



Universiteit
Leiden

The Netherlands

Contributions to contribution analysis: structuring and extension of approaches to understanding contributions to impacts in Life Cycle Assessment

Meide, M.T. van der

Citation

Meide, M. T. van der. (2026, September 3). *Contributions to contribution analysis: structuring and extension of approaches to understanding contributions to impacts in Life Cycle Assessment*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4309052>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/4309052>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Samenvatting

Levenscyclusanalyse (LCA) is de primaire methode voor het evalueren van milieuprestaties gedurende de levenscyclus van een product, waarbij de interpretatiefase cruciaal is voor het identificeren van significante kwesties en het sturen van verbeteringen. Zwaartepuntsanalyse (ZA) (Engels: Contribution Analysis) is het belangrijkste instrument om te begrijpen hoe processen en stromen bijdragen aan de totale effecten, maar ondanks het belang ervan is ZA niet goed gestandaardiseerd.

ZA wordt veel gebruikt in de interpretatie van LCA om de belangrijkste bijdragers aan milieueffecten te identificeren, problemen met datakwaliteit op te sporen en parameters voor gevoeligheidsanalyse te selecteren. ZA mist echter een overkoepelende definitie en gestructureerde methodologie, wat leidt tot inconsistente en soms niet-reproduceerbare resultaten en een lagere geloofwaardigheid van LCA-studies. Er bestaan verschillende benaderingen voor ZA die twee verschillende kanten kunnen beoordelen: directe bijdragen (bijv. CO₂-uitstoot door elektriciteitsproductie) en indirecte bijdragen (bijv. CH₄-uitstoot tijdens kolenwinning voor de productie van elektriciteit met kolen). Elke benadering kan een of beide van deze kanten vanuit een ander perspectief evalueren.

Voor grote groepen processen is een gecombineerde Directe en Indirecte ZA echter niet eenvoudig toe te passen. De 'Hypothetical Extraction Method' (HEM), gebruikt binnen het vakgebied Input-Outputanalyse, is in principe wel in staat om een dergelijk perspectief op ZA te bieden. Het was echter onduidelijk of deze benadering kon worden toegepast in LCA en welke nieuwe inzichten dit zou kunnen opleveren.

ZA wordt nog belangrijker in de context van prospectieve LCA (pLCA), waarbij scenario-gestuurde veranderingen in de data het moeilijker maken om resultaten te interpreteren. In pLCA is *Premise* momenteel het meest gebruikte instrument, waarmee toekomstige versies van achtergrond-databases worden gegenereerd op basis van scenario-verhaallijnen. Om inzicht te krijgen in de specifieke uitdagingen die verschillende benaderingen van ZA met zich meebrengen en hoe deze kunnen worden overwonnen, heeft deze thesis ZA toegepast in drie pLCA-casussen. Deze casussen zijn gekozen om de volgende redenen: 1) kobaltproductie vanwege de beperkte productieschaal maar de

sterk verwachte toename in vraag; 2) zand- en grindproductie, gezien de vraag naar beton en de aanzienlijk grotere productieschaal in vergelijking met kobalt; en 3) evaluatie van de pLCA-tool *Premise* via analyse van negen veelgebruikte industriële producten om de oorzaken achter toekomstige milieueffecten te verduidelijken.

Op deze manier was het hoofddoel van deze thesis om ZA te structureren en, waar nodig, te formaliseren, en om te leren van praktische casussen zodat deze toolbox van benaderingen nuttiger wordt voor LCA gebruikers.

Hoofdstuk 2 biedt een overkoepelende definitie van Zwaartepuntsanalyse die de huidige toepassingen van de term omvat en verschillende benaderingen structureert. Er wordt onderscheid gemaakt tussen benaderingen voor directe en indirecte bijdragen. De verschillende benaderingen worden geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld-casus en de verschillen tussen de benaderingen worden besproken. Elke van deze benaderingen biedt een uniek inzicht in LCA resultaten. Vijf directe en drie gecombineerde directe en indirecte benaderingen worden beschreven.

De vijf directe benaderingen zijn:

- **Individuele elementaire stroom (ES)** ZA van specifieke individuele ESen uit afzonderlijke processen (Individuele ES ZA), bijv. de bijdrage van CH₄ emissies uit één specifiek proces 'kolenwinning'.
- **ES ZA**, van één ES over alle processen, bijv. de bijdrage van alle CO₂ stromen uit alle processen in het systeem.
- **Proces ZA**, van alle ESen per proces, bijv. de bijdrage van alle ESen (CO₂, CH₄ enz.) van het proces 'elektriciteitsproductie met kolen' aan de effectcategorie klimaatverandering.
- **ES groep ZA**, van groepen ESen, bijv. de bijdrage van een groep van alle koolstofhoudende elementaire stromen.
- **Procesgroep ZA**, van groepen processen, bijv. de bijdrage van alle processen voor 'elektriciteitsproductie'.

Er zijn ook drie gecombineerde Directe + Indirecte benaderingen geïntroduceerd:

- **Eerste-Orde (Engels: First-Tier) ZA**, die de directe bijdrage van het proces van de functionele eenheid (FE) en de directe + indirecte bijdrage van elke productstroom van de FE meet, bijv. de bijdrage van 'aluminiumproductie' en de bijdrage van alle productstromen

die nodig zijn voor ‘aluminiumproductie’, zoals ‘elektriciteit’ en ‘bauxiet’.

- **Levenscyclusstadium ZA**, gebaseerd op levenscyclusstadia, bijv. de bijdrage van levenscyclusstadia zoals ‘productie’, ‘gebruik’ en ‘einde levensduur’.
- **Pad-CA**, bijdragen vanuit een pad (bijv. waardeketen) van processen, vaak gevisualiseerd in Sankey-diagrammen, bijv. de bijdrage van productstromen door het gehele productsysteem die leiden tot de uiteindelijke LCA-score, waarbij het ‘pad’ van bijdragen wordt weergegeven.

Richtlijnen werden geformaliseerd voor praktijkgebruikers over hoe zij hun ZA-methodologieën en resultaten kunnen rapporteren en presenteren, zodat LCA-studies beter reproduceerbaar en interpreteerbaar worden. In de eerste plaats moet, wanneer ZA wordt toegepast, worden beschreven dat iets bijdraagt *van* een entiteit (bijv. een proces of ES) *aan* een andere entiteit (bijv. LCI of een gekarakteriseerd resultaat). Het werk in Hoofdstuk 2 beoogt bij te dragen aan een kwalitatief hoger en beter reproduceerbaar corpus van LCA-literatuur en meer goed onderbouwde conclusies.

Hoofdstuk 3 introduceert de HEM in LCA door het uiteenzetten van een vierstappenplan en biedt daarbij een wiskundig kader om deze stappen toe te passen. HEM wordt gedemonstreerd als een ZA benadering aan de hand van een kleine voorbeeldcasus en een groter voorbeeld met gebruik van ecoinvent. Het toepassen van HEM biedt inzichten in situaties waarin een indirect perspectief vereist is, en voor groepen processen zoals industriële sectoren of regio's. Hoewel andere bestaande benaderingen hun eigen voordelen hebben, kunnen zij dit perspectief niet effectief bieden. Het werk in Hoofdstuk 3 laat zien hoe en wanneer HEM een nuttige benadering kan zijn voor ZA in gevallen waarin huidige ZA benaderingen tekortschieten, zoals bij het beoordelen van de directe en indirecte bijdragen van groepen processen, en biedt daarmee een aanvullende ZA benadering voor de LCA praktijkgebruiker om milieueffecten van hun productsystemen beter te begrijpen.

Vervolgens zijn Hoofdstukken 4, 5 en 6 drie casussen die gebruikmaken van ZA met als doel te leren van de toepassing van ZA in praktische situaties. Hoofdstuk 4 is een casus waarin pLCA wordt toegepast op de productie van kobalt. Procesgroep ZA werd gebruikt om te beoor-

delen welke procesgroepen de belangrijkste bijdragen leverden in elk van deze variabele scenario combinaties. De processen werden gegroepeerd op basis van de producten die zij produceren (bijv. alle elektriciteitsproductie). Deze casus leverde de belangrijkste inzichten die hebben geleid tot de structurering van ZA in Hoofdstuk 2.

Hoofdstuk 5 is een casus waarin pLCA wordt toegepast op de productie van zand en grind. Procesgroep en Eerste Orde bijdragen (bijdragen van producten aan de productie van beton) werden beoordeeld. Deze ZA benaderingen werden gebruikt om te analyseren hoe conventionele productie en productie uit recycling tot verschillende milieueffecten leiden, en om de bijdragen van zand, grind en cement aan betonproductie te tonen. Deze casus leverde als belangrijkste inzicht op dat de huidige gecombineerde Directe + Indirecte benaderingen niet effectief kunnen worden toegepast op grote groepen processen. HEM, zoals geïntroduceerd in Hoofdstuk 3, helpt om dit perspectief binnen LCA te bieden.

Hoofdstuk 6 is een studie waarin negen belangrijke industriële producten uit de *Premise* database worden geanalyseerd. ZA via procesgroep ZA en HEM werd gebruikt om het effect te beoordelen van vijftien grote productgroepen die industriële sectoren vertegenwoordigen die vergelijkbare producten produceren. De ZA benaderingen werden gebruikt om de directe en gecombineerde directe + indirecte bijdragen van deze groepen aan de negen producten te beoordelen. Procesgroep ZA is essentieel in deze analyse om te laten zien waar bijdragen (of veranderingen daarin) vandaan komen. HEM maakte het mogelijk vast te stellen dat sommige sectoren een belangrijke rol spelen als ‘verbindende’ sectoren. Deze verbindende sectoren/processen hebben zelf niet noodzakelijkerwijs grote bijdragen, maar ‘verbinden’ met andere processen in het productsysteem die wel grote bijdragen hebben. Deze analyse van indirecte bijdragen van grote procesgroepen was mogelijk dankzij de aanpassing van HEM uit de input outputanalyse (IOA) naar LCA in Hoofdstuk 3.

Gezamenlijk tonen de inzichten uit alle drie de casussen aan dat het belangrijk is om duidelijke categorieën van ZA benaderingen te definiëren en nieuwe benaderingen te ontwikkelen om nieuwe perspectieven te analyseren wanneer dat relevant is, zoals HEM.

Concluderend: door ZA benaderingen te verdelen in twee perspectiefgroepen, namelijk Direct en Indirect, en duidelijk te beschrijven hoe deze benaderingen moeten worden toegepast van een bepaalde entiteit naar een andere entiteit, is ZA beter gestructureerd. Daarnaast kunnen in de toekomst andere benaderingen aan dit kader worden toegevoegd, zoals HEM. Deze structuur biedt praktijkgebruikers een gemeenschappelijke taal om ZA benaderingen te bespreken en helpt hen te bepalen welke benaderingen zij nodig hebben voor hun werk.

Het is belangrijk dat een praktijkgebruiker begrijpt hoe ZA past binnen het doel en de reikwijdte van hun LCA studie, beschrijft hoe de ZA methodologie in een studie is toegepast en ten slotte de resultaten duidelijk interpreteert en rapporteert. Hoewel ZA een uitgebreide toolbox van benaderingen is, brengen de verschillende benaderingen elk hun eigen beperkingen met zich mee, waarvan praktijkgebruikers zich bewust moeten zijn bij het toepassen van ZA. Tot slot blijkt uit deze thesis ook dat het gebruik van meerdere ZA benaderingen in studies in veel gevallen zinvol is, omdat dit meerdere perspectieven en diepere inzichten op dezelfde onderliggende resultaten kan bieden.

Wel dient opgemerkt te worden dat in deze thesis alleen ZA benaderingen uit de literatuur zijn bestudeerd. LCA is een toegepast vakgebied en er bestaan veel verschillende LCA softwarepakketten, elk met hun eigen functionaliteiten. Deze softwareopties zouden eveneens beter bestudeerd moeten worden. LCA software is de ‘laboratoriumapparatuur’ van LCA praktijkgebruikers en het vermogen om de werking van deze apparatuur te verifiëren is essentieel voor het vertrouwen in de resultaten die in dit vakgebied worden gegenereerd.

Verder richt deze thesis zich op ZA toegepast op gekarakteriseerde resultaten (bijv. na de omzetting van CO₂ en CH₄ emissies naar ‘klimaatverandering’). Hoewel de meeste studies zich momenteel richten op gekarakteriseerde resultaten, kan het toepassen van ZA op inventaris-, genormaliseerde of gewogen resultaten ook nuttige inzichten opleveren en dient dit binnen LCA niet te worden vergeten.