



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Life cycle assessment-based guidance for development of new energy technologies

Giesen, C.C. van der

Citation

Giesen, C. C. van der. (2020, October 27). *Life cycle assessment-based guidance for development of new energy technologies*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/137930>

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/1887/137930>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/137930> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Giesen, C.C. van der

Title: Life cycle assessment-based guidance for development of new energy technologies

Issue date: 2020-10-27

Samenvatting

De ontwikkeling van nieuwe milieuvriendelijke technologieën wordt gezien als een belangrijke stap naar een duurzame wereld. In het wetenschappelijke veld van de industriële ecologie wordt technologie beschouwd als de belangrijkste factor voor het verminderen van de milieueffecten van menselijk handelen. Het ontwikkelen van groenere, schonere en efficiëntere technologieën (bijvoorbeeld door minder of efficiënter gebruik van grondstoffen) is daarom in toenemende mate de focus van veel onderzoeksprojecten. In deze projecten speelt het onderzoeken van potentiële toekomstige milieueffecten van nieuwe technologieën een steeds grotere rol. Het doel van dit proefschrift was het ontwikkelen van een toekomstgerichte beoordelingsmethode gebaseerd op levenscyclus analyse (LCA). Deze methode kan worden gebruikt om in een vroeg ontwikkelstadium van nieuwe technologie de potentiële milieueffecten te onderzoeken en deze inzichten mee te nemen in de ontwikkeling en het ontwerp van nieuwe energietechnologieën. Het uitgevoerde onderzoek is opgebouwd rond drie complementaire en opeenvolgende onderzoeksvragen:

1. “Aan welk randvoorwaarden moet de LCSA methode voldoen, wil dit een nuttige methode zijn om nieuwe technologieën in een vroeg stadium van ontwikkeling te beoordelen?” (Hoofdstuk 2)
2. “Welke uitdagingen komen in de praktijk voor wanneer LC(S)A wordt toegepast om technologieën in een vroeg stadium van ontwikkeling te beoordelen?” (hoofdstuk 3 en 4)
3. “Kunnen we algemene principes vinden om de toekomstige milieueffecten van technologieën in een vroeg ontwikkelingsstadium te beoordelen?” (hoofdstuk 5)

Bij de start van dit promotie onderzoek was *Life Cycle Sustainability Analysis* (LCSA) de meest uitgebreide vorm van LCA beschikbaar. Een logisch uitgangspunt voor dit proefschrift was dan ook om te beginnen met het onderzoeken van de toepasbaarheid en bruikbaarheid van LCSA voor de beoordeling van nieuwe technologieën (vraag 1). Omdat tekortkomingen in de LCSA-aanpak werden gevonden, werd besloten om twee LCA-casestudy's uit te voeren met betrekking tot twee technologieën in vroege stadia van ontwikkeling. Door uitvoering van deze casestudies kon worden onderzocht welke praktische uitdagingen zich voordoen als LCS(S)A wordt toegepast in een vroeg ontwikkelstadium van een technologie (vraag 2). Ten slotte zijn alle inzichten gecombineerd in het formuleren van een algemene benadering voor toekomstige ex-ante LCA-onderzoeken (vraag 3).

Hoofdstuk 2 beantwoordt vraag 1 en verkent aan welke randvoorwaarden voor het LCSA-kader moet voldoen om nuttig te zijn voor de beoordeling van nieuwe technologieën. De conclusie uit hoofdstuk 2 is dat LCSA als holistische methode niet specifiek genoeg is voor het uitvoeren van een ex-ante LCA van nieuwe technologieën. Een LCSA-onderzoek dient te starten met een brede maar relevante systeembeschrijving. Het ontbreken van zo'n systeembeschrijving geeft dan wel voldoende speelruimte bij de kwalitatieve bespreking van de mogelijke milieu impact van een nieuwe technologie, maar belemmert het krijgen van kwantitatief inzicht van de oorzaken van mogelijke milieu impact. Dit maakt het moeilijk om ontwikkelaars van nieuwe technologieën specifieke handvatten te geven over ontwikkelkeuzes waarmee de milieueffecten van dergelijke nieuwe technologieën kunnen worden geminimaliseerd. Door de beoordeling te starten met een brede systeembeschrijving, kunnen vragen over de potentiële impact van een nieuwe technologie concreet worden gemaakt en specifiek worden beantwoord, wat inzicht biedt voor verdere research & development van deze technologieën.

Hoofdstuk 3 rapporteert een LCA-casestudy over de productie van brandstoffen uit CO₂. Er is toenemende belangstelling voor het gebruik van CO₂ als grondstof in alternatieve routes voor de productie van vloeibare fossiele brandstoffen. Brandstoffen die worden geproduceerd uit CO₂ en door gebruik te maken van zonne-energie, staan ook wel bekend als *solar fuels*, waarvan wordt beweerd dat ze duurzaam zijn. Hoofdstuk 3 gebruikt LCA om enkele duurzaamheidsclaims met betrekking tot *solar fuels* te onderzoeken. De conclusie is dat het produceren van vloeibare fossiele brandstoffen uit CO₂ met bestaande technologieën veel meer energie kost dan conventionele productie routes. Een verbetering van de totale CO₂ uitstoot over de gehele levenscyclus wordt alleen gevonden als gebruik wordt gemaakt van zonne-energie en CO₂ die wordt afgevangen uit de atmosfeer.

Hoofdstuk 4 rapporteert een LCA-casestudy waarin twee manieren om CO₂ af te vangen worden vergeleken. Het gaat om *post combustion capture* (PCC) waarbij met behulp van mono-ethanolamine (MEA) CO₂ wordt afgevangen uit de rookgassen van een elektriciteitscentrale en een nieuwe technologie genaamd *humidity swing direct air capture* (HS-DAC) waarmee CO₂ rechtstreeks uit de atmosfeer wordt afgevangen.

Het meest voorgestelde systeem voor CO₂-afvang en -opslag (CCS) maakt gebruik van de afvang van CO₂ uit rookgassen. De technologie voor het afvangen van CO₂ uit de atmosfeer wordt als niet levensvatbaar geacht vanwege de hogere energiebehoefte die gepaard met de lage CO₂ concentratie in de buitenlucht. Hoofdstuk 4 kijkt echter verder dan het CO₂ afvangproces alleen en laat zien dat HS-DAC, afhankelijke van de geschikte weersomstandigheden (temperatuur, luchtvochtigheid, wind) en

waterbeschikbaarheid, grotendeels passief kan opereren, waardoor de energie behoefte laag is. HS-DAC is daarom in specifieke geografische zeer geschikt als aanvulling op de MEA-PCC technologie. HS-DAC kan CO₂-afvang onafhankelijk van tijd en emissielocatie mogelijke maken en tevens ook compenseren voor andere broeikasgassen dan CO₂.

De belangrijkste inzichten uit de casestudy's in **hoofdstukken 3 en 4 beantwoorden vraag 2**. Ten eerste kost het opzetten van een ex-ante LCA-studie meer inspanning en middelen. Bijvoorbeeld in het definiëren van de functie of toekomstige toepassing van een nieuwe technologie. De basis van elk LCA-model ligt in het definiëren van systeem functionaliteit en de functionele eenheid. Een simpele vuistregel op het gebied van LCA zegt dat de functie van een systeem zo dicht mogelijk bij het 'eindgebruik' moet worden gekozen. In de praktijk kan dit betekenen dat de systeemgrenzen moeten worden uitgebreid om een systeem te definiëren waarin rekening wordt gehouden met alle (of de meeste) kenmerken van de te beoordelen technologie. Het proces waarin de mogelijke toepassing van een nieuwe technologie wordt gedefinieerd biedt ook inzicht in de relevante context. Deze bestaat uit concurrerende technologieën maar ook (hulp) technologieën die nodig zijn om de nieuwe technologie te laten functioneren zoals gedefinieerd. Hoewel de toekomstige toepassing van een nieuwe technologie misschien onzeker is, biedt het geven van een strikte definitie om de analyse mee te beginnen de basis om deze onzekerheid verder te onderzoeken. Daarnaast geeft deze inzicht in het totale technologische systeem en technologie-ontwikkelaars inzicht in de milieueffecten op systeemniveau in plaats van proces niveau

Ten tweede blijkt dat het toepassen en gebruiken van een systeem benadering om potentiële effecten van verschillende alternatieven te beoordelen niet gebruikelijk is in de praktijk van technologieontwikkeling. Dit inzicht is gebaseerd op verschillende kritieken op de casestudy's. Vaak werd naar voren gebracht dat de gerapporteerde case study-resultaten alleen het voor de hand liggende ondersteunen (bijv. dat het maken van brandstoffen uit CO₂ inderdaad meer energie vereist dan conventionele brandstoffen). Een andere terugkerende opmerking was dat de analyse werd uitgevoerd op een zogenaamd verkeerd of suboptimaal systeem. In plaats van inzichten te verschaffen op basis van de beschikbare kennis, zagen sommige technologie ontwikkelaars de uitgevoerde analyses als vooringenomen. Deze kritiek lijkt te zijn gebaseerd op de gangbare technische praktijk waarbij de focus primair ligt op technische werkzaamheid van een technisch systeem terwijl men lijkt te vergeten dat het argument om deze technologie te ontwikkelen is om de milieu impact te verminderen. Dit leidt automatisch tot het optimaliseren van specifieke procesparameters zoals efficiëntie en opbrengst. Deze worden vervolgens vertaald naar de laagste economische kosten per afgevangen ton

CO₂. Vanuit systeemperspectief kan worden beargumenteerd of in ieder geval worden onderzocht of een lagere procesefficiëntie ook een lagere systeemefficiëntie oplevert die nodig is om de status quo-situatie te verbeteren. Als gevolg van deze ervaring wordt aanbevolen om meer moeite te doen om de klassieke technische benadering en praktijk uit te breiden met systeem analyses.

Hoofdstuk 5 beantwoordt vraag 3 door methodologische uitdagingen voor ex-ante LCA te identificeren en mogelijke oplossingen te bieden voor deze uitdagingen. De eerste uitdaging is het modelleren van consistente toekomstige voorgrondsystemen voor de reeds bestaande en de nieuw voorgestelde technologiesystemen. Het gebruik van leercurven en scenario's bieden hier uitkomst. De tweede uitdaging is het modelleren van toekomstige achtergrondsystemen. Een oplossing is hier om bestaande LCI-databases te transformeren naar een mogelijke toekomst door deze te combineren met informatie uit *Integrated Assessment Models* (IAM's). Ten slotte is de onzekerheid in ex-ante LCA's van een andere orde dan de onzekerheid in conventionele (ex-post) LCA studies. Het belangrijkste verschil met conventionele LCA-onderzoeken is de zeer onzekere informatie voor de toekomst. Om dit te erkennen, moet veel aandacht worden besteed aan de discussie over deze onzekerheden, zowel bij de opzet van de studie als bij de gebruikte gegevens. Benaderingen uit de sociale wetenschap zoals *responsieve evaluation* kunnen hierbij een ondersteunende rol spelen. Deze benadering vergroot de transparantie en bruikbaarheid van de resultaten doordat de relevante stakeholders en experts worden betrokken. Op deze manier ontlenen technologie ontwikkelaars en andere belanghebbenden inzicht in de invloed van ontwerpkeuzes en contextuele factoren (die belangrijk, maar moeilijk te beïnvloeden zijn) op de potentiële milieueffecten van de door hun voorziene technologie.

Hoofdstuk 6 concludeert dat de methodologische uitdagingen die reeds aanwezig zijn in conventionele LCA's nog uitdagender zijn in ex-ante LCA. Daarnaast blijkt dat ex-ante LCA inzichten verschaft door de uitvoering van de studie zelf en dat de numerieke resultaten op zich minder relevant zijn hoewel deze wel de discussie over de inzichten faciliteren. De ervaring die met dit onderzoek is opgedaan, biedt de volgende aanbevelingen om de bestaande praktijk van ex-ante LCA te verbeteren. Ten eerste, er is grote behoefte aan ervaring met het gebruik van toekomstscenario's op het gebied van nieuwe energietechnologieën als wel van reeds gevestigde technologieën. Ten tweede is er, om representatieve toekomstige achtergrondgegevens te verkrijgen, behoefte aan verdere integratie van het gebruik van Integrated Assessment Modeling en LCI-databases. Ten derde zijn ex-ante LCA studies onderhevig aan toenemende onzekerheid. Er moet worden onderzocht hoe met deze onzekerheden om te gaan. Een goed uitgangspunt hiervoor lijkt het toepassen van *responsive evaluation* en de nu nog conceptuele benadering van hoge onzekerheid door middel van *deep uncertainty*.