



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Development of life cycle assessment for residue-based bioenergy

Wiloso, E.I.

Citation

Wiloso, E. I. (2015, October 29). *Development of life cycle assessment for residue-based bioenergy*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/35987>

Version: Corrected 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/1887/35987>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/35987> holds various files of this Leiden University dissertation

Author: Wiloso, Edi Iswanto

Title: Development of life cycle assessment for residue-based bioenergy

Issue Date: 2015-10-29

Samenvatting

Volgens optimistische schattingen zou rond 2050 bio-energie op duurzame wijze eenderde van de mondiale energieproductie kunnen verzorgen, tegenover de tien procent van dit moment. In het bijzonder wordt verwacht dat de rol van op residuen gebaseerde bio-energie zal toenemen, omdat voedsel en energie elkaar beconcurreren wat betreft grondstoffen (suiker, zetmeel en plantaardige oliën). Ten gevolge van deze competitie is het gebruik van niet voor voedsel geschikte grondstoffen, zoals stookhout voor de bereiding van eten, toegenomen. Deze ontwikkeling toont aan dat er nog steeds belangrijke redenen zijn om het gebruik van bio-energie op een efficiënte en milieuvriendelijke wijze verder te ontwikkelen. De genoemde trend wordt verder versterkt door de resultaten van onderzoek naar opkomende omzettingstechnologieën, zoals tweedegeneratie bio-ethanol. De potenties voor biomassa-residuen zijn groot omdat dit materiaal in overvloed aanwezig is in veel verschillende landen. De mondiale productie van alleen al gewasresiduen kan 3,8 miljard ton per jaar bedragen, wat energetisch neerkomt op 70 EJ. Deze grondstoffen moeten echter met zorg beheerd worden omdat ze naast een energetische rol ook andere rollen kunnen vervullen. In het bijzonder dragen dergelijke residuen op plantages bij aan de instandhouding van de bodemvruchtbaarheid en oogsten in latere jaren. Verder kunnen ze verwerkt worden tot kunstmest, voedsel, vezels, of andere bronnen voor bioraffinaderijen.

Het overkoepelende idee van deze dissertatie is de ontwikkeling van een methode ter vergelijking van de effecten van enerzijds het achterlaten van biomassa-residuen en anderzijds het gebruik ervan ten behoeve van bio-energie. Dientengevolge zijn de doelstellingen van dit proefschrift het voerkennen van de aandachtspunten bij het gebruik van levenscyclusanalyse (LCA) van op residuen gebaseerde bio-energie, en het voorstellen van verbeteringen in de procedures voor LCA, in het bijzonder van de onderdelen levenscyclusinventarisatie (LCI), de levenscyclus-effectbeoordeling (*life cycle impact assessment*, LCIA), en de methodische keuzes in een vergelijkende LCA. Er blijken vier elementaire onderdelen van belang te zijn, te weten excessieve verwijdering van residuen van het land waardoor de bodemvruchtbaarheid aangetast wordt, de waardering van de residuen ten opzichte van de biomassa-producten, de concurrerende aanwending (bio-energie, voedsel, vezels, bemesting), en de behandeling van kooldioxide van biogene oorsprong (de aanname van koolstofneutraliteit versus een volledige koolstofboekhouding). Deze kenmerken vereisen een specifieke behandeling in LCA-methode die verschilt van de LCA-methoden voor gewone producten. De methodische aspecten betreffen: [1] een oplossing voor de diversiteit in methode om met biogeen koolstof om te gaan; [2] een LCIA-methode voor de effecten van het weghalen van biomassa-residuen op biomassa-productiviteit; en [3] methodische keuzen wat betreft de vergelijkende LCA van biomassa-gebruik.

Om deze doelen te bereiken zijn vijf onderzoeksvragen geformuleerd en beantwoord in de hoofdstukken 2 tot en met 6. In hoofdstuk 2 worden de kernapecten geïdentificeerd. De doelbepaling is een belangrijke eerste stap, omdat de keuze van de te hanteren methode afhangt van de doelstelling van het onderzoek. De methodische keuzen betreffen de systeemgrens, de functionele eenheid, de inventarisatiegegevens, en de oplossing van het multifunctionaliteitsprobleem met behulp van toerekening. Onder deze noemer valt daarnaast de discussie over attributie en consequentiële LCA, die voor bio-energie nog belangrijker is dan voor gewone producten.

Bio-energie stelt meer methodische uitdagingen dan andere energiebronnen omdat de systeemgrens bij landbouwprocessen een grote rol speelt. Hierbij speelt onder meer de vraag hoe om te gaan met biogeen koolstof wat betreft het vastleggen van kooldioxide en de uitstoot daarvan. Daarnaast bevinden landbouwprocessen zich op de grens van economie en milieu. De LCA-methode is verder nogal onduidelijk in het onderscheid tussen directe en indirecte veranderingen van het gebruik van land, de regionale variabiliteit die tot een

geregionaliseerde effectanalyse leidt, en de keuze van de effectcategorieën. Dit zijn allemaal uitdagingen voor de verdere ontwikkeling van LCA voor een betere analyse van bio-energiesystemen.

Hoofdstuk 3 onderzoekt de milieuduurzaamheid van tweedegeneratiebiobrandstoffen. Ondanks de verschillen in de systeembakening in de geanalyseerde LCA-studies kan worden geconcludeerd dat tweedegeneratiebiobrandstoffen een milieuverbetering opleveren, in ieder geval wat betreft de twee meest onderzochte criteria, te weten de netto energieopbrengst en het broeikas effect. Wat betreft dit laatste criterium blijkt dat koolstofvastlegging door biomassa productie de uitsoot van broeikasgassen kan reduceren bij hoge ethanolpercentages ($\geq 85\%$).

De gevolgen van de berekeningswijze van biogeen koolstof en van de agrochemische grondstoffen zijn in de literatuur niet op consistente wijze geanalyseerd. De conversie van bio-ethanol is voornamelijk gebaseerd op simultane saccharificatie en co-fermentatie, die worden gekenmerkt door een hoge opbrengst en een laag energiegebruik. De LCA-resultaten geven hier een onderschatting van de echte milieueffecten. De keuze van de toerekeningsmethode bepaalt in sterke mate de eindresultaten, vooral wanneer de economische waarde gebruikt wordt. De substitutiemethode blijkt de meest gebruikte methode te zijn, gevolgd door de verdelingsmethode op basis van massa, energie en economische waarde.

In hoofdstuk 4 wordt de veronderstelling van koolstofneutraliteit onderzocht. Het blijkt dat de broeikas effectscores bij inachtnaam van de LCA-principes waarbij een volledige boekhouding van alle in- en uitstromen wordt gevolgd resultaten geeft die sterk afwijken van die waarbij koolstofneutraliteit wordt aangenomen. In aanvulling op de gebruikelijke argumenten betreffende de koolstofvoorraadverandering en de koolstofopslag in langdurige bosbouw of houtproducten vindt deze studie aanwijzingen dat de aanname van neutraliteit van biogeen koolstof tot afwijkingen leidt van de 'juiste' waarde bij een complete analyse. De grootte van deze afwijkingen, die de resultaten aanzienlijk omhoog of omlaag laten gaan, verschilt van geval tot geval. Drie factoren spelen wat dat betreft een rol. Dit zijn de verschillen in de systeemgrenzen (wieg-tot-graf vs. wieg-tot-poort), de vorm van de koolstofemissie (CO_2 vs. CH_4), en de waardering van biogeen koolstof (product vs. residu). Verwacht wordt dat de resultaten van deze studie bij zullen dragen aan een nadere harmonisatie van toekomstige LCA-methodes voor bio-energie; dit door in toekomstige onderzoeken meer gebruik te maken van een volledige analyse in plaats van de aanname van koolstofneutraliteit.

In hoofdstuk 5 wordt het effect van de verwijdering van biomassa-residuen op biomassa productiviteit gemodelleerd. Dit gebeurt door de ontwikkeling van een methode voor effectbepaling, die de verwijdering van biomassa-residuen relateert aan het organisch koolstof in de bodem en de netto primaire productie. Deze methode is ontwikkeld voor een specifieke LCA-systeembakening, namelijk een waarbij afgebroken biomassa-residuen boven het bodemoppervlak leiden tot een nettostroom van koolstof naar het bodemcompartiment. Het organische koolstof in de bodem is ook een element in de balans waarbij verder broeikasgasemissies naar de atmosfeer een rol spelen. De beoordelingsmethode beschouwt de effecten op organisch koolstof in de bodem als een zogeheten midpoint indicator, uitgedrukt in het verlies aan netto primaire productie. De methode is in overeenstemming met de ISO-normen, en bestaat uit een karakteriseringsfactor en een term die de milieu-ingreep vertegenwoordigt:

$$(\Delta \text{NPP})_{\% \text{Removal}} = \left(\frac{\text{dNPP}}{\text{dSOC}} \right)_{\text{Climate, Vegetation, Soil}} \times \frac{\text{dSOC}}{\text{d}\% \text{Removal}} \times \% \text{Removal}.$$

Hierbij stelt NPP de netto primaire productie voor in g-koolstof/($\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$), en SOC het organische koolstofgehalte in g-koolstof/ m^2 .

Het gebruik van de voorgestelde methode is geïllustreerd aan de hand van een beperkte case study. Hierbij bleek dat de methode goede mogelijkheden biedt om een indicator voor de beoordeling van de duurzaamheid bio-energiesystemen te ontwikkelen. Voor een algemeen gebruik in andere situaties zijn nadere regio-specifieke gegevens nodig.

In hoofdstuk 6 worden de effecten van een aantal verwerkingsmethodes van biomassa-residuen tot palmolie vergeleken, met de nadruk op de rol van de methodische keuzes. Richtlijnen voor dergelijke keuzes wat betreft systeemafbakening, functionele eenheid en de behandeling van het multifunctionaliteitsprobleem worden voorgesteld. Deze methodes kunnen worden gebruikt om op systematische wijze de LCA-resultaten van verschillende behandelingsmethodes en waarderingsscenario's van lege palmtrossen (*empty fruit bunches*, EFB) in een palmoliesysteem te onderzoeken. Een vergelijking op basis van dezelfde functionele eenheid is alleen mogelijk als de overige co-producten intern gebruikt worden. Op basis van het broeikaseffect is de verwerking tot bodembedekking te verkiezen boven de andere opties (verwerking tot compost, productie van ethanol, verwijdering in een afvalverbrander, verkoop als co-product). Omdat de resultaten sterk afhangen van de lokale gegevens is een nadere controle van dit resultaat echter noodzakelijk. Het eindresultaat wordt in sterke mate bepaald door het effect van het vermeden proces van kunstmestproductie en de aanname dat de bodembedekking geheel beschikbaar is als bemester. Het onderzoek laat ook zien dat de status van EFB als zijnde een goed of afval invloed heeft op de eindresultaten, maar alleen wanneer EFB extern gebruikt wordt en niet wanneer het gebruik intern is.

Kennis aangaande de beste alternatieven voor het beheer van biomassa-residuen zoals EFB kan de milieuprestaties verbeteren en de richtlijnen voor verantwoord gebruik aanscherpen. Een nadere studie waarbij plaatsspecifieke details wat betreft palmoliesystemen worden meegenomen kunnen de bruikbaarheid van de voorgestelde richtlijnen verder illustreren. Deze benadering is behalve voor palmoliesystemen ook bruikbaar voor biomassa-residuen in andere op landbouw gebaseerde industriële systemen.