



Inrichting van een Carbon Tracking System

Een pilot onderzoek naar de methodologie voor de invulling van een
koolstofboekhoudsysteem voor industriële ketens

Deze rapportage is opgesteld in opdracht van RVO
voor de Topsector Energie op verzoek van het programma Digitalisering
Augustus 2021

Samenvatting

Huidige klimaatmaatregelen voor de industrie zijn voornamelijk gericht op **directe uitstoot (Scope 1)** en minder op **indirecte uitstoot van ingekochte energie (Scope 2)** en **indirecte uitstoot van emissies in de waardeketen (Scope 3)**. Scope 3-emissies vallen per definitie buiten de directe controle van een rapporterend bedrijf, waardoor er weinig zicht is op de omvang van deze emissies. Dit maakt het lastig voor beleidsmakers om op ketenemissiereductie te sturen, en voor bedrijven om aan te tonen hoe zij (kunnen) bijdragen om emissies te reduceren. Om het reductiepotentieel in Scope 3 te duiden en te realiseren, zijn **transparantie en herleidbaarheid van stromen door de industriële keten** essentieel.

Een **Carbon Tracking System (CTS)** kan door de industrie en de overheid worden ingezet om de **herkomst van koolstofatomen** en de **CO₂-uitstoot in de keten** traceerbaar en inzichtelijk te maken. Uiteindelijk kan een CTS de keteneffecten van (circulaire) maatregelen, zoals het vervangen van primair fossiele grondstoffen door biomassa, recycleat en afgevangen CO₂, vaststellen en correct verwerken. Door administratie van herkomst van koolstofstromen en uitstoot binnen industriële waardeketens in een CTS kunnen vervolgstappen in klimaatbeleid vorm krijgen. Een CTS kan daarmee doorslaggevend zijn in de transitie van een lineair naar een circulair industriesysteem.

In een pilot zijn de inrichting en twee mogelijke varianten van een CTS getoetst in de PET-flesketen. Dit pilotonderzoek kende drie **doelstellingen**:

1. **Verkennen** hoe een CTS ingericht kan worden aan de hand van echte data en betrokkenheid van stakeholders in een industriële keten.
2. **Onderzoeken** van twee mogelijke varianten voor de inrichting van een koolstofketenboekhouding:
Variant A: welke CO₂-emissies over de keten in kaart brengt;
Variant B: welke de herkomst van de koolstofstromen door de keten in kaart brengt.
3. **Aantonen** of het lukt om inzicht te krijgen in de mate waarin fossiele grondstoffen en grondstoffen op basis van hernieuwbaar of gerecycled koolstof worden ingezet in de industrie.

In deze pilot is onderzocht hoe uitstoot en herkomst van koolstofstromen in de keten gemeten of benaderd kan worden, de nadruk lag niet op wat de exacte uitstoot of herkomst is. Het onderzoek richtte zich op haalbaarheid, aansluiting op bestaande initiatieven, complicaties en werking in de praktijk. Aan het pilotonderzoek hebben zes bedrijven deelgenomen die onderdeel zijn van de industriële PET-flesketen. Variant B (herkomst koolstofatomen) werd door deelnemers als voorkeursvariant aangeduid.

De belangrijkste conclusie van het onderzoek is dat een CTS **haalbaar, gewenst en nodig** is. In het onderzoek zijn geen fundamentele belemmeringen naar voren gekomen en de deelnemers onderschrijven het doel van een CTS. **Wijze van emissie-allocatie, controlemechanismen en het bepalen van systeemgrenzen en kengetallen dienen echter zorgvuldig vastgesteld te worden voor zowel uitvoerbaarheid als draagvlak**. Wanneer dit gedaan wordt, zou een CTS een aanvulling kunnen vormen op en gebruik kunnen maken van (data uit) andere instrumenten. Omdat een CTS zich richt op ketenemissies op productniveau geeft het pas een volledig beeld van Scope 3-emissies wanneer alle productstromen van een bedrijf in beeld gebracht zijn.

Het advies is om een CTS in te richten door de herkomst van koolstofstromen, directe emissies en energetisch gebruik te registreren. Voor verdere implementatie is een prototype van een werkend CTS nodig. Hiervoor wordt aangeraden om een 'coalition of the willing' te vormen met partijen in een industriële keten en een data warehouse op te zetten waarin het CTS geadministreerd kan worden.

Summary

Current climate policies for the industrial sector are mainly focused on direct emissions (Scope 1) and to a lesser extent on indirect emissions from purchased energy (Scope 2) and indirect **emissions in the value chain** (Scope 3). By their very definition Scope 3-emissions are outside of the direct control of reporting companies, which results in a limited view of the magnitude of these emissions. This makes it difficult for policymakers to devise chain emission reduction plans and it constrains companies in their ability to demonstrate how they (can) contribute to reducing emissions. In order to demonstrate and realize the reduction potential in Scope 3, the **transparency and traceability of flows across the industrial value chain** are essential.

A **Carbon Tracking System (CTS)** can be used by the industrial sector and the government to provide insight and transparency into the **origin of carbon atoms** and **CO₂ emissions in the chain**. Ultimately, a CTS can determine and correctly administer the effects across industrial chains of (circular) measures, such as replacing primary fossil raw materials with biomass, recycle and captured CO₂. By administering the origin of carbon flows and emissions within industrial value chains in a CTS, new steps can be undertaken in shaping climate policy. A CTS can be instrumental in supporting policy measures for a transition from a linear to a circular industrial system.

In a pilot study, the design of the CTS was tested in the value chain for PET bottles. Furthermore, two possible variants of a CTS were explored. This pilot study had three objectives:

- 1. Explore** how a CTS can be set up, based on real data and the involvement of stakeholders in an industrial chain.
- 2. Investigate** two possible variants for the design of a CTS:
Variant A: which maps CO₂ emissions along the chain;
Variant B: which maps the origin of the carbon flows through the chain.
- 3. Demonstrate** whether it is possible to gain insight into the extent to which fossil raw materials and raw materials based on renewable or recycled carbon are used in industry.

The pilot investigated how emissions and origins of carbon flows in the chain can be measured or approximated, rather than what these emissions or origins are. The research focused on feasibility, connection with existing initiatives, complications and practical operation. Six companies that are part of the industrial PET bottle chain participated in the pilot study. Variant B was indicated as the preferred variant by the participants.

The main conclusion drawn from the study is that a CTS is **feasible, desirable and necessary**. The study did not identify fundamental obstacles and the participants endorse the purpose of a CTS. Methods of emission allocation, control mechanisms and the determination of system boundaries and key figures must, however, be carefully determined for both feasibility and acceptance. Once this is completed, a CTS could complement and make use of (data from) other instruments. Since CTS focuses on chain emissions at product level, it only provides a complete picture of Scope 3 emissions when all product flows of a company have been identified.

The advice is to set up a prototype of a functioning CTS by registering the **origin of carbon flows, direct emissions** and **energetic use**. To this end, it is recommended to form a “coalition of the willing” with parties in an industrial chain and set up a data warehouse in which the CTS can be administered.

Dankwoord

Dit onderzoek is mogelijk gemaakt door de betrokkenen die gedurende het traject waardevolle expertise en inzichten hebben gedeeld. In het bijzonder veel dank het begeleidende team:

Edith Engelen Smeets	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)
Harold Veldkamp	Topsector Energie, Programma Digitalisering
Natalya Rijk	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Paul van Baal	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

De klankbordgroep heeft ons van waardevolle raad voorzien. Naast het begeleidende team bestond de klankbordgroep uit:

Owen Plaisier	Nederlandse Emissieautoriteit (NEa)
Remko Ybema	Nobian
Rosienne Steensma	VNCI

Daarnaast gaat onze dank uit naar een aantal organisaties, voor hun inhoudelijke bijdrage aan en constructieve feedback in de diverse brainstormsessies, werkgroepen en workshops die in de loop van dit onderzoek zijn uitgevoerd:

Ashwin Briedjlal	Indorama Ventures
Bas Maase	Shell
Bert Bosman	SABIC
Eveline Otten	Shell
Geoffrey Schouten	Institute for Sustainable Process Technology (ISPT)
Jasper de Jong	AVR
Jesper van Berkel	Indorama Ventures
Kees Biesheuvel	Dow
Kees-Jan Dekker	Morssinkhof Plastics
Leon Jacobs	SABIC
Martijn Broekhoff	VNCI
Martijn van Engelenburg	VNCI
Matthijs Veerman	Morssinkhof Plastics
Michiel Timmerije	AVR
Si-Jing Liu	Shell
Rob Kreiter	TKI Energie & Industrie
Ronnie Ligtenbarg	Wellman International
Wout Fornara	Indorama Ventures

Inrichting van een Carbon Tracking System

Een pilot onderzoek naar de methodiek voor een koolstofboekhoudsysteem voor industriële ketens

Colofon

Deze rapportage is opgesteld in opdracht van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) voor de Topsector Energie op verzoek van het programma Digitalisering.

Dit onderzoek is uitgevoerd door Rebel. Bij de uitvoering van het project is Rebel ondersteund door accountantskantoor RSM en consultancyfirma's Kalavasta en Climate Neutral Group.

Rebel is een financieel en strategisch advieskantoor dat werkt aan de vraagstukken van de toekomst. Rebels geven duurzaamheidsadvies aan bedrijven en overheden. Zij dragen bij aan oplossingen voor de energietransitie, klimaatadaptatie, duurzaam watergebruik, slimme afvalscheiding en recycling.

RSM heeft als accountantsorganisatie een duurzame focus via haar tak Sustainability Consulting. Binnen deze tak ondersteunen zij ondernemingen in de transitie naar de nieuwe economie.

Kalavasta richt zich als strategie adviesbureau op het herstellen van evenwichten die verloren zijn gegaan in onze samenleving. Zij richt zich hierbij op het beperken van klimaatverandering via de energietransitie en de transitie in het landbouw-, voedsel- en natuursysteem.

Climate Neutral Group kijkt als advieskantoor hoe bedrijven in de keten aantoonbare CO₂-impact kunnen maken en hoe deze impact kan worden gewaardeerd en meegenomen in klimaatbeleid.

Het onderzoek is uitgevoerd door **Floor Hooijman, Edzard Scherpbier, Jurriaan Vink** en **Clint de Keizer** van Rebel; **David Boekel** van RSM; **John Kerkhoven** en **Rob Terwel** van Kalavasta; en **Jos Cozijnsen** van Climate Neutral Group.

Inhoudsopgave

Introductie	7
1. Naar grip op emissies in industriële ketens	9
1.1 Het Greenhouse Gas Protocol als standaard voor emissie administratie	9
1.3 Van inzicht op organisatieniveau naar inzicht op productniveau	13
2. Een pilot onderzoek om methodologie van een CTS te ontwikkelen en te testen	14
2.1 De PET fles keten als case study	14
2.2 Ontwikkeling van een CTS; methodiek voor een koolstofketenboekhouding	15
3. Verkenning van twee koolstofketenboekhoudingsvarianten	16
3.1 Variant A: CO ₂ -uitstoot in de keten	16
3.2 Variant B: Herkomst van C-stromen	17
3.3 Reflectie	18
4. Hoe kan een CTS haalbaar ingericht worden?	22
4.1 Methodiek voor inrichting van CTS	22
4.2 Boekhoudkundige inrichting	25
4.3 Aandachtspunten	25
4.4 Hoe kan een CTS relevant blijven in een veranderend industrielandchap?	28
5. Conclusies	29
5.1 Een Carbon Tracking System is haalbaar, gewenst en nodig	29
5.2 Voorkeur deelnemers: Registreer de herkomst van koolstofatomen	29
5.3 Advies: Registreer de herkomst van koolstofatomen	30
5.4 CTS biedt sturingsmogelijkheden overheid en ondersteunt bedrijven	31
5.5 Vervolgstappen	32
Bronvermelding	33
Appendix 1 Structuur van CTS	34
Appendix 2 Toelichting Variant A	35
Appendix 3 Toelichting Variant B	38
Appendix 4 Voor en nadelen data registratie en controles	40



Introductie

Achtergrond

In het kader van het Klimaatakkoord staat Nederland voor een enorme verduurzamingsopgave: het terugdringen van de nationale broeikasgasuitstoot met 49% in 2030 ten opzichte van 1990, met vervolgens 95% emissiereductie in 2050. Mogelijk wordt deze opgave nog groter ten gevolge van de ophoging van het Europese klimaatdoel naar 55% in 2030. De Topsector Energie richt zich op de onderliggende innovatieopgave van het Klimaatakkoord. Deze innovatieopgave is vormgegeven in meerjarige missie-gedreven innovatieprogramma's (MMIP's). Voor dit onderzoek is MMIP 6ⁱ voor Sluiting van Industriële Ketens van belang. Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) voor de Topsector Energie op verzoek van het programma Digitalisering.

Aanleiding

In het Klimaatakkoordⁱⁱ staan maatregelen die de uitstoot van CO₂ sterk zullen terugbrengen. Daarbij zijn de maatregelen voor de industrie nu vooral gericht op directe uitstoot (Scope 1) en minder op indirecte uitstoot van ingekochte energie (Scope 2) of indirecte uitstoot van emissies in de waardeketen (Scope 3). Volgens het Greenhouse Gas Protocol kunnen Scope 3 emissies de grootste bron van emissies voor bedrijven vertegenwoordigen. Zo geldt bijvoorbeeld voor Shell, één van de eerste bedrijven dat op eigen initiatief al haar emissies rapporteert, dat haar wereldwijde Scope 3 emissies in 2019 meer dan negentien maal zo veel waren als haar wereldwijde Scope 1 en 2 emissies.ⁱⁱⁱ Omdat Scope 3 emissies grotendeels buiten de directe controle van een rapporterend bedrijf vallen, is weinig zicht op de omvang van deze emissies. Dit maakt het voor beleidsmakers

lastig om op deze ketenemissiereductie te sturen, en voor bedrijven lastig om aan te tonen hoe zij bijdragen om emissies te reduceren.

Door de uitstoot in industriële waardeketens te administreren kan een vervolgstap in klimaatbeleid vorm krijgen. RVO en de Topsector Energie onderzoeken hoe door middel van een koolstofketenboekhouding de keteneffecten van circulaire maatregelen zoals recycling, de inzet van biogene grondstoffen en het gebruik van CO₂ als grondstof in beeld kunnen worden gebracht.

In een eerdere studie heeft Rebel in opdracht van RVO en de Topsector Energie de vorm en ontwerpprincipes van een haalbare (voorkeurs) oplossing voor een koolstofketenboekhouding verkend.^{iv} In een workshop met publieke en private partijen zijn verschillende varianten besproken en voorkeursopties bepaald. Het hierin beoogde **Carbon Tracking System (CTS)** is een boekhoudkundig systeem, bedoeld om ketenemissies of herkomst van koolstofstromen in de industrie in kaart te brengen. Dit onderzoek beschrijft aan de hand van een pilot studie hoe een CTS vorm kan krijgen.

Doel van een Carbon Tracking System

Het Carbon Tracking System dient:



voor en door de industrie ingezet te worden om...



de herkomst van koolstofstromen en/of de CO₂-uitstoot in de keten **traceerbaar** te maken, en...



keteneffecten van (circulaire) maatregelen, zoals het vervangen van fossiele grondstoffen door biomassa, recycleert en CCU, **vast te stellen en correct te verwerken** in een koolstofketenboekhouding

De data uit een Carbon Tracking System vormt een herleidbare en geaccordeerde basis waarmee industriële keteneffecten berekend kunnen worden. Dit kan beleidsmakers ondersteunen bij het formuleren van beleid ten dienste van de Nederlandse en Europese klimaatdoelstellingen, en kan betrokken bedrijven ondersteunen bij een onafhankelijke onderbouwing van hun inspanningen voor een duurzame toekomst.

Doel van dit onderzoek

De pilot onderzoek kent drie doelstellingen:

1. **Verkennen** hoe een CTS ingericht kan worden aan de hand van echte data en betrokkenheid van stakeholders in een industriële keten.
2. **Onderzoeken** van twee mogelijke varianten voor de inrichting van een koolstofketenboekhouding:
 - Variant A:** waarbij de CO₂-emissies over de keten in kaart gebracht worden;
 - Variant B:** waarbij de herkomst van de koolstofstromen door de keten in kaart gebracht worden.
3. **Aantonen** of het lukt om inzicht te krijgen in de mate waarin fossiele grondstoffen en grondstoffen op basis van hernieuwbaar of gerecycled koolstof worden ingezet in de industrie.

Door middel van een pilot onderzoek zijn de inrichting van een CTS en de twee bijbehorende varianten getoetst op een voorbeeldketen. Hierbij is gekeken naar hoe uitstoot/herkomst van koolstofstromen in de keten gemeten of benaderd kan worden, niet zozeer wat die uitstoot/herkomst is. De verkenning richt zich op haalbaarheid, aansluiting op het EU Emissions Trading System (ETS) en de nationale emissieregistratie, complicaties en werking in de praktijk.



1. Naar grip op emissies in industriële ketens

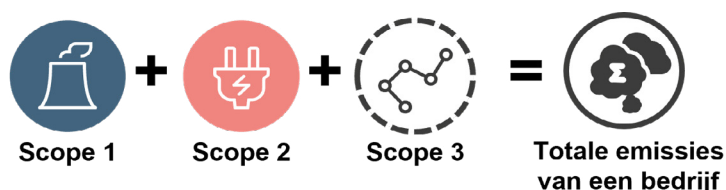
1.1 Het Greenhouse Gas Protocol als standaard voor emissie administratie

Het Greenhouse Gas Protocol (GHGP), dat wereldwijd erkend wordt als het initiatief op het gebied van standaarden en boekhouding rondom koolstofrapportage, noemt drie CO₂-emissiescopes^v:

- **Scope 1:** Directe broeikasgassen van activiteiten binnen organisatie
- **Scope 2:** Indirecte broeikasgassen door ingekochte en gebruikte energie: elektriciteit, warmte en koude
- **Scope 3:** Indirecte broeikasgassen door activiteiten van andere organisaties, zowel voor bewerking door een bedrijf (upstream) als erna (downstream)

Scope 1, 2 en 3 samen vormen de **totale emissies op bedrijfsniveau** inclusief alle processen en productketens (zie figuur 1A). Het inzichtelijk krijgen van (met name) Scope 3 is complex, omdat het input vereist van alle (vaak internationale) partijen in een keten.

Wat Scope 3 is, is afhankelijk van de plek van een speler in de keten. De Scope 1 emissies van de elektriciteitsproducent zijn bijvoorbeeld Scope 2 emissies van het industriële bedrijf dat die energie inkoopt en voor de afnemer van het product is dit de Scope 3 uitstoot.



Figuur 1A: Scopes 1, 2 en 3 vormen de totale emissies van een bedrijf en de productketens.

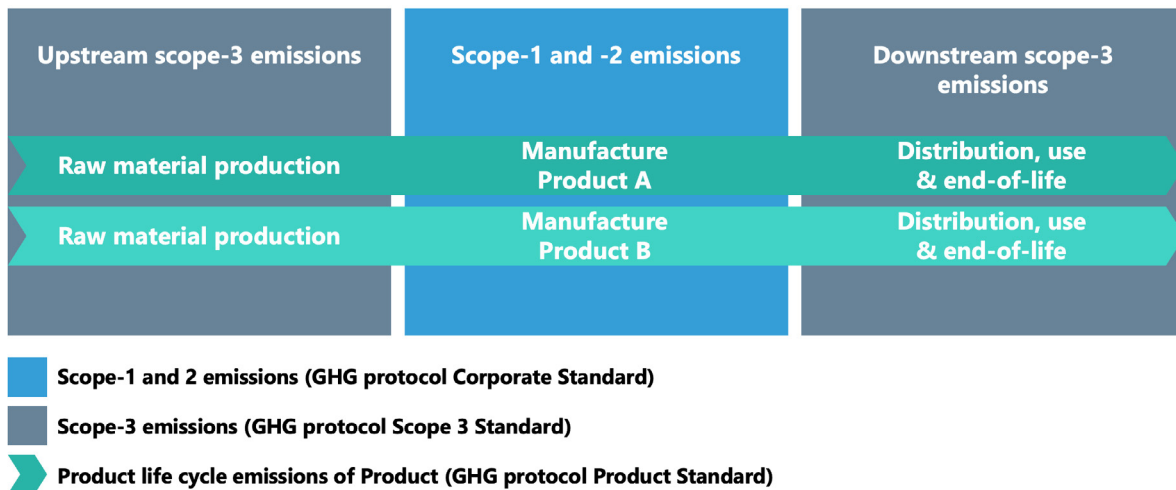
Naast de gedefinieerde emissiescopes, heeft het GHGP een aantal standaarden ontwikkeld voor de rapportage van deze verschillende types emissies. Van belang voor deze studie zijn:

1. De **Corporate Standard**, welke richtlijnen biedt voor Scope 1 en 2^v emissies op het niveau van organisaties
2. De **Corporate Value Chain (Scope 3) Standard**,^{vi} welke richtlijnen biedt voor Scope 3 emissies op het niveau van organisaties
3. De **Product Life Cycle Standard**,^{vii} welke richtlijnen biedt voor alle emissies op het niveau van producten (i.e. life cycle analyse)

Figuur 1B toont de samenhang tussen Scope 1-, 2- en 3-emissies van een bedrijf en levenscyclusemissies van een product. De som van de levenscyclusemissies van alle producten van een bedrijf (plus eventuele additionele Scope 3 uitstoot uit categorieën zoals werknemersreizen en investeringen) staat gelijk aan de Scope 1-, 2- en 3-emissies van het bedrijf. Een CTS kan uitstoot op materiaal- en productniveau inzichtelijk maken. Alle productstromen zijn samen equivalent aan de totale emissies op bedrijfsniveau.

De Scope 3 emissiestandaard kent 15 categorieën welke samen de totale Scope 3 emissies van een

Relationship between emissions for a company manufacturing Product A and B



Figuur 1B: Relatie tussen emissies voor een bedrijf dat product A en B produceert^{vi}

organisatie in kaart kunnen brengen. Omdat Scope 3 emissies in zijn totaliteit rapporteren complexe en omvangrijke berekeningen betreft, rapporteren organisaties soms slechts op enkele categorieën van hun Scope 3 emissies.

Zo maakte de VNCI^{ix} maakte een schatting van de totale emissies van de Nederlandse Chemische Industrie aan de hand van Scope 1, Scope 2 en Categorie 12 Scope 3 emissies .

De categorie waarbij de meeste Scope 3 emissies

in uitgestoten wordt kan per organisatie verschillen, maar voor de industrie is een aantal categorieën van verhoogd belang:

Category 1: Purchased goods and services

Category 3: Fuel- and energy-related activities

Category 11: Use of sold products

Category 12: End-of-life treatment of sold products

Bij de invulling van een CTS kan gekozen worden om op een aantal van deze categorieën te rapporteren. Een gevolg hiervan is dat niet alle emissies meegeteld worden in industriële ketens.

1.2 Bestaande instrumenten gericht op industriële emissiereductie

Diverse bestaande nationale en internationale instrumenten zijn gericht op de reductie van broeikasgasuitstoot van de industriële sector. In het kader van dit onderzoek zijn de volgende instrumenten van belang: 1) het EU Emissions Trading System, 2) het Innovation Fund, 3) de Renewable Energy Directive (RED II), 4) het Carbon Border Adjustment Mechanism, 5) de

nationale CO₂-heffing, 6) de Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++) en 7) Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+) en 8) de Single-Use Plastics Directive (SUPD). Figuur 1C geeft een versimpelde weergave van hoe deze verschillende instrumenten zich tot elkaar verhouden.

Instrument	Emissie beprijzing	Emissie reductie subsidie	Geografische afbakening	Deelnemende bedrijven
EU Emissions Trading System	√		Europees	ETS bedrijven
Innovation Fund		√	Europees	Op aanvraag
Renewable Energy Directive (RED II)	√	√	Europees	Bedrijven in Eurozone
Carbon Border Adjustment Mechanism	√		Europees - Wereldwijd	n.t.b.
Nationale CO₂-heffing	√		Nederland	ETS bedrijven, afvalverbrandingsinstallaties
Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++)		√	Nederland	Op aanvraag
Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+)		√	Nederland	Op aanvraag
Single-Use Plastics Directive			Europees	Bedrijven in Eurozone

Figuur 1C: Schematisch overzicht van instrumentarium gericht op industriële emissiereductie

EU Emissions Trading System

Het EU Emissions Trading System (EU ETS) is een van de bekendste en invloedrijkste instrumenten gericht op emissiereductie, en specifiek op directe uitstoot van de grote industrie en de elektriciteitssector. In dit handelssysteem wordt een limiet gesteld aan de totale hoeveelheid broeikasgassen die mogen worden uitgestoten door de bedrijven die onder het systeem vallen. Binnen deze limiet kopen of ontvangen bedrijven emissierechten, die naar behoefte met elkaar verhandeld kunnen worden. Het aantal beschikbare emissierechten wordt in de loop van de tijd verlaagd, waardoor emissiereductie gestimuleerd wordt.

Innovation Fund

Het Innovation fund is een Europees financieringsprogramma voor commerciële realisatie van innovatieve koolstofarme

technologieën. Het programma omvat ongeveer 20 miljard euro, te spenderen tussen 2020 tot 2030, en wordt gefinancierd vanuit het ETS en niet gependeerde fondsen van het eerdere programma NER 300. Projecten en bedrijven die hoog-innovatieve technologieën toepassen om koolstofemissies te verlagen kunnen aanspraak maken op het Innovation fund.

Renewable Energy Directive (RED II)

RED II is een amendement uit 2018 van een eerdere Europese richtlijn uit 2009 (RED). Zowel RED als RED II creëren een juridisch framework voor de toepassing van hernieuwbare energie binnen Europa. Het stelt zowel een algemene (32%) als lidstaatspecifieke (40% voor Nederland) doelen voor het aandeel hernieuwbare energie in 2030. Daarnaast stelt RED II eisen aan biobrandstoffen (en het geassocieerde landgebruik) en de toepassing van deze brandstoffen binnen energieopwekking

en transport. RED II richt zich vooralsnog enkel op biobrandstoffen. Verschillende stemmen, bijvoorbeeld het nova instuut^x, roepen op om ook te sturen op biomaterialen en biochemicalïen om bij te dragen aan de doelen.

Carbon Border Adjustment Mechanism

De Europese Commissie werkt aan het Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), waarover meer informatie wordt verwacht in de loop^{xi} van 2021. Dit instrument heeft als doel om het zogenaamde koolstoflekrisico ('carbon leakage risk') te vermijden. Met dit 'carbon leakage risk' wordt bedoeld op het risico dat energie-intensieve industrie van de EU naar regio's met minder strikte koolstofbeperkingen verplaatst, waardoor behaalde reducties binnen de EU teniet gedaan worden door emissieverhogingen erbuiten. Ook dient het CBAM de import van goedkopere fossiele producten buiten de EU te voorkomen. Het CBAM gaat mogelijk werken d.m.v. een heffing op import van grondstoffen of producten van buiten de EU, zoals staal en olie, op basis van de bijbehorende koolstof(dioxide) intensiteit. De Europese productie kan dan beter concurreren, omdat die met CO₂-kosten gepaard gaat wat bij de handelspartners vaak nog niet het geval is.

Nationale CO₂-heffing

Naast het EU ETS is in Nederland ook de nationale CO₂-heffing ingevoerd. Deze heeft grotendeels eenzelfde scope als het EU ETS, maar richt zich ook op afvalverbrandings- en lachgasinstallaties en is vormgegeven als een jaarlijks stijgende minimumprijs (ondergrens) voor de marktprijs van het EU ETS.

Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie

De SDE++ richt zich op het reduceren van CO₂ en andere broeikasgassen door onder andere industriële CO₂ reducerende technieken te subsidiëren. Bedrijven kunnen

een subsidieaanvraag plaatsen, waarna aanvragen worden gerangschikt op basis van de subsidiebehoefte per vermeden ton CO₂.

Demonstratie Energie en Klimaatinnovatie (DEI+)

Het DEI+ is een subsidieregeling van het ministerie van Economische Zaken & Klimaat dat zich richt op de demonstratie van energie-innovaties. De regeling heeft als doel om Nederlandse bedrijven met ontwikkelde producten, processen of diensten gemakkelijker de sprong naar internationaal succes te laten maken.

Naast de bovengenoemde instrumenten is ook een aantal andere instrumenten dat zich richt op bepaalde onderdelen van de industrie. . Een voorbeeld is de onderstaande Single-Use Plastics Directive, die zich niet direct richt op industriële emissiereductie, maar waarmee de Europese Commissie als vervuiling voorkomende (eenmalig gebruikte) plastic voorwerpen verbiedt en alternatieven promoot.

Single-Use Plastics Directive (SUPD)

Per 3 juli 2021 is de SUPD ingegaan, welke verschillende regels voorschrijft met betrekking tot kunststofproducten voor eenmalig gebruik. De richtlijn bevat een verbod op verkoop en gebruik van tien plastic (single use-)producten die het meest als vervuiling worden gevonden. Daarnaast dienen alle PET-flessen in elke Europese lidstaat vanaf 2025 in totaal 25% gerecycled plastic te bevatten, wat verhoogd wordt naar 30% in 2030.^{viii}

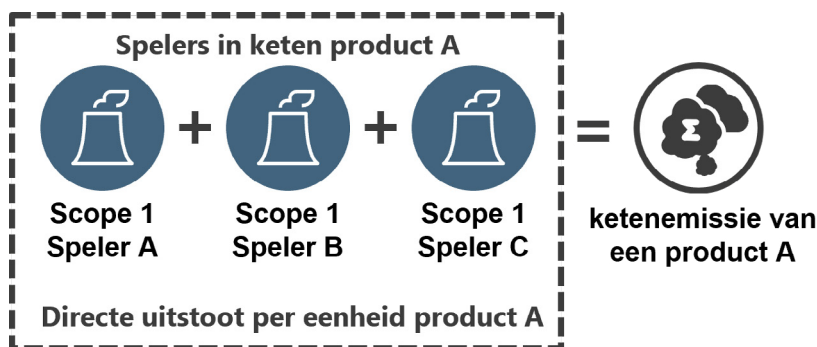
1.3 Van inzicht op organisatieniveau naar inzicht op productniveau

Elk van de instrumenten genoemd in [H1.2](#) bieden kaders voor bedrijven en beleidsmakers voor industriële emissiereductie. Beprijzing van de emissies binnen deze instrumenten gebeurt op het niveau van organisaties, welke worden geadmistreerd volgens de 'GHG Protocol Corporate Standard'.

Voor een Carbon Tracking System is behoefte naar het administreren van emissies op het niveau van producten en materialen, vergelijkbaar met de 'GHG Protocol Product Standard'. De directe emissies (Scope 1) van alle partners (en gebruikers) in de gehele keten van een product samen vormen de totale emissie die geassocieerd kunnen worden met een product, oftewel de

ketenemissies van een product, zie figuur 1D.

De keuze voor het productniveau is gemaakt omdat bedrijven zich verbinden door in- en verkoop van producten. Data over de producten wordt doorgegeven in de keten en wordt aangevuld met data over herkomst van koolstof en ketenemissies. Daarmee wordt ook de keten inzichtelijk en wordt dubbeltelling voorkomen. De Scope 3-emissies zijn onderdeel van de ketenemissies. De **Scope3-emissies van een product** zijn de ketenemissies minus zijn eigen directe emissies (Scope 1) en de emissies van ingekochte energie (Scope 2) toegekend aan het product in de ketenstap bezien dus vanuit het **perspectief** van een bedrijf of speler in de keten.



Figuur 1D: Scope 1 emissie van alle spelers in een productketen vormen de ketenemissie.



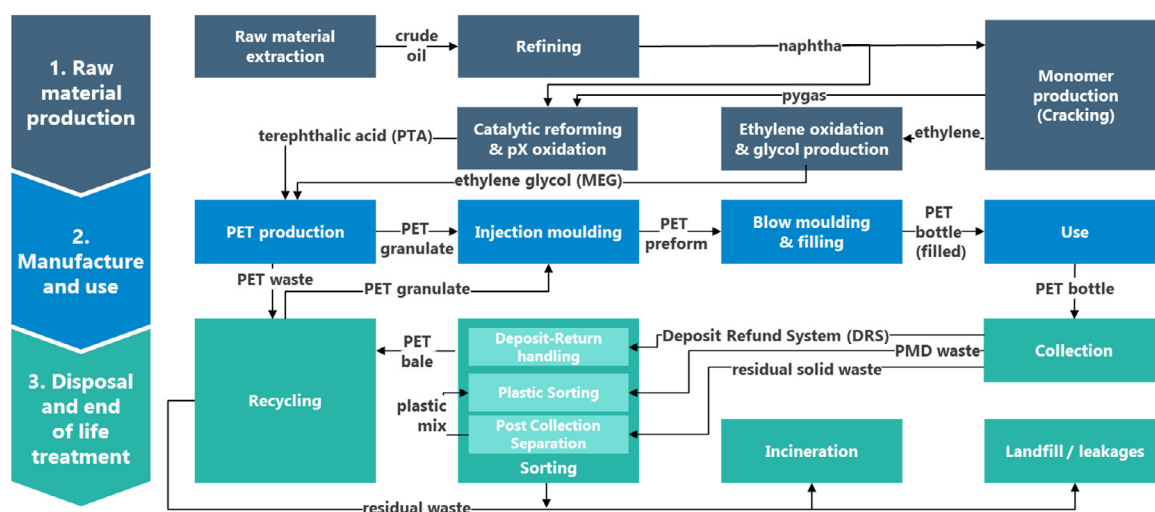
2. Een pilot onderzoek om methodologie van een CTS te ontwikkelen en te testen

2.1 De PET fles keten als case study

Om de inrichting en werking van een CTS in een bestaande industriële keten te toetsen is de keten van PET-flesproductie geselecteerd, vanwege 1) het hoge aandeel koolstof in kunststof, 2) de verschillende oorsprong van de koolstofatomen, 3) de Nederlandse basis van stakeholders en 4) de internationale dimensie van de keten.

De PET-keten kan, net als vele andere productieketen, grofweg opgesplitst worden in drie fases: 1) grondstofproductie; 2) realisatie en gebruik; 3) verwerking en behandeling na de

gebruikersfase (zie Fig. 2A). Bij dit onderzoek zijn zes ketenpartners betrokken geweest, die elk vanuit hun ketenonderdeel inzichtelijk hebben gemaakt hoe hun respectievelijke processen ingericht zijn, en welke stromen relevant zijn i.h.k.v. een koolstofboekhoudsysteem. Middels diverse workshops en kennisdeelsessies hebben de zes ketenpartners verspreid over een periode van vijf maanden input geleverd op de kaders van een CTS.



NB: Figuur geeft een versimpelde weergave van de bestaande keten

Figuur 2A: De PET fles keten

2.2 Ontwikkeling van een CTS; methodiek voor een koolstofketenboekhouding

In het pilot onderzoek is een model ontwikkeld om de benodigde informatie te verzamelen, en de diverse processtappen in de PET-keten aan elkaar te koppelen. Dit model is in samenspraak met ketenpartners en betrokkenen, iteratief ontwikkeld. Het model fungeerde hierbij niet als doel, maar als middel om kaders te schetsen en de methodiek voor een koolstofketenboekhoudingssysteem te ontwikkelen en te toetsen. In de onderstaande alinea's wordt de werking van het model en het boekhoudsysteem dat eraan ten grondslag ligt nader toegelicht.

Opzet van benodigde data

Het CTS-model is modulair ingericht. Elke individuele processtap in de keten vormt een aparte module. De integrale PET-keten bestaat uit een aaneenschakeling van processen (bestaande uit modules) waartussen massa's vloeien. Elke processtap/module wordt als een gesloten systeem behandeld, waarbij massa- en energiestromen in kaart worden gebracht en in balans moeten zijn. Een uitgebreide toelichting van de werking van het CTS-model is terug te vinden in Appendix 1.

Voor deze pilot studie hebben de deelnemende bedrijven eenzelfde gestandaardiseerde structuur gehanteerd en definities voor het aanleveren van data:

- **Materiaalstromen:** materialen inputs en outputs, verwante massa's, verwante geografische herkomst (voor inputs) en bestemming (voor outputs)
- **Energiestromen:** omvang en herkomst van ingekochte warmte en elektriciteit
- **Broeikasgas-emissiefactoren:** emissiefactoren van alle materialen die niet in het CTS zijn opgenomen
- **Aandeel C in massa:** massapercentage van koolstofatoom in de materialen

- **Herkomst koolstofatoom:** omvang en herkomst van ingekochte koolstofstomen (fossil-based, biobased, chemisch of mechanisch gerecycled).

Met behulp van deze data kunnen de materiaalstromen van verschillende processtappen aan elkaar verbonden worden en ontstaat een beeld over de industriële keten. Het CTS-model is door Kalavasta aangescherpt. De uitkomsten zijn niet volledig gevalideerd en geverifieerd aangezien het doel van de pilot niet was om de juiste resultaten te vinden, maar vooral de methodiek te onderzoeken.

Boekhouding

Bij de start van de pilot is vanuit boekhoudkundig perspectief gekeken hoe een CTS ingericht moet worden en wat dit betekent voor het CTS-model. De inrichting van een geadviseerde en geprefereerde boekhouding zal een minimum aan ingebouwde controlemaatregelen moeten bevatten. Een CTS dient 1) voorwaarden te stellen aan invoervelden en 2) gebruik te maken van bandbreedtes waarin waardes moeten bewegen. Deze invoercontroles verhogen de betrouwbaarheid van de informatie opgenomen in het model en verlagen de kosten van externe toetsing. De belangrijkste ingebouwde controlemaatregel vindt zijn oorsprong in de wet van behoud van massa, een fundamentele natuurwet die dicteert dat de massa van alle ingaande stoffen gelijk is aan de massa van alle uitgaande stoffen voor een proces; hetzelfde principe geldt voor energie volgens de wet van energiebehoud. Bij het doorrekenen van industriële processen bieden deze wetten de nodige handvatten voor de boekhoudkundige controle van massa- en energiestromen: alle in- en uitkomende stoffen (en bijbehorende massa) en energie in een proces worden geregistreerd in het boekhoudkundig systeem, waarbij de balans nul behoort te zijn.



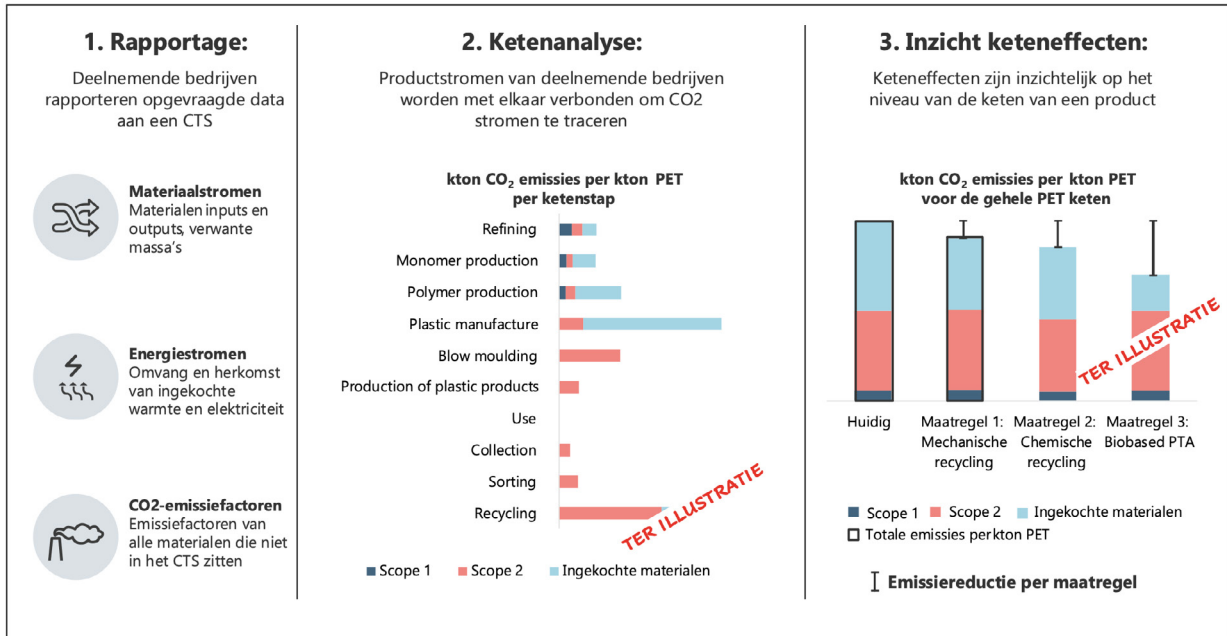
3. Verkenning van twee koolstofketenboekhoudingsvarianten

Dit hoofdstuk verkent de mogelijke inrichting van de twee geïdentificeerde varianten van een CTS en de bijbehorende benodigde analyse voor inzicht op ketenniveau.

3.1 Variant A: CO₂-uitstoot in de keten

Bij Variant A wordt gekeken naar de directe CO₂-uitstoot per ketenstap van alle materiaal- en energiestromen per eenheid product, per ketenstap. Een volledig werkend systeem levert bij Variant A inzicht in alle CO₂-emissies, over alle ketenstappen. Een dergelijk systeem bevat informatie over zowel de nationale als internationale keten, van grondstofwinning tot aan de eindgebruiker, afvalverwerking of eventuele recycling en alle transportuitstoot. Per ketenpartner betekent dit dat bij de inkoop van een materiaalstroom de uitstoot voorafgaand aan de ketenstap bekend moeten zijn. Binnen de ketenstap worden de Scope 1 en -2 emissies toegerekend aan het product en opgeteld bij de uitstoot tot dan toe. Deze informatie wordt doorgegeven aan de volgende ketenpartner. De Scope 1 emissies van alle ketenpartners (inclusief

de emissies van energieproducenten) samen zorgt voor inzicht in alle emissies in de keten gezamenlijk, en in de Scope 1, 2 en -3 emissies van iedere ketenpartij individueel. Voordat dit mogelijk is, zal er gewerkt moeten worden met systeemgrenzen. Deze dienen vooraf zorgvuldig gekozen te worden. Tijdens de pilot is gekeken naar een deel van de PET-flesketen. Het glycol-molecuul is bijvoorbeeld gevolgd, maar niet terephtaalzuur, wat in dit model werd beschouwd als overige materiaalstroom. De keten van het ingekochte terephtaalzuur betrof andere ketenpartners dan de deelnemers aan de pilot. Bij implementatie van het CTS zou dit zuur binnen de systeemgrens vallen, gezien de substantiële bijbehorende uitstoot in de keten (zie ook figuur 3A bij *plastic manufacturer*). Appendix 2 licht de werking van variant A nader toe.

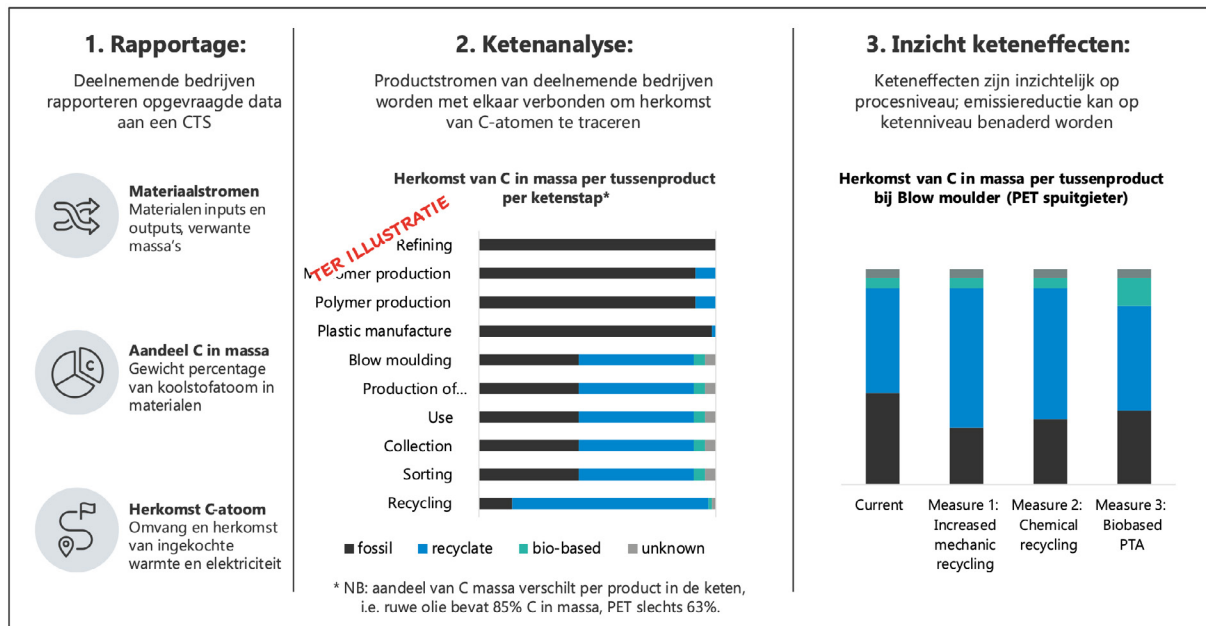


Figuur 3A: werking van een CTS met variant A - CO₂ uitstoot in de keten

3.2 Variant B: Herkomst van C-stromen

Bij variant B wordt gekeken naar de herkomst van koolstofatomen in producten van deelnemende bedrijven. Hiervoor is informatie nodig over de materiaalstromen, de verwante herkomst, en het bijbehorende aandeel koolstofmassa. Deze informatie levert inzicht op in het aandeel van koolstofatomen in de keten dat afkomstig

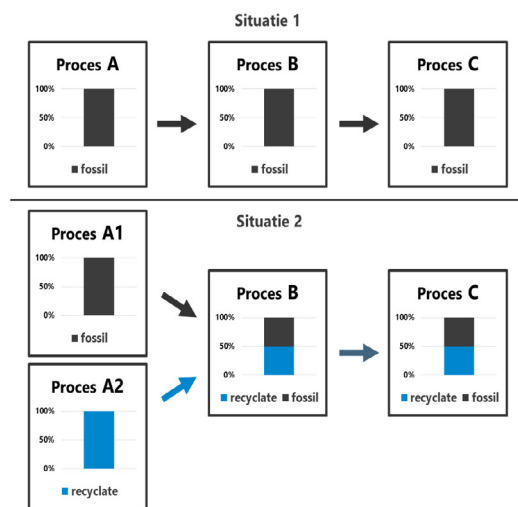
is uit fossiele, biogene en gerecyclede bronnen. Voor de gerecyclede bronnen kan nog onderscheid gemaakt worden tussen fossiel recycalaat en biogeen recycalaat. Deze informatie kan bijvoorbeeld gebruikt worden om te sturen op een maximaal percentage fossiel. Appendix 3 licht de werking van variant B nader toe.



Figuur 3B: werking van een CTS met variant B - Herkomst koolstofstromen

Figuur 3C toont hoe variant B de herkomst van materiaalstromen doorgeeft naar opeenvolgende processen in twee situaties. In situatie 1 wordt bij proces B alle koolstof fossiel ingekocht (bij proces A), met als gevolg een output bij proces B en C dat voor 100% uit fossiele koolstof bestaat. In situatie 2 bestaat het product uit proces A2 uit 100% recycleaat. Omdat proces B 50% inkoop bij proces A2, bestaat hun product voor 50% uit koolstof uit recycleaat. Binnen proces C is geen verandering maar de output bestaat uit 50% recycleaat. Situatie 2 kan op verschillende manieren ontstaan, bijvoorbeeld door klantvraag, beleid, marktwerking, etc. Met variant B kan inzicht in de herkomst van koolstofatomen in de keten in verschillende situaties verkregen worden.

Figuur 3C: twee illustratieve situaties waarin variant B de herkomst van koolstofstromen registreert



3.3 Reflectie

De twee varianten zorgen elk voor een fundamenteel andere inrichting van een CTS. Hierdoor kent elke variant bepaalde voor- en nadelen. In onderstaande alinea's wordt omschreven hoe de twee varianten zich tot elkaar verhouden op vier belangrijke punten: 1) de complementariteit met huidige instrumenten; 2) de complexiteit; 3) de aannames bij systeemgrenzen; 4) de implementeerbaarheid. Tot slot staan we ook stil bij de wellicht belangrijkste overweging: het sturingsdoel en de sturingsmogelijkheden.

1. Complementariteit met bestaande instrumenten

Voor de levensvatbaarheid van een koolstofboekhoudsysteem is het van belang dat deze complementair is aan bestaande instrumenten en dus een aanvullende werking heeft op reeds bestaande instrumenten. De CO₂-systematiek van variant A, die voor een groot deel al gebruikt wordt door de Nederlandse Emissieautoriteit (NEa) in het kader van het EU ETS en de nationale CO₂-heffing, heeft een aanvullende werking: de Scope van het ETS bevat namelijk enkel de

directe emissies van grootverbruikers in de industrie- en elektriciteitssector. Variant A geeft aanvullend inzicht in de totale CO₂-emissies van een keten, en biedt daarom handvatten om op ketenniveau emissies te reduceren. Echter, het ETS richt zich op bedrijfsniveau terwijl het CTS zich richt op productniveau. Om tot inzicht op productniveau te komen gebruikt het CTS dezelfde gegevens op bedrijfsniveau als het ETS. Om een volledige aanvulling te zijn op het ETS moeten alle Scope 3-emissies van alle productstromen geregistreerd en opgeteld worden om de Scope 3 op bedrijfsniveau in kaart te brengen. Aanvullende, grotendeels overlappende administratie van Scope 3-emissie op **bedrijfsniveau** is nodig zolang het CTS niet alle productstromen registreert.

Voor variant B geldt dat de herkomst van koolstofatomen geen gangbare maatstaf is voor bestaande beleidsinstrumenten. Wel zijn er private initiatieven zoals certificering van producten van recyclede grondstoffen en bioplastics. Omdat bij variant B geen CO₂-uitstoot bijgehouden wordt, is er met deze variant geen direct zicht op CO₂-

emissiereductie. Desalniettemin kan door de herkomst van koolstofatomen te administreren duidelijk bijgehouden worden welke processen in een keten gebruik maken van hernieuwbare koolstofatomen en ketenemissies voorkomen en welke niet. De focus op hernieuwbaarheid van koolstofstromen biedt dus ook handvaten om ketenemissies te reduceren.

Resumerend, hoewel beide verkende varianten complementair aan bestaande instrumenten zijn, is de koppeling met de bestaande en gevestigde metriek van CO₂-uitstoot expliciet bij variant A, terwijl die bij Variant B slechts impliciet is. Variant A is zodoende gemakkelijker te integreren in het bestaande instrumentarium.

2. Eenvoud

Het is van belang dat een CTS eenvoudig in gebruik is voor zowel de partijen die erin moeten rapporteren, als de partijen die de data moeten interpreteren voor beleidsoverwegingen.

Voor variant A geldt dat het koolstofboekhoudsysteem snel zeer complex kan worden. Zo dienen aannames gemaakt te worden over de desbetreffende emissiefactoren voor elk van de materialen die afkomstig zijn van processen buiten de administratie van het CTS. De emissiefactoren voor de allocatie van emissies aan producten kan nogal verschillen, zo is gebleken in dit onderzoek. Bovendien is het erg lastig om de emissies van producten die geëxporteerd worden buiten de EU in te schatten, aangezien die buiten het EU ETS vallen. Waar dit aan het begin van de keten nog relatief overzichtelijk is door het beperkte aantal spelers en het karakter van nog niet samengestelde producten, wordt dit verderop in de keten lastiger.

Onder variant A zullen dus tal van aannames en onderbouwingen gedaan moeten worden over geïmporteerde en geëxporteerde producten, om een beeld te vormen over de totale emissies veroorzaakt in een processtap. Hoewel dit nu ook

het geval is bij bestaande Scope 3 rapportage methodes zoals van het GHG protocol, kan het CTS hier een verbetering op betekenen omdat het zo veel mogelijk gebruik maakt van monitoring en zo min mogelijk gebruik maakt van aannames en onderbouwingen.

Met pragmatischere grenzen en rekenregels is het mogelijk om dit te implementeren, maar er zal enige tijd met deze rekenregels gewerkt moeten worden. Bijvoorbeeld: een PET recycler die zijn PET balen zowel bij Nederlandse als buitenlandse vuilverwerkers inkoop zal informatie kunnen opvragen over de emissie intensiteit van deze extern ingekochte PET balen. In een CTS onder Variant A zouden concrete afspraken gemaakt moeten worden over de manier waarop de emissie intensiteit van deze tweede stroom bepaald wordt.

In tegenstelling is een CTS met variant B, waarbij puur gekeken wordt naar de herkomst van koolstofatomen, relatief simpel implementeerbaar. Er hoeft slechts gekeken worden naar de herkomst van C-atomen van ingekochte materialen. Voor productie in Nederland zou dan inzichtelijk zijn wat de hernieuwbaarheid is van de koolstofatomen. Een CTS dat naar herkomst van koolstofatomen kijkt op procesniveau biedt binnen de systeemgrenzen al inzicht in de mate waarin grondstoffen circulair ingezet worden, ook als niet de hele keten bekend is.

3. Aannames bij systeemgrenzen

Bij een CTS is het van belang om de systeemgrens te bepalen samen met de gemaakte aannames en deze consistent te hanteren. Deze aannames hebben namelijk een effect op de resultaten van een koolstofboekhoudsysteem, en de conclusies die eraan worden verbonden.

Voor variant A moeten aannames gemaakt worden voor elk van de materiaalstromen afkomstig van processen buiten het CTS. Voor

de pilot studie over de PET-fles betekende dit bijvoorbeeld dat voor alle materialen geïmporteerd van buiten Nederland een CO₂-emissiefactor uit literatuur gespecificeerd moest worden.

Hoewel er diverse publieke bronnen beschikbaar zijn voor de onderbouwing van CO₂-emissiefactoren (EcoInvent, LCA's, RVO, PBL, etc.) is de variatie in betrouwbaarheid en herleidbaarheid van deze waarden groot, terwijl deze waarden een grote impact kunnen hebben op de ketenemissies die in beeld gebracht worden onder variant A. Voor Variant A zou een start gemaakt kunnen worden met 'Nederlandse' systeemgrenzen maar uiteindelijk is een internationaal CTS wenselijk. De ketenemissies van geëxporteerde producten kunnen namelijk sterk verschillen van de producten die in Nederland blijven, bijvoorbeeld in landen waar minder goede afvalcollectie en afval verwerking is. Dit verschil wordt anders niet inzichtelijk. Ook voor variant B moeten aannames gemaakt worden voor elk van de materiaalstromen die afkomstig is van processen buiten het CTS, echter dan over de herkomst van hun koolstofatomen. Voor de pilot studie betekende dit dat voor deze materialen de herkomst als 'onbekend' werd bestempeld. Ook in de praktijk is dit een manier om variant B te implementeren, doordat ondanks ontbrekende data de massabalans wel sluitend is. De herkomst bij import van grondstoffen en producten is relatief eenvoudig vast te stellen door middel van certificering wanneer aangetoond kan worden dat bepaalde producten uit biogene producten bestaan of afkomstig zijn van recycalaat.

Is herkomst bij import van grondstoffen en producten niet relatief goed en eenvoudig vast te stellen? In principe fossiel, tenzij via certificering wordt aangetoond dat er een aandeel bio/recycalaat in zit?

4. Schaalbaarheid

De beschikbaarheid van de te achterhalen data en de mate waarop iedere ketenpartner nodig is heeft invloed op de schaalbaarheid van een CTS en daarmee ook op het te verkrijgen inzicht. Voor beide varianten geldt dat inzicht in de keteneffecten stapsgewijs komt bij elke aangesloten ketenpartner. Echter, voor variant B is de internationale component minder bepalend en zijn minder data nodig dan voor variant A. Hierdoor is variant B waarschijnlijk makkelijker (en daardoor sneller) te implementeren.

Dit neemt niet weg dat voor beide varianten zowel een goede systeemafbakening als het werken met kengetallen en rekenregels een oplossing kunnen bieden voor het tekort aan (internationale) data.

5. Volledigheid

Indien goed en volledig geïmplementeerd geeft variant A een compleet en nauwkeurig beeld van de uitstoot in de hele keten. Deze volledigheid neemt toe naar mate de benodigde aannames afnemen en de systeemgrenzen worden opgerekt, om zo een wereldwijde standaard te worden. Maar dit zou met een gefaseerde aanpak kunnen worden uitgerold over de tijd.

Variant B geeft in eerste instantie geen inzicht in de uitstoot die vrijkomt bij de productie van het product en de energie die nodig is. Ook geeft het geen inzicht in de uitstoot van transport in de keten. Via aannames over deze gegevens is dit wel herleidbaar. Bijvoorbeeld als bepaald kan worden wat het keteneffect is van een gerecycled atoom versus een virgin atoom, kan de informatie over de herkomst van de atomen omgerekend worden naar CO₂-effect in de keten. Deze omrekening maakt in eerste instantie geen onderdeel uit van het CTS. Hiervoor is, indien gewenst, bijvoorbeeld de combinatie met een simulatiemodel nodig. Daarnaast kan in theorie een koppeling gemaakt worden tussen de

data die de NEa gebruikt om aan het EU ETS te rapporteren, waarmee op een andere wijze inzicht wordt verkregen in de uitstoot die vrijkomt op organisatieniveau.

6. Sturingsdoel en sturingsmogelijkheden

De twee besproken CTS-varianten bieden verschillende aanknopingspunten voor beleidskaders en dienen uiteindelijk ook een mogelijk ander sturingsdoel. Dit is deels inherent aan de definitie van deze varianten – het zijn immers slechts twee mogelijke inrichtingen van dit systeem.

Globaal gezegd kijkt variant A naar de ketenemissies en zou het gebruikt kunnen worden om te sturen op CO₂-neutraliteit/reductie over de keten van een specifiek product, terwijl variant B zich richt op koolstofafkomst en daarmee aangewend zou kunnen worden om te sturen op circulariteit en hernieuwbaarheid van grondstoffen. De varianten zijn hierin onderling vullen elkaar in dit opzicht goed aan. Andersom geldt dat de varianten niet goed voor elkaars sturingsmogelijkheden gebruikt kunnen worden: variant A zal niet (direct) ingaan op bijvoorbeeld

het hergebruik van grondstoffen, terwijl variant B geen (direct) inzicht kan geven in ketenemissies.

De twee varianten bieden daarmee wezenlijk andere aanknopingspunten voor beleid. Ook zijn ze individueel enigszins beperkt. Indien men nu of in de toekomst beleid zou willen maken op het gebied van ketenemissies en CO₂-neutraliteit enerzijds en circulariteit en hernieuwbaarheid van grondstoffen anderzijds, is een keuze voor variant A danwel B limiterend. Het zou in die situatie de aanbeveling verdienen om op een combinatie van deze varianten in te zetten. Een andere mogelijkheid is om te kijken naar complementariteit met bestaand instrumentarium: ETS voor scope 1 en 2, CTS voor scope 3.

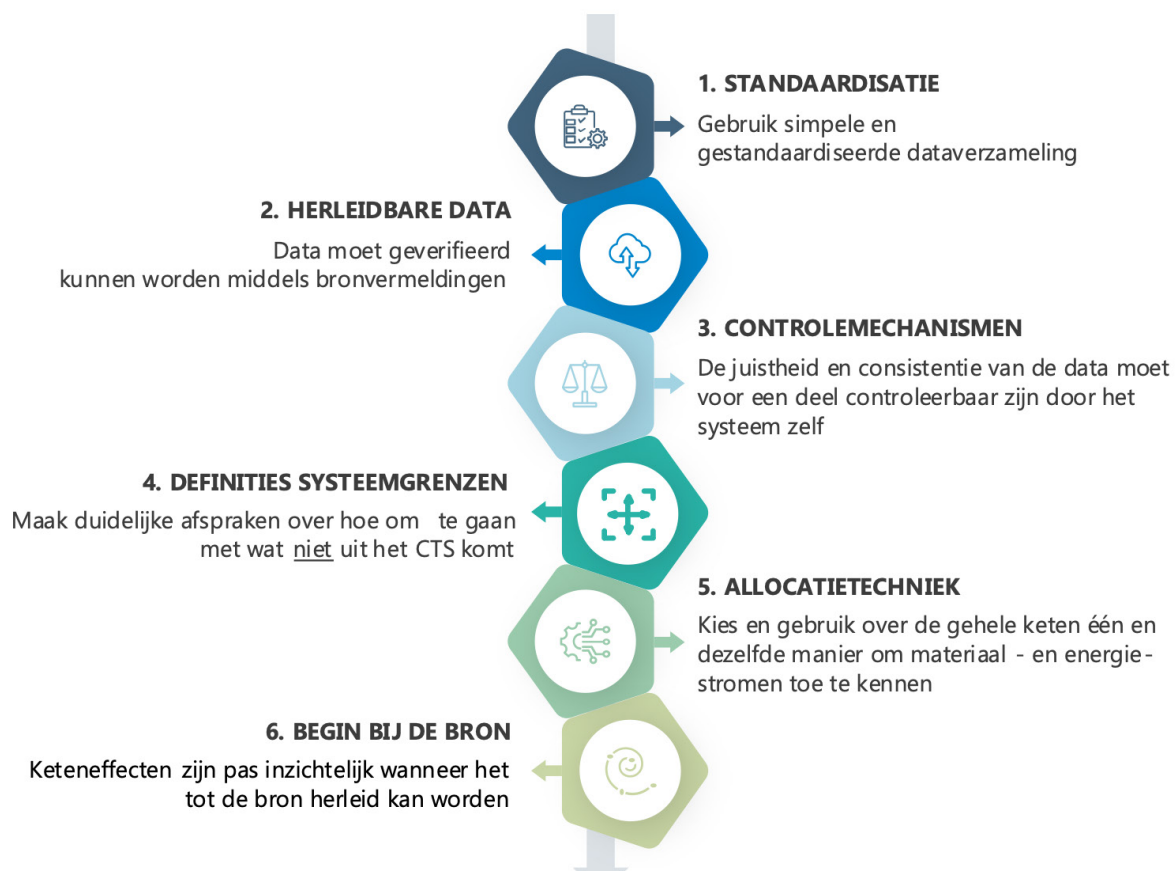
Een combinatie van deze twee varianten is ook besproken in de voorstudie. Aangezien in dit pilot onderzoek de werking van zowel Variant A als B verkend zijn, is deze studie ook een verkenning van een combinatie van de twee varianten. De manier waarop een combinatie van de twee varianten in een CTS mogelijk gemaakt kan worden wordt in [H4](#) nader toegelicht.



4. Hoe kan een CTS haalbaar ingericht worden?

4.1 Methodiek voor inrichting van CTS

Het pilot onderzoek gold als een eerste CTS met industriële partijen. Er is een aantal ontwerpkeuzes dat gemaakt moet worden bij de inrichting van een CTS (zie ook Figuur 4A):



Figuur 4A: Lessen uit pilot onderzoek voor inrichting van een CTS

1. **Standaardisatie:**

Voor een CTS is de verzameling van gegevens in een **vast, gestandaardiseerd format** van belang. Hierdoor kan data uit verschillende processen met elkaar vergeleken worden, en ontstaat een eenduidige manier waarop materiaal- en energiestromen door een keten geadmistreerd en doorgegeven worden aan de volgende ketenpartner.

Ter illustratie zijn bij het pilot onderzoek meer dan 500 individuele datapunten verzameld om tot inzichten over de PET-keten te komen; met zulke inputhoeveelheden is analyse enkel mogelijk met een gestandaardiseerde datastructuur. Bij het pilot onderzoek werd dezelfde templatespreadsheet met alle betrokken partijen gedeeld, welke eenieder diende in te vullen. Het feit dat de verschillende partijen in deze keten allen in staat waren de opgevraagde data aan te leveren is een eerste bevestiging dat gestandaardiseerde gegevens opvragen vanuit uiteenlopende processen mogelijk is.

2. **Herleidbare data:**

Voor boekhoudsystemen is het van belang dat aangeleverde informatie **verifieerbaar** is. De herleidbaarheid en betrouwbaarheid van data gaat hiermee dus hand in hand. Zo kan bijvoorbeeld gedacht worden aan bronvermeldingen middels facturen en jaarrapportages. Gezien de onafhankelijke controles die uitgevoerd zullen moeten worden op een CTS, is enige mate van koppeling tussen geleverde data en bronvermelding van essentieel belang.

In het pilot onderzoek is veel van de gebruikte data gebaseerd op publiek beschikbare informatie. Hoewel de gegevens daardoor gemakkelijk herleidbaar en te onderbouwen zijn, zijn deze vaak ook van een hoger aggregatieniveau dan de uiteindelijke bedrijfsspecifieke informatie die nodig zal zijn voor een CTS, bijvoorbeeld de site-specifieke

kenmerken. De deelnemers aan de pilot studie gaven desondanks aan dat de informatie die werd opgevraagd ook op bedrijfsniveau beschikbaar is en opgeleverd kan worden en ongeveer 90% nauwkeurig is voor specifieke sites. Een derde partij draagt bij een toekomstig CTS de verantwoordelijkheid over het controleren van de gegevens, vergelijkbaar hoe de Nationale Emissieautoriteit toezicht houdt op de monitoring en rapportage van CO₂-emissies van grote industriële bedrijven voor het EU ETS.

3. **Controlemechanismen:**

Alle boekhoudsystemen kennen **zelfcontrolende** mechanismes, om integriteit en consistentie van geleverde gegevens blijvend te bewaken. Een CTS is hierop geen uitzondering. Bij het pilot onderzoek fungeerde de massabalans als fundamentele check op of de opgeleverde informatie en of deze intern coherent was (zie ook [H2.2](#)). Daarnaast werd er bijvoorbeeld gecontroleerd of de aangeleverde verhoudingen van energiebronnen samen sommeerden tot 100%, en of de uitgaande massa's van één processtap ook de ingaande massa's van andere processtappen vormden.

4. **Definitie systeemgrenzen:**

Bij elk systeem dat in kaart gebracht wordt, worden keuzes gemaakt over **aannames**, zo ook bij een CTS. Voor een CTS dienen duidelijke afspraken gemaakt te worden over de bijbehorende systeemgrenzen, zowel ten behoeve van de transparantie van het systeem, als het draagvlak dat het vervolgens kan genieten.

Gedurende het pilot onderzoek is voor beide varianten verkend welke definitie voor systeemgrenzen van belang zijn. Bij Variant A geldt dat een CTS onderbouwing dient te geven voor de CO₂-emissiefactoren van materiaalstromen die afkomstig zijn uit of bestemd zijn voor processtappen buiten het CTS.

Bij Variant B dient onderbouwing te worden gegeven voor de herkomst van materiaalstromen afkomstig van processtappen buiten het CTS (zie ook [H3.3](#)).

5. Consistente allocatietechniek:

Massa- en energiestromen kunnen op verschillende wijzen aan elkaar gealloceerd worden; op fysieke waarde (massa, volume, energetische waarde), of op economische waarde (marktprijs, categorisering high/low value chemicals). Omdat er met behulp van de gegevens uit het CTS beleidsoverwegingen kunnen worden gemaakt, is het van belang dat er één en dezelfde techniek wordt gebruikt voor **allocatie** bij een CTS over de gehele keten.

Tijdens het pilot onderzoek zijn energiestromen, massastromen en CO₂-emissies op massa gealloceerd. De allocatietechniek op massa is voor dit pilot onderzoek aangehouden vanwege de relatieve eenvoud (massastromen werden reeds opgevraagd) en de relatieve objectiviteit en onomstredenheid van deze keuze. Tijdens de diverse werksessies gaf de meerderheid van de deelnemers dan ook aan dat allocatie op basis van massa een goed startpunt is voor de opbouw van een CTS. In [H4.3](#) wordt hier uitgebreider op ingegaan.

6. Begin bij de bron

Omdat een koolstofboekhoudsysteem per definitie zal gaan over het administreren en aan elkaar 'koppelen' van materiaal- en energiestromen door een keten heen, is het van belang dat een CTS wordt uitgerold op een manier die onderlinge koppeling van de stromen mogelijk maakt. Daarom vormen 'bronnen' (processtappen die voor materiaalstromen zorgen die door een groot deel van industriële ketens van belang zijn) een logisch en noodzakelijk startpunt van een CTS .

De in het pilot onderzoek verkende varianten zijn zo fundamenteel verschillend dat deze ook verschillende 'bronnen' als startpunt kennen. Voor een CTS van variant A is het van belang om te beginnen bij CO₂-intensieve stappen zoals afvalverwerking of processen van de organische chemie. Wanneer een CTS met variant B ingericht wordt, is daarentegen beter om te beginnen bij stappen waarbij de verschillende 'types' koolstofstromen (fossiel, gerecycled, bio-based) hun oorsprong kennen. Een nadere toelichting van dit verschil is terug te vinden in [H4.3](#).

4.2 Boekhoudkundige inrichting

Een solide boekhoudkundige inrichting is niet een doel op zich, maar een middel om te komen tot een betrouwbare informatiestroom waarop gebruikers hun beslissingen kunnen baseren. Zoals aangegeven in paragraaf 2.2 en ook duidelijk wordt uit figuur 4A moeten de ingevoerde data in het boekhoudkundig systeem herleidbaar zijn tot gevalideerde bronnen en zullen controlemechanismen het bereiken van een minimum gewenst betrouwbaarheidsniveau ondersteunen. Deze vergroting van de betrouwbaarheid is mogelijk door brongegevens en onderbouwende documentatie bij te voegen bij de aangeleverde data en deze te laten toetsen door een externe partij (zie ook par. 4.3). Een alternatief voor externe toetsing is het opnemen van informatie in decentrale methode van dataopslag, zoals blockchain. De blockchain fungeert als een decentrale methode van dataopslag. Via deze methode wordt de data op meerdere computers opgeslagen met verschillende eigenaren. De voor- en nadelen van deze methodiek worden in Appendix 4

4.3 Aandachtspunten

Incomplete data

Het is mogelijk dat een ketenpartner nog niet beschikt over de data om een massa- en energiebalans op te stellen. Wanneer dit het geval is zal het systeem geen controle uit kunnen voeren via de bijbehorende natuurwetten. De auteurs van deze studie voorzien dat deze incompleetheid aan data vooral in het begin zal optreden, aangezien op termijn ketenpartners wellicht hun systemen anders zullen moeten inrichten om de gevraagde data te kunnen aanleveren. Om in de beginfase toch een controle uit te kunnen voeren en de ketenpartners te stimuleren om hun data volledig en correct aan te leveren, kan er eerst gewerkt worden met een zogenaamd ranking-systeem (rangschikking). Ter illustratie: bij de categorie brons is er data aangeleverd (mogelijk onvolledig), bij zilver

uiteengezet.

De auteurs zien de decentrale dataopslag als een levensvatbare optie, mits de ketenpartners bereid zijn om onderling transparant over hun data te zijn. Dit betekent dat betrokken bedrijven niet alleen van elkaar hun onderlinge materiaaluitwisselingen kennen, ze delen ook de eigenschappen die deze materialen met zich meedragen als het koolstofgehalte, en de hoeveelheid energie die het gekost heeft om het materiaal te produceren. Als deze transparantie niet mogelijk is, verliest de decentrale dataopslag zijn nut. De decentrale dataopslag kan dan namelijk niet meer op verschillende computers opereren en verliest de bijbehorende interne veiligheid, aangezien de controle van de verschillende dataopslagen niet met elkaar gevalideerd kunnen worden. Daarom zal in dit geval een centrale methode hiervoor in de plaats moeten komen, bijvoorbeeld door een externe partij aan te stellen als onafhankelijke beheerder van een datawarehouse.

is er data aangeleverd en geverifieerd op correctheid door een accountant en bij goud is de data volledig aangeleverd en geverifieerd op correctheid door een accountant. Deze rankings kunnen binnen het systeem bekend worden gemaakt, zodat ketenpartners elkaar aan kunnen sporen om hun ranking te verhogen. Wanneer het level goud is behaald kan de controle door middel van de massa- en energiebalans beginnen en zullen controles van een accountant in frequentie afnemen.

De werkwijze hierboven geniet de voorkeur boven een systeem met boetes of 'worst case' dummywaarde: bij een dergelijk systeem kan de keten negatiever uitvallen dan de realiteit, wat de andere ketenpartners negatief kan beïnvloeden.

Controles en betrouwbaarheid

De opzet van het boekhoudsysteem en de boekhoudkundige inrichting zullen zorgen voor een solide basis en tot op zekere hoogte betrouwbare informatie. Er zal echter altijd externe controle moeten worden uitgevoerd om de betrouwbaarheid van de informatie te waarborgen. De noodzaak voor betrouwbare informatie zal toenemen naar mate de uitkomsten van een CTS financiële gevolgen hebben voor ketenpartners, gezien de bijbehorende belangen. Hierin is externe toetsing tot op heden onmisbaar. Technologieën als blockchain kennen nog te veel beperkingen om dit te kunnen overnemen maar zijn een interessante ontwikkeling voor de toekomst. Wie deze externe toetsing op zich gaat nemen dient verder onderzocht te worden. Voor de hand liggende partijen zijn de NEa of accountants. Deskundigheid en onafhankelijkheid zijn belangrijke pijlers voor deze externe toetsing.

Consequenties keuze allocatietechniek

Massa- en energiestromen worden binnen de pilotstudie gealloceerd naar producten op basis van massa. Wanneer een deelproduct 20% van de totaal massa van de eindproducten van een proces uitmaakt, wordt ook 20% van de ingaande massa hieraan toegerekend. Wanneer we kijken naar transformatieprocessen is dit doorgaans een weinig controversiële keuze. Het is immers vrij logisch om de externe effecten van de productie van een materiaal op basis van de fysieke hoeveelheid van dit product te verdelen. Dit reflecteert ook de uiteindelijke toepassing van het product.

Allocatie op energetische of economische waarde zijn ook mogelijkheden. Voor sommige koolstofbronnen of spelers pakken deze methodes beter uit. Bij allocatie op energetische waarde (energieinhoud) wordt de voor het proces benodigde energie toegerekend aan de energieinhoud per deelproduct. Door deze allocatietechniek zou de energetische waarde van een product beter gereflecteerd worden.

Een allocatie op economische waarde zou betekenen dat er een koppeling tussen marktprijzen of een categorisatie van economische waarde enerzijds en externe effecten anderzijds gemaakt wordt. Het is de bedoeling dat dit recht doet aan de toegevoegde waarde van een product in de gebruikersfase. Een belangrijk voordeel van deze methode is dat de ervaren economische waarde/kosten van invloed zijn op de footprint. Een keerzijde is dat deze allocatietechniek de daadwerkelijke emissies van hoogwaardige producten en restfracties verstoort. Ook zijn de marktprijzen aan grote veranderingen onderhevig omdat er voor veel producten een wereldmarkt is – al kan dit voor een deel ondervangen worden met bijv. 5 jaars gemiddelden. Dit maakt economische waardering een weinige robuuste vorm van allocatie die verder afstaat van de fysieke realiteit.

De wijze van alloceren zou bij kunnen dragen aan een eerlijke of juiste toekenning van massa- en energiestromen. Bij beleidsvorming dient er gekeken te worden naar de economische waarde en energetische inhoud van de verschillende producten. De gevolgen van de keuze voor allocatie dienen verder onderzocht te worden. Los van de allocatiemethodiek dient bij de keuze voor en de beoordeling van de hernieuwbaarheid van atomen goed gekeken te worden naar de energie die nodig is geweest in de keten en de bijbehorende CO₂ uitstoot zodat er een netto positieve milieuimpact is.

Consistentie afbakening CO₂-emissiefactor

Het is belangrijk dat binnen het CTS CO₂-emissiefactoren onderling consistent meegenomen worden en daarnaast op dezelfde systeemgrenzen gelden.

Voor de inkoop en inzet van elektriciteit, warmte en overige energie betekent dat dus dat emissies tot eenzelfde punt gespecificeerd worden: in de simpelste variant gaat het dan om

de directe emissies die geassocieerd worden met de productie van de energiedragers. Echter zou men ook naar de lifecycle van elektriciteitsproductie kunnen kijken, zoals de emissies van de constructie en ontmanteling van een elektriciteitscentrale en daarnaast ook de ketenemissies van een energiedrager (zoals de emissies die plaatsvinden bij winning en transport van gas). Het zou inconsistent zijn om voor elektriciteitsproductie enkel de directe emissies van een gascentrale mee te nemen, maar voor warmteproductie ook de ketenemissies van bijvoorbeeld de winning van aardgas.

Ook is het belangrijk dat er binnen een CTS onderlinge consistentie geldt over de gebruikte waarden van CO₂-emissiefactoren. Dit kan bereikt worden door de emissiefactoren zelf uit te rekenen, uiteindelijk gebaseerd op een gestandaardiseerde lijst aan emissiefactoren per energiedrager en energiebron. Zo kunnen de directe emissies van stroomproductie en warmteproductie uit aardgas uitgerekend worden op basis van de emissiefactor van aardgas en een efficiëntie van dit proces. Zodoende zijn de emissiefactoren van 'aardgasstroom' en 'aardgaswarmte' onderling consistent.

Implicaties van systeemgrenskeuzes

De systeemgrenzen worden enerzijds bepaald door de wensen voor het CTS, maar anderzijds bepalen zij ook de complexiteit en de uitdagingen rond de implementeerbaarheid van het CTS. Voor variant A geldt bijvoorbeeld dat een CTS dat enkel directe emissies van ingekochte energie meeneemt, een minder compleet beeld geeft dan een CTS dat ook de emissies van de bouw van energiecentrales en de daarvoor ingekochte materialen via een volledige lifecycle analyse meeneemt. Het laatste is een grotere uitdaging qua implementeerbaarheid dan het eerste, terwijl het eerste wellicht afdoende is (afhankelijk van wat het CTS precies beoogt).

Voor variant B worden keuzes voor de herkomst van koolstofatomen bij het maken van bepaalde

materialen in het begin van de keten gemaakt. Het aantal materialen is dan overzichtelijk (PET, PE bijvoorbeeld), terwijl verderop in de keten het aantal producten exponentieel toeneemt (en het aantal soorten verpakkingen bijvoorbeeld) maar enkel gekozen kan worden waar (bij welke partij) ingekocht wordt en daarmee wordt wel indirect herkomst bepaald.

Voor beiden varianten is de vraag dus welk deel van de keten relevant en informatief is voor het CTS. Het is daarbij zeker voorstelbaar dat sequentieel en met een deel van de keten of een aantal producten begonnen wordt, indien dit reeds voor het CTS relevante inzichten kan geven. In beide gevallen dienen de ketenemissies of herkomst van koolstof die in het buitenland veroorzaakt of bepaald worden, meegenomen te worden in het CTS, zodat de industrie erkenning krijgt als ze maatregelen nemen die gericht zijn op grondstofvervanging, waar dat nu niet het geval is.

Mogelijke aansluiting op het (CTM) Carbon Transition Model

Een ander initiatief dat zich bezighoudt met koolstofstromen en ketenemissies is het Carbon Transition Model (CTM) van het ISPT. Waar het CTS zich richt op het bijhouden en monitoren van emissies en koolstofstromen, concentreert het CTM zich juist op het simuleren en verkennen van de mogelijke ontwikkeling van deze stromen en emissies ten gevolge van door de gebruiker gespecificeerde veranderingen. Het CTM stelt mensen in staat om mogelijke reducties van ketenemissies en routes van koolstofstromen te verkennen, terwijl het CTS dit zou registreren. Het CTM kijkt dus vooruit om te zien wat er zou kunnen gebeuren (forecasting), waar het CTS juist meet wat er gebeurt (monitoring). Het CTM zou kunnen bijdragen aan de vorming van beleid, waarbij een CTS kan bijdragen aan de uitvoering van beleid.

4.4 Hoe kan een CTS relevant blijven in een veranderend industrielandchap?

Het CTS zou een lange tijd mee moeten kunnen gaan, in principe totdat we in een emissievrije wereld leven en mogelijk tot lang daarna. Het ETS zou in principe minstens tot 2050 van kracht zijn, en wellicht langer in combinatie met een CBAM indien er buiten Europa nog gebieden zijn die niet emissievrij zijn. Het CTS op haar beurt zou minstens even lang relevant moeten blijven.

De meeste industrie die we nu kennen zal ook relevant of nodig zijn in de toekomst. Fossiele raffinaderijen zullen er in mindere mate zijn in een emissievrije en circulaire toekomst, terwijl er wellicht meer plants komen die synthetische brandstoffen en grondstoffen maken uit CO₂. De verschillende bedrijven die onderdeel zijn van het industrieel complex zullen in de transitie ook veel veranderingen doormaken. Het is mogelijk dat een bedrijf eerst kiest voor emissiereductieroute A (zeg CO₂-afvang en opslag) en later voor route B (zeg duurzame waterstof middels elektrolyse met groene stroom). Indien in een tussenperiode de waterstof uit bijvoorbeeld restgassen geproduceerd wordt, kan dit bij de producerende partij voor extra emissies zorgen, maar bij de

afnemer voor een verlaging van emissies (en op systeemniveau wellicht een reductie). Dergelijke veranderingen en verschuivingen zouden in het CTS gevangen moeten kunnen worden: in zulke transitievraagstukken is het essentieel om keteneffecten goed te monitoren en, indien gewenst, te simuleren – precies daar is een CTS waardevol.

Hoe internationaler en breder het CTS uiteindelijk opgezet wordt, met een groot scala aan moleculen en emissiefactoren en met complete ketens, hoe groter de kans dat het relevant blijft en niet 'ingehaald' en vervangen wordt door een alternatief systeem. Dit is ook belangrijk omdat de instrumentatie vanuit de overheid gericht op het behalen van 100% emissiereductie nog niet volledig bekend is. Vooralsnog is er voor een deel van het industrieel complex het ETS dat aangrijpt op siteniveau en daarnaast subsidie in de vorm van bijvoorbeeld de SDE++ op technologieniveau. Het lijkt echter waarschijnlijk dat andere, additionele of vervangende vormen van beleidsinstrumentatie ook nodig zullen zijn om een emissievrij systeem te realiseren.



5. Conclusies

5.1 Een Carbon Tracking System is haalbaar, gewenst en nodig

De indirecte uitstoot van bedrijven die producten produceren is vaak velen maler groter dan de directe uitstoot. Een CTS biedt inzicht voor beleidsmakers en bedrijven in deze indirecte uitstoot in de keten. Een CTS inrichten is arbeidsintensief en uitdagend maar haalbaar. Door koolstofatomen en CO₂-uitstoot te koppelen aan het onderliggende product via de massa- (en energie-) balans, is het mogelijk om een concrete keten in beeld te brengen en deze vervolgens op een gebruiksvriendelijke en transparante wijze te registreren en accorderen. Er zijn in dit onderzoek geen fundamentele belemmeringen voor de ontwikkeling van een CTS aan het licht gekomen.

De deelnemers aan de pilot studie onderschrijven het doel van een CTS om CO₂-uitstoot en/of

de herkomst van koolstofatomen in de keten transparant of traceerbaar te maken. Het bepalen van de systeemgrenzen en daarbij kengetallen om inschattingen buiten de systeemgrenzen te maken dient zorgvuldig vastgesteld te worden. Niet alleen voor de juistheid van de ketenemissies en herkomst van de koolstofatomen, ook voor het draagvlak en de uitvoerbaarheid.

Het CTS is een aanvulling op andere instrumenten en kan gebruik maken van data uit die instrumenten. Het CTS richt zich op ketenemissies op productniveau. Dus hoewel aanvullend, geeft dit niet direct de volledige Scope-3-emissies op bedrijfsniveau totdat alle productstromen van een bedrijf volledig in beeld gebracht zijn.

5.2 Voorkeur deelnemers: Registreer de herkomst van koolstofatomen

Hoofdstuk 4 beschrijft twee varianten om een CTS in te richten en de voor- en nadelen van die afzonderlijke varianten. Het belangrijkste voordeel van variant A is dat het traceren van

CO₂-uitstoot in de keten een completer beeld geeft. Het belangrijkste voordeel van variant B is dat het eenvoudiger te implementeren lijkt en minder afhankelijk is van data van alle



ketenpartners. Hoewel de twee deels overlappen (een niet hernieuwbaar koolstofatoom wordt koolstofdioxide, een hernieuwbaar koolstofatoom vermijdt CO₂-uitstoot), is de focus en daarmee de sturingsmogelijkheden heel anders: waar variant A deze sturingsmogelijkheden biedt op ketenemissies en CO₂-neutraliteit, schuilen deze voor B in circulariteit en hernieuwbaarheid van grondstoffen. Het sturingsdoel van het CTS zal dus belangrijk zijn voor de uiteindelijke methodologische invulling, waarbij een combinatie van variant A en B private en publieke partijen in staat stelt om op een

5.3 Advies: Registreer de herkomst van koolstofatomen

Het advies is om een Carbon Tracking System in te richten door de herkomst van koolstofatomen te registreren en te **starten met sturing op herkomst van koolstofatomen**, Variant B.

Omdat directe emissies en energetisch gebruik simpel op te halen data is, wordt geadviseerd ook deze gegevens van partijen op te vragen en te registreren in een CTS. Deze aanvullende gegevens kunnen in een later stadium van het CTS handvatten bieden voor de onderbouwing van maatregelen bedoeld op emissiereductie in industriële ketens. Denk hier bijvoorbeeld aan de nationale CO₂-heffing. Hierop wordt nu dus nog niet direct gestuurd. Uit deze pilot is gebleken dat de snelheid waarmee gestart kan worden met het traceren van de herkomst van koolstofatomen belangrijk is en de voorkeur heeft boven complete traceerbaarheid van alle CO₂-uitstoot in de gehele ketens.

De data dient door bedrijven aangeleverd te worden en onderbouwd te kunnen worden met bronvermeldingen. Met behulp van de massabalans als controlemechanisme kan de juistheid en consistentie van de data voor een deel door het CTS zelf geverifieerd worden. Door de koolstofketenboekhouding bij een vooraf gedefinieerde afgebakende industriële keten te starten, wordt vooraf duidelijk over welke

breed scala aan onderwerpen te sturen en daarmee de meeste mogelijkheden en grootste toekomstbestendigheid biedt.

Tijdens de workshop is gevraagd welke variant de voorkeur kreeg van de deelnemers, wat leidde tot een duidelijke voorkeur voor variant B, met name vanwege de gewenste snelheid. Geen van de deelnemers gaf voorkeur aan variant A, maar enkele deelnemers spraken de voorkeur uit voor beide varianten. Variant A zou informatie geven die nodig is om betekenis te geven aan de herkomst van de koolstofatomen.

stromen aannames gemaakt dienen te worden. Door emissies en energetisch verbruik op massa te alloceren blijft de data simpel, eenduidig en overzichtelijk voor de verschillende industriële ketens. Gezien de herkomst van koolstofatomen het centrale element vormen van het CTS, is het raadzaam om de inrichting van het CTS te starten bij bedrijven die reeds producten maken van biogene stoffen, fossiel recycleat of biogeen recycleat.

Samen zorgt dit ervoor dat er in de koolstofketenboekhouding inzicht ontstaat over de herkomst van materialen én (indirect) de uitstoot die deze materialen in een keten veroorzaken. Hiermee kunnen de keteneffecten van (circulaire) maatregelen op verschillende manieren worden vastgesteld en verwerkt. Later, als het aantal deelnemers aan het CTS toeneemt is het mogelijk om ook de CO₂-uitstoot die vrijkomt bij het energiegebruik in de keten van het koolstofatoom mee te nemen.

Zo biedt de data uit het CTS een herleidbare en geaccordeerde basis waarmee bedrijven en beleidsmakers hun inspanningen voor een duurzame toekomst kunnen onderbouwen en versterken.

5.4 CTS biedt sturingsmogelijkheden overheid en ondersteunt bedrijven

Een CTS is geen doel op zich, maar kan door het verschaffen van data sturingsmogelijkheden bieden richting lager gebruik van fossiele grondstoffen en het reduceren van indirecte uitstoot aan beleidsmakers en bedrijven. Zo kan CTS een bruikbaar instrument vormen als aanvulling op huidige initiatieven en om de uitvoer van wet- en regelgeving eenvoudiger te maken. Voorbeelden van initiatieven en wet- en regelgeving worden genoemd in paragraaf 1.2.

De uitvoer van de SUPD is een voorbeeld waarbij een CTS een nuttig hulpmiddel^{viii} kan vormen. Vanaf 2025 dient aangetoond te worden welke percentage van PET-flessen uit gerecycled materiaal bestaat. Een systeem waarmee de herkomst van grondstoffen door de hele keten getraceerd kan worden – een CTS – zal de handhaving van de SUPD vereenvoudigen.

Bij RED II kan een CTS tevens een bruikbaar hulpmiddel vormen voor bedrijven bij het naleven van de richtlijn en voor overheden bij het in kaart brengen van de effecten. De door RED II gestelde eisen aan biobrandstoffen hebben veelal secundaire effecten in de keten die met het huidige instrumentarium moeilijk te meten zijn. Een CTS kan resultaten van het huidige RED II en mogelijke toekomstige uitbreidingen naar biomaterialen en -chemicaliën traceren en op transparante wijze inzichtelijk maken. Indien er sturing komt op aandeel hernieuwbare koolstofatomen, zou een CTS zeer geschikt zijn.

Het EU ETS richt zich in de huidige vorm op scope 1 (uitstoot industrie) en scope 2 (elektriciteitsopwek) van enkele grote spelers, maar heeft beperkt grip op uitstoot in scope 3. Het ETS belooft keuzes die leiden tot minder directe uitstoot, al zouden deze kunnen leiden tot een netto hogere uitstoot in de keten. Door het ETS te koppelen aan een CTS kan het inzicht in scope 3 wel geboden worden. Zo kunnen keuzes die elders in de keten leiden tot minder uitstoot beloofd worden en een "waterbed effect" worden vermeden. Voor de nationale CO₂-heffing geldt hetzelfde: met een koppeling aan een CTS kan de

impact van recycling in de hele keten inzichtelijk gemaakt worden. Zo kan een CTS heffingen op uitstoot eerlijker en doeltreffender maken.

De toegevoegde waarde van een CTS aan verschillende innovatiefondsen en subsidieregelingen zoals het Innovation fund, het DEI+ en de SDE++ is tweeledig. Enerzijds biedt een CTS sturingsmogelijkheden bij subsidieverstrekking door inzicht te bieden in de potentiële impact van (een) innovatie in de gehele keten. Anderzijds kan een project met subsidietoewijzing impact traceren en voor de gehele keten inzichtelijk maken met behulp van een CTS. De huidige SDE++ subsidie is gericht op CO₂-reductie, terwijl variant B gericht is op de herkomst van koolstofstromen. Er zou een subsidieregeling specifiek voor hernieuwbare koolstofstromen kunnen komen.

Naast de beschreven initiatieven kan een CTS ook een aanvulling vormen op andere, wellicht kleinere initiatieven. Dit valt samen met een recent initiatief van de Europese Commissie op dit front: de Taxonomy Regulation, dat zich richt op de opschaling van duurzame investeringen en de ondersteuning van de implementatie van de Europese Green Deal. Deze Taxonomy Regulation voorziet in geharmoniseerde criteria en een gemeenschappelijke taal. Daarmee kunnen bedrijven en investeerders bepalen welke economische activiteiten als duurzaam beschouwd kunnen worden en moet greenwashing tegengegaan worden. Sturen op de Taxonomy Regulation, bijvoorbeeld door een transparantieplichting, wordt met een CTS een stap dichterbij gebracht. Immers er ontstaat meer inzicht in de daadwerkelijke ketens en herleidbaarheid van de koolstofstromen.

Een CTS kan bedrijven helpen door het gebruik van hernieuwbaar materiaal – en het effect daarvan in de keten – eenvoudiger aan te tonen. Dit is nu ook mogelijk, bijvoorbeeld via certificering, maar een CTS kan een eenduidige, transparante en vanuit de overheid gestuurde methodiek zijn. Dit kan vervolgens de vraag naar

hernieuwbare materialen vanuit de markt stimuleren, en handvaten bieden bij het vragen van steun vanuit de overheid.

5.5 Vervolgstappen

De methodiek voor een CTS is tijdens deze pilot iteratief met de ketenpartners ontwikkeld. Voor verdere implementatie is **een prototype van een werkend CTS nodig**. Dit prototype dient te demonstreren dat in een productketen data over de uitstoot en herkomst van koolstofatomen opgehaald wordt en kan worden doorgegeven in de keten. In deze fase wordt partijen gevraagd data te delen (eventueel met bandbreedte voor de nauwkeurigheid), te registreren en door te geven in de keten. **Deze data dient door een accountant (of via een decentrale methode zoals blockchain) gecontroleerd en vastgesteld te worden**. Eventueel kan in verband met gevoeligheid de data van de gehele keten bijgehouden worden door een onafhankelijk partij. In deze volgende fase van een CTS wordt het data warehouse ontworpen. **Het prototype dient aan te tonen dat dit op een veilige manier kan met borging van vertrouwelijkheid**. Het streven is om, verder dan de pilot, de keten zo internationaal en compleet mogelijk te maken.

De volgende stappen voor de ontwikkeling van een prototype van het CTS zijn:

- Vorming van een coalition of the willing in één of meerdere ketens
- Partijen delen data uit gevalideerde bronnen en geven deze door aan een centraal of decentraal data warehouse
- Gegevens van ingekochte massastromen kan door de volgende partner(s) in de keten uit het datawarehouse gehaald worden, waarmee herkomst van stromen stapsgewijs inzichtelijk wordt
- Data wordt getoetst door een externe partij of via bijvoorbeeld blockchain
- Data van de keten wordt verzameld en inzichtelijk gemaakt
- Uitwerking van wijze van sturen op Variant B, waaronder bijvoorbeeld certificering
- Evaluatie doelmatigheid van het CTS waaronder sturingsmogelijkheden, beoordeling van juistheid van allocatie, mate van transparantie en betrouwbaarheid

Het advies is dus om in de volgende fase het CTS verder uit te werken. Hier lijkt op dit moment de meeste behoefte voor te zijn en dit lijkt ook de snelste weg naar een sturingsinstrument op Scope 3-emissies.

Er zijn alternatieve vervolgstappen denkbaar naast het ontwikkelen van een prototype:

- I. Stimuleren van het rapporteren van Scope-3-emissies op bedrijfsniveau, denk hierbij aan koppeling aan subsidiemogelijkheden, aansluiting op investeringsfondsen en koppeling aan taxonomie
- II. Alternatieve administratie zoals het GHG Protocol Product Standard verplichten en verkenning van de mogelijkheden om voor scope 2 en 3 verdere internationale afspraken te maken
- III. Pilot met een alternatieve, internationale keten (anders dan de PET-keten) om de haalbaarheid van een CTS daar te onderzoeken. Inventarisatie van de belangrijkste ketens waar CTS grote impact zou kunnen maken vanwege de aard en omvang van de scope 2 en 3 emissies
- IV. Desktop studie naar gelijktijdige ontwikkeling van koolstofketenboekhouding, eventueel hierover een serie van expertsessies met onder andere emissie autoriteiten.

Bronvermelding

- I. MMIP6: Sluiting van industriële ketens, definitief.
<https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/MMIP/MMIP%20%20-Sluiting%20van%20industriële%20ketens.pdf>
- II. Klimaatakkoord: C3.4.4 Omgaan met maatregelen scope 2- en 3-emissies.
<https://www.klimaatakkoord.nl/industrie/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord-hoofdstuk-industrie>
- III. In 2019 waren Shell's Scope 3 emissies 1551 Mton. Bron: Shell (2020), Sustainability Report 2020
<https://reports.shell.com/sustainability-report/2020/servicepages/downloads/files/shell-sustainability-report-2020.pdf>
- IV. Rebel Group - Eindrapport Carbon Tracking System – Haalbaarheid monitoring van koolstof in de industriële keten.
<https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Energie%20en%20Industrie/200714%20Rapportage%20Carbon%20Tracking%20System.pdf>
- V. Greenhouse Gas Protocol (2011). Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard.
https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf
- VI. Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions "Scope 3 Standard"
https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards/Scope3_Calculation_Guidance_0.pdf
- VII. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard "Product Standard"
https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf
- VIII. Europese Commissie: Single-Use Plastics Directive.
https://ec.europa.eu/environment/topics/plastics/single-use-plastics_nl
- IX. In 2018 waren de scope 1 en 2 uitstoot van de Nederlandse chemische industrie 26,4Mton en de scope 3 uitstoot uit producten (categorie 12) 29,6Mton. VNCI (2021) Van Routekaart naar Realiteit.
https://assets.vnci.nl/p/32768/none/PDF%20Docs/VNCI_Lancering_R2R_.pdf
- X. Nova-Instituut: Turning off the Tap for Fossil Carbon.
<https://renewable-carbon.eu/publications/product/turning-off-the-tap-for-fossil-carbon-future-prospects-for-a-global-chemical-and-derived-material-sector-based-on-renewable-carbon/>
- XI. Europese Commissie: Carbon Border Adjustment Mechanism.
https://ec.europa.eu/info/files/carbon-border-adjustment-mechanism_en

Appendix 1 Structuur van CTS

De uitgangspunten van een CTS structuur die leidend waren bij het opzetten van de pilot in dit onderzoek zijn in deze appendix beschreven.

De integrale keten wordt gezien als een **aaneenschakeling van processen** waar massa's tussen vloeien. Een proces wordt hierbij gedefinieerd als een verzameling stappen waarbij activiteiten uitgevoerd worden voor de realisatie van materialen. Een industriële site kan dus zowel bestaan uit één enkel proces, of een aantal aaneengeschakelde processen. Ter illustratie staan de processen die van belang zijn bij de PET keten in Fig. 2A.

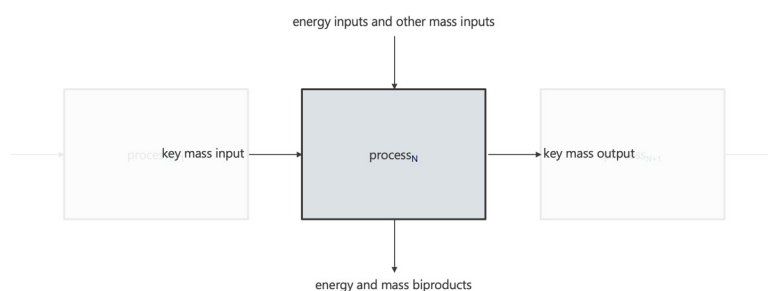
Dit is gevisualiseerd in figuur A1.1.



Figuur A1.1, integrale keten als aaneenschakeling van processen.

Elke processtap wordt afzonderlijk **als gesloten systeem** behandeld, oftewel een 'black box'. De interne processen zijn hiermee niet van belang en hoeven niet in kaart te worden gebracht, enkel de in- en output. Per processtap worden daarom de **massa- en energiestromen** die in en uit het proces gaan opgesomd, zie figuur A1.2. Deze stromen dienen bij elk proces in balans te zijn, wat betekent dat er evenveel massa en energie een proces in als uit moet gaan. Bij deze stromen moeten bijvoorbeeld ook elektriciteitsverbruik (netto elektriciteitsinkoop) en warmte inkoop meegenomen worden zodat Scope 2 emissies bepaald kunnen worden.

Figuur A1.2, processtap als een gesloten systeem.



Elke stroom wordt uitgedrukt **per eenheid massa van de output** in de keten. In figuur A1.2 is dit aangeduid door de input en output te relateren aan 1 kton materiaal 'key material output'. In de pilot zijn de belangrijkste materiaalstromen in de PET-keten aangeduid als key materials.

Op deze wijze ontstaat er per proces **een overzicht van de relevante massa en energiestromen** en een beeld van **CO₂ en C stromen in de gehele keten**. Scope 1 en 2 emissies zijn per processtap bepaald; Scope 3-emissies kunnen worden bepaald met aaneengeschakelde processtappen in de keten (zie Appendix 2 voor Variant A). De herkomst van koolstofstromen kan worden bijgehouden door materiaalstromen te volgen tot de oorsprong (zie Appendix 3 voor Variant B).

Appendix 2 Toelichting Variant A

Met CTS Variant A wordt gekeken naar de CO₂ uitstoot over materiaal en energiestromen per product in de keten. Hiermee kan niet alleen de CO₂ uitstoot in Scope 1 en 2, maar ook in Scope 3 in kaart gebracht worden. Dit vereist het aaneenschakelen van informatie van alle producenten in een keten, en aannames over emissiefactoren wanneer deze informatie niet voorhanden is. Op deze manier kan variant A ingezet worden om incentives te creëren voor het implementeren van maatregelen die de CO₂-uitstoot in de gehele keten verminderen.

Rapportage

Bij variant A worden drie zaken gevraagd van deelnemende bedrijven, zie figuur A2.1.



Figuur A2.1, rapportage bij variant A.

De materiaalstromen betreft in- en output en verwante massa's van zowel de belangrijkste grondstoffen, maar ook hulpmiddelen. Met deze informatie kan de uitstoot in Scope 1 vastgesteld worden en toegedicht aan de (hoofd- en bij-) producten van het bedrijf. Bovendien kan via een massabalans gecontroleerd worden of alle in- en output in beeld is, of dat er een mismatch bestaat.

Om de uitstoot in Scope 2 vast te stellen, dienen bedrijven te rapporteren welke energie, zowel warmte (stoom), koude als elektriciteit, gebruikt is in het proces en wat de herkomst is. Wanneer het voor een bedrijf niet duidelijk is wat de afkomst van de energie is, dient dit via de leverancier opgevraagd te worden.

Van materialen die, in het begin, buiten de Scope van het CTS zitten, zoals internationaal ingekochte hulpmiddelen, moeten aannames worden gemaakt over de uitstoot die 'upstream' veroorzaakt is. Binnen deze pilot is dit gedaan door emissiefactoren te halen uit life cycle analysis (LCA) database EcoInvent. Met een LCA worden de emissies die geassocieerd kunnen

worden met (onder andere de productie van) een product onderzocht, en daarom biedt dit een alternatief voor materialen die buiten een CTS vallen. Daarbij is het wel belangrijk om dubbeltelling te voorkomen.

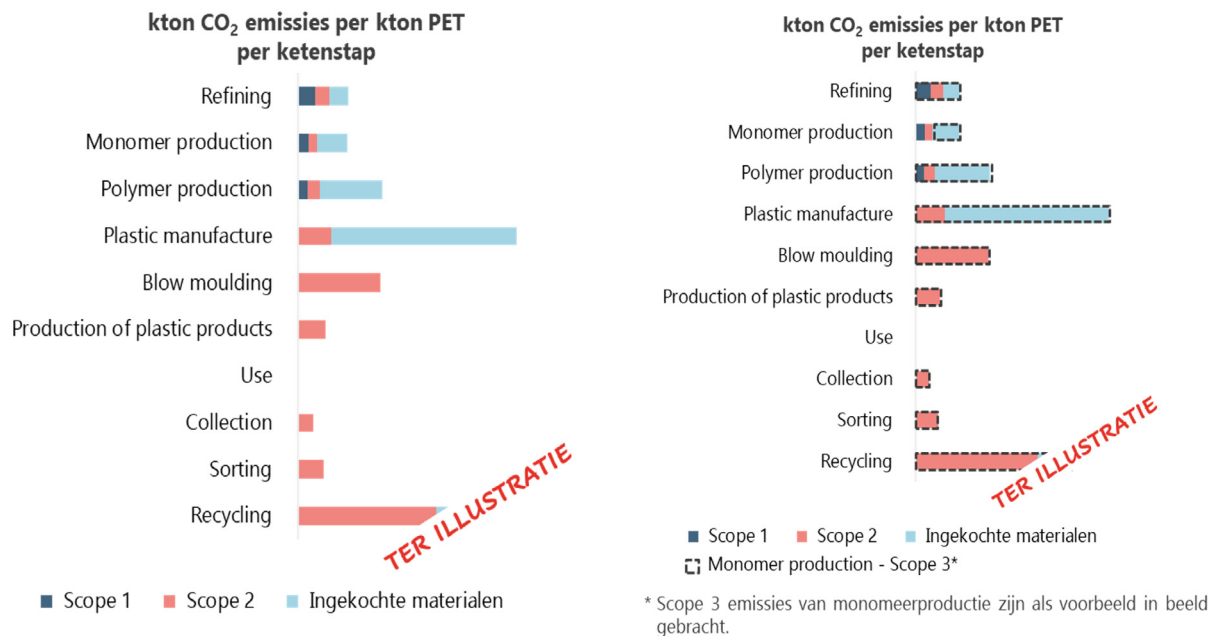
Ketenanalyse

Variant A koppelt informatie over processen (die vaak bij verschillende bedrijven ondergebracht zijn) in een keten aan elkaar. Dit is mogelijk wanneer duidelijk is welke output van een proces als input wordt gebruikt in een volgend proces. Voor de meeste producten zijn wordt er ingekocht bij meerdere producenten en geleverd aan meerdere afnemers. Er kan dus niet zomaar van worden uitgegaan dat een proces homogeen is en dezelfde kenmerken heeft. Hier bovenop komen de transportemissies en emissies bij export die meegenomen moeten worden. Het meenemen van deze elementen maakt het systeem complexer.

In figuur A2.2 is een illustratie gegeven van de analyse van emissies in de PET keten met variant A. Het toont de verschillende emissies

per ketenstap, verdeeld in Scope 1 (directe uitstoot), Scope 2 (uitstoot geassocieerd met ingekochte warmte of elektriciteit) en de uitstoot geassocieerd met ingekochte materialen die buiten onze pilot vielen. Voor de laatste categorie

is gebruik gemaakt van kengetallen. In de eindsituatie zijn er geen emissies van ingekochte materialen, omdat die toegekend kunnen worden aan ketenpartners.



Figuur A2.2, emissies per ketenstap en Figuur A2.3, bepaling van Scope 3 bij variant A.

Ter illustratie is in figuur A2.3 met stippellijnen aangegeven wat de Scope 3-emissies zijn voor monomeer productie. Het betreft de Scope 1 en 2-emissies van de andere processen én alle emissies die geassocieerd kunnen worden met materialen afkomstig van buiten het geanalyseerde systeem (in de figuur aangeduid als 'Ingekochte materialen').

De analyse van Scope 3 in figuur A2.3 toont de complexiteit van Variant A. Om alle geassocieerde emissies inzichtelijk te krijgen, moet de hele keten in beeld zijn, niet alleen upstream maar ook downstream, van alle grondstoffen. In het geval van de keten van de PET-fles betekent dit dat achterhaald moet worden waar en hoe alle flessen verwerkt worden. Om deze variant beter uitvoerbaar te maken kan via rekenregels en systeemgrenzen de aandacht gaan naar de

belangrijkste onderdelen en kan er gewerkt worden met aannames over de missende data (zowel up- als downstream).

Inzichten

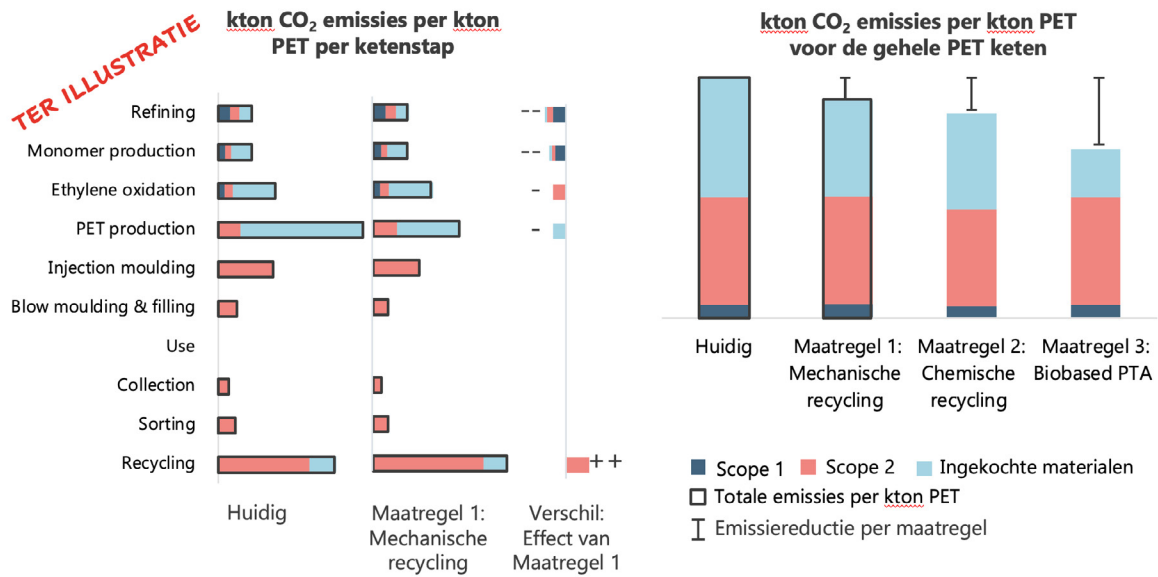
Met Variant A kunnen de totale emissies voor een gehele keten geregistreerd en inzichtelijk gemaakt worden. Dit kan ondersteuning bieden voor de verkenning van (beleids)maatregelen om deze totale emissies te verlagen.

In figuur A2.4 zijn hier ter illustratie voorbeelden voor gegeven. Maatregelen zijn hier scenario's waarin andere keuzes met betrekking tot gebruik van materialen of processen worden gemaakt dan de huidige situatie. In de figuur zijn de effecten van meer mechanische recycling (maatregel 1), de inzet van chemische recycling (maatregel 2) en gebruik van bio-based PTA (maatregel 3) naast

elkaar gezet.

Deze voorbeelden zijn illustratief en niet gestoeld op werkelijke data, maar tonen aan hoe de effecten van maatregelen voor een hele keten te wegen zijn bij variant A. Belangrijk is om te benadrukken dat het CTS zelf niet de effecten

van maatregelen op emissies kan bepalen. Het CTS registreert enkel wat er gebeurt wanneer maatregelen doorgevoerd worden. De data uit een CTS kan in aparte simulatiemodellen gebruikt worden om te verkennen wat de effecten van maatregelen zijn.



Figuur A2.4, inzicht in effecten van verschillende maatregelen bij variant A.



Appendix 3 Toelichting Variant B

CTS Variant B maakt inzichtelijk wat de herkomst van koolstofatomen in de producten van deelnemende bedrijven is. Deze herkomst kan fossiel, recycleat, bio-based of 'niet bekend' zijn. Variant B kan ingezet worden om incentives te creëren voor het implementeren van maatregelen voor het terugdringen van het gebruik van fossiele koolstofatomen.

3.1 Rapportage

Bij variant B worden drie zaken gevraagd van deelnemende bedrijven, zie figuur A3.1.



Figuur A3.1, rapportage bij variant B.

Ten eerste wordt aan de bedrijven gevraagd naar de materiaalstromen die de in- en output vormen voor de verschillende processen. Hiermee kan inzichtelijk worden gemaakt welke producten van het ene proces een input is voor het volgende proces. Bovendien kan via een massabalans gecontroleerd worden of alle in- en output in beeld is, of dat er een mismatch bestaat. Per materiaalstroom dient een bedrijf aan te geven wat het aandeel koolstof (C) is, oftewel welk percentage van de massa van het materiaal bestaat uit koolstofatomen.

Hernieuwbaarheid koolstofstromen

Variant B analyseert de stroom van koolstofatomen door een keten, en maakt daarmee inzichtelijk wat de oorspronkelijke herkomst van koolstof in producten is. Figuur A3.2 geeft een illustratie van de herkomst van koolstof in de verschillende tussenproducten van processtappen in de keten. Herkomst van koolstof wordt verdeeld over categorieën fossiel, recycleat, bio-based en 'niet bekend'. Per ketenstap is het aandeel van de verschillende categorieën als percentage van de totale massa koolstofatomen getoond. Hierbij moet

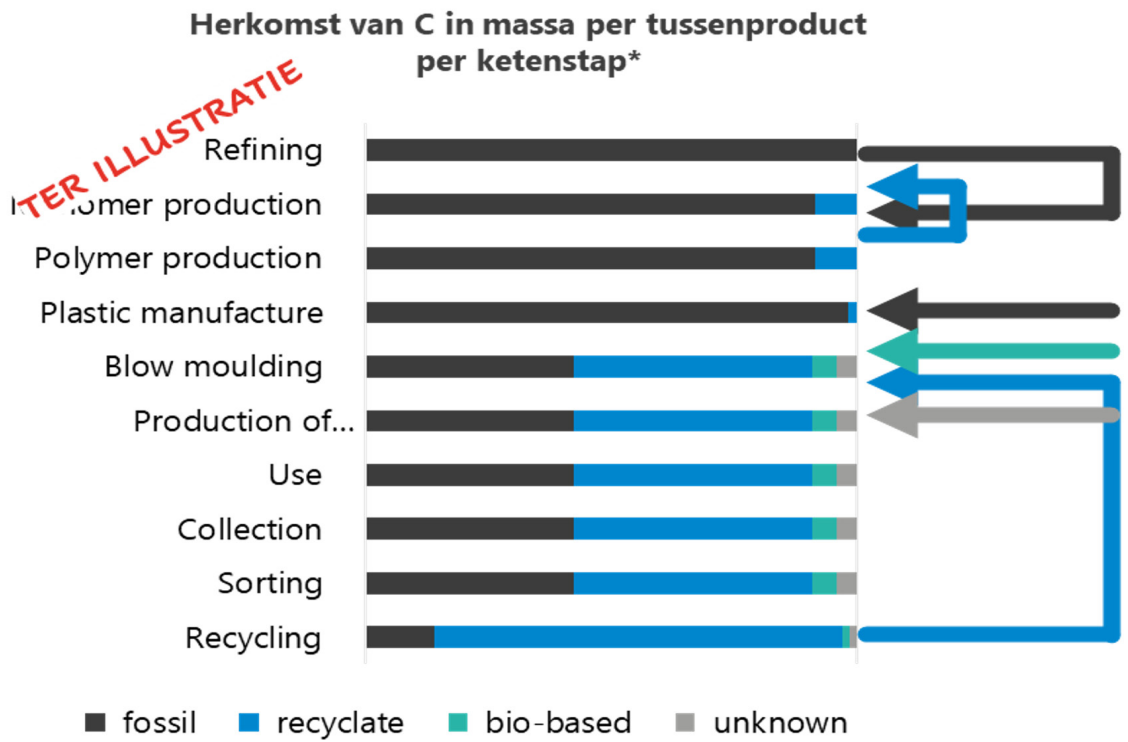
worden opgemerkt dat het aandeel van massa koolstof verschilt per product in de keten. In de verschillende processen wordt het aandeel koolstof hoger of lager door chemische reacties met andere (al dan niet koolstofhoudende) stoffen. Zo bestaat ruwe olie voor 85% uit koolstof, en in de verschillende processen verandert dit tot een koolstofaandeel van 63% in PET. In deze weergave wordt gefocust op de herkomst van koolstofatomen, niet het aandeel in het (tussen)product.

Fossiele koolstofatomen worden aangeduid als recycleat nadat ze via een proces terug 'omhoog' in de keten wordt gebracht. Figuur A3.3 toont hoe de herkomst in de verschillende processen bepaald is. Zo bestaat de input bij monomeer productie voor een groot deel uit het product van een raffinaderij (dat 100% fossiel is) maar wordt ook een klein deel van het materiaal uit de polymeer productie terug gevoerd naar monomeerproductie. Daardoor bestaat het product van monomeer productie voor een klein deel uit recycleat.

De producten van de processen vanaf 'blow molding' bevatten een hoog percentage recycleat, omdat bij dit proces het gerecyclede

PET vanaf recycling terug de keten in komen. Bovendien is hier te zien dat een deel bio-based de keten in komt en een stroom koolstof waarvan de herkomst onbekend is. Dit zou bijvoorbeeld ook koolstof kunnen zijn uit andere processen

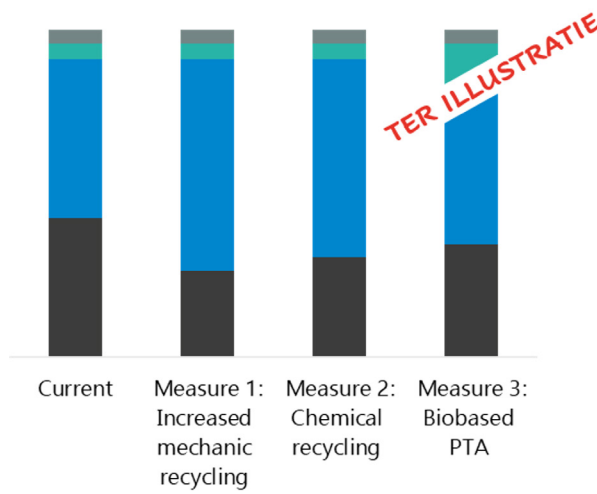
(via CCS). De laatste categorie bestaat uit stromen waarvan de herkomst (nog) niet achterhaald is, bijvoorbeeld omdat ze vanuit het buitenland geïmporteerd worden of afkomstig zijn uit een keten die buiten het CTS valt.



* NB: aandeel van C massa verschilt per product in de keten, i.e. ruwe olie bevat 85% C in massa, PET slechts 63%.

Figuur A3.2, bepaling van herkomst C in producten

Herkomst van C in massa per tussenproduct bij Blow moulder (PET spuitgieter)



Inzichten

Met variant B kan het effect van maatregelen op het gebruik van materialen van fossiele of andere herkomst inzichtelijk worden gemaakt. In figuur A3.4 wordt een illustratie gegeven van het effect van verschillende maatregelen bij het proces 'blow moulding': 1) meer mechanische recycling, 2) inzet van chemische recycling en 3) gebruik van bio-based PTA. De figuur toont hoe de aandelen van de categorieën van herkomst veranderen bij de verschillende maatregelen.

Figuur A3.4, inzicht in effecten van verschillende maatregelen bij variant B.



Appendix 4 Voor en nadelen data registratie en controles

Deze studie voorziet twee manieren om de data op te slaan, elk met eigen voor- en nadelen:

	Decentrale, openbare dataopslag	Centrale, gesloten data opslag
Centralisatie/ Decentralisatie	Via een decentrale methode van dataopslag (zoals blockchain) wordt de data op meerdere computers opgeslagen met verschillende eigenaren. Hiermee wordt iedereen die iets met deze data te maken heeft eigenaar en beheerder van de data. Het is mogelijk om een privé decentrale dataopslag op te zetten. Hiermee kunnen toegang verleende partijen data delen via de blockchain, maar met het nadeel dat het slechts gedeeltelijk gedecentraliseerd is aangezien een partij moet bepalen wie toegang heeft tot deze database en wie niet.	Een centrale, gesloten dataopslag is de klassieke vorm van dataopslag (bijvoorbeeld een datawarehouse). Data wordt <i>centraal</i> op computers opgeslagen van dezelfde eigenaar. De eigenaar bepaalt hiermee dus wie de data in kan zien, hoe met deze data om wordt gegaan en waar deze wordt opgeslagen.
Transparantie	Decentrale, openbare dataopslag kan dus zorgen voor transparantie. Ketenpartners kunnen de data van zichzelf en anderen inzien. Het voordeel hiervan is dat ze elkaar aan kunnen sturen en eventuele samenwerking voor het verminderen van de uitstoot gezamenlijk op kunnen pakken. Een nadeel is dat eventuele bedrijfsgevoelige informatie door de concurrentie ingezien kan worden.	Een centrale, gesloten dataopslag kan transparant zijn. De eigenaar van de dataopslag kiest wat wel of niet gedeeld wordt. Een voordeel hiervan is dat bedrijfsgevoelige informatie afgeschermd is. Een nadeel kan zijn dat ketenpartners niet van elkaar weten wat er in de keten gebeurt en daarom minder snel samenwerking opzoeken.
Veiligheid	Een volledig decentrale dataopslag is goed beschermd tegen fraude en zorgt voor een gecontroleerd systeem onder de gebruikers. Aangezien de dataopslag op meerdere computers de data bijhoudt en deze gegevens openbaar zijn kan er bij een afwijking van een invoer altijd worden teruggerepen op de data die andere computers hebben opgeslagen. Pas als bijvoorbeeld meer dan 50 procent van de andere computers dezelfde "afwijking" waarnemen kan een invoer worden aangepast en overschreven. Hackers kunnen hierdoor moeilijk data aanpassen aangezien ze dan in moeten breken in meer dan 50 procent van de computers.	De veiligheid van een centrale, gesloten dataopslag ligt voor een deel aan de technische beveiliging die hiervoor is gebruikt en voor een ander deel aan de voorzorgsmaatregelen van de eigenaar. De technische beveiliging ligt veelal vastgelegd in standaard protocollen die moeilijk te doorbreken zijn.
Flexibiliteit	De centrale, openbare dataopslag is niet erg flexibel. Waarden kunnen bijvoorbeeld niet zomaar aangepast worden. Voordat de waarden in de blockchain worden opgenomen is er altijd een valideringsproces (in het geval van CTS kan dit check met de massa- en energiebalans zijn), maar mocht er toch een fout optreden kan dit niet makkelijk in het systeem worden aangepast.	Afhankelijk van de vooraf gemaakte afspraken en protocollen kan de eigenaar de data aanpassen waar dit nodig is. Het systeem is dus heel flexibel.
Administratieve last	De administratieve lasten zullen bij beide oplossingen ongeveer hetzelfde zijn. De ketenpartners moeten hun resultaten doorgeven (met eventuele bewijsstukken). Als dit is gedaan zijn op de achtergrond controles geprogrammeerd (zoals de controle over de massa- en energiebalans). Mocht de invoer niet kloppen krijgt de ketenpartner een bericht dat de invoer niet klopt en dat deze herzien moet worden. Mocht de ketenpartner hier niet uitkomen kan een accountant worden ingesteld om dit op orde te stellen. De transparantie van de blockchain kan daarentegen wel leiden tot een controle door de keten zelf in plaats van dat een accountant daar te pas aan moet komen. Hier kunnen externe controles dus eventueel nog verder geminimaliseerd worden.	



Wijnhaven 23
3011 WH Rotterdam
The Netherlands
+31 10 275 59 90

info@rebelgroup.com
www.rebelgroup.com