het vliegtuig, vrachtwagen en (binnenvaart/shortsea) schip.
- *Uitslag* is het vervoeren van de tomaten van de opslagplaats naar de vrachtwagen toe. Dit gebeurt doorgaans met een pallettruck.

- *Voortransport* is het transport van de tomaten van de opslaglocatie naar het beginpunt van de volgende transportmodaliteit. Een voorbeeld hiervan is het per vrachtwagen transporteren van de tomaten van de opslaglocatie naar de (internationale) trein.
- *Wegingsfactor voor broeikasgassen* worden gebruikt om de uitstoot van lachgas en methaan om te rekenen naar CO₂-equivalenten, waarna de carbon footprint kan worden uitgedrukt in één getal.

Het LEI ontwikkelt voor overheden en bedrijfsleven economische kennis op het gebied van voedsel, landbouw en groene ruimte. Met onafhankelijk onderzoek biedt het zijn afnemers houvast voor maatschappelijk en strategisch verantwoorde beleidskeuzes.

Het LEI is een onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre). Daarbinnen vormt het samen met het Departement Maatschappijwetenschappen van Wageningen University en het Wageningen UR Centre for Development Innovation de Social Sciences Group.

Meer informatie: www.lei.wur.nl