



“Knowledge of Sustainability”

GREEN KNIGHTS PUBLICATIONS

www.greenknights.info

Open access
articles on:

Sustainable
technologies,
practices and
concepts

2019

Vol. 1, issue 5

“Van milieudruk naar een getal”

Over de methoden om onze milieudruk te bepalen

A. H. Galama

Datum online: 4-12-2019

Datum versie: 4-12-2019

Steekwoorden: Ecologische voetafdruk, levenscyclus-analyse (LCA), Input Output analyse (EEIO), data technologie

Korte omschrijving: Achtergrondinformatie over de methoden voor het bepalen van onze milieudruk, welke uitgedrukt kan worden in voetafdrukken. Met een levenscyclus-analyse wordt in beeld gebracht welke invloeden op het milieu verbonden zijn aan een product. Voor effecten op grotere schaal worden 'input-output' analyses gedaan. Beide methoden hebben veel informatie nodig, hierbij kan data technologie helpen.

Van milieudruk naar een getal

We weten dat we als mensheid het milieu zwaar belasten, te zwaar allicht. Bijna overal op aarde komt u sporen van menselijk activiteit tegen. Zelf in de meest afgelegen natuurgebieden zit wel iets in de grond dat we kunnen gebruiken. De eerste stap om uw invloed op het milieu te verminderen is door minder producten te consumeren. Producten kunnen ook activiteiten of diensten zijn, denk aan een skivakantie of ziekenhuisbezoek.

Voor de meeste producten weten u en ik niet of ze erg milieubelastend zijn of niet. Voor lokaal geproduceerde producten, waarbij de productieketen kort is, heeft u misschien nog een idee. Boeren en tuinders weten welke producten veel water en mineralen nodig hebben om te groeien of bij welke producten veel bestrijdingsmiddelen worden gebruikt. Maar wat heeft een nieuwe auto nodig aan natuurlijke bronnen voordat die op uw oprit staat te glimmen? In de huidige, sterk geglobaliseerde maatschappij, zijn er veel producten uit buitenlandse fabrieken, gemaakt van materialen met onbekende herkomst. Voor u als consument is het onmogelijk te weten hoeveelheid grondstoffen en energie zijn gebruikt, ook weet u niet wat de impact op het milieu is van productie, transport, en verkoop. Deze onzichtbare impact zit

verborgen in uw indirecte effect op het milieu en indirecte gebruik van bronnen. Uw directe effect kunt u waarnemen, bijvoorbeeld de uitstoot van uw auto bij gebruik. De indirecte invloed is vaak veel groter dan uw directe invloed en komt sterk naar voren in een zogenaamde 'voetafdruk' (behandeld in een vorig artikel van de Green Knights [1]). Een voetafdruk geeft een specifiek deel van uw milieudruk weer, bijvoorbeeld koolstofuitstoot, energieverbruik of waterverbruik.

Huidige productieketens zijn niet ontworpen om de negatieve invloeden van de mens op het milieu zo veel mogelijk te beperken. Geldelijke winsten bepalen waar grondstoffen vandaan komen, hoe die (zo goedkoop mogelijk) worden gewonnen en tot producten vervaardigd. Omdat de koopkracht en het uurloon in 'consumptielanden' veel hoger is dan die van lage lonen landen, die goedkoop kunnen produceren, vindt er veel import en export van goederen en dus grondstoffen, mineralen en voedingsstoffen plaats. Er is veelal geen lokale connectie tussen grondstoffen en een product. Wat er voor de aanschaf en na de verkoop / het gebruik van een product gebeurd interesseert het gros van de (ver)kopers niet veel. Hoe zijn anders de verspilling van grondstoffen en mineralen, gigantische afvalstromen en ook uitbuiting van soms illegale of veel te

jonge werkkrachten te verklaren? Het is waarschijnlijk dat lokale productie en consumptie ketens interesse naar weinig belastende en eerlijke productiemethoden versterken. De meeste mensen zullen niet willen bijdragen aan uitbuiting van mens en milieu als dit dicht bij huis zichtbaar is.

Voor het bepalen van een voetafdruk hebben we eerlijke informatie uit de complexe productieketens nodig. Als u nagaat hoeveel verschillende producten er bestaan en hoeveel verschillende producten we consumeren dan lijkt het een onmogelijke opgave om ons voetafdruk te bepalen. Toch wordt het gedaan. Met productstudies wordt de impact van steeds meer producten duidelijk. Door naar invoer van grondstoffen en energie en uitvoer van vervuiling tussen sectoren en landen te kijken is het mogelijk een algemene schatting te maken van een voetafdruk van een individu of product. Hierover later meer.

Milieudruk omvat vele voetafdrukken, het heeft betrekking op alle manieren waarop we het milieu negatief beïnvloeden. Denk hierbij aan gebruik en van natuurlijke (voedsel) bronnen, verstoring en inkrimping van natuur, milieuverontreiniging zoals waterverontreiniging, uitstoot van fijn stof, ammoniak, broeikasgassen of gebruik van bestrijdingsmiddelen. Elk aspect kan afzonderlijk worden bekeken maar dit zal niet leiden tot een goed beeld van milieudruk. Denkt u maar eens aan kernenergie, kijkende naar de uitstoot van broeikasgassen een ideale energiebron. Het uiterst gevaarlijke en giftige kernafval komt pas naar voren wanneer andere milieu-aspecten onder de loep worden genomen. Het is dus cruciaal om verschillende milieu belastingen naast elkaar te bekijken. De focus ligt nu vooral op uitstoot van broeikasgassen, uitgedrukt in CO₂ equivalenten (CO₂e). Als u echt uw milieudruk wilt verkleinen dan zult u verder moeten kijken. Het combineren van verschillende aspecten tot een 'milieudruk' getal blijkt tot op heden nog erg moeilijk. Er is dan ook geen enkel getal gedefinieerd dat laat zien wat ons totale milieudruk is, dit betekend dat we moeten blijven nadenken over ons impact

en deze vanuit verschillende invalshoeken kritisch moeten blijven bekijken.

De ecologisch voetafdruk

Misschien wel de bekendste samenvoeging van een aantal verschillende aspecten van milieudruk is de 'ecologische voetafdruk' ('the ecological footprint'). Deze berust op de basisprincipes dat in een duurzaam systeem: 1) hernieuwbare bronnen niet sneller verbruikt worden dan ze kunnen worden aangemaakt, en 2) niet meer vervuiling mag worden uitgestoten dan kan worden afgebroken en opgenomen. De term (ecologische) voetafdruk werd voor het eerst gebruik begin 1990 door William Rees en Mathis Wackernagel tijdens hun werkzaamheden bij de Universiteit van Brits Columbia (Canada). Sinds toen zijn er tal van voetafdrukken gedefinieerd, de bekendste is ongetwijfeld de koolstofvoetafdruk, een belangrijk onderdeel van de ecologische voetafdruk. In de ecologische voetafdruk wordt milieubelasting uitgedrukt in een oppervlakte dat nodig is voor het produceren van gebruikte materialen en het herstellen van de natuur. Deze 'gebruikte oppervlakte' wordt vergeleken met een oppervlakte aan biologisch productiecapaciteit. Beide getallen worden uitgedrukt in de zogenaamde 'global hectare' (gha). Deze hectare is het mondiale gemiddelde van de biologisch productieve hectaren. Het opmaken van de balans tussen beide getallen volgens de ecologische voetafdruk methode staat bekend als 'ecological footprint accounting' [2]-[5] en dit dient te gebeuren volgens de standaard voor de ecologische voetafdruk van het 'Global footprint network' [6].

De vraag naar biocapaciteit wordt bekeken vanuit productie, import, export en consumptie. Consumenten importeren naast producten dus ook een voetafdruk. Zoals getoond in figuur 1 is de ecologische voetafdruk de som van de biologisch productieve ruimte van: 1) akkerbouwgrond, 2) grasland, 3) bos, 4) visgrond, 5) bebouwde grond, en 6) de oppervlakte bos die nodig is om CO₂ uit de atmosfeer op te nemen en vast te leggen (de koolstofvoetafdruk) [2]-[4]. Door de aanname dat alle (extra) CO₂ moet worden vastgelegd door oceanen (28-35% van het koolstof in de atmosfeer

Onderdelen van de ecologische voetafdruk



Figuur 1, Ecologische voetafdruk bestaat uit: visgronden, bebouwde grond, gras- en akkerlanden, de koolstofvoetafdruk en bosproducten (bron: Global Footprint Network)

[2], [3]) en bossen is er twee keer vraag naar bos: voor houtproducten en voor koolstofvastlegging. Deze tweede vraag is op dit moment vele malen groter dan de eerste. Doordat er onvoldoende data aanwezig is om opname van CO₂ door bijvoorbeeld landbouwgrond en grasland te berekenen wordt dit niet meegenomen in de balans [2]. Uit recent onderzoek komt naar voren dat per oppervlakte de meeste CO₂ kan worden vastgelegd in bossen [7], [8], wat deze tweede vraag naar (herstel van verdwenen) bos ondersteunt. Informatie over de methode wordt vaak niet gegeven enkel de uitkomst: 'In 2019 zijn 2.8 aardbollen nodig als ieder zich de huidige Europese leefwijze zou aanmeten' [9]. Door deze simpele boodschap is de ecologische voetafdruk omarmd door de media, Wereld natuurfonds (WNF) en de Verenigde Naties (VN). De datum waarop we op de wereld meer van de natuur hebben verbruikt dan de natuur per jaar kan aanmaken staat hierdoor nu bekend als de 'Earth overshoot day'. In 2019 was dat op 29 juli, of te wel 1.75 aardbollen zijn nodig om ons gezamenlijke leefwijze in stand te houden.

Hieruit kunnen we concluderen dat: 1) we de biologische capaciteit van onze aardbol te veel belasten, 2) 'arme landen' kunnen zich niet tot de huidige westerse standaard ontwikkelen, 3) de westerse wereld kan de huidige levenswijze niet blijven voortzetten. Europa verbruikt 20% van de Werelds biocapaciteit, terwijl

het slechts 7% van de bevolking omvat [9].

Onze voetafdruk bepalen

Als u een interesse heeft voor uw verschillende voetafdrukken, dan is het zeker de moeite waard om eens na te gaan hoe deze globale hectaren, kilogrammen koolstofdioxide uitstoot, liters water verbruik, etc... (zie [1]) nu eigenlijk bepaald worden. Er blijken twee manieren om dit te doen: 'van onderaf' of 'van bovenaf'. Op de eerste manier staat het product centraal en wordt geprobeerd alle uitstoot die gekoppeld kan worden aan het bestaan van een product mee te nemen in een schatting voor de totale uitstoot die het product veroorzaakt. Via de tweede weg wordt een schatting gemaakt van de uitstoot (of verbruik) van een hele sector, waarna deze wordt opgesplitst in producten of productgroepen. Deze tweede methode is veel grover maar heeft als voordeel dat er minder specifieke informatie nodig, resultaten voor een bredere toepassing gebruikt kunnen worden en er minder kans is om effecten te missen of dubbel te tellen.

Van onderaf benadering, LCA

In een levenscyclusanalyse (LCA: 'Life Cycle Assessment / Analysis') wordt in vier stappen een inschatting gemaakt van de impact op de omgeving gedurende alle levensstadia van een product (dienst / service): grondstofonttrekking, verwerking, distributie, gebruik, onderhoud, en 'einde leven' (demontage, hergebruik, recycling, verbranding, etc.). Hoe compleet het uiteindelijke beeld is, is onder meer afhankelijk van welke processen gedurende de levenscyclus worden toegeschreven aan het product. Dit gebeurt tijdens de eerste stap van het maken van een LCA: het vaststellen van de 'scope' (blikveld) en doel van de LCA. De tweede stap is het maken van de levenscyclus inventarisatie (LCI). Dit is een stromingsdiagram waarin de grenzen van de 'invloedssfeer' van het product zijn weergegeven. Ook bevat dit alle invoer en uitvoer van het productieproces. Denk aan stromen van water, energie, grondstoffen, chemicaliën of nutriënten van en naar de lucht, land, water of de vuilnisbelt. Figuur 2 laat een

Grenzen aan een levenscyclusanalyse (LCA) van brood



Figuur 2, Schematische weergave van levenscyclus inventarisatie van verschillende broden in Europa zoals gedefinieerd in [10]. De invoerstromen die weergegeven zijn in rood worden niet binnen het blikveld van het product gerekend.

voorbeeld van een levenscyclus inventarisatie zien.

Na het verzamelen van alle benodigde data om de massa- en energiebalansen in de LCI op te maken, is het tijd om de impact te bepalen. In deze derde stap, de levenscyclus impact analyse (LCIA), wordt in beeld gebracht wat de impact van het product is in verschillende categorieën zoals: opwarming van de aarde, dunner worden van de ozonlaag en vermisting. Hierna kan nog een groepering, normalisatie en weging worden toegepast om tot een enkel getal te komen dat de totale impact van het product of dienst op de omgeving uitdrukt. De vierde en laatste stap in het maken van een LCA is de interpretatie van de resultaten. Dit is een kritische discussie over de gemaakte keuzes binnen de inventarisatie en impact analyse die bepalend zijn voor de conclusies en aanbevelingen van de LCA.

Een LCA is een instrument dat het mogelijk maakt om een rationeel oordeel te vellen over de relatieve milieubelasting van vergelijkbare producten of processen. Binnen de LCA moeten vele, soms arbitraire, keuzes worden gemaakt over welke processen wel en niet moeten worden toegeschreven aan het bestaan van een product en wat de impact is in verschillende categorieën. Qua betrouwbaarheid is het belangrijk dat een LCA onafhankelijk wordt uitgevoerd en dat het volgens de standaarden voor LCA

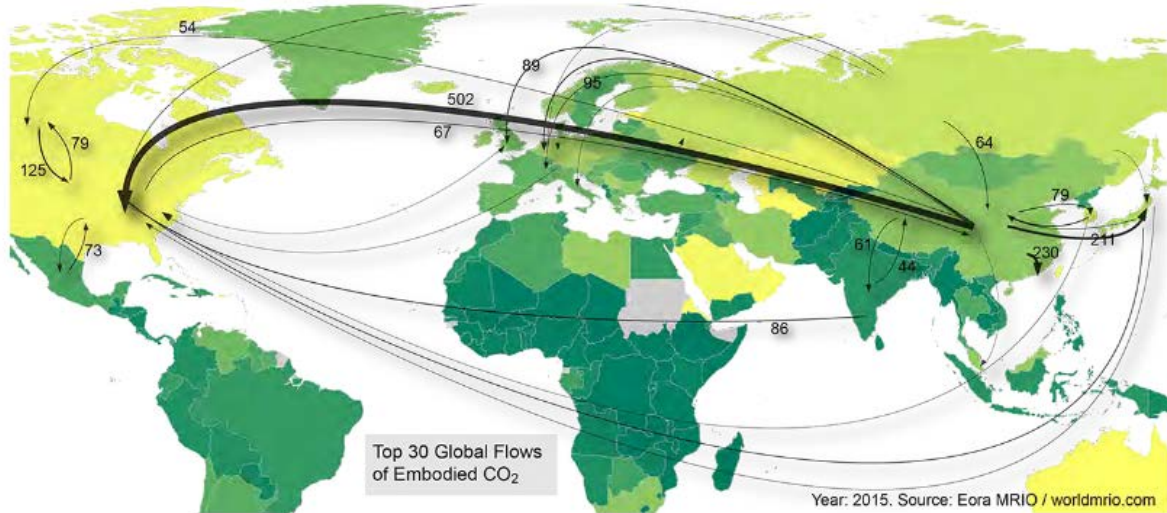
methodiek gebeurd zodat uitkomsten vergelijkbaar zijn [11]–[13].

Een belangrijk aspect van de levenscyclusanalyse is dat ook naar nog komende milieubelasting wordt gekeken. Vragen die hierdoor belangrijk worden zijn bijvoorbeeld: Hoe lang gaat iets mee? Is er energie nodig om het product af te breken? Zijn materialen opnieuw te gebruiken? Kunnen er giftige stoffen vrij komen? Kunnen materialen in een (natuurlijke) kringloop worden geplaatst? Vragen die in een wegwerpmaatschappij veel minder benadrukt worden dan in een circulaire economie. Het huidige economische systeem is gericht op korte termijn winst, in een circulaire economie moet ook worden nagedacht over kosten die nodig zijn om bijvoorbeeld producten te demonteren en materialen opnieuw beschikbaar te maken. Hoe zo'n circulaire economie er uit gaat zien is nog 'nader te bepalen' maar het is niet ondenkbaar dat er meer opties voor huur en omwisselen van producten gaan komen en minder voor kopen. Menselijk gedrag zal een kwetsbare schakel zijn in de materialen kringlopen.

Van bovenaf benadering, EEIO

EEIO staat voor 'Environmentally Extended Input-Output', vrij vertaald in 'omgevingsgerichte uitbreiding van invoer-uitvoer modellen'. Zegt u niets? Het is een uitbreiding van het input-output (IO) model, wat een

De 30 grootste import en export stromen van 'koolstof uitstoot'



Figuur 3. Visualisatie van de 30 grootste internationale ingesloten koolstofstromen. Donkergroen gekleurde landen hebben na import en export de laagste koolstofuitstoot per inwoner, geel gekleurde landen de hoogste koolstofuitstoot per inwoner [17].

modelleerwijze uit de (macro) economie is dat in- en uitgaande stromen tussen producenten en consumenten aan elkaar relateert. In een IO model zijn producenten ook consumenten, als voorbeeld: 'landbouw' produceert voor 'supermarkt' en consumeert o.a. 'landbouwmachinerie'. Zelfs als u alleen 'afval' produceert, dan bent u nog steeds een producent.

Het IO model is gebaseerd op tabellen, waarbij productie van sectoren in rijen wordt weergegeven en consumptie in kolommen. Met matrix algebra worden relaties tussen sectoren in kaart gebracht. Ter illustratie: een consument koopt een product van producent A. Producent A kocht echter materialen bij producent B, C en D. Producent B kocht weer bij producent E, F, G, maar ook bij A. Dus producent A heeft naast een indirecte relatie met E, F en G ook een indirecte relatie met zichzelf. Door geldstromen tussen bedrijven en sectoren in kaart te brengen kunnen onderlinge relaties worden weergegeven. De totale input is gebaseerd op totaal schattingen voor de complete markt en sectoren binnen de betreffende systeemgrenzen. Voor de EEIO is hiernaast ook nog een schatting nodig van de totale impact op het milieu (i.e. voetafdruk) van de gespecificeerde economische sector. In EEIO tabellen staan waarden die uitgedrukt zijn in bijvoorbeeld tonnen

CO₂e, stikstof per uitgegeven euro (of dollar) in die sector.

Is er een schatting van de totale impact dan kunnen effecten van een consumptie tot een wiskundig oneindig aantal relaties (of 'lagen') ver van eerder genoemde producent A worden meegenomen, iets dat bij een meer traditionele LCA benadering onmogelijk is, zelfs als alle informatie beschikbaar zou zijn. De invloed van verdere relaties wordt uiteindelijk oneindig klein (voor een wiskundige uitleg zie: [14]). Een ander voordeel van IO tabellen is dat dubbeltelling van effecten in de tabel niet voorkomt en dat 'loops' (producten A koopt van B die ook weer van A koopt) geen probleem vormen voor de rekenmethode. Door alle lagen mee te nemen kan inzichtelijk worden gemaakt waar de consument een voetafdruk achterlaat. Een IO model dat over handelsstromen tussen regio's en landen gaat wordt ook wel een 'multiregional input-output' (MRIO) model genoemd. Door deze modellen te koppelen aan grondstoffengebruik, natuurschade en emissies wordt duidelijk hoe de voetafdruk van consumptiegoederen wereldwijd verspreid is [15]–[18]. Zijn grondstoffen uit Congo verwerkt in India, opgekocht door de tussenhandelaar in Nederland en vervolgens weer vermarkt in een winkel in Engeland: dan zal uit zo'n MRIO gebaseerd model blijken dat de voetafdruk van Engelse consumenten

van dat product voornamelijk in Congo en India ligt. In figuur 3 is te zien dat veel van de koolstofuitstoot in China kan worden toegeschreven aan consumptie in westerse landen.

Het nemen van verantwoordelijkheid

Een verschil tussen een benadering waarbij het product of waarbij de consument centraal staat is dat bij deze tweede de verantwoordelijkheid voor de milieu-impact volledig bij de consument komt te liggen. Deze methodiek geeft hierdoor ook een scherper beeld over ieders eigen invloed op de milieudruk. Het is niet de industrie of vliegtuigmaatschappij die verantwoordelijk is voor 'die gigantische uitstoot, waarbij mijn eigen bijdrage in het niet valt, maar is het de gebruiker zelf die de grote vervuiler blijkt te zijn omdat die de producten consumeert. Ook wordt haarfijn duidelijk dat uitstoot van bijvoorbeeld broeikasgassen worden verplaatst van welvarende landen naar lage lonen landen door internationale handel. Hierdoor verminderen rijke landen hun CO_{2e} emissies binnen de landsgrenzen maar vergroten hun voetafdruk in andere landen [15]. Dat de uitstoot van CO_{2e} in West-Europa is gedaald zegt als opzichzelfstaand feit dus niet zoveel. Het exporteren van productie, leidt dus ook tot exporteren van milieuvervuiling uit productieprocessen. Deze milieu-impact wordt niet 'ervaren' in de consumptielanden. Door lokale en regionale productie- en consumptiekringlopen te (her)introduceren, zal er een zichtbare verbinding ontstaan tussen grondstof en product. Ook om de hoeveelheid transport te verminderen zou dit een goede set zijn.

Actueel is de problematiek rond de stikstofdepositie in Nederland. Nederland is een agrarische export land, het halveren van de veestapel in Nederland, zal betekenen dat elders de veestapel groeit omdat er ruimte op de internationale markt ontstaat. Doordat deze groei waarschijnlijk plaatsvindt in gebieden met minder strenge milieueisen kan dit zomaar in een toename van de mondiale stikstofuitstoot leiden. Ook kan stikstofdepositie plaats gaan vinden in meer kwetsbare natuurgebieden. Neemt

de vraag op de markt af, pas dan zal ook daadwerkelijk de stikstof uitstoot afnemen. Zou iedereen in Nederland enkel lokale biologische producten kopen en daar een eerlijke prijs voor betalen dan zal dit de agrarische sector drastisch herformen. Zou deze sector echter omschakelen zonder vraag uit de markt dan heeft dit enkel tot gevolg dat er bedrijven failliet gaan en resulteren in import van goedkope buitenlandse agrarische producten.

EEIO en LCA studies kunnen in een hybride studie naast elkaar worden gebruikt. Deze combinatie van methoden is erg sterk omdat een goed beeld van de impact van de volledige sector naar voren komt, terwijl ook op productniveau conclusies kunnen worden getrokken. Tevens een sterk punt van deze combinatie is dat de hele levenscyclus van een product wordt beschouwd terwijl in een EEIO vaak alleen reeds betaalde 'voetafdrukken' worden meegenomen. In de volgende alinea's worden de grenzen aan (het gebruik van) de LCA en EEIO benaderingen benoemd. Het doel hiervan is dat met het kennen van de beperkingen we een betere inschatting kunnen maken van wat getallen nu echt betekenen.

Kritiek op de methoden

De LCA methodiek gaat in op meerdere aspecten van duurzaamheid. Uitkomsten zijn echter een stuk ingewikkelder om te rapporteren in vergelijking met het vermelden van een datum waarop we onze ecologisch hernieuwbare (biologische) bronnen hebben uitgeput. De methode is minder sexy, zo u wilt. En (populaire) wetenschap moet tegenwoordig toch ook vooral juist dat zijn om te worden opgepikt door de media. Ondanks de uitgebreidheid van de LCA benadering, is de methode zeker niet feilloos [19]–[25]. De methodische 'tekortkomingen' van de LCA die het duidelijkst naar voren komen in discussies zijn:

- 1) Onvoldoende beschikbaarheid, zekerheid en transparantie van benodigde data waardoor er een hoge mate van onzekerheid in de data kan zijn en verzamelen van data veel tijd en geld kost.

- 2) Ondanks het kader van instelling als ISO is er ruimte voor interpretatie, waardoor onafhankelijke analyses van vergelijkbare producten niet altijd overeenkomen. Met name het blikveld (scope) is vaak te beperkt en het wegen en groeperen van cijfers blijft een arbitraire bezigheid.
- 3) Effecten van emissies / producten zijn niet altijd bekend. Sommige consequenties zullen pas in de toekomst worden ontdekt.
- 4) Niet alle milieukundige informatie kan in getallen worden uitgedrukt.
- 5) Het sociale en economische aspect mist, hierdoor kunnen gedragsverandering na het invoeren van een product of service niet goed worden ingeschat.

Daarnaast zijn er tekortkomingen in de toepassing, deze zijn niet direct toe te schrijven aan de methode maar kunnen wel het vertrouwen in de levenscyclusanalyses schaden. Soms wordt geprobeerd antwoorden te vinden op vragen die te groot zijn voor een 'gewone' LCA benadering. Een LCA die uitgevoerd is om consequenties van (milieu)beleid of systematische veranderingen in beeld te brengen is een ander soort analyse dan een LCA over de impact van een krop sla. Hierom wordt ook wel onderscheid gemaakt in attribuut LCA (aLCA) en consequentie LCA (cLCA) [20]. Een consequentie LCA kan bijvoorbeeld gaan over uitstoot van broeikasgassen en (bio)energie strategieën. Systeemgrenzen zijn verder weg en de resolutie van de gegevens is lager doordat meer generieke data wordt gebruikt. Een vergissing die gemaakt kan worden is resultaten van een attribuut LCA uit de context halen en conclusies trekken in een breder verband. Een goed voorbeeld hiervan is de voorspelling uit begin 21e eeuw dat de elektronische revolutie zal resulteren in minder papiergebruik (tegenovergestelde blijkt waar).

EEIO analyses hebben een breed blikveld, maar er is weinig tot geen onderscheid in producten binnen een sector. Waar het product, binnen een bepaalde regio, gemaakt is en op welke wijze maakt vaak niet uit. Bij een hele lage resolutie heeft de sector 'transport per auto' maar een product: 'vervoer per auto', en er is maar

een waarde voor de voetafdruk per uitgegeven \$. 'Vervoer per elektrische auto' is in dit voorbeeld even vervuilend als 'vervoer per Hummer'. Is de resolutie iets hoger dan is er een getal per gemiddelde diesel, benzine of elektrische auto's. Nog een stap verder is het opsplitsen van deze auto's per klasse (klein, middel, groot) en vervolgens per merk, etc. Maar al vlug raken we dan weer in het probleem van de LCA studies verwikkeld: Er is veel specifieke data nodig.

EEIO studies zijn enkel geschikt om gemiddelde getallen te geven voor grote groepen goederen. Dit is voor veel voetafdruk berekeningen acceptabel omdat het over grote gebieden en grote verscheidenheid aan goederen gaat. Bij globale EEIO modellen kan een onderscheid worden gemaakt in verschillende regio's. Dit is nodig omdat de relatieve voetafdruk in regio's met minder geavanceerde en minder efficiënte technologieën en energienetwerken vaak groter is. Toch wordt productie om financiële redenen vaak verplaatst naar deze regio's. De EEIO kan enkel gebruikt worden om indicaties te geven en is in principe ongeschikt voor productvergelijking. Doordat geldstromen over het algemeen goed te traceren zijn komen onderlinge relaties tussen producenten in EEIO goed naar voren. Een nadeel is dat direct verbruik (ook wel 0^e laag) van bijvoorbeeld hout, verandering van grondgebruik of onbetaalde diensten niet worden meegenomen. Ook is het maken van een inschatting van de totale impact van een sector of van de complete economie als geheel geen sinecure. Hoe meet ik de koolstofuitstoot van de hele auto-industrie in West-Europa? Dit gebeurt op basis van steekproeven en metingen in fabrieken en hierdoor zitten er de nodige interpretaties en aannames in 'de totale koolstofuitstoot'. De impact per dollar of euro moet dan ook worden gezien als een schatting met behoorlijke marge, het gaat om de orde van grootte.

Milieu impact informatie en product data technologie

Voor het bepalen van een voetafdruk, levenscyclusanalyse of input-output modellen is veel informatie nodig. Is deze invoerinformatie onjuist dan zal er geen

betekenisvolle uitkomst zijn, ongeacht hoe briljant of compleet een model ook is. In de informatica staat dit principe bekend als GIGO: 'Garbage in, garbage out'. Beschikbaarheid van actuele, realistische data is op dit moment een groot struikelblok voor impact analyses. Door ontwikkelingen in informatie en communicatie technologie (ICT) van bijvoorbeeld 'distributed ledger', 'big data', kunstmatige intelligentie (AI) en 'the internet of things (IoT)' [25] komt een toegankelijk en continue geactualiseerd data informatiesysteem een stap dichterbij. Door informatie uit verschillende onafhankelijke bronnen te combineren neemt de onzekerheid in de data af en kunnen meer betekenisvolle conclusies worden getrokken.

Product data technologie kan gebruikt worden om logistieke en milieukundige informatie van producten te verzamelen en te delen [23]. Tot deze technologie wordt ook de blockchain gerekend, een vorm van een 'distributed ledger', of te wel een verspreid register (ledger = grootboek). Deze naam verwijst naar de manier waarop informatie verspreid over een netwerk wordt opgeslagen. Computers of apparatuur in zo'n netwerk worden 'nodes' genoemd, verspreiding van alle informatie over alle nodes maakt het informatie systeem robuust en transparant. Met algoritmes kunnen veranderingen in het systeem worden gecheckt voordat deze worden opgenomen en verspreid. De blockchain is een opeenvolging van 'datablokken' in een keten. In deze keten kunnen blokken worden toegevoegd maar niet worden veranderd of verwijderd. Door op elk punt in de levenscyclus van een product informatie toe te voegen aan de informatieketen kunnen ingewikkelde productieketens eenvoudig worden ontrafeld [26].

Het IoT, in Nederland ook bekend als het 'internet der dingen', gaat nog een stap verder: alle elektronische apparaten zijn via een netwerk verbonden en ook niet elektronische apparaten kunnen door een elektronisch informatie label worden toegevoegd. Met dit systeem kan live data uit de productieketen worden gehaald. Voortkomend uit het IoT is er de 'Footprint of Things' [24], de voetafdruk der dingen. In dit systeem wordt

specifieke milieu gerelateerde informatie van producten opgeslagen en kan op basis van verschillende informatiebronnen ook algemenere data beschikbaar worden gemaakt. Door verspreide registers en het internet der dingen neemt de hoeveelheid opgeslagen informatie enorm toe. Het verwerken, analyseren en systematisch onttrekken van specifieke informatie is het werkveld van 'big data'. Met name uitgebreide consequentie LCA's zullen big data technologie nodig hebben om efficiënt de benodigde informatie te kunnen verzamelen en te analyseren. Hierbij kan na verwachting ook kunstmatige intelligentie een belangrijke rol gaan spelen.

Door goed ontworpen product data technologie kan [23]: 1) de benodigde tijd voor dataverzamelen worden geminimaliseerd, 2) de kwaliteit van de beschikbare data verbeterd worden, 3) de bron worden herleid, 4) specifieke in plaats van generieke data worden gebruikt, en 5) de informatie gedurende de hele levensfase van een product / materiaal voor handen zijn. Op dit moment zijn er maar een beperkt aantal transacties per seconden mogelijk in blockchain technologie, hierdoor zijn opschalingsmogelijkheden (nu nog) beperkt. Dit kan problematisch zijn voor wereldwijd gedeelde systemen met miljoenen nodes. De opschalingsmogelijkheden van verspreide registers is dan ook een van de uitdaging waar op dit moment aan wordt gewerkt [27]–[30]. Toch wordt blockchain technologie al toegepast in bijvoorbeeld voedselproductie- en distributieketens om voedselveiligheid te waarborgen en verliezen te beperken [31].

Meer elektrische apparaten om het energieverbruik te verminderen...

Eenzijds kan ICT helpen om een beter beeld te schetsen van milieu-impact en energieverbruik van processen en producten, anderzijds gebruikt ICT veel energie. Tot nu toe heeft de digitale revolutie, netto alleen maar tot een toenemend energieverbruik geleid. Op 11 December 2017 publiceerde 'The Guardian' een artikel met de titel: '*Tsunami of data' could consume one fifth of global electricity by 2025*. Een LCA studie in 'Sustainability' over de energie en koolstofvoetafdruk van de wereldwijde

ICT en entertainment en media (E&M) sectoren over de periode 2010-2015 [32] laat zien dat in 2015 ICT verantwoordelijk was voor 3.6% en E&M voor 2.8% van al het elektriciteitsverbruik. Het totaal elektriciteitsverbruik bedroeg in 2015 naar schatting 20.213 TWh (1738 Mtoe) terwijl het totale energieverbruik geschat werd op 109.647 TWh (9428 Mtoe) [33]. Dit betekent dat in 2015 ICT en E&M samen ($0,036+0,028 = 0,064 \cdot [1738/9428] \cdot 100\% =$) 1,2% van alle energie verbruikten. Een andere studie schat echter dat ICT in 2015 alleen al net boven de 10% van de elektriciteit verbruikt en naar schatting kan dit aandeel in 2030 zelfs 21% zijn (bandbreedte 8 – 51%) [34]. Meer dan 80% van de koolstofemissies van de ICT sector komt echter niet uit het elektriciteitsverbruik maar uit de productie van apparatuur, zoals blijkt uit een recente (2019) studie in 'Energy Economics' waarin de directe en indirecte koolstof emissies van de Chinese ICT sector worden geanalyseerd [35]. Er wordt in dit artikel niet gesproken over hergebruik of recycling van materialen het is dus geen complete levenscyclusanalyse. Wel wordt duidelijk dat om de koolstofvoetafdruk van de Chinese ICT sector, de grootste ter wereld, te verlagen productieprocessen moeten vergroenen.

Naast de milieueffecten als gevolg van materialen, productie, gebruik en einde leven van ICT hardware heeft gebruik van ICT ook invloed op bijvoorbeeld koopgedrag en productiemethoden in andere sectoren. In een uitgebreide literatuurstudie uit 2018 [36] wordt geconcludeerd dat er onvoldoende gedegen studies zijn gedaan om te kunnen zeggen hoe groot deze effecten zijn. Vooral het sociale aspect, de gedragsverandering blijkt moeilijk te peilen. In een recente (2019) wetenschappelijke publicatie in het vooraanstaande blad 'Science' wordt betwijfeld of de directe energiewinst door slimme technologie netto gezien ook resulteert in minder energieverbruik [37]. Efficiëntere technologie leidt regelmatig tot een toename in gebruik wat per saldo leidt tot meer energieverbruik. Denk aan het gebruik van elektronica in huishoudens. Het is nu nog niet te zeggen of het internet der dingen gaat zorgen

voor energiebesparing of dat het energieverbruik alleen maar verder toeneemt door alle extra elektronica. Een ding dat duidelijk lijkt is dat het energieverbruik dat gepaard gaat met data opslag en real data verder gaat toenemen met een voorspelde groei van ~33 Zettabyte (= 33 miljoen miljard Megabyte) in 2018 naar een verwachte 160 Zettabyte in 2025 [38].

Tot slot

De LCA / EEIO / voetafdruk methodiek zijn niet perfect, het zijn tenslotte modellen: *benaderingen van de werkelijkheid*. Beperkte informatie, of moeilijk te achterhalen en te controleren specifieke informatie worden als grootste tekortkoming genoemd. Met product data technologie kan deze drempel een stuk lager worden gemaakt. Een betere informatiebeschikbaarheid maakt het mogelijk een breder blikveld in studies te gebruiken. Niet alle milieukundige informatie is goed te vangen in getallen en niet alle relaties zijn bekend dit zal het geval zijn in alle studies. Er is altijd meer te leren en te ontdekken in de natuur en de hele (bio)chemische wereld. We kunnen nu enkel handelen met de kennis van dit moment en dat is wat de huidige milieu-impact studies doen. Kritiek op onvolledigheid van deze studies is enkel terecht als beschikbare informatie bewust niet wordt gebruikt, in andere gevallen zullen de studies altijd tot meer inzicht leiden dan wanneer geen studie naar milieu-impact wordt ondernomen.

LCA, EEIO en voetafdruk studies zijn niet ontworpen als sociale studies het is daarom ook niet een realistische verwachting dat deze studies het sociale aspect juist kunnen inschatten. Dit zal moeten gebeuren in aanvullende sociologische onderzoeken die toegevoegd kunnen worden aan met name consequentie LCA. De voetafdruk en EEIO studie gaan vaak meer over het heden en verleden dan over de toekomst, hierin speelt toekomstige gedragsverandering een minder grote rol.

Een voordeel van het gebruik van de genoemde milieu-impact studies is dat zelfs met 'beperkte' informatie vaak al heel goed vergelijkingen tussen verschillende producten kunnen worden

gemaakt omdat het onderzoek op een standaard methode gebeurd. Voor de meeste vraagstukken is de orde van grootte van de impact belangrijker dan een exact bepaald getal. Of een actie leidt tot 0.1, 1, 10, 100 of 1000 kg CO_{2e} uitstoot, liter water verbruik, etc. Specifieke data kan een gevoel van nauwkeurigheid geven, maar het is goed te bedenken dat niet alle gevolgen van een bepaalde actie kunnen worden meegenomen. De eerste 90% is belangrijker dan de laatste 10% nauwkeurigheid. Het grootste voordeel van het gebruiken van verschillende milieu-impact analyses is dat we ons steeds meer bewust worden dat elke consumptie en elke actie een impact heeft op het milieu en bijdraagt aan onze (persoonlijke) voetafdruk. Elke uitkomst leert ons verder te kijken dan ons directe impact. Daarom is het ondanks dat er ruimte is voor verbetering, en die zal er altijd blijven, goed deze studies uit te voeren omdat ze de benodigde ammunities kunnen leveren in discussies rond milieu vraagstukken die anders vastlopen op geloven, meningen of wat iemand op dat moment maar goed uitkomt. De achtergrondinformatie in dit artikel stelt u hopelijk in staat om gerapporteerde getallen in context te plaatsen en hierdoor beter te handelen met de kennis van nu.

Dankbetuiging

Dank voor het constructieve, stimulerende commentaar en suggesties aan ir. A. Florea, drs. R.C. Terwisscha van Scheltinga, ing. Y.K. Galama en dr. D. Parmentier.

Literatuur

- [1] A. H. Galama, "Duurzaam, duurzamer, duurzaamst' Wie duurzaam wil leven, leeft op kleine voet...", *Green Knights.*, vol. 1, no. 4, p. 1-13, 2019.
- [2] D. Lin et al., "Tracking Supply and Demand of Biocapacity through Ecological Footprint Accounting," *Sustain. Assess. Renewables-Based Prod.*, pp. 179-199, 2015.
- [3] M. Borucke et al., "Accounting for demand and supply of the biosphere 's regenerative capacity : The National Footprint Accounts ' underlying methodology and framework," *Ecol. Indic.*, vol. 24, pp. 518-533, 2013.
- [4] D. Lin et al., "Working Guidebook to the National Footprint Accounts," 2018.
- [5] D. Lin et al., "Ecological Footprint Accounting for Countries : Updates and Results of the National Footprint 2012-2018," *Resources*, vol. 7, no. 3, 2018.
- [6] Global Footprint Network, "Ecological Footprint Standards," Oakland (CA, USA), 2009.
- [7] K. H. Erb et al., "Unexpectedly large impact of forest management and grazing on global vegetation biomass," *Nature*, vol. 553, no. 7686, pp. 73-76, 2018.
- [8] J. F. Bastin et al., "The global tree restoration potential," *Science (80-.)*, vol. 364, no. 6448, pp. 76-79, 2019.
- [9] T. Vandermaesen, R. Humphries, M. Wackernagel, A. Murthy, and L. Mailhes, "EU overshoot day - Living beyond natures limits," 2019.
- [10] M. Kulak, T. Nemecek, E. Frossard, V. Chable, and G. Gaillard, "Life cycle assessment of bread from several alternative food networks in Europe," *J. Clean. Prod.*, vol. 90, pp. 104-113, 2015.
- [11] ISO, "International Organization for Standardization 14044:2006 environmental management – life cycle assessment – Requirements and guidelines," 2006.
- [12] ISO, "International Organization for Standardization 14040:2006 environmental management – life cycle assessment – principles and framework." 2006.
- [13] P. Bhatia, C. Cummis, A. Brown, L. Draucker, D. Rich, and H. Lahd, "Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard," 2011.
- [14] J. Kitzes, "An Introduction to Environmentally-Extended Input-Output Analysis," *Resources*, vol. 2, no. 4, pp. 489-503, 2013.
- [15] K. Kanemoto, D. Moran, and E. G. Hertwich, "Mapping the Carbon Footprint of Nations," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 50, no. 19, pp. 10512-10517, 2016.
- [16] D. Ivanova et al., "Mapping the carbon footprint of EU regions," *Environ. Res. Lett.*, vol. 12, no. 5, 2017.
- [17] D. Moran, A. Hasanbeigi, and C. Springer, "The Carbon Loophole in Climate

Policy, Quantifying the Embodied Carbon in Traded Products," San Francisco, 2018.

[18] R. Wood, K. Neuhoff, D. Moran, M. Simas, M. Grubb, and K. Stadler, "The structure, drivers and policy implications of the European carbon footprint," *Clim. Policy*, pp. 1–19, 2019.

[19] T. G. Gutowski, "A Critique of Life Cycle Assessment; Where Are the People?," *Procedia CIRP*, vol. 69, no. May, pp. 11–15, 2018.

[20] M. C. McManus and C. M. Taylor, "The changing nature of life cycle assessment," *Biomass and Bioenergy*, vol. 82, pp. 13–26, 2015.

[21] R. U. Ayres, "Live Cycle Analysis: A Critique," *Res*, vol. 14, pp. 199–223, 1995.

[22] M. A. Curran, "Life Cycle Assessment: A review of the methodology and its application to sustainability," *Curr. Opin. Chem. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 273–277, 2013.

[23] A. Moreno, F. Cappellaro, P. Masoni, and A. Amato, "Application of Product Data Technology Standards to LCA Data," *J. Ind. Ecol.*, vol. 15, no. 4, pp. 483–495, 2011.

[24] G. van Capelleveen, J. Pohl, A. Fritsch, and D. Schien, "The Footprint of Things: A hybrid approach towards the collection, storage and distribution of life cycle inventory data," vol. 52, pp. 350–334, 2018.

[25] E. Mieras, A. Gaasbeek, and D. Kan, "How to Seize the Opportunities of New Technologies in Life Cycle Analysis Data Collection: A Case Study of the Dutch Dairy Farming Sector," *Challenges*, vol. 10, no. 1, p. 8, 2019.

[26] J.-H. Lee and M. Pilkington, "How the Blockchain Revolution Will Reshape the Consumer Electronics Industry [Future Directions]," *IEEE Consum. Electron. Mag.*, vol. 6, no. 3, pp. 19–23, 2017.

[27] S. Biswas, K. Sharif, F. Li, B. Nour, and Y. Wang, "A Scalable Blockchain Framework for Secure Transactions in IoT," *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 3, pp. 4650–4659, 2019.

[28] E. Kokoris-kogias, P. Jovanovic, L. Gasser, N. Gailly, E. Syta, and B. Ford, "OmniLedger : A Secure , Scale-Out , Decentralized Ledger via Sharding," 2018 IEEE Symp. Secur. Priv., pp. 583–598, 2018.

[29] G. Bansal, A. Dua, G. S. Aujla, M. Singh, and N. Kumar, "SmartChain: A Smart and Scalable Blockchain Consortium for Smart Grid Systems," in 2019 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), Shanghai, China, 2019, 2019, pp. 1–6.

[30] K. Zhang and H. A. Jacobsen, "Towards dependable, scalable, and pervasive distributed ledgers with blockchains," *Proc. - Int. Conf. Distrib. Comput. Syst.*, vol. 2018-July, pp. 1337–1346, 2018.

[31] F. Tian, "An Information System for Food Safety Monitoring in Supply Chains Based on HACCP, Blockchain and Internet of Things," *WU Vienna University of Economics and Business*, 2018.

[32] J. Malmodin and D. Lundén, "The energy and carbon footprint of the global ICT and E & M sectors 2010-2015," *Sustain.*, vol. 10, no. 9, 2018.

[33] EIA, "International Energy Outlook 2017," 2017.

[34] A. Andrae and T. Edler, "On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030," *Challenges*, vol. 6, no. 1, pp. 117–157, 2015.

[35] X. Zhou, D. Zhou, Q. Wang, and B. Su, "How information and communication technology drives carbon emissions: A sector-level analysis for China," *Energy Econ.*, vol. 81, pp. 380–392, 2019.

[36] J. C. T. Bieser, "Assessing Indirect Environmental Effects of Information and Communication Technology (ICT): A Systematic Literature Review," pp. 1–19, 2018.

[37] E. Hittinger and P. Jaramillo, "Internet of things: Energy boon or bane?," *Science (80-.)*, vol. 364, no. 6438, pp. 326–328, 2019.

[38] D. Reinsel, J. Gantz, and J. Rydning, "Data Age 2025: The Evolution of Data to Life-Critical," Framingham, MA (USA), 2017.