

University of Groningen

The role of biomass in a low-carbon energy system

Lap, Tjerk

DOI:
[10.33612/diss.252011492](https://doi.org/10.33612/diss.252011492)

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2022

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Lap, T. (2022). *The role of biomass in a low-carbon energy system: capturing the complexity of biobased options, land use and carbon balances in an energy system model demonstrated for Brazil*. University of Groningen. <https://doi.org/10.33612/diss.252011492>

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

SAMENVATTING

Voor het tegengaan van de opwarming van de aarde dient er een transitie plaats te vinden waarbij fossiele energie wordt vervangen door hernieuwbare bronnen. Biomassa kan hierbij een belangrijke rol vervullen. Het is een veelzijdige bron die kan worden gebruikt voor het opwekken van warmte, elektriciteit, transportbrandstoffen en als grondstof voor de productie van chemicaliën. Daarnaast kan biomassa makkelijk worden opgeslagen, in tegenstelling tot zonne- en windenergie (Variable Renewable Energy, VRE) die afhankelijk zijn van weer- en seizoensinvloeden. Hierdoor kan biomassa relatief simpel worden geïntegreerd in de bestaande energie-infrastructuur. Andere voordelen zijn dat in sommige sectoren (e.g. de petrochemische industrie) biomassa als feedstock een zeer belangrijk alternatief is voor aardolie. Er zijn echter ook belangrijke risico's verbonden aan de productie van biomassa, zoals het vrijkomen van broeikasgasemissies door veranderend landgebruik, verlies van biodiversiteit, een potentieel negatieve invloed op voedselzekerheid en watergebruik.

In de huidige klimaatscenario's speelt biomassa een grote rol in het verminderen van broeikasgasemissies. Echter, de verschillen over de inzet tussen deze scenario's zijn groot (75-248 EJ in 2050). Hiervoor zijn verschillende redenen aan te wijzen. Eén hiervan is dat er grote onzekerheid is over het toekomstige potentieel van biomassa en de bijbehorende broeikasgasemissies door landgebruiksverandering. Een andere factor is de kosteneffectiviteit om CO₂ te reduceren, in relatie tot andere CO₂ reducerende maatregelen. Rekening houdende met deze uitdagingen, is er een behoefte aan een methode en tooling om transitiepaden van het complete energiesysteem in combinatie met landgebruikseffecten te onderzoeken.

Uit het bestaande wetenschappelijke onderzoek blijkt echter dat de integratie van biomassa in bestaande energiesysteem modellen lastig is, met name omdat het energiesysteem en het landgebruikssysteem met elkaar verweven zijn en huidige energiesysteemmodellen niet gebouwd zijn om veranderingen in het landgebruikssysteem mee te nemen. Bio-energie gerelateerde broeikasgasemissies zijn niet gekoppeld aan het directe gebruik van energie, maar ze kunnen op verschillende plekken in de wereld plaatsvinden, en op andere tijdstippen. Het meenemen van dergelijke tijd- en plaats gerelateerde dynamiek is essentieel voor het kwantificeren van de bijdrage die biomassa kan leveren aan het verminderen van broeikasgasemissies en het voldoen aan de finale vraag naar energie. Daarnaast is het belangrijk om een compleet portfolio van beschikbare CO₂ reducerende maatregelen in te bouwen in de modelstructuur. Innovatieve opties voor de conversie van biomassa zijn niet altijd goed meegenomen. Voorbeelden hiervan zijn productieroutes voor bio-chemicaliën, bio-kerosine voor de luchtvaart en afvang en opslag van CO₂ in de ondergrond (Carbon Capture & Storage, CCS) in combinatie met biomassaconversie (BECCS) wat resulteren in negatieve emissies.

Doel en onderzoeksvragen

Het doel van dit proefschrift is om de bijdrage en de ontwikkeltrajecten van biomassa in Brazilië te onderzoeken voor de reductie van broeikasgassen, door gebruik te maken van een kosten optimaliserend energiesysteemmodel. Dit onderzoek heeft tot doel de methoden voor een gecombineerde integratie van biomassa-, CCS- en VRE-technologieën in deze energiesysteemmodellen te verbeteren, met name om de ruimtelijke en temporele dimensies van het energievoorzieningssysteem beter mee te nemen met de focus op bio-energie. De belangrijkste onderzoeksvragen zijn:

1. Hoe beïnvloedt de integratie van nieuwe biobased technologieën zoals bio-CCS en bio-raffinaderijen in energiesysteemmodellen de inzet van biomassa?

2. Hoe beïnvloedt een verbeterde temporele resolutie van VRE en biomassa toevoer in energiesysteemmodellen vraag en aanbod van bio-energie in hernieuwbare energiesystemen?
3. Hoe beïnvloedt een verbeterde ruimtelijke resolutie van het aanbod van biomassa, de bijbehorende landgebruiksemissies en biogene CO₂-opslag binnen energiesysteemmodellen de vraag naar bio-energie in hernieuwbare energiesystemen?
4. Wat is het effect van modelverbeteringen op de verwachte rol die biomassa kan spelen in Braziliaanse strategieën voor het verminderen van broeikasgassen?

Beantwoording onderzoeksvragen

Over het algemeen creëert de integratie van nieuwe technologieën energiesysteem-technisch meer mogelijkheden om CO₂ te reduceren (Onderzoeksvraag 1). Deze mogelijkheden zorgen ervoor dat de implementatie van CO₂reducerende maatregelen eenvoudiger wordt. Dergelijke verfijningen kunnen ruimte geven voor andere systeemveranderingen. Dit is het geval bij biochemicaliën, waarvan de integratie leidt tot een eerdere inzet van biobrandstoffen. De integratie van de volledige CCS-keten heeft een grote invloed op de inzet van biomassa, omdat negatieve emissies meer emissieruimte geven aan sectoren die lastiger te verduurzamen zijn.

Verbeterde schattingen van het CO₂-opslagpotentieel en injectiesnelheden zorgen ervoor dat de inzet van CCS kan worden geanalyseerd 1) zonder een willekeurige beperking op injectiesnelheden (zoals vaak gebeurt in vergelijkbaar wetenschappelijk onderzoek), en 2) met opslagmogelijkheden die dichter bij de praktische opslagcapaciteit liggen, in plaats van het theoretische opslagpotentieel. De gevoeligheid van de CO₂-injectiesnelheid op de model resultaten zijn groot. Dit hangt samen met het effect van de CO₂-uitstoot die kan worden gecompenseerd door negatieve emissies van de inzet van BECCS. Als gevolg van een nauw koolstofbudget moet de totale CO₂-uitstoot worden teruggebracht van 500 Mton in 2020 tot bijna nul in 2050. Hogere injectiesnelheden die leiden tot negatieve emissies van BECCS kunnen de CO₂-emissies uit fossiele bronnen compenseren. Samen heffen de negatieve emissies van BECCS en fossiele CO₂-emissie elkaar op. Resultaten laten zien dat BECCS zelfs in het meest pessimistische geval een kosteneffectieve mitigatiestrategie is die in de periode na 2040 ongeveer 250 Mt CO₂ per jaar kan opslaan.

Terwijl biomassa in meerdere sectoren als hernieuwbaar alternatief kan worden ingezet, kan VRE ook een belangrijke bijdrage leveren aan de reductie van CO₂ door hernieuwbare elektriciteit te produceren. Het is de vraag in hoeverre biomassa nodig is voor de opwekking van hernieuwbare elektriciteit. Door het verbeteren van de resolutie van VRE kan de inzet daarvan beter worden gekwantificeerd. Biomassa kan continu elektriciteit leveren, waardoor er tijdens perioden met beperkt zonlicht en wind toch aan de vraag naar elektriciteit kan worden voldaan. Echter, de analyses laten zien dat zelfs met een hoog aandeel VRE is er slechts een beperkte behoefte aan biomassa als leverancier van basislast elektriciteit om perioden met beperkt zonlicht en wind te overwinnen. Dit komt vooral omdat waterkracht de ruggengraat is van de Braziliaanse energiesector. Het vermogen voor flexibele stroomopwekking door waterkrachtcentrales biedt grote flexibiliteit aan het electriciteitssysteem. De combinatie van deze flexibel inzetbare capaciteit is ideaal om de grootschalige levering van wind- en zonne-energie te balanceren. Dit betekent dat biomassa overall beter kan worden gebruikt om andere sectoren te verduurzamen.

Het verbeteren van de temporele resolutie van landgebruiksemissies voor de productie van bio-energie resulteert in een grotere inzet van bio-energie, aangezien de broeikasgasemissies van het verwijderen van natuurlijke vegetatie worden gemodelleerd volgens een natuurlijke patroon, in plaats van verspreid over de tijdshorizon (zoals gebruikelijk is in vergelijkbaar wetenschappelijk onderzoek). Dit resulteert in kleinere landgebruiksemissies aan het einde van de modelleringshorizon (2040-2050), op momenten dat het koolstofbudget het nauwst is.

Het biomassa potentieel is één van de meest invloedrijke factoren binnen het model. Om de ruimtelijke aspecten van het biomassa potentieel inzichtelijk te maken zijn zogenaamde broeikasgas-aanbodcurves ontwikkeld, waarbij per locatie de energetische potentie, de bijbehorende landgebruiksemissies en de

kosten worden gekwantificeerd. Het verschil tussen deze aanpak en de meer gebruikelijke aanpak (een vereenvoudigde manier gebaseerd op schattingen van het toekomstige aanbodpotentieel, extrapolaties van het huidige landgebruik en verwachte opbrengstgroei), is significant.

Het gebruik van broeikasgas-aanbodcurves laat zien dat aanbod van nieuwe bio-energie plantages gepaard gaat met emissiefactoren tussen de 5-15 kg CO₂-eq. per GJ primaire biomassa. Resultaten uit hoofdstuk 4 laten zien dat het aanbod van nieuwe bio-energieplantages in 2050 tussen 0,5 en 7 EJ ligt, met een bijbehorende LUC-emissie van 6-55 Mt CO₂-eq. in 2050, wat gelijk staat aan ongeveer 1-11% van de totale energie gerelateerde broeikasgasemissies van Brazilië in 2020. Dit zijn substantiële hoeveelheden, aangezien de uitstoot van broeikasgassen richting nul moet gaan. Door deze emissies mee te nemen in het koolstofbudget is er extra noodzaak om CO₂ emissies te reduceren, wat er logischerwijs voor zorgt dat er minder ruimte voor fossiele emissies zal zijn. In hoofdstuk 2 en 3 zijn er geen bijbehorende LUC-emissies. Dit zorgt er in principe voor dat er meer ruimte in het koolstofbudget komt, en dat er minder behoefte is aan reductie van broeikasgassen. Dit wordt onderschreven door het gemiddelde aandeel van fossiele energie dat in 2050 deel uitmaakt van het finale energiegebruik. Dit is respectievelijk 30% in hoofdstuk 3 (exclusief landgebruiksemissies) en 14% in hoofdstuk 4 (inclusief landgebruiksemissies).

Daarnaast wordt het aanbodpotentieel van nieuwe bio-energieplantages beïnvloed door vier methodologische parameters: landbouwproductiviteit, tijdshorizon, natuurlijke successie en het gebruik van dynamische emissiefactoren. Een hoge landbouwproductiviteit kan landbouwgrond vrij maken voor de productie van bio-energie. Wanneer landbouwgronden in de toekomst verlaten worden, kan de natuurlijke vegetatie weer aangroeien. Hergroei van natuurlijke vegetatie wordt natuurlijke successie (NS) genoemd. Het al dan niet meetellen van toekomstig vastgelegde koolstof als een emissiefactor voor bio-energie beïnvloedt de totale emissiefactor van bio-energie behoorlijk, net als de selectie van een tijdshorizon waarover landgebruiksemissies worden afgeschreven en het meenemen van de effecten van temporeel dynamische emissiefactoren in vergelijking tot statische emissiefactoren. Voor het scenario met ruim 44 EJ in 2050 is de landbouwproductiviteit hoog, wordt een lange tijdshorizon geselecteerd waarover de LUC-emissies worden afgeschreven en natuurlijke successie uitgesloten. Dit resulteert in het vrijmaken van landbouwgrond met minimale landgebruiksemissies zonder een CO₂-straf voor natuurlijke successie. De combinatie van deze bepalende factoren resulteert in dit hog- en duurzame aanbodpotentieel. In een scenario met een laag aanbodpotentieel wordt bijna geen landbouwgrond vrijgemaakt omdat de opbrengstverbeteringen laag zijn. Bovendien resulteert een tijdshorizon van 25 jaar en het opnemen van natuurlijke successie in een aanbodpotentieel van 0,5 EJ in 2050.

De totale energiesysteemkosten worden sterk beïnvloed door de broeikasgas-aanbodcurves. De gemiddelde kosten in 2050 in hoofdstuk 3 wordt geschat op 330 miljard dollar, terwijl dit in hoofdstuk 4 oploopt tot 455 miljard dollar. Het overgrote deel van deze stijging houdt verband met elektrificatie van de industrie (en in mindere mate de transportsector): extra capaciteit voor wind- en zonne-energie, transmissie-infrastructuur en elektrolyzers voor waterstofproductie. Wanneer er een zeer beperkt duurzaam bioenergiepotentieel is stijgen de kosten tot over de 500 miljard dollar, om dezelfde eerder genoemde redenen.

Conclusie

Als belangrijkste methodische conclusie van dit proefschrift kan worden gesteld dat de modelverbeteringen een verbeterd inzicht geven in de rol van biomassa om tot broeikasgasemissiereductie te komen, met name door een verbeterde samenhang tussen het energie- en landgebruikssysteem. Daarnaast laat het zien dat biomassa de ruggengraat van een toekomstig duurzaam energiesysteem van Brazilië kan zijn, en dat biomassa in vergelijking tot andere strategieën tot lagere kosten leidt. Om deze bevindingen te onderschrijven is er behoefte aan gemeten data op het gebied van koolstofreservoirs en geologische data voor opslag van CO₂ zodat gemodelleerde scenario's kunnen worden geverifieerd. Daarnaast zullen er voorwaarden moeten worden geschept om bio-energie op een duurzame manier te kunnen produceren. Dit vereist verbeteringen in het ruimtelijke

beleid, door gebieden met een grote koolstofvoorraad en een hoge biodiversiteitswaarde te beschermen. Op methodologisch vlak kan er onderzoek worden gedaan naar de rol van natuurlijke successie. Zonder extra vraag naar bio-energie zal de landbouw waarschijnlijk minder intensief zijn omdat de vraag naar landbouwgrond lager is. Daarentegen, in scenario's met bio-energieproductie zal de agrarische sector juist eerder productiever moeten worden, waardoor het gebruik van kunstmest kan toenemen. Een verbetering aan het bestaande model is het meenemen van CO₂ reductiemaatregelen binnen sectoren voor de productie van materialen en energie gerelateerde services (i.e. bruikbare energie) om het CO₂ reductiepotentieel van met name de industrie en de gebouwde omgeving inzichtelijk te maken. De uitgangspositie van Brazilië om de doelstellingen voor de beperking van de klimaatverandering te halen, is uitstekend vanwege het grote potentieel aan hernieuwbare hulpbronnen. Een combinatie van duurzaam gebruik van zijn hernieuwbare hulpbronnen en doortastende beleidsvorming kan Brazilië laten voldoen aan de doelstellingen van het akkoord van Parijs, voor een belangrijk deel middels een duurzame biobased economie.

