

Koolstofboekhouding rekenregels

Van herkomst van koolstof naar ketenemissies

Definitief rapport



Disclaimer

Alle getallen en berekeningen in deze rapportage zijn bedoeld om de relatie tussen de herkomst van koolstof en ketenemissies te onderzoeken en niet om emissiefactoren te bepalen of aanbevelingen te doen over de ketens. De getallen zijn slechts indicatief en niet geschikt om te gebruiken bij berekeningen van CO₂-emissies. Er kunnen geen rechten aan worden ontleend.

Inhoudsopgave



1. <u>Samenvatting</u>	3
2. <u>Aanleiding</u>	6
3. <u>Doel en onderzoeksvragen</u>	7
4. <u>Aanpak</u>	8
5. <u>Selectie ketens</u>	9
6. <u>Bevindingen</u>	11
7. <u>Conclusie</u>	18
8. <u>Aanbevelingen</u>	19
9. <u>Bronnenlijst</u>	20
<u>Bijlagen</u>	23-25

Samenvatting

Sturing op herkomst van koolstofstromen en de relatie met ketenemissies

Voor het stimuleren van de grondstoftransitie in de industrie onderzoekt de overheid de mogelijkheden om het gebruik van duurzame, niet-fossiele **grondstoffen** te bevorderen en daarmee in de keten CO₂-emissies te reduceren. Beschikbaarheid van data over grondstofstromen is daarbij van belang, maar het verschaffen van deze data over hele ketens is een complexe onderneming.

Een koolstofboekhouding op basis van de herkomst van koolstof met rekenregels is een mogelijke oplossing. Voordat deze methode wordt ingezet wil de overheid onder andere duidelijkheid over de herleidbaarheid van ketenemissies aan de hand van herkomst van koolstofmoleculen om het sturen op ketenemissies via koolstofherkomst te kunnen onderbouwen. Zo kan de overheid bepalen of een koolstofboekhouding op basis van herkomst met rekenregels een goed alternatief is ten opzichte van bestaande methoden.

Dit onderzoek geeft antwoord op de volgende vragen:

- Zijn de ketenemissies voldoende herleidbaar aan de hand van herkomst?
- Kunnen er emissiefactoren worden bepaald, zodanig dat dit in de praktijk kan werken?

Aanpak: Dit wordt onderzocht voor varianten van de PET-keten en de asfaltketen. Deze ketens zijn interessant omdat ze op sommige punten veel verschillen. PET heeft bijvoorbeeld een hogere koolstofconcentratie omdat het een chemisch product is terwijl asfalt een gemengd product is van een koolstof houdende bindmiddel en aggregaten zonder koolstof.

Eerst wordt de herleidbaarheid van ketenemissies op basis van herkomst bepaald (stap 1) en vergeleken met de totale ketenemissies op basis van Life Cycle Analyses (LCA's) (stap 2). Vervolgens wordt er duiding gegeven bij het deel wat niet herleidbaar is (stap 3).

In de laatste stap (stap 4) zijn emissiefactoren bepaald voor de twee ketenvarianten en wordt gereflecteerd op de praktische toepasbaarheid.

Bevindingen: Voor de PET-keten is een groot deel van de ketenemissies herleidbaar op basis van herkomst. Voor de asfaltketen was dit aanzienlijk minder. Dit komt voornamelijk door het beperkte deel koolstof in het eindproduct, waardoor er relatief meer emissies gealloceerd zijn aan transport en input materialen die buiten scope vallen.

Voor beiden ketens zijn de verschillen tussen ketenemissies op basis van herkomst versus de totale emissies op basis van LCA's goed uitlegbaar. 29-68%¹ van de totale emissies op basis van LCA's zijn geassocieerd met (externe) elektriciteit- en warmteopwekking (scope 2), transport en (bij-) materialen van buiten de geanalyseerde keten.

1. Voor PET gaat het om 29-53% van de emissies en voor asfalt gaat het om 60-68% van de emissies.

Samenvatting

Een deel van het verschil is niet bekend. Dit komt door onduidelijke aannames in de LCA of in ieder geval niet bekend zoals:

- Aannames over verschillende processen en efficiëntie van processen;
- Aannames over de koolstofconcentratie van output materialen – wanneer deze geen standard compositie hebben en;
- Aannames over de koolstofconcentratie van input materialen – wanneer deze geen standard compositie hebben.

Daarnaast geeft dit onderzoek handvatten om snel vanaf een kilogram (eind-)product ketenemissies te benaderen. Specifieke ketenemissiefactoren voor herkomst en end-of-life varianten zouden kunnen worden vastgesteld en kan een aanvulling zijn op een koolstofboekhouding. Bijvoorbeeld om keuzes voor grondstoffen te maken.

Een hogere uitstoot per eenheid is niet altijd minder duurzaam als hierdoor de levensduur van het product wordt verlengd, bijvoorbeeld wanneer de toplaag van asfalt pas na 20 jaar in plaats van 15 jaar moet worden vervangen of een PET flesje 15 keer in plaats van 10 keer kan worden gebruikt. Daarom is het goed om homogene producten met elkaar te vergelijken door de totale uitstoot door de levensduur of aantal cycli te delen.

Conclusie: een koolstofboekhouding kan ondersteunend zijn aan het bevorderen van het gebruik van duurzame, niet-fossiele koolstofbronnen en daarmee het reduceren van CO₂-emissie in de keten. Omdat dit systeem koolstof traceert, zijn de emissies op basis van herkomst herleidbaar voor het koolstofhoudende gedeelte van een product. Emissies zijn niet herleidbaar voor elektriciteit en warmte (scope 2 emissies). Hoewel de emissies van de productie van secundaire input materialen en transportbrandstoffen buiten scope van dit onderzoek vallen, zouden deze wel herleidbaar zijn in een compleet systeem met alle ketens. De overige verschillen van het systeem met ketenemissies op basis van LCA's komen door gemaakte aannames over bijvoorbeeld efficiëntie van processen, verwerking van output-materialen en aannames over samenstelling van producten. In een volledige koolstofboekhouding zouden deze verschillen opgelost worden, want dat betreft geverifieerde data, die waarschijnlijk nauwkeuriger is dan de aannames in LCA's.

Emissiefactoren op basis van herkomst kunnen een belangrijke en toch eenvoudig toe te passen aanvulling zijn op reeds bestaande emissiefactoren voor transport en energieopwekking.

Aanbevelingen: om de bevindingen uit dit onderzoek te valideren en aan te vullen zouden de ketenemissies op basis van herkomst voor een aantal andere ketens onderzocht moeten worden, op basis van aangeleverde data van bedrijven. Uit een verdere uitwerking van een koolstofboekhouding moet blijken of het inderdaad haalbaar is om de herkomst van koolstof te traceren en of dit eenvoudiger is dan het traceren van (alle) koolstofemissies in een (internationale) keten. Voor de ontwikkeling en implementatie van een koolstofboekhouding moet onderzocht worden hoe meer transparantie over herkomst en inzicht van emissies gerealiseerd kan worden, met het gegeven dat partijen confidentiële informatie niet verder dan hun directe partners willen of kunnen delen.

Disclaimer

Alle getallen en berekeningen in deze rapportage zijn bedoeld om de relatie tussen de herkomst van koolstof en ketenemissies te onderzoeken en niet om emissiefactoren te bepalen of aanbevelingen te doen over de ketens. De getallen zijn slechts indicatief en niet geschikt om te gebruiken bij berekeningen van CO₂-emissies. Er kunnen geen rechten aan worden ontleend.

Aanleiding

Sturing op herkomst van koolstofstromen en de relatie met ketenemissies

Al geruime tijd is er veel aandacht voor het reduceren van CO₂-emissies die partijen zelf emitteren (directe emissies of “scope 1-emissies”). Daarnaast bestaat er groeiende aandacht voor het **reduceren van indirecte emissies (of Scope 3-emissies)** in de waardeketen en daarmee gepaard gaande het gebruik van hernieuwbare materialen.

Voor het stimuleren van de grondstoftransitie in de industrie **onderzoekt de overheid de mogelijkheden om het gebruik van duurzame, niet-fossiele grondstoffen te bevorderen en daarmee in de keten CO₂-emissies te reduceren. De overheid verkent de mogelijkheden om via normering of stimulering deze transitie te versnellen. Een koolstofboekhouding vormt een solide basis van data dat nieuwe inzichten geeft en ondersteunend kan zijn aan deze sturingsmogelijkheden.**

Voor de industrie helpt dit doelen te kwantificeren, rapportageverplichtingen na te komen en het effect van maatregelen/investeringen in een circulair systeem aan te tonen. Het traceren van ketenemissie is gecompliceerd door de verscheidenheid aan ketens, aantal producten en processen.

Op dit moment worden levenscyclusanalyses (LCA's) uitgevoerd om de ketenemissies te herleiden. LCA's zijn gedetailleerde studies en er worden veel aannames gedaan. **Er is behoefte aan een gestandaardiseerd en eenvoudiger methode om ketenemissies te bepalen.**

In 2021 voerde Rebel in opdracht van RVO voor de Topsector Energie op verzoek van het programma Digitalisering een onderzoek uit naar twee varianten van een koolstofketenboekhouding (ook wel Carbon Tracking System of CTS). Het advies luidde om een CTS in te richten door de herkomst van koolstofstromen te registreren in de keten.

Een koolstofboekhouding op basis van de herkomst van koolstof met methodologische afspraken over emissie allocatie is een mogelijke oplossing. Voordat deze methode wordt ingezet wil de overheid duidelijkheid over de herleidbaarheid van ketenemissies aan de hand van herkomst van koolstofmoleculen om het sturen op ketenemissies via koolstofherkomst te kunnen onderbouwen. Zo kan de overheid bepalen of een koolstofboekhouding op basis van herkomst met rekenregels een goed alternatief is ten opzichte van bestaande methoden.

Daarbij is aangegeven dat *'voldoende herleidbaar'* betekent dat:

- Een groot deel van de emissies wordt bepaald door de herkomst van de koolstof;
- Het duidelijk is welk deel niet herleidbaar is op basis van herkomst;
- Op het deel dat niet herleidbaar is op basis van herkomst gestuurd wordt via andere instrumenten. Dit valt buiten de scope van dit onderzoek.

Doel en onderzoeksvragen

Het doel van een koolstofboekhouding is door middel van het verschaffen van data de mogelijkheid om het **gebruik van duurzame, niet-fossiele grondstoffen te bevorderen** en daarmee in de keten CO₂-emissie te reduceren.

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, directie Duurzame Leefomgeving en Circulaire Economie wil via **dit onderzoek onderzoeken wat de relatie is tussen herkomst van koolstofatomen en ketenemissies**.

Vooraf aan dit onderzoek staat reeds vast dat een deel van de ketenemissies niet herleidbaar is aan de hand van herkomst, omdat die emissies buiten de scope vallen. Dit zijn voornamelijk emissies geassocieerd met (externe) elektriciteit- en warmteopwekking (scope 2), transport en (bij-)materialen van buiten de geanalyseerde keten. Er wordt voornamelijk gekeken naar directe uitstoot in de keten (scope 1) geassocieerd met de herkomst van de grondstoffen en het productieproces. Uit een pilot bleek de verwachting dat het traceren van herkomst eenvoudiger is dan het traceren van CO₂ in de hele keten¹.

De hypothese is dat een groot deel van de ketenemissies geassocieerd met herkomst van de koolstof/grondstof herleidbaar zijn op basis van herkomst van koolstof en het niet nodig is om de CO₂-emissies in de keten bij te houden. Daarbij is wel het aandeel koolstof in het eindproduct bepalend voor het aandeel van de totale ketenemissies die op basis van herkomst herleidbaar is.

Dit onderzoek geeft antwoord op de volgende vragen:

➤ **Zijn de ketenemissies voldoende herleidbaar aan de hand van herkomst?**

Deze vraag is onderzocht voor (varianten van) de PET-keten en de asfaltketen waarbij 'voldoende herleidbaar' betekent dat:

- een groot deel van de emissies wordt bepaald door de herkomst van de koolstof;
- het duidelijk is welk deel niet herleidbaar is op basis van herkomst;
- op het deel dat niet herleidbaar is op basis van herkomst gestuurd wordt via andere instrumenten. Dit valt buiten de scope van dit onderzoek.

➤ **Kunnen er emissiefactoren² worden bepaald, zodanig dat dit in de praktijk kan werken?**

- Wat is de omrekenfactor van herkomst van koolstof naar ketenemissies van (varianten van) de PET-fles keten en de asfaltketen?
- Welke eigenschappen van (product)ketens hebben significant effect op omrekenfactoren en hoe kan hier rekening mee gehouden worden?

1. Zie de rapportage van de pilot via de [website van Topsector Energie](#).

2. Hiermee worden CO₂-emissiefactoren bedoeld zoals te vinden op [co2emissiefactoren.nl](#), maar dan meer gericht op producten dan energie/brandstoffen.

Aanpak

Bepalen herleidbaarheid en emissiefactoren aan de hand van 4 stappen

Om te bepalen of de ketenemissies voldoende herleidbaar zijn aan de hand van herkomst van koolstof zijn een aantal stappen doorlopen voor twee verschillende ketens, van de PET-fles en voor asfalt.

Stap 1 Bepalen ketenemissies op basis van herkomst

CO₂ komt voornamelijk vrij door verbranding van koolstof-houdende producten. De hoeveelheid CO₂ die in een keten vrijkomt is afhankelijk van de ketenstappen die koolstofatomen doorlopen en de koolstof die in deze stappen verbrand worden. Ketenemissies op basis van herkomst van koolstof worden benaderd door de koolstof te achterhalen die in verschillende processtappen “verloren” gaat. Hiervoor is niet alleen de herkomst van de koolstofatomen in de gebruiksfase van belang (“deze fles bevat 90% gerecycled PET”) maar ook de hoeveelheid en herkomst van koolstof die per ketenstap in en uit het proces gaat. Hierbij wordt aangenomen dat de “verloren” koolstof wordt verbrand en daarmee omgezet in CO₂. De verhouding kg koolstof (C) naar kg koolstofdioxide (CO₂) is hierbij 1 : 3.66. De verloren koolstof (of “Delta C”) wordt naar rato van massa verdeeld over de producten uit het proces. Door de omzetting van koolstof in koolstofdioxide van elke ketenstap bij elkaar op te tellen kunnen vervolgens de ketenemissie op basis van verloren koolstof bepaald worden. In [Bijlage I](#) is een uitgebreidere beschrijving van deze methode te vinden.

Na stap 1 is voor de PET-flesketen en de asfaltketen de hoeveelheid ketenemissies ingeschat op basis van herkomst.

Stap 2 Bepalen totale ketenemissies

Om vast te stellen of op basis van herkomst een groot deel van de totale ketenemissies bepaald kan worden, moeten deze vergeleken met de totale ketenemissies. De totale emissies worden vastgesteld aan de hand van bestaande Life Cycle Assessments (LCA’s), voornamelijk uit databank [EcoInvent](#). De LCA wordt gezien als de beste benadering van de “volledige ketenemissies”¹.

In stap 2 wordt voor twee ketens – dezelfde als stap 1 – de ketenemissies vastgesteld aan de hand van LCA’s.

Stap 3 Duiding welk deel niet herleidbaar is op basis van herkomst

In deze stap worden de uitkomsten van stap 1 vergeleken met de data van verschillende LCA’s uit stap 2, om op deze manier vast te stellen welk deel van de totale ketenemissies op basis van herkomst kunnen worden bepaald. Daar waar verschillen zijn, wordt geïdentificeerd of deze te verklaren zijn of niet.

Stap 4 Bepalen “emissiefactoren”

Door een kilo (eind)product te vermenigvuldigen met de emissiefactor kunnen ketenemissies benaderd worden. Dit is vergelijkbaar met de CO₂-emissiefactoren zoals te vinden op co2emissiefactoren.nl, maar dan meer gericht op producten dan energie. Voor het bepalen van emissiefactoren is geanalyseerd welke product- of keteneigenschappen het meest relevant zijn voor ketenemissies.

1. In de praktijk blijkt dat LCA’s niet één-op-één te vergelijken zijn met de op basis van herkomst berekende ketenemissies. Dit komt voornamelijk doordat 1) LCA’s gemiddelden zijn van specifieke ketens in een geografisch gebied, waardoor uitkomsten lastig te matchen zijn. Daarnaast 2) worden binnen LCA’s worden andere rekenregels gebruikt met betrekking tot allocatie van emissies dan in het model waarmee ketenemissies op basis van herkomst zijn berekend. LCA’s alloceren emissies ook op massa, maar laten daarbij bij- of restproducten buiten beschouwing. Om de uitkomsten uit stap 1 te kunnen vergelijken met uitkomsten van LCA’s, zijn de resultaten van meerdere verschillende LCA’s omgezet in een rekenmodel waarin de allocatie van emissies gelijk is aan de berekening van ketenemissies op basis van herkomst van de koolstofstromen.

Selectie ketens

Twee keten geselecteerd: de PET-flesketen en de asfaltketen.

De op de vorige pagina beschreven stappen worden voor twee ketens uitgevoerd, de PET-flesketen en de asfaltketen. Deze zijn gekozen om verschillende redenen. Over de PET-keten is in september ook een uitgebreidere **memo (Bevindingen CTS Herkomst en Ketenemissies Fase 1)** geschreven als onderdeel van dit onderzoek. De bevindingen staan ook in dit onderzoek.

PET-fles van “virgin” en gerecycled PET

Voor de keten van de **PET-fles** is gekozen met de volgende motieven:

- **Data bekend uit pilot.** Vanuit de pilot was reeds veel geverifieerde data beschikbaar van stakeholders in de (Nederlandse) PET-flesketen, van het begin van de keten (extraction en refinery) tot het einde (mechanische recycling).
- **PET is koolstofrijk.** Om te kunnen rekenen met koolstof, moet deze wel in het product zitten. PET is een chemisch product en bestaat uit een organische verbinding (polyethyleentereftalaat) die voor een groot deel uit koolstof bestaat.
- **Nationale keten.** Veel ketenstappen van de PET-fles vinden op Nederlandse bodem plaats.
- **Recycling is bewezen**, dus veel data. De data uit de pilot is in dit onderzoek gecombineerd met LCA-data (voornamelijk uit databank EcoInvent). Omdat de PET-productie én recycling ontwikkelde en veel toegepaste technologieën zijn, is veel data beschikbaar.

Bij het onderzoek zijn twee varianten van de PET-keten onderscheiden. De onderscheiden varianten zijn: 1) fossiele herkomst met verbranding als end-of-life en 2) volledig recycleert als herkomst en volledige recycling als end-of-life. Met deze varianten kunnen verschillende soorten herkomst en het effect op emissies vergeleken worden.

Asfalt met (fossiel) bitumen en bio-based lignine

Na het uitwerken van de PET-keten is gekozen voor een tweede keten, die van **asfalt**, omdat deze in sommige punten afwijkt van de PET-keten:

- **Lange levensduur.** Asfalt wordt voor langere tijd neergelegd waarmee koolstof opgeslagen wordt.
- **Bio-based.** Een huidige ontwikkeling in de asfaltketen is bio-asfalt, waarbij (fossiele) bitumen worden vervangen door (bio-based) lignine. De 'normale' asfaltketen is vergeleken met de keten van “bio-asfalt”.
- De asfaltketen kent, vergeleken met de PET-flesketen, **relatief veel scope 2- en transportemissies**. Deze categorieën maken een groter deel uit door het gewicht en het **lagere aandeel koolstof in asfalt**.

Door de ketens te onderzoeken aan de hand van de beschreven stappen, wordt onderzocht of ketenemissies voldoende herleidbaar zijn a.d.h.v. herkomst. Daarnaast verschaffen de ketens, door de verschillen, inzicht over relevante product- en ketenaspecten voor het berekenen van ketenemissies en emissiefactoren.

Selectie ketens

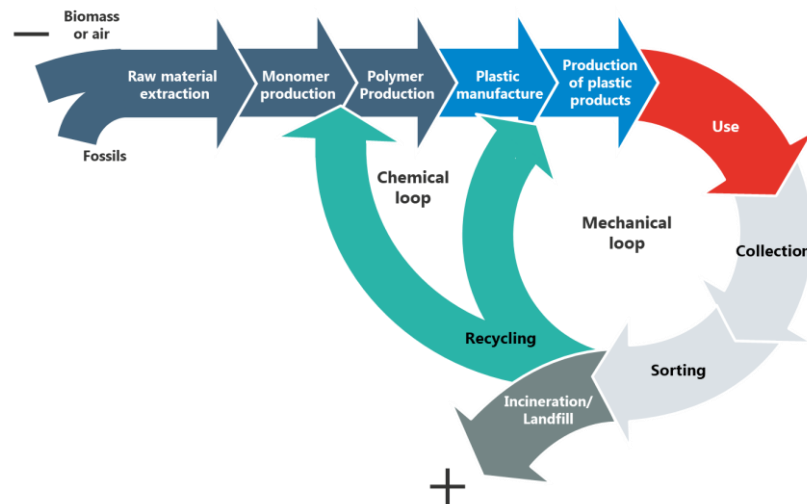
Herkomst en verwerking einde levensduur

Met *herkomst* wordt de bron bedoeld op het moment dat een atoom begint aan een bepaalde keten (bij de herkomst of keuze van materiaal) en met *verwerking einde levensduur* wat ermee gebeurt aan het einde van de levensduur van het product. De herkomst en verwerking aan het einde van de levensduur bepalen welke ketenstappen het koolstofatoom doorloopt. Zie voor overige aannames over de keten [Bijlage II](#).

Varianten van PET-flesketen

	Herkomst	Verwerking einde levensduur
P1	100% fossiel	100% verbranding
P2	100% recycklaat	100% recycling

Figuur 1 geeft de PET-flesketen weer. De varianten verschillen in zowel in herkomst (fossiel vs. recycklaat) als in verwerking aan het einde van de levensduur.

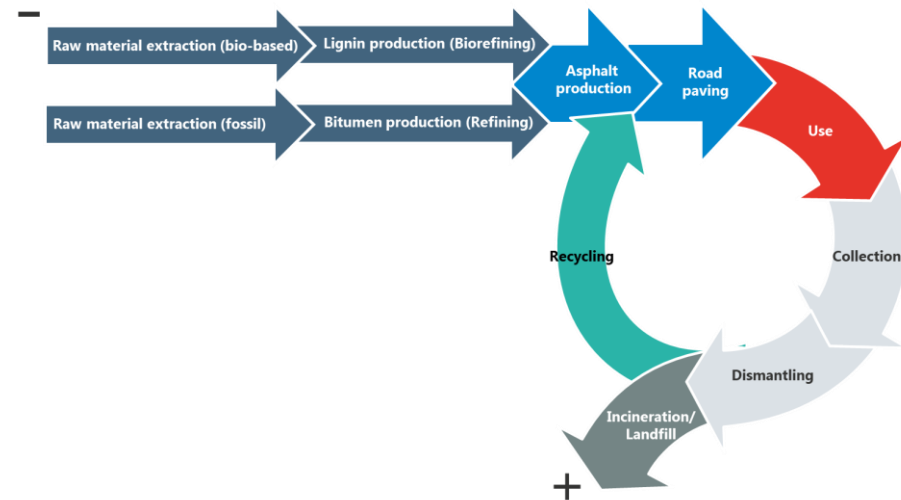


Figuur 1 Koolstofcyclus plastic keten

Varianten van de asfaltketen

	Herkomst	Verwerking einde levensduur
A1	28% fossiel, 72% recycklaat ¹	100% recycling
A2	16% fossiel, 74% recycklaat ¹ , 9% bio	100% recycling

Figuur 2 geeft de koolstofcyclus van de asfaltketen weer. Niet koolstofhoudende ingrediënten van asfalt, zoals zand, stenen en andere vulmaterialen (behalve recycklaat¹), zijn buiten deze figuur gelaten.



Figuur 2 Koolstofcyclus asfaltketen

1. Asfalt wordt gerecycleerd tot vulmateriaal voor nieuw asfalt. In het gerecyclede asfalt zit koolstof, maar het heeft niet meer dezelfde functie als bitumen of lignine. De absolute hoeveelheid recycklaat in beide varianten is even hoog. Omdat in lignine een kleiner deel koolstof zit, is het percentage recycklaat bij A2 echter hoger dan bij A1.

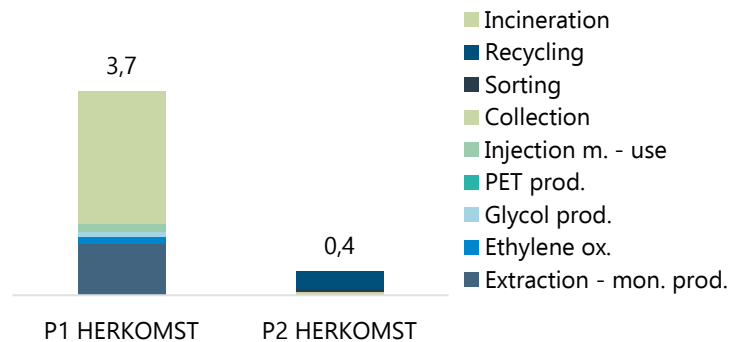
Bevindingen

Stap 1 Bepalen ketenemissies op basis van herkomst

PET-flesketen

Op basis van de herkomst van koolstof is de ketenuitstoot herleid.

	Herkomst koolstof	Verwerking einde levensduur
P1	100% fossiel	100% verbranding
P2	100% recycleat	100% recycling



Figuur 3 Ketenemissies P1 en P2 o.b.v. herkomst in kg CO₂ / kg¹ PET

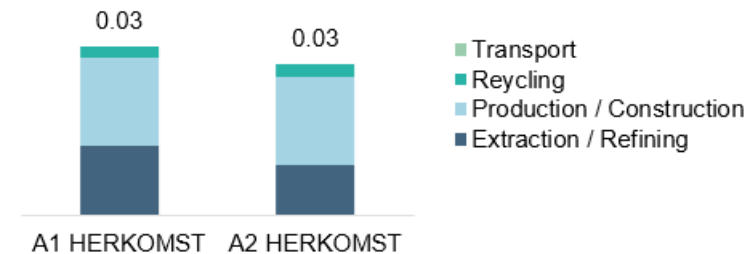
Uit de berekening blijkt dat 65% van de uitstoot in keten P1 uit de verbrandingsstap komt. Dit verklaart het verschil in uitstoot tussen de 2 ketens en daarmee concluderen we dat de herkomst van koolstof substantieel impact heeft op de uitstoot.

1. Waar CO₂ geschreven wordt, kan CO₂-equivalent gelezen worden in dit hele rapport. Naast CO₂ worden ook (kleine hoeveelheden) andere broeikasgassen uitgestoten, waarvan het broeikaseffect in LCA's omgerekend wordt naar CO₂-equivalent.
2. De uitkomsten voor asfalt zijn meer dan een factor 100 lager dan die van de PET-flesketen, doordat asfalt voor het grootste deel uit niet-koolstofhoudende vulmaterialen bestaat.
3. In figuur 4 komen beide varianten op 0,03 uit, terwijl er een licht verschil is. De emissies en het verschil zijn niet kleiner uitgedrukt om schijnprecisie te voorkomen.

Asfaltketen

Op basis van de herkomst van koolstof is de ketenuitstoot herleid.

	Herkomst koolstof	Verwerking einde levensduur
A1	28% fossiel, 72% recycleat	100% recycling
A2	16% fossiel, 74% recycleat, 9% bio	100% recycling



Figuur 4 Ketenemissies A1 en A2 o.b.v. herkomst in kg CO₂ / kg asphalt ²

In A2 is een deel bitumen vervangen door lignine (waardoor 9% van de koolstof in bio-asfalt bio-based is). Het verschil tussen de o.b.v. herkomst herleide emissies voor A1 en A2 is klein in absolute zin³.

Met de herkomst methode hebben we voor de asfalt keten (A2) berekend dat 19% van de totale ketenemissies een bio-based herkomst hebben (vanuit de refining stap van lignine). Wanneer deze emissies als "CO₂-neutraal" gerekend mogen worden, wordt de reductie van ketenemissies van bio-asfalt t.o.v. conventionele asfalt (A1) groter (van 11% naar 28% reductie). Dit is niet in de grafiek te zien.

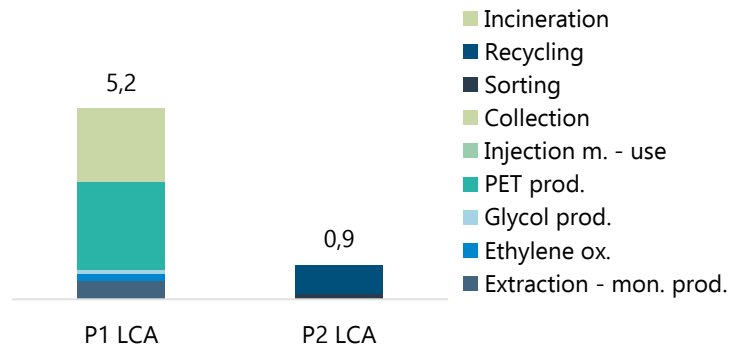
Bevindingen

Stap 2 Bepalen totale ketenemissies

PET-keten

Op basis van de LCA's is de "totale" ketenuitstoot van PET benaderd.

	Herkomst koolstof	Verwerking einde levensduur
P1	100% fossiel	100% verbranding
P2	100% recycklaat	100% recycling



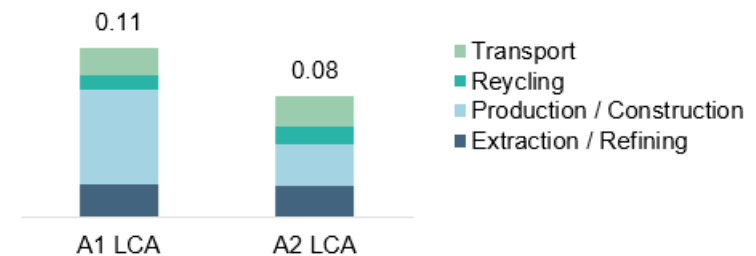
Figuur 5 Ketenemissies P1 en P2 o.b.v. LCA's in kg CO₂ / kg PET

85% van de uitstoot in keten P1 komt uit de productiestappen en verbrandingsstap. Deze stappen zijn geen onderdeel van keten P2. Dit verklaart grotendeels het verschil in uitstoot tussen de 2 ketens en daarmee concluderen we dat de herkomst van koolstof ook volgens de LCA's substantieel impact heeft op de uitstoot.

Asfaltketen

Op basis van de LCA's is de "totale" ketenuitstoot van asfalt benaderd.

	Herkomst koolstof	Verwerking einde levensduur
A1	28% fossiel, 72% recycklaat	100% recycling
A2	16% fossiel, 74% recycklaat, 9% bio	100% recycling

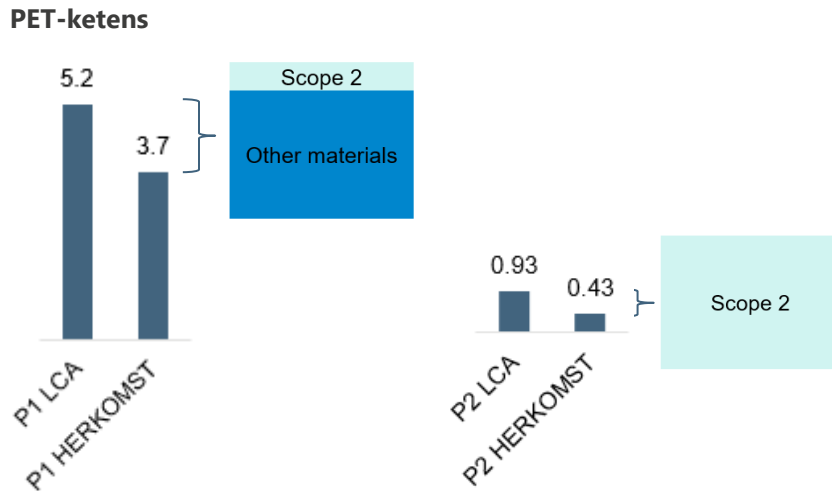


Figuur 6 Ketenemissies A1 en A2 o.b.v. LCA's in kg CO₂ / kg asfalt

Aangezien transport, constructie en recycling in beide ketens bijna gelijk zijn, zit het grootste verschil tussen ketens A1 en A2 in de productie van bitumen t.o.v. lignine. Omdat in keten A2 een groot deel bitumen wordt gebruikt in het asfalt, en bij de refining van lignine ook emissies vrijkomen, is het verschil in de extraction/refining stap miniem.

Bevindingen

Stap 3 Duiding welk deel niet herleidbaar is op basis van herkomst



Figuur 7 Ketenemissies P1 en P2 o.b.v. herkomst en LCA's in kg CO₂ / kg PET

In figuur 7 worden de ketenemissies (o.b.v. LCA's) van P1 en P2 vergeleken met de op basis van herkomst berekende emissies. De blokjes (met scope 2 en other materials) duiden welk deel van het verschil mist door het niet meenemen van energieopwekking (scope 2) en welk deel door missende (bij-)materialen. Deze blokjes geven de verhouding aan, geen absoluut verschil.

Deel niet herleidbaar:

- Bij de fossiele PET keten (P1) zien we dat het verschil met name komt door emissies die vrijkomen bij *productie* van (bij)materialen buiten de gemodelleerde keten. Bij deze keten gaat dit vooral om materialen in de productiestap (zoals tereftaalzuur) die in de LCA's wel en in de berekening o.b.v. herkomst niet zijn meegenomen. Hoe

meer ketens/materialen rapporteren op basis van herkomst, hoe meer hierover bekend wordt. Bij P2 worden alleen gerecycled input materialen gebruikt en rekt de LCA daarvoor geen emissies.

- Daarnaast zien we in P1 en P2 dat emissies geassocieerd met (externe) elektriciteit- en warmteopwekking (scope 2) alleen bij de LCA's wordt meegenomen. Op basis van herkomst kunnen deze emissies niet worden berekend (tenzij de energieopwekking opgewekt wordt door koolstof-houdende materialen te verbranden en ook meegenomen worden in de berekening op basis van herkomst).

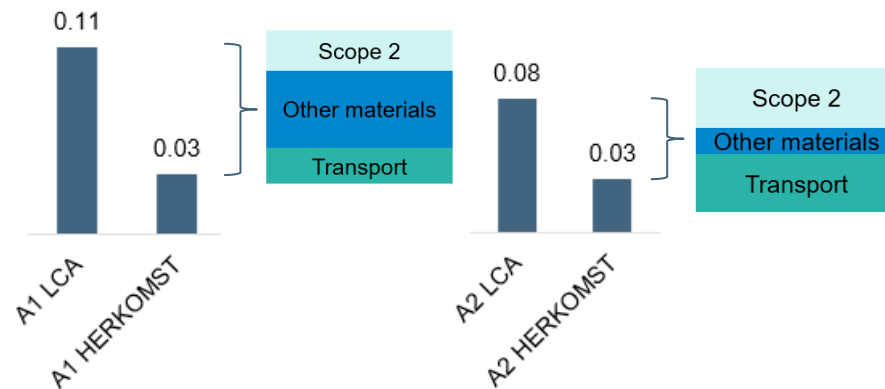
Andere verschillen in rekenmethodes:

- Aannames over verschillende processen en efficiëntie van processen – omdat de herkomst methode emissies toerekent op basis van verloren C-massa, hebben de aannames over welke processen en de efficiëntie van die processen veel invloed op de uitkomst. In het refining-proces (aan het begin van de fossiele PET-keten, P1) zien we bijvoorbeeld dat er op basis van herkomst meer emissies worden toegerekend en kan het zijn dat de aannames van de LCA anders zijn. Als de data van de bedrijven zelf komt, is deze (waarschijnlijk) nauwkeuriger dan de aannames in een LCA.
- Aannames over output materialen - in de incineration-stap bij de P1 keten valt de herkomst-methode in stap 1 hoger uit dan de LCA. Een verklaring is dat de berekening op basis van herkomst ervan uitgaat dat alle koolstof in deze stap als CO₂ eindigt, terwijl in werkelijkheid een deel in de vorm van as overblijft. Dit kan aangepast worden met informatie over eventueel overgebleven C in vaste vorm. Een andere verklaring is het toekennen van CO₂-uitstoot aan elektriciteitsproductie.

Bevindingen

Stap 3 Duiding welk deel niet herleidbaar is op basis van herkomst

Asfaltketen



Figuur 8 Ketenemissies A1 en A2 o.b.v. herkomst en LCA's in kg CO₂ / kg asfalt

In figuur 8 worden de ketenemissies (o.b.v. LCA's) van A1 en A2 vergeleken met de op basis van herkomst berekende emissies. De blokjes (met scope 2, other materials en transport) duiden welk deel van het verschil mist door het niet meenemen van energieopwekking (scope 2) en welk deel door missende (bij-)materialen en transport. Deze blokjes geven de verhouding aan, geen absoluut verschil.

Deel niet herleidbaar:

- Zoals van tevoren bekend en net als bij de PET-keten is bij de asfaltketen een deel niet herleidbaar op basis van herkomst. Dit zijn de

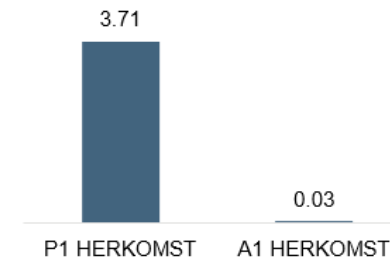
ketenemissies geassocieerd met (externe) elektriciteit- en warmteopwekking (scope 2), transport en (bij-) materialen van buiten de geanalyseerde keten. Voor asfalt gaat dit om de emissies die vrijkomen bij *productie* van het asfalt aggregaat (zand en grint).

Andere verschillen in reken methodes:

- Aannames over input materialen – wanneer input materialen geen standard compositie hebben kan het percentage koolstof in het materiaal verschillen. Recycled asfalt wordt bijvoorbeeld gebruikt in de productie van nieuw asfalt, maar het is onzeker hoeveel koolstof hierin zit. Het kan zijn dat de aanname voor de verhouding van binder (bitumen/lignine) tot aggregaten van het recycle asfalt van de methodes niet gelijk zijn.

Verschil asfalt en PET

De emissies voor een kg asfalt liggen bijna een factor 100 lager dan PET. Oorzaak is dat PET een chemisch/organisch product is. Asfalt is samengesteld uit verschillende (wel of niet organische) materialen. De carbon content van een kg asfalt (6%), ligt veel lager dan de carbon content van een kilo PET (63%). Ook is zijn de ketenemissies voor asfalt per kg veel lager dan PET, zie figuur 9.



Figuur 9 Ketenemissies P1 (kg CO₂ / kg PET) en A1 (kg CO₂ / kg asfalt) o.b.v. herkomst

Bevindingen

Stap 4 Bepalen “ketenemissiefactoren”

Emissiefactoren zijn factoren die gebruikt kunnen worden om eenvoudig vanaf een eenheid brandstof of materiaal de ketenemissies te benaderen. Momenteel bestaan CO₂-emissiefactoren voornamelijk van brandstoffen. Deze zouden aangevuld kunnen worden met materialen. De mate van gewenste nauwkeurigheid bepaald om hoeveel factoren het gaat. Zo kan PET gebruikt worden voor de PET-fles of een PET-tray, waarbij de ketenemissies slechts beperkt verschillen. Ook kan er gekozen worden om de lijst te beperken tot de meest gebruikte materialen.

Bij de onderzochte materialen blijken herkomst en de end-of-life de belangrijkste aspecten omdat deze bepalen welke ketenstappen doorlopen worden/zijn en daarmee ook voor een groot deel de ketenemissies. Herkomst kan bijvoorbeeld verwijzen naar fossiel, recycled, bio-based¹ of mogelijk in de toekomst uit andere processen, via Carbon Capture and Utilization (CCU)¹. Bij end-of-life is het onderscheid tussen recycling (mechanisch of chemisch) en verbranding van belang. Transport en scope 2 kunnen niet vastgesteld worden aan de hand van herkomst. Er zou, zoals in onderstaande tabel, onderscheid gemaakt kunnen worden in emissiefactoren met en zonder emissies uit scope 2 (energieopwekking) en transport.

In de onderstaande tabel zijn voor onderzochte ketens van de PET-fles en asfalt ketenemissiefactoren opgesteld.

Material	Specificatie/aanname herkomst koolstof in eindproduct	End-of-life	Eenheid in gebruikersfase	Kg CO ₂ -eq./eenheid in keten excl. vervoer en Scope 2	Kg CO ₂ -eq./eenheid in keten incl. vervoer en scope 2
Fossiel-PET	100% fossiel	Verbranding	Kg	3.7	5.2
Gerecycled-PET	100% recyclaat	Mechanische recycling	Kg	0.4	0.9
Regulier Asfalt	28% fossiel, 72% recyclaat	Recycling	Kg	0.03	0.11
Bio-Asfalt	16% fossiel, 74% recyclaat, 9% bio	Recycling	Kg	0.03	0.08

De bovenstaande tabel toont voor de PET-keten extreme varianten (100% fossiel en verbrand of 100% recyclaat en gerecycled) en voor de asfalt-keten realistische varianten (conventioneel vs. bio), omdat deze zo onderzocht zijn in stap 1 t/m 3. In de praktijk is de herkomst van koolstof vaak deels fossiel en deels bio-based of recycled (vergelijkbaar met de asfalt-ketens). De end-of-life zal ook vaak gedeeltelijk uit verbranding en uit een deel recycling bestaan. Bij voorkeur bestaan toekomstige ketenemissies daarom uit een herkomst-component en een end-of-life-component.

Specifieke ketenemissiefactoren voor herkomst en end-of-life zouden in een vervolgonderzoek of met behulp van een toekomstige koolstofboekhouding kunnen worden vastgesteld. Een andere manier om hiermee om te gaan is om met vast percentage te rekenen voor end-of-life (bijvoorbeeld het gemiddelde percentage verbranding versus recycling) tenzij aangetoond kan worden dat een specifiek product vaker gerecycled wordt.

1. Zie voor meer informatie over herkomst [deze studie](#).

Bevindingen

Reflectie op emissiereductie biograndstoffen

Koolstof met bio-based herkomst heeft over het algemeen de voorkeur boven fossiele koolstof omdat het hernieuwbaar is: planten en bomen kunnen teruggroeien en zo weer koolstof opslaan.

In Nederland geldt het Duurzaamheidskader biograndstoffen, waarin de beleidsinzet uitgewerkt. Er wordt ingezet op hoogwaardige toepassingen van biograndstoffen waaronder materialen en feedstocks, zie figuur 10.

Omgang met biograndstoffen bij bepalen emissies

Het kabinet neemt de duurzaamheidscriteria van RED II over. ISO-normen 14040 en 14044 geven internationale standaarden voor het opstellen van LCA's. De [NTA 8080](#) is een Nederlandse Technische Afspraak waar onder andere het Better Biomass certificatiesysteem gebruik van maakt. In de NTA 8080 is bijvoorbeeld opgenomen wat de (minimale en maximale) reductie van broeikasgasemissie is en hoe het berekend wordt. Voor zover bekend zijn er geen (standaard) waarden voor de emissiereductie bij het gebruik van biograndstoffen toegepast in materialen.



1 Mogelijke overbruggingstoepassing indien: flexibel vermogen, warmte via bestaande warmtenetten en pieklast.

2 Ombouw naar biograndstoffen, gevolgd door ombouw naar hernieuwbare alternatieven.

Figuur 10 Beleidsinzet per toepassingsgebied, Duurzaamheidskader biograndstoffen

Bevindingen

Reflectie op levensduur

Een hogere uitstoot per eenheid is niet altijd minder duurzaam als hierdoor de levensduur van het product wordt verlengd, bijvoorbeeld wanneer de toplaag van asfalt pas na 20 jaar in plaats van 15 jaar moet worden vervangen of een PET flesje 15 keer in plaats van 10 keer kan worden gebruikt. Daarom is het goed om homogene producten met elkaar te vergelijken door de totale uitstoot door de levensduur of aantal cycli te delen.

Levensduur zou op twee verschillende manieren opgenomen kunnen worden in emissiefactoren:

1. Verdisconteren van emissies gedurende de looptijd, zodat emissies later minder zwaar meetellen dan emissies nu.

Het voordeel van deze methode is dat het rekening houdt met de urgentie dat CO₂ zo snel mogelijk gereduceerd moet worden. Een nadeel is dat er nog geen duidelijk indicatie is van de “verdisconteringsvoet” van CO₂.

2. Delen door de looptijd, waardoor je uitkomt op een uitstoot per jaar.

Het voordeel van de berekening per jaar is dat het eenvoudiger wordt om ketens te vergelijken, maar het doet minder recht aan de uitstoot in de tijd. Daarnaast zal de uitstoot per jaar moeten worden gezien naast (en niet in plaats van) de totale ketenemissie van een kg afval. Dat laatste blijft belangrijk om de absolute uitstoot te bepalen, bijvoorbeeld in het kader van de doelstellingen van het klimaatakkoord van Parijs om de opwarming van de aarde te beperken tot (liefst ruim) onder 2 graden Celsius.

Bij beide methodes is het van belang dat de levensduur van het materiaal goed kan worden ingeschat, bij voorkeur op een gestandaardiseerde methode. In aanbestedingen wordt op dit moment levensduur vaak gepresenteerd als een garantie ('je kan ervan uitgaan dat dit product 20 jaar meegaat'), en niet als vaststaand feit ('het is bewezen dat dit product 20 jaar meegaat'). Bij de milieu-impact worden in het garantie-perspectief eventuele reparatie- of vernieuwingsrondes meegenomen.

De makkelijkste oplossing om levensduur mee te nemen bij ketenemissiefactoren lijkt zowel de totale ketenemissiefactor als ketenemissiefactor per jaar te tonen. De ketenemissiefactor per jaar hoeft enkel getoond te worden bij producten waarbij dit relevant is, en bijvoorbeeld niet bij (single-use) PET-flessen. Deze oplossing biedt de duidelijkste uitkomst zonder context weg te laten.

Conclusie

Ketenemissie op basis van herkomst afhankelijk van scope en doel

Het doel van een koolstofboekhouding is het verschaffen van data om (uiteindelijk) het gebruik van duurzame, niet-fossiele **grondstoffen** te bevorderen en daarmee CO₂-emissies in de keten te reduceren.

Een koolstofboekhouding op basis van de herkomst van koolstof met rekenregels is een mogelijke oplossing. In dit onderzoek is de herleidbaarheid van ketenemissies aan de hand van herkomst van koolstofmoleculen onderzocht om het sturen op ketenemissies via koolstofherkomst te kunnen onderbouwen. Dit is gedaan aan de hand van varianten van de PET-fles- en asfaltketen. Daarnaast zijn ketenemissiefactoren opgesteld voor de onderzochte ketens.

Vooraf aan het onderzoek was bekend dat een deel van de ketenemissies niet herleidbaar is op basis van herkomst. Dit zijn de ketenemissies geassocieerd met (externe) elektriciteit- en warmteopwekking (scope 2), transport en productie van (bij-)materialen van buiten de geanalyseerde keten. Hoe meer ketens/materialen rapporteren op basis van herkomst, hoe meer emissies van productie van (bij-)materialen kunnen worden meegenomen. Bovendien zijn scope 2- en transportemissies niet het doel van een koolstofboekhouding, die moet focussen op ketenemissies die gepaard gaan met (herkomst en verwerking) van grondstoffen.

Een groot deel van de ketenemissies die beïnvloed wordt door de keuze van de herkomst van koolstof en de verwerking daarvan is herleidbaar op basis van herkomst. Het deel dat minder goed te duiden is, komt door lastig te herleiden aannames over bijvoorbeeld efficiëntie van processen, verwerking van output-materialen en aannames over samenstelling van producten. Een koolstofboekhouding zou hiervoor een oplossing kunnen bieden, want deze biedt geverifieerde en specifieke data die (bij een volledige keten) sneller en inzichtelijker te verkrijgen is dan LCA's.

Sturen op basis van herkomst lijkt meer voor de hand liggend voor producten met een groot aandeel koolstof in het eindproduct (de organische chemische industrie). Voor producten waarbij het aandeel van aan-koolstof-gerelateerde emissies lager zijn en de aan transport en elektriciteitsopwekking gerelateerde emissies hoger zijn (zoals bij asfalt), is het sturen op herkomst minder geschikt gelet op het grote aandeel emissies dat niet aan de herkomst van de koolstof is gerelateerd.

Voor transport en energieopwekking (scope 2) zijn emissiefactoren bepaald en deze worden al veelvuldig gebruikt. Emissiefactoren op basis van herkomst (en end-of-life) gericht op materialen kunnen een belangrijke toevoeging zijn op een koolstofboekhouding, bijvoorbeeld bij het overwegen van het gebruik van andere materialen.

Een koolstofboekhouding voor herkomst van koolstofstromen kan helpen om zowel grondstofstromen en ketenemissies inzichtelijk te maken en daarmee het gebruik van duurzame, niet-fossiele grondstoffen te bevorderen.

Aanbevelingen

Naar aanleiding van het gedane onderzoek zijn de volgende aanbevelingen opgesteld:

- Een van de conclusies van dit onderzoek is dat een groot deel van de ketenemissies die beïnvloed wordt door de keuze van de herkomst van koolstof en de verwerking daarvan herleidbaar is op basis van herkomst, waarbij de mate waarin een product bestaat uit koolstof bepaald hoe groot dat aandeel is ten opzichte van de totale ketenemissies. Om de bevindingen uit dit onderzoek te valideren en aan te vullen, en mogelijk inzichten op te doen over de invloed van andere aspecten van producten of ketens, zouden meer ketens onderzocht moeten worden. Dit zou op basis van aangeleverde data van bedrijven gedaan moeten worden zoals dat bij een echte koolstofboekhouding zou worden opgevraagd. De uitdaging zit echter in het interpreteren van LCA's. Het moet onderzocht worden of een koolstofboekhouding dit vereenvoudigt en of van daaruit meerdere emissiefactoren vastgesteld kunnen worden.
- Na de pilot is aangegeven dat een variant van een koolstofboekhouding die koolstofstromen registreert gemakkelijker te realiseren lijkt dan een variant die emissies registreert. Het moet in de praktijk vastgesteld worden of het haalbaar is om koolstof te traceren en of dit gemakkelijker is dan emissies. Door RVO wordt gewerkt aan een prototype voor een koolstofboekhouding.
- Het wordt aanbevolen om een internationaal component te onderzoeken, omdat internationale ketens tot nu toe niet uitgewerkt zijn in een koolstofboekhouding. De verwachting is dat door te sturen op herkomst aan het begin van de nationale keten, ook internationaal een deel van de Scope 3 emissies zal reduceren en dat dit eenvoudiger toe te passen is dan de uitstoot van CO₂ in de internationale keten bij te houden.
- Levensduur dient een rol te krijgen binnen koolstofboekhouding. Daarbij kan gedacht worden aan een uitstoot per jaar of een "verdisconteerde" CO₂ uitstoot.

Bronnenlijst

- EcoInvent
- IEA (2022), Composition of gasoline and diesel
- PE International (2011)
- Britannica (2020), "crude oil", Encyclopedia Britannica; Bitumen at refinery; from crude oil; production mix, at refinery
- Moretti et al. (2022), Using lignin from local biorefineries for asphalts: LCA case study for the Netherlands
- Arumugam (2022), Production of Biodiesel from Non-Edible Sources
- Moretti et al. (2022), Using lignin from local biorefineries for asphalts: LCA case study for the Netherlands
- Butt (2014), Life Cycle Assessment of Asphalt Roads
- Bengtsson et al. (2019), Carbon Fibers from Lignin-Cellulose Precursors: Effect of Stabilization Conditions
- Moretti et al. (2022), Kraft lignin as a bio-based ingredient for Dutch asphalts: An attributional LCA
- Schwarz et al. (2020), LCA Achtergrondrapport voor brancherepresentatieve Nederlandse asfaltmengsels 2020. TNO rapport.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2020), Duurzaamheidskader biograndstoffen.

Over Rebel

No change without a Rebel

Rebels werken aan de vraagstukken van de toekomst op het gebied van duurzaamheid, transport, gebiedsontwikkeling, zorg en de sociale sector. Wij maken impact, niet alleen als adviseur maar ook als investeerder. Want wie gelooft in zijn eigen adviezen, investeert mee. Toegewijd aan het creëren van verandering, initiëren en realiseren we ook onze eigen projecten. We leveren kwaliteit op het gebied van o.a. strategisch advies & ontwikkeling, beleidsanalyses & evaluatie, partnership consulting & contracten, financieel advies & modellering en investeren & fondsbeheer.

Samen buiten de lijntjes kleuren

Het Rebel-avontuur begon in 2002 met tien stoelen. Aan een grote ronde tafel besloten de eerste Rebels – na een carrière bij adviesbureaus – een eigen onderneming te starten. Eentje zonder kaders, hiërarchie en bazen. Een plek waarbinnen iedereen zijn beste zelf kan zijn. Alles wat we in ons hebben, leggen we op tafel. Intrinsieke motivatie, de drang om verandering te brengen, inhoud en één focus: impactvolle projecten realiseren, wereldwijd. Inmiddels werken we met meer dan 180 Rebels vanuit onze kantoren in Rotterdam, Amsterdam, Antwerpen, Düsseldorf, Washington D.C., Nairobi, Johannesburg, Mumbai, Manila en Jakarta.

Hoe we op die dag met elkaar begonnen, is hoe we vandaag werken voor en met onze samenwerkingspartners: op basis van vertrouwen. In alles wat we doen – en dat is veel – is ons streven om een positieve impact op de wereld te hebben. Op het raakvlak van publiek en privaat, omdat ons Rebel-rode hart daar ligt waar maatschappelijke waarden en privaat ondernemerschap samenkomen.

Een ambitieuze doelstelling misschien, maar wel één die uitdaagt. We nodigen iedereen uit aan te schuiven en onderdeel te worden van de verandering. Samen buiten de lijntjes kleuren. Als overheid, bedrijf en individu.





Floor Hooijman

+31 6 16 64 30 71

Floor.Hooijman@Rebelgroup.com

Aurelia Mohrmann

+31 6 46 42 21 40

Aurelia.Mohrmann@Rebelgroup.com

Jurriaan Vink

+31 6 82 84 82 07

Jurriaan.Vink@Rebelgroup.com



Wijnhaven 23
3011 WH Rotterdam
Nederland
+31 10 275 59 90

info@rebelgroup.com
www.rebelgroup.com

Bijlage I

Berekening van koolstof naar ketenemissie (1/2)

De berekening werkt als volgt:

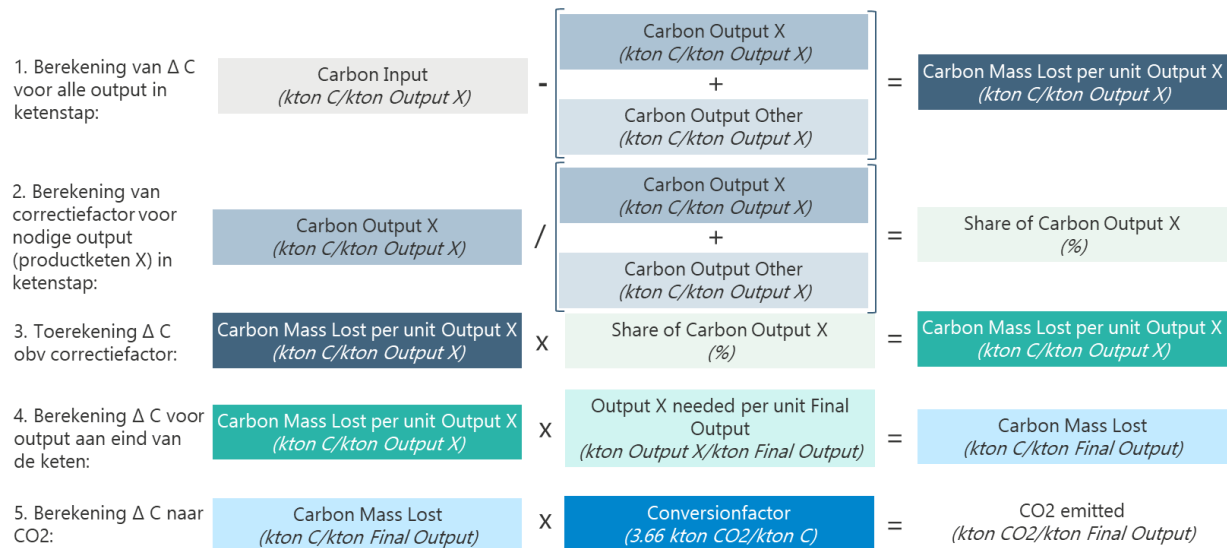
- Per ketenstap wordt het verschil tussen ingaande koolstof (input) en uitgaande koolstof naar volgende ketenstap (key output) in kaart gebracht. Het verschil is "Delta C", koolstof wat verloren gaat in de keten
- Er wordt aangenomen dat koolstof die "verloren" raakt, wordt verbrand en daarmee wordt omgezet in CO₂ ter plaatse (bijvoorbeeld bij verbranding gas voor stoomproductie) of in een afvalverbrander. De verhouding kg koolstof (C) naar kg koolstofdioxide (CO₂) is hierbij 1 : 3.66.
- Er wordt rekening gehouden met bijproducten. Als er meerdere outputs zijn die onderdeel uitmaken van een andere keten, wordt de "Delta C" naar rato van massa verdeeld over de producten.
- Op deze manier wordt in de hele keten in kaart gebracht hoeveel koolstof verloren gaat, en wat in de keten blijft op basis van herkomst en hoeveelheid van koolstofatomen. Door de omzetting van koolstof in koolstofdioxide van elke ketenstap bij elkaar op te tellen kan vervolgens de ketenemissie op basis van verloren koolstof bepaald worden.

Bijlage I

Berekening van koolstof naar ketenemissie (2/2)

De 5 berekeningsstappen in **figuur 2** worden voor elke ketenstap gedaan. Output X is de output in de specifieke ketenstap en Final Output is de output van de laatste (gebruikers-)stap. De uitkomsten van de berekening (carbon mass lost en CO₂ emitted) worden in het model ook uitgesplitst naar herkomst (fossiel/recycleat/biobased/unknown).

De conversiefactor van 3.66 kg CO₂ / kg C voor C naar CO₂ is op basis van de relatieve gewichten van de atomen.



Figuur 2 Stappen in berekening op basis van herkomst van koolstofstromen

Bijlage II

Aannames en bronnen ketens/analyse

Aannames:

- De stelregel/aanname binnen de twee varianten van de PET-flesketen is dat gerecyclede content na gebruik gerecycled wordt en niet gerecyclede content na gebruik ook niet gerecycled wordt.
- Recycling bij asfalt betreft regulier asfalt granulaat waarbij bitumen/lignine & aggregates worden recycled. Het is geen teerhoudend asfaltgranulaat (TAG). Sinds de jaren '90 is gebruik van koolteer ("teer") als bindmiddel in asfalt in Nederland verboden.
- Asfalt wordt op middentemperatuur gerecycled (niet het meer innovatieve lage temperatuur).
- Bio-Asfalt wordt geproduceerd met stoom van gas op basis van het VRT proces. In dit proces wordt zaagsel met methanol en zwavelzuur gemengd en verwarmd.
- Alleen ketenpartners die zelf de hoofdgrondstoffen/producten (materialen) in of verkopen worden meegenomen. Hierbuiten vallen:
 - Transporteurs
 - Energieproducenten
 - Producenten van bij-materialen