



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

Masterthesis

Hoe kunnen we de risicopremies van groene energie in ontwikkelingslanden verlagen?

Elle Cochet

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master handelsingenieur, afstudeerrichting technologie in business

PROMOTOR :

Prof. dr. Robert MALINA



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2024
2025



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

Masterthesis

Hoe kunnen we de risicopremies van groene energie in ontwikkelingslanden verlagen?

Elle Cochet

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master handelsingenieur, afstudeerrichting technologie in business

PROMOTOR :

Prof. dr. Robert MALINA

Woord vooraf

Deze masterproef vormt het sluitstuk van mijn vijfjarige opleiding Handelsingenieur aan de Universiteit Hasselt. Het onderwerp valt binnen het onderzoeksdomein van mijn afstudeerrichting “Technologie in Business”, met een sterke focus op duurzaamheidskwesties. Deze thesis markeert het einde van een intensief academisch traject, waarin ik de kans kreeg om mijn interesse in technologie, economie en duurzaamheid te bundelen in een maatschappelijk relevant onderzoek.

Het onderwerp van deze thesis is de financiering van duurzame vliegtuigbrandstoffen in ontwikkelingslanden. Deze keuze kwam voort uit mijn groeiende bezorgdheid over de klimaatproblematiek en mijn interesse voor technologische oplossingen met een mondiale impact. Het onderzoeksproces was uitdagend en leerzaam. Zo moest ik economische modellen vertalen naar beleidsvragen en data omzetten in bruikbare inzichten voor een duurzamere toekomst.

Mijn oprechte dank gaat uit naar mijn promotor, prof. dr. Malina, voor zijn deskundige begeleiding en input tijdens dit proces. Dankzij zijn waardevolle feedback en inzichten heb ik dit onderzoek succesvol kunnen afronden. Zijn expertise en kennis waren van onschatbare waarde en hebben mijn interesse voor duurzaamheid verder aangewakkerd.

Daarnaast wil ik ook graag mijn familie en vrienden bedanken. Hun blijvend geloof in mij en hun onvoorwaardelijke steun tijdens deze thesis, en doorheen mijn volledige opleiding betekenen enorm veel voor mij.

Alvast veel leesgenot gewenst.

Elle Cochet

Juni 2025

Samenvatting

Probleemstelling

Met de toenemende klimaatwetgevingen staat ook de luchtvaartsector voor de uitdaging om haar klimaatimpact drastisch te verminderen. Zij zijn verantwoordelijk voor 2-3% van de wereldwijde CO₂-uitstoot. Om de klimaatdoelstellingen van onder meer het Akkoord van Parijs en de EU Green Deal te behalen, is de inzet op duurzame vliegtuigbrandstof (*sustainable aviation fuels – SAF*) essentieel. Ze zijn een haalbaar alternatief voor conventionele kerosine en kunnen de uitstoot van broeikasgassen aanzienlijk verlagen. Toch blijft de grootschalige productie van SAF¹ beperkt. Het hoge risicoprofiel van deze technologie verhoogt de risicopremie, het rendement dat wordt verwacht. De minimum verkoopprijs (*Minimum selling price – MSP*) van SAF ligt vandaag boven die van fossiele kerosine, waardoor investeringen economisch risicovol zijn.

In ontwikkelingslanden wordt dit probleem versterkt door hoge kapitaalkosten, instabiele beleidskaders en beperkte toegang tot goedkope financiering. Dit leidt tot verhoogde *discount rates* en *loan rates*, en dus tot een hogere MSP. Tegelijk beschikken deze landen wel vaak over natuurlijke hulpbronnen die nodig zijn voor SAF-productie, zoals restoliën en landbouwafval.

In de literatuur en praktijk bestaan al beleidsmaatregelen om de marktintroductie van hernieuwbare energie te ondersteunen. Er is echter weinig concreet onderzoek naar hoe deze maatregelen kunnen worden afgestemd op de risicoprofielen van ontwikkelingslanden. Daarom vertrekt deze masterthesis vanuit onderstaande centrale onderzoeksvraag.

Hoe kunnen beleidsmaatregelen de risicopremie verlagen en zo de economische haalbaarheid van duurzame vliegtuigbrandstof verbeteren in ontwikkelingslanden?

Beleidsmaatregelen zoals subsidies en garanties worden gesimuleerd voor twee landen met verschillende risicoprofielen: Chili en Ghana. Zo wordt nagegaan welke instrumenten de economische haalbaarheid van SAF-investeringen het sterkst kunnen verbeteren.

Onderzoeksopzet

Om een antwoord te bieden op de onderzoeksvraag werd allereerst een literatuurstudie uitgevoerd om de bestaande kennis rond investeringsdrempels, financieringsstructuren en risico's in kaart te brengen. Bovendien biedt de literatuurstudie een basis voor de rest van het onderzoek. Vervolgens werd een economische analyse uitgevoerd aan de hand van een DCFROR-model (*Discounted cash flow rate of return*) voor SAF-productie via de HEFA²-technologie (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids*). Dit is een productieproces waarbij plantaardige oliën of afvalvetten worden omgezet in

¹ SAF Sustainable Aviation Fuel

² HEFA Hydroprocessed Esters and Fatty Acid

duurzame vliegtuigbrandstof. In dit model werd de MSP³ van SAF berekend voor Chili en Ghana en vergeleken met de Verenigde Staten als benchmark. Voor elk land werd eerst een basisscenario zonder beleidsinterventies berekend. Vervolgens werden verschillende beleidsmaatregelen afzonderlijk en in combinatie gesimuleerd waaronder feedstocksubsidies, kapitaalsubsidies, blended finance, politieke risicoverzekering, en belastingvoordelen.

Resultaten Literatuurstudie

De literatuurstudie toont aan dat investeringen in hernieuwbare energieprojecten in ontwikkelingslanden worden belemmerd door een breed scala aan risico's, namelijk politiek, economisch, regelgevend, technisch en financieel. Deze risico's vertalen zich in verhoogde risicopremies, die op hun beurt leiden tot hogere kapitaalkosten en een lagere investeringsbereidheid bij zowel publieke als private actoren.

Het hogere risico in ontwikkelingslanden leidt tot structureel hogere *discount rates* en *loan rates*. Politieke instabiliteit, valutarisico's en een zwakke institutionele omgeving maken financiering van groene energieprojecten bijzonder duur en risicovol. Ook de hoge operationele kosten (OPEX) en feedstockprijzen vormen een belangrijke belemmering voor economische haalbaarheid. Er is dus een groot belang aan risicobeheersingsstrategieën om investeringen in hernieuwbare energie mogelijk te maken. Zo zijn er drie groepen van maatregelen: financiële de-risking via concessionele leningen, verzekeringen of garanties; beleidsmatige de-risking via stabiele regulering en transparant beleid; en blended-finance waarbij publieke middelen private investeringen mobiliseren. Uit de literatuur blijkt dat beleidsinterventies noodzakelijk zijn om risicopremies te verlagen. Zonder actieve steun van overheden of multilaterale instellingen blijven veel projecten economisch niet rendabel ondanks hun strategisch belang in het behalen van wereldwijde klimaatdoelstellingen.

Resultaten

De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat de MSP van SAF aanzienlijk wordt beïnvloed door het risicoprofiel van het investeringsland. In het basisscenario zonder beleidsmaatregelen ligt de MSP in Ghana (\$1,03/l) opmerkelijk hoger dan in Chili (\$0,89/l), terwijl de benchmark in de Verenigde Staten ligt op \$0,85/l. Deze hogere kost wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door hogere *discount rates* en *loan rates*, en een minder gunstige financieringsstructuur (lagere debt-equity verhouding). Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de *discount rate* de grootste impact heeft op de MSP, gevolgd door de *loan rate* en de feedstockkosten. Dit bevestigt dat investeerders sterk reageren op het waargenomen risico van een project, en dat risicobeperkende beleidsinterventies cruciaal zijn.

Beleidsmaatregelen blijken in staat om deze negatieve effecten aanzienlijk te temperen. Zo verlagen een feedstocksubsidie (lagere grondstofprijs) of een kapitaalsubsidie (investeringssteun) de MSP sterk. In Chili tot \$0,76/l en in Ghana tot \$0,89/l. Blended finance, waarbij publieke leningen en

³ MSP

Minimum Selling Price

politieke risicoverzekering gecombineerd worden, zorgt voor een meer gematigde verlaging. Hierdoor daalt de MSP in Chili tot \$0,85/l en in Ghana tot \$0,98/l. De grootste impact wordt bekomen wanneer beleidsmaatregelen met elkaar worden gecombineerd. Zo blijkt dat bij de combinatie van subsidies en fiscale maatregelen de MSP daalt in Chili tot \$0,73/l en in Ghana tot \$0,82/l. De MSP daalt dus in het beste scenario tot onder de \$0,85/l, wat het verschil met de benchmark (VS) nagenoeg opheft. Dit bevestigt dat een geïntegreerde beleidsaanpak cruciaal is om SAF-projecten economisch haalbaar te maken in risicovolle ontwikkelingslanden. Zowel directe kapitaalkostverlaging als risicoreductie moeten hierbij centraal staan. Waar multilaterale instellingen zoals de Wereldbank kunnen zorgen voor concessionele financiering en garanties, ligt het bij nationale overheden om stabiel beleid en investeringsstimuli te voorzien. Beleidsmakers in ontwikkelingslanden en internationale instellingen zouden dus kunnen inzetten op geïntegreerde beleidspakketten die zowel de financieringsvoorwaarden als de operationele kosten verlagen.

Waarde van het onderzoek

Deze masterproef levert een relevante bijdrage aan het onderwerp in verband met financiering van duurzame energieprojecten in ontwikkelingslanden. De combinatie van literatuurstudie en modelanalyse toont hoe beleid SAF economisch haalbaarder kan maken. Door de analyse kunnen beleidsmakers beter inschatten welke maatregelen het meest kostenefficiënt zijn. Het biedt daarnaast ook een bruikbaar referentiekader voor toekomstige strategieën die de transitie naar duurzame luchtvaart willen versnellen.

Kritische beschouwing

Hoewel dit onderzoek een gedetailleerde economische analyse biedt van beleidsopties om investeringen in SAF in ontwikkelingslanden te stimuleren, kent het enkele beperkingen. Ten eerste lag in de analyse enkel de focus op twee landen, Chili en Ghana. Dit kan op het eerste zicht beperkt lijken, maar de inzichten omtrent risicobeheersing en beleidscombinaties kunnen wel richtinggevend zijn voor andere ontwikkelingslanden met gelijkaardige kenmerken. Daarnaast werd enkel de HEFA-technologie bekeken, alternatieve productietechnologieën bleven buiten beschouwing. Verder houdt het gebruikte DCFROR-model geen rekening met onzekerheden, marktschommelingen of variatie in parameters zoals feedstockprijzen of rentetarieven. Ook ecologische of sociale impactfactoren werden niet opgenomen. Bovendien werd het landenrisico bepaald aan de hand van RAF-data gebaseerd op zonne-energieprojecten, wat niet sectorspecifiek is voor SAF. Deze beperkingen bieden kansen voor verdere verfijning en uitbreiding in toekomstig onderzoek.

Inhoudsopgave

Woord vooraf.....	i
Samenvatting.....	iii
Inhoudsopgave.....	vii
Lijst met figuren.....	x
Lijst met tabellen.....	x
Lijst met afkortingen.....	xi
1 Inleiding.....	1
1.1 Onderzoeksplan.....	2
1.2 Onderzoeksaanpak	3
2 Literatuurstudie.....	4
2.1 Methodiek Literatuurstudie.....	4
2.2 Politieke, economische en regelgevende risico's in ontwikkelingslanden	5
2.2.1 Risico groene energie investeringen.....	6
2.2.2 Risico's ontwikkelingslanden.....	7
2.3 Financiële analyse van risico's in ontwikkelingslanden	9
2.3.1 LCOE en kapitaalkosten	9
2.3.2 Methoden voor risicokwantificering in kapitaalkosten.....	11
2.4 Risicomanagementconcepten	13
2.4.1 Politieke en regelgevende stabiliteit.....	13
2.4.2 Financiële ondersteuning.....	13
2.4.3 Strategieën om hoge CAPEX te beheersen.....	13
2.5 CAPM en DCFROR model.....	15
2.5.1 Capital Asset Pricing Model (CAPM).....	15
2.5.2 Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFROR) model	16
2.6 Duurzame vliegtuigbrandstof als toepassing.....	17
2.6.1 Het potentieel van Sustainable Aviation Fuels (SAF)	17
2.6.2 Kostenstructuur van Sustainable Aviation Fuel (SAF)	18
2.7 Conclusie literatuurstudie	19

3	Methodologie	20
3.1	<i>Onderzoeksmethode.....</i>	20
3.2	<i>Keuze model</i>	20
3.3	<i>Keuze Sustainable Aviation Fuel (SAF) technologie.....</i>	20
3.4	<i>Keuze Feedstock.....</i>	21
3.5	<i>Keuze Case Studies.....</i>	21
3.5.1	Chili: laag risicoprofiel met strategisch luchtvaartbeleid	22
3.5.2	Ghana: hoog risico maar opkomende ambities	22
3.6	<i>Dataverzameling</i>	23
3.7	<i>Analytische aanpak.....</i>	23
4	Resultaten	24
4.1	<i>Inputfactoren</i>	24
4.1.1	Componenten van de risicopremie	24
4.1.2	Verenigde Staten als benchmark	25
4.1.3	Risk Adjustment Factor	25
4.1.4	Baseline discount en loan rates voor Chili en Ghana.....	26
4.1.5	Debt-Equity split voor Chili en Ghana	27
4.2	<i>Outputfactoren</i>	28
4.2.1	Baseline MSP	28
4.2.2	Vergelijking en Inzichten.....	29
4.3	<i>Beleidsrelevantie</i>	30
4.3.1	Risico mitigerende maatregelen	30
4.3.2	Marktgerichte beleidsmaatregelen	32
4.3.3	Kosten gerelateerde beleidsmaatregelen	32
4.4	<i>Impact van individuele beleidsmaatregelen op de MSP</i>	34
4.4.1	Overheidsgaranties, politieke risicodekking, groene financiering en lagere <i>loan rates</i>	34
4.4.2	Feedstock subsidies	35
4.4.3	Fiscale stimulansen (Tax Reduction).....	35
4.4.4	Kapitaalsubsidies (Capital Grant)	35
4.4.5	Blended Finance.....	36
4.4.6	Technische ondersteuning	36
4.5	<i>Impact van beleidscombinaties op de MSP.....</i>	38
4.5.1	Beleidsstructuur: Subsidies	38

4.5.2	Beleidsstructuur: Financieringen.....	39
4.5.3	Beleidsstructuur: Mix.....	40
4.6	<i>Impact van CAPEX-niveau</i>	43
5	Discussie	44
5.1	<i>Interpretatie van de resultaten</i>	44
5.2	<i>Aanbevelingen voor beleidsmakers</i>	45
5.3	<i>Beperkingen van het onderzoek</i>	45
6	Conclusie	46
7	Bibliografie.....	47
8	Bijlagen.....	I
8.1	<i>Bijlage 1: DCFROR-model.....</i>	<i>I</i>

Lijst met figuren

Figuur 1: Debt-equity verhouding per land	27
Figuur 2: Het effect van risicoreductie-maatregelen op de MSP	34
Figuur 3: Het effect van een feedstocksubsidie van 20% op de MSP.....	35
Figuur 4: Het effect van combinatie kostenverlagende maatregelen op de MSP	38
Figuur 5: Het effect van combinatie financierings maatregelen op de MSP	39
Figuur 6: Het effect van een mix maatregelen op de MSP	40
Figuur 7: Impact van CAPEX op MSP	43

Lijst met tabellen

Tabel 1: Categorieën van risico's.....	6
Tabel 2: Factoren die elementen beïnvloeden	25
Tabel 3: Rendementsverwachtingen zonneprojecten in verschillende landen	26
Tabel 4: Berekening discount en loan rate.....	27
Tabel 5: MSP in verschillende scenario's zonder beleidsinterventie.....	29
Tabel 6: Risicomitigerende maatregelen en welke inputfactoren ze beïnvloeden.....	33
Tabel 7: Het effect van verschillende beleidsmaatregelen op de MSP per land	36
Tabel 8: Vergelijking MSP na beleid met die van de Verenigde Staten	37
Tabel 9: De resultaten van beleidscombinaties.....	41
Tabel 10: Het effect op de MSP per beleidsscenario	42
Tabel 11: Het effect van de CAPEX op de MSP	43

Lijst met afkortingen

MSP	Minimum Selling Price – Minimum verkoopprijs
SAF	Sustainable Aviation Fuel – Duurzame vliegtuigbrandstof
HEFA	Hydroprocessed Esters and Fatty Acid
DR	Discount Rate - Discontovoet
LR	Loan Rate
D/E	Debt-Equity
RAF	Risk Adjustment Factor
CAPEX	Capital Expenditures - Kapitaalkosten
OPEX	Operating Expenditures – Operationele kosten
LCOE	Levelized Cost of Electricity
CAPM	Capital Asset Pricing Model
DCFROR	Discount Cash Flow Rate of Return
EU	Europese Unie
VS	Verenigde Staten
FDI	Foreign Direct Investment

1 Inleiding

De huidige samenleving wordt getroffen door de gevolgen van de klimaatverandering. IJskappen smelten, de zeespiegel stijgt en extreme weeromstandigheden zoals overstromingen of juist extreme droogte nemen toe. Dit zijn gevolgen die een enorme invloed hebben op verschillende aspecten van ons leven (Europese Commissie, z.d.). Het ondernemen van actie op dit eigenste moment is noodzakelijk, anders zullen deze gevolgen alleen nog maar toenemen. De Europese Unie wil, zoals gesteld in het klimaatakkoord van Parijs, broeikasgasneutraliteit bereiken. Dit betekent dat alle broeikasgasemissies die door menselijke activiteiten worden uitgestoten, ook weer gecompenseerd moeten worden. Om deze doelstelling van klimaatneutraliteit te behalen tegen 2050, moeten de uitgestoten broeikasgassen drastisch worden verminderd. De grootste uitstoot komt door de verbranding van fossiele brandstoffen. Een gedeeltelijke oplossing kan de omschakeling naar hernieuwbare energie zijn, wat wordt aangeduid als de energietransitie (Ialnazov & Keeley, 2020).

Volgens het zesde GEO (*Global Environment Outlook*) rapport zou hernieuwbare energie, samen met energiezuinige, groene gebouwen en emissiearm transport de norm moeten worden (Wylezałek, 2021). Ialnazov en Keeley (2020) vermeldde dat het aandeel van hernieuwbare energie zou moeten toenemen met minstens 35 procent ten opzichte van 2015 tegen 2025, om de stijging van de wereldtemperatuur te beperken tot 1,5 graden Celsius. In 2023 ging er echter een nieuwe richtlijn van het Europees parlement van kracht, die voor een aandeel van 45% hernieuwbare energie streeft tegen uiterlijk 2030 (Europees Parlement, 2024). Dit vereist dat de meeste fossiele brandstoffen ondergronds moeten worden gelaten (*LFFU* in het Engels) en dus onaangeroerd zullen blijven (Heras & Gupta, 2024) om de doelstelling van 2°C te behalen volgens McGlade en Ekins (in Shimbar en Ebrahimi (2020)). Fossiele brandstofstructuren kunnen hierdoor in de toekomst gestrande activa worden, oftewel investeringen in fossiele infrastructuur die hun waarde verliezen.

De klimaatuitdaging zorgt er dus voor dat veel sectoren economische en technologische transformaties moeten doorvoeren. Elektrificatie en efficiënte modaliteitsverschuivingen bieden in de meeste sectoren haalbare alternatieven. Voor de luchtvaartsector is het echter niet zo eenvoudig maar wordt vaak onder druk gezet om haar ecologische voetafdruk te verkleinen. De luchtvaartindustrie is verantwoordelijk voor ongeveer twee procent van alle menselijke CO₂-uitstoot wereldwijd en behoort daarnaast ook tot de snelst groeiende emissie-intensieve industrieën (Bauen et al., 2020). Dit komt doordat het aantal passagiers naar verwachting de komende decennia zal blijven stijgen. Om de klimaatimpact van de luchtvaart te beperken, heeft de Air Transport Action Group (ATAG) als doel gesteld om tegen 2050 de netto jaarlijkse emissies met 50% te verminderen ten opzichte van 2005 (Rojas-Michaga et al., 2023). *Sustainable Aviation Fuels* (SAF) kunnen hiervoor een veelbelovende oplossing zijn. Ze kunnen fossiele vliegtuigbrandstof vervangen zonder ingrijpende aanpassingen aan bestaande vliegtuigen en infrastructuur. Daarnaast kan het de uitstoot van broeikasgassen tot wel 80% reduceren ten opzichte van conventionele kerosine.

Hoewel bovenstaande initiatieven zich vooral op de EU en andere geïndustrialiseerde regio's richten, mogen landen in ontwikkeling niet vergeten worden. Ze zijn aantrekkelijk voor groene energie installaties door hun hogere zonintensiteit, groeiemarkten, en strategische ligging. Ontwikkelingslanden worden echter geconfronteerd met grote uitdagingen in verband met de implementatie van deze projecten, en het vinden van financiering. Investeerders ervaren namelijk hogere risico's, wat de risicopremies doet stijgen. De hoge risicopercepties worden onder andere veroorzaakt door politieke instabiliteit, economische onzekerheid en zwakke regelgevingen in deze landen. Ze vormen een afschrikkende factor voor potentiële investeerders en vermoeilijken dus de zoektocht naar financiering. Investerings in hernieuwbare energie zijn noodzakelijk om de doelstellingen van het Akkoord van Parijs te behalen. Door dit gegeven roept het Kyoto Protocol en het Akkoord van Parijs op dat landen met meer financiële middelen de landen die minder begiftigd zijn te steunen, door middel van *foreign direct investments (FDI)* (Shimbar & Ebrahimi, 2020).

Ook bestaande literatuur focust zich voornamelijk op de energietransitie in ontwikkelde landen (Ialnazov & Keeley, 2020). Dit focuspunt verwaarloost echter de aanzienlijke fossiele brandstofreserves in ontwikkelingslanden en het significante gebruik van deze energiebronnen in de regio's (Heras & Gupta, 2024). De auteurs vermelden dat, in 2020, zulke landen grote hoeveelheden olie, aardgas, en steenkool reserves bezitten, respectievelijk 85%, 89%, en 53%. Deze reserves zouden kunnen gebruikt worden om de groei en industrialisatie van hun samenleving te bevorderen. Wanneer ze zouden worden verbrand, hebben ze echter een negatieve impact op het klimaat (Heras & Gupta, 2024). Daarnaast zijn huidige economische processen, in onder andere de BRICS landen, zeer fossielbrandstofintensief (Alam et al., 2024). De kans is dus reëel dat veel energie gerelateerde emissies zullen plaatsvinden in ontwikkelingslanden of landen in de groei (Ialnazov & Keeley, 2020).

Het is duidelijk dat ontwikkelingslanden een sleutelrol spelen in deze transitie naar hernieuwbare energie, en dus betrokken moeten worden in nieuwe strategieën. Als de focus enkel wordt gelegd op de energietransitie in geïndustrialiseerde landen, zal dit niet voldoende zijn om de doelstelling van netto-nul uitstoot in 2050 te bereiken (Ialnazov & Keeley, 2020).

1.1 Onderzoeksplan

Het doel van deze masterthesis is om een inzicht te krijgen in het effect van beleid op risicopremies voor investeringen in groene energie in een minder ontwikkelde context. De hoge risicopremies beïnvloeden de financiële kosten. Deze studie probeert eerst en vooral bij te dragen aan het begrip van risicopremies bij investeringen, specifiek met betrekking tot SAF-projecten. Met als doel inzicht te bieden in factoren die de financiële aantrekkelijkheid en levensvatbaarheid op lange termijn beïnvloeden.

Er zal getracht worden een antwoord te vinden op de volgende onderzoeksvraag:

Hoe kunnen beleidsmaatregelen de risicopremie verlagen en zo de economische haalbaarheid van duurzame vliegtuigbrandstof verbeteren in ontwikkelingslanden?

Om hier een antwoord op te bieden zal onder andere bekeken worden welke landenrisico's er allemaal zijn, hoe deze de financieringskosten beïnvloeden, en welk effect beleid hierop heeft.

1.2 Onderzoeksaanpak

De literatuurstudie onderzoekt de risico's en financiële drempels die groene energieprojecten in ontwikkelingslanden beïnvloeden. Allereerst worden de risico's die gepaard gaan met deze investeringen geïdentificeerd, waarna gefocust wordt op hun impact op investeringsbeslissingen. Verder zullen enkele methoden om deze risico's te beheersen, gevonden in bestaande literatuur, worden besproken. Hoe financieringsstructuren en risicopremies de financiële haalbaarheid van hernieuwbare energieprojecten beïnvloeden wordt ook onderzocht. Als laatste wordt er nog een bijzondere nadruk gelegd op duurzame brandstoffen als technologie. Deze technologieën kunnen, zoals al eerder aangehaald, een cruciale rol spelen in het uitstootvrij maken van de luchtvaartindustrie. Hierbij wordt de kostenstructuur (CAPEX en OPEX) en de financiële uitdagingen van SAF-productie kort bekeken.

Door middel van deze literatuurstudie zal een beter begrip worden verkregen van de factoren die investeerders afschrikken om te investeren in groene energie projecten in ontwikkelingslanden. En welke strategieën kunnen worden toegepast om deze investeringsrisico's te beperken om de energietransitie te versnellen. Daarna zal een economische simulatie op basis van een DCFROR-model voor SAF worden uitgevoerd. Twee casestudies, Chili en Ghana, worden hier geanalyseerd en vergeleken met een benchmarkscenario voor de Verenigde Staten. Verder zullen verschillende beleidsinstrumenten worden bekeken en hun impact op de risicopremies worden gekwantificeerd. Deze aanpak laat toe om beleidsaanbevelingen te formuleren op maat van landen met verschillende investeringsrisico's.

2 Literatuurstudie

2.1 Methodiek Literatuurstudie

In dit hoofdstuk wordt de methodologie uiteengezet die wordt gebruikt in deze literatuurstudie. Allereerst wordt besproken op welke bronnen deze paper is gebaseerd en hoe deze worden bekomen. Verder wordt verduidelijkt welke van de verkregen referenties effectief gebruikt zullen worden en welke niet, aan de hand van de inclusie- en exclusiecriteria.

Om bronnen te zoeken voor de literatuurstudie, wordt er gebruikgemaakt van de *core-collection* van de database *Web of Science*. Het gebruik van deze database garandeert dat er enkel wetenschappelijke artikels gevonden worden, die allemaal *peer-reviewed* zijn. De volgende zoekstring wordt gehanteerd:

ALL= ("risk premium" OR "country risk*" OR "political risk*" OR "financing cost*" OR "investor expectation*" OR "capital cost*") AND ALL= ("clean energy" OR "green energy" OR "renewable energy" OR "sustainable aviation fuel" OR "biofuel*" OR "middle distillates") AND ALL= ("developing countr*" OR "emerging market*" OR "low-income countr*" OR "Global South" OR "least developed countr*")*

Op deze manier hebben de verkregen resultaten te maken met risico en kosten van hernieuwbare energie in ontwikkelingslanden. Er werd rekening gehouden met mogelijke schrijfwijzen en synoniemen. Er wordt geen onderscheid gemaakt in welke delen van de artikels de zoektermen voorkomen. Na het filteren van de resultaten tussen 2010-01-01 en 2025-01-01, bleven er nog 77 academische artikels over. Deze artikelen worden afzonderlijk beoordeeld aan de hand van de onderstaande inclusie- en exclusiecriteria. Een artikel wordt geïncludeerd wanneer dit aan alle inclusiecriteria voldoet. Wanneer een artikel aan minstens één van de exclusiecriteria voldoet, wordt het automatisch uitgesloten. De eerste selectie gebeurt op basis van de titel. Hierna zal het abstract worden gelezen en wordt er verder geëxcludeerd.

Na het toepassen van onderstaande inclusie- en exclusiecriteria, blijven er nog 20 artikels over die gebruikt zullen worden in de literatuurstudie. In dit onderzoek wordt ook gebruikgemaakt van *forward* en *backward searching (citation chaining)* om additionele, relevante artikels te bekomen. Op die manier worden nog 4 artikels toegevoegd aan het onderzoek. Verder werd de literatuur aangevuld door individuele zoekopdrachten aangaande specifiekere onderwerpen die nog te weinig onderbouwd bleken te zijn.

Inclusiecriteria:

- IN 1: De paper moet een wetenschappelijk artikel zijn.
- IN 2: De paper gaat expliciet over groene energie of biobrandstof.
- IN 3: De paper moet geschreven zijn in het Engels of Nederlands.
- IN 4: De paper is gepubliceerd in een peer-reviewed wetenschappelijk tijdschrift.
- IN 5: De volledige tekst van de paper is beschikbaar.

Exclusiecriteria:

- EX 1: De paper is een one-pager.
- EX 2: De paper gaat enkel over 1 specifieke technologie (bijvoorbeeld zonne-energie).
- EX 3: De paper focust zich enkel op 1 specifiek gebied.
- EX 4: De paper gaat enkel over elektrificatie van afgelegen gebieden.
- EX 5: De paper gaat niet over ontwikkelingslanden.

2.2 Politieke, economische en regelgevende risico's in ontwikkelingslanden

In deze sectie worden de risico's die gepaard gaan met groene investeringen in ontwikkelingslanden geïdentificeerd. Eerst wordt er in het algemeen gekeken naar risicopercepties bij investeringen. Daarna zullen deze met betrekking tot groene energie en ontwikkelingslanden met meer detail worden besproken.

Om *Sustainable Development Goal 7* te behalen, namelijk universele toegang tot betaalbare, betrouwbare en duurzame energie voor iedereen tegen 2033, is de energie transitie naar hernieuwbare energie cruciaal (Abba et al., 2022). Een belangrijke kwestie hierbij is hoe deze energie toegankelijk kan worden gemaakt voor onder andere bevolkingsgroepen met een lager inkomen (Calcaterra et al., 2024). Energie vormt volgens de auteurs een essentiële pijler voor de sociaaleconomische ontwikkeling van een samenleving. Toegang tot financiering is echter zeer ongelijk verdeeld onder landen, wat kan zorgen voor een belemmering om te investeren in energiebronnen (Calcaterra et al., 2024). Om de klimaat doelstellingen te kunnen behalen, zouden de investeringen in hernieuwbare energie projecten moeten toenemen tot een geschatte 600 miljard US dollar tegen 2030 (Abba et al., 2022). Zoals vermeld in de inleiding, moeten ontwikkelingslanden ook worden betrokken in deze energietransitie. Investerings in projecten met betrekking tot hernieuwbare energie in ontwikkelingslanden zijn echter laag door hoge risico's (Abba et al., 2022).

In de ISO 31000 wordt risico gedefinieerd als zijnde het effect van onzekerheid op het vermogen van een organisatie om haar doelstelling te behalen. Extra uitdagingen bij het ontwikkelen, financieren, of uitvoeren van projecten dat het bereiken van doelstellingen bemoeilijkt, worden ook wel barrières genoemd (IRENA, 2016). De combinatie van risico's en barrières kunnen de moeilijkheidspercepties van investeerders vergroten. Risicoperceptie is de emotionele houding van de investeerder op een risico (Abba et al., 2022). Bepaalde psychologische, gedragsmatige, of institutionele kenmerken kunnen de risicoperceptie en dus de uiteindelijke investeringsbeslissing beïnvloeden. Abba et al. (2022) onderscheidt studies die cruciale barrières voor hernieuwbare energieprojecten in ontwikkelingslanden analyseren op basis van locatie, belanghebbenden en projectfase. Zo wordt in de literatuur vaak een onderscheid gemaakt tussen technische, financiële, regelgevende, politieke, en sociale barrières. De review van Abba et al. (2022) definieert de verschillende categorieën van risico's zoals weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Categorieën van risico's

Categorie	Definitie
Technische risico's	Risico's die verband houden met het type technologie.
Resourcerisico's	Risico van lagere inkomsten als gevolg van een onnauwkeurige schatting van het resourcepotentieel.
Beleids- en regelgevingsrisico's	Risico's die gepaard gaan met de onzekerheden bij het behalen van projectdoelstellingen aangaande wettelijke kaders, beleid of wijzigingen in de regelgeving.
Politieke risico's	Risico's die ontstaan door politieke gebeurtenissen die invloed kunnen hebben op investeringen.
Economische en financiële risico's	Risico's die verband houden met economische of financiële factoren die van invloed zijn op de waarde of inzet van het project.
Marktrisico's	Risico's die verwijzen naar onzekerheden veroorzaakt door variatie in markten.
Risico's van inperking	Risico's die zorgen voor lagere inkomsten als gevolg van onverwachte inperking.
Sociale risico's	Risico's die ontstaan door veranderingen in sociale omstandigheden.
Milieurisico's	Risico's die verband houden met veranderingen in milieuregelgeving of kenmerken van energiesystemen.

Noot. Bron: Abba et al. (2022)

Door risico's te categoriseren op basis van projectfasen en belanghebbenden, bieden deze inzichten een beter begrip van de manier waarop risico's in verschillende stadia ontstaan en veranderen. Dit maakt het mogelijk om ze tijdig te identificeren en aan te pakken.

2.2.1 Risico groene energie investeringen

Risico is de factor die ervoor zorgt dat bepaalde projecten geen financiering vinden. Ze zijn onaantrekkelijk en verhogen de rendementen die investeerders eisen (Frisari et al., 2013). Risico's variëren aanzienlijk aangaande project, technologie, industrie, of land waar de investering over gaat (Calcaterra et al., 2024). Daarnaast bezitten financieringen in groene energie vaak hogere risicopercepties vanwege hun afhankelijkheid van overheidsbeleid en de relatief onvolwassenheid van de technologieën (Frisari et al., 2013). Meer nog, om deze groene investeringen levensvatbaar te kunnen maken, is een grote hoeveelheid aan publieke middelen nodig. Bovendien gaan ze gepaard met een hoge initiële kost en lange investeringshorizonten, wat er ook weer voor zorgt dat de perceptie van financierings- en liquiditeitsrisico's wordt verhoogd (Frisari et al., 2013).

De verschillende soorten risico's met betrekking tot koolstofarme investeringen kunnen volgens de auteurs worden opgedeeld in vier groepen, namelijk: Politieke, beleidsmatige en sociale risico's;

Technische en fysieke risico's; Markt- en commerciële risico's; en Uitkomst risico's. De eerste groep risico's van Frisari et al. (2013) vindt haar oorsprong in de sociale dimensie, zoals overheden en publieke opinie. Ze vloeien voort uit zowel de legitieme acties van autoriteiten zoals beleids- en regelgevingsrisico's, als uit illegitieme handelingen zoals onteigening en politieke instabiliteit, ook wel politieke risico's genoemd. In het geval van groene investeringen wordt de perceptie van beleidsrisico's versterkt door zijn afhankelijkheid van publieke steun. De tweede onderverdeling risico's van de auteurs komen voort uit de technische kenmerken en de milieueffecten op de omgeving van de activa. De technologieën bij groene investeringen zijn vaak innovatief en immatuur. Daardoor bestaat er nog weinig historiek rond prestaties, wat de perceptie van technische risico's verhoogt (Frisari et al., 2013). De groep van markt- en commerciële risico's ontstaan in de economische dimensie en betreft de economische waarde van input en output, samen met de kosten en beschikbaarheid van de financiële middelen (Frisari et al., 2013). Het feit dat klimaatbestendige investeringen dus vaak gepaard gaat met een lange terugverdientijden, zal deze categorie risico's verhogen. De laatste groep risico's bevatten de uitkomst risico's, deze worden waargenomen door de publieke sector en worden gekoppeld aan de haalbaarheid van groene projecten.

De energiesector is bijzonder gevoelig voor buitenlandse investeerders vanwege haar brede geografische spreiding en blootstelling aan regionale instabiliteit (Jiang & Martek, 2021). De energietransitie verhoogt die kwetsbaarheid verder door frequente beleidswijzigingen, publieke betrokkenheid en afhankelijkheid van opkomende technologieën. Jiang en Martek (2021) benadrukken daarnaast dat macro-economische factoren zoals BBP per capita, markttoegang en economische openheid mee de aantrekkelijkheid van een land voor FDI in energie bepalen. Vooral in ontwikkelingslanden is de toegang tot elektriciteit vaak beperkt, met naar schatting 1,06 miljard mensen zonder toegang in 2019 (Vanadzina et al., 2019), voornamelijk in Sub-Sahara Afrika en delen van Azië. Auteurs zoals Das et al. (2017), Prum et al. (2024), Haghighat Mamaghani et al. (2016), Perera et al. (2013), en Zebra et al. (2021) onderzoeken hybride energiesystemen voor elektriciteitsvoorziening op het platteland in allerlei verschillende gebieden. De studie van Kassem et al. (2024) gaat ook over plattelandselektrificatie maar dan met residentiële zonne-energie en biomassa-energie opwekking. Vanadzina et al. (2019) focussen op innovatieve business modellen en Tamasiga et al. (2024) nemen microgridontwikkeling onder de loep. Hoewel er dus veel academisch onderzoek bestaat over elektrificatie van afgelegen gebieden, focust deze studie hier niet verder op.

2.2.2 Risico's ontwikkelingslanden

Investeren in groene technologieën is op zich al complex, maar wordt nog uitdagender in de context van ontwikkelingslanden. Ze hebben namelijk een hoger landenrisico dan al ontwikkelde landen (Hayakawa et al., 2013). Landenrisico is een concept dat is samengesteld door niet enkel het politiek risico maar ook het financieel risico. In het onderzoek van Hayakawa et al. (2013) wordt politiek risico gedefinieerd als lage institutionele kwaliteit of politieke instabiliteit. Een hoog politiek risico kan leiden tot wantrouwen tussen de investeerder en het land, met als gevolg dat er hoge kosten aan gepas komen om het gebrek aan informatie en kennis te compenseren. Deze hoge kosten ontmoedigen bedrijven om te investeren. Financieel risico, aan de andere kant, verwijst volgens Hayakawa et al. (2013) naar het risico dat een land zijn buitenlandse verplichtingen niet kan

terugbetalen. FDI gaat, zoals eerder vermeld, gepaard met een lange betalingshorizon, die niet zomaar snel kan worden ingetrokken als de financiële situatie van het gastland zou verslechteren. Landen met veel buitenlandse schuld worden hierdoor vaak minder aantrekkelijk gevonden voor investeringen. Instabiliteit in de wisselkoers en hoge inflatie in het gastland kan ook lijden tot het afschrikken van FDI. De kapitaalmarkt kan in ontwikkelingslanden moeilijk een langetermijnsfinanciering bieden. Dit impliceert onvolwassenheid en brengt dus hernieuwbare energiebronnen in een nadelige positie ten opzichte van conventionele energiebronnen zoals fossiele brandstoffen (Saculsan et al., 2020).

Daarnaast zijn er in ontwikkelingslanden ook risico's die gepaard gaan met de beschikbaarheid van de nodige bouwmaterialen, gespecialiseerde werknemers, infrastructuur, en kennis aangaande de specifieke technologie (Sweerts et al., 2019). Dit wordt door de auteurs ook wel de technologiepremie genoemd. De waargenomen risico's door investeerders en de financieringskosten voor kapitaalintensieve projecten voor hernieuwbare energie zijn dus enorm hoog in ontwikkelingslanden.

Investerings in hernieuwbare energie projecten voor ontwikkelingslanden worden nog steeds als riskant gezien (Briera & Lefèvre, 2024). De onzekere stimulerende omgeving met onder meer zwakke lokale politieke instellingen, macro-economische en valutarisico's of een gebrek aan lokale vaardigheden en trackrecords zijn zoals eerder vermeld niet gunstig. Dit wordt ook bevestigd door Briera en Lefèvre (2024). De beslissing om al dan niet in een technologie te investeren, hangt dus af van het risico dat wordt waargenomen door investeerders (Schinko & Komendantova, 2016). Een risico wordt als aanvaardbaar beschouwd als de kosten van de beperking opwegen tegen de voordelen die het met zich meebrengt (Abba et al., 2022). Ook Saculsan et al. (2020) geeft aan dat de waargenomen risico's correct geprijsd moeten zijn en gecompenseerd worden om hernieuwbare energie-investeringen aantrekkelijk te maken.

Het artikel van Kansongue et al. (2023) analyseert de factoren die de groei van hernieuwbare energie in een gebied in Afrika beïnvloeden. Ze gebruiken de PESTEL-analyse om aan te tonen dat overheidsbeleid, financiering, technologie en maatschappelijke acceptatie cruciaal zijn. De zwakke infrastructuur en regelgevende onzekerheid in deze landen vormen uitdagingen (Kansongue et al., 2023). Daarnaast benadrukt het artikel aan de hand van de SWOT-analyse dat er sterke natuurlijke hulpbronnen en kansen door internationale investeringen aanwezig zijn, maar ook bedreigingen zoals politieke instabiliteit en economische onzekerheid (Kansongue et al., 2023).

2.3 Financiële analyse van risico's in ontwikkelingslanden

Nu de verschillende risico's van hernieuwbare energie-investeringen in ontwikkelingslanden geïdentificeerd zijn, bespreekt deze sectie hoe deze zich financieel uiten. De kostenstructuur van deze groene investeringen in ontwikkelingslanden wordt besproken aan de hand van bestaande literatuur.

Zoals al eerder aangegeven, gaan deze investeringen in hernieuwbare energie in ontwikkelingslanden gepaard met aanzienlijke risico's (Calcaterra et al., 2024). Deze projecten vereisen hoge initiële kapitaalkosten (CAPEX) terwijl het rendement pas na meerdere jaren gerealiseerd wordt (Schinko & Komendantova, 2016). Dit vergroot het financieel risico voor investeerders. Bovendien beperken krappe overheidsbudgetten, mede als gevolg van de COVID-19 pandemie, de mogelijkheid tot publieke ondersteuning van de koolstofarme transitie (Briera & Lefèvre, 2024). Om internationale betrokkenheid bij deze energietransitie te stimuleren, is het beheer van kapitaalkosten essentieel (Briera & Lefèvre, 2024; Calcaterra et al., 2024). Dit hoofdstuk behandelt de voornaamste financiële methoden die worden gebruikt om de investeringsrisico's te kwantificeren.

2.3.1 LCOE en kapitaalkosten

Twee cruciale begrippen bij het evalueren van investeringen in hernieuwbare energie zijn de Levelized Cost of Energy (LCOE) en de Weighted Average Cost of Capital (WACC). Hoge CAPEX leidt tot hogere LCOE en verhoogt het waargenomen investeringsrisico, wat resulteert in een hogere WACC.

De LCOE-methode vergelijkt energietechnologieën op basis van concurrentiekracht en kostenstructuur (Schinko & Komendantova, 2016). Het basisidee van deze methode is om de totale kosten en de totale stroomopwekking over de volledige levensduur van een energiecentrale met elkaar te vergelijken. De gemiddelde prijs voor elektriciteit (kWh), de LCOE, is de prijs die nodig is om het project kostenneutraal te maken (Schinko & Komendantova, 2016). De LCOE maakt het mogelijk om alternatieve technologieën op een gestandaardiseerde manier te vergelijken. Investerings in hernieuwbare energie worden doorgaans gefinancierd via een mix van eigen en vreemd vermogen (Sweerts et al., 2019). Volgens de auteurs verstrekken banken meestal leningen, terwijl bedrijven en particuliere investeerders zorgen voor het eigen vermogen. Bij kapitaalintensieve technologieën, zoals zonne- en windenergie, is een nauwkeurige inschatting van de kapitaalkosten cruciaal (Steffen, 2020).

Kapitaalkosten zijn toekomstgerichte maatstaven voor het verwachte rendement van investeerders. Ze omvatten de tijds waarde van geld, het risicoloos tarief en een risicopremie (Steffen, 2020). In ontwikkelingslanden kunnen kapitaalkosten tot wel 50% van de LCOE voor zonnepanelen uitmaken volgens Steffen (2020). Hierdoor worden groene investeringen minder aantrekkelijk, zeker in landen met hoge risicopremies en beperkte toegang tot financiering. Sweerts et al. (2019) bevestigen dat initiële investeringen een substantieel deel uitmaken van de LCOE, doordat ze zowel schuld- als vermogenskosten sterk verhogen.

Steffen (2020) maakt bovendien duidelijk dat er een onderscheid moet worden gemaakt tussen sociale en private kapitaalkosten. Sociale kapitaalkosten weerspiegelen de discontovoet die het maatschappelijke welzijn maximaliseert (Steffen, 2020). Private kapitaalkosten zijn daarentegen het verwacht rendement dat investeerders eisen om een investering te financieren (Pratt & Grabowski, 2014). De meest eenvoudige formulering hiervan is de gewogen gemiddelde kapitaalkosten (WACC). Aangezien het risicoloos tarief als constant wordt beschouwd, is de risicopremie de voornaamste bron van variatie in de kapitaalkost (Steffen, 2020).

Veel energiemodellen gaan ten onrechte uit van uniforme kapitaalkosten, ongeacht technologie, land of tijdperiode (Briera & Lefèvre, 2024). Hierbij worden de kapitaalkosten gebruikt als proxy voor de disconteringsvoet om kasstromen te evalueren over verschillende technologieën. Deze homogeniteitsveronderstelling levert een bevooroordeelde weergave op van deze kosten, wat misleidend kan zijn (Briera & Lefèvre, 2024). Ook internationale rapporten hanteren vaak constante discontovoeten. Zo gebruikt het '*Projected costs of generating electricity*' van het IEA in 2010 een uniforme disconteringsvoet van 5% en 10%. IRENA gebruikt in hun onderzoek van 2012 dan weer een percentage van 10%. Hoewel deze rapporten het belang van kapitaalkosten voor groene technologieën benadrukken, houden ze onvoldoende rekening met nationale contexten. Sweerts et al. (2019) tonen aan dat een WACC van 13% vereist is om windenergie op land concurrerend te maken met aardgas. Zonne-energie heeft een WACC nodig van 6%. Geothermische energie blijkt in alle scenario's relatief goedkoop en competitiever dan aardgas en diesel (Sweerts et al., 2019).

Sommige studies, zoals die van Peters et al. (2011) en Schmidt et al. (2012) (in Ondraczek et al., 2015), wijzen wel degelijk op het belang van het gebruik van locatie specifieke realistische discontovoeten. Briera en Lefèvre (2024) benadrukken dat dergelijke differentiatie inmiddels wordt toegepast in *Integrated Assessment Models* en grootschalige energiemodellen. In het onderzoek van Ondraczek et al. (2015) wordt de WACC gebruikt om de kapitaalkosten per land te berekenen. Ze vermelden dat LCOE-waarden erg locatie specifiek zijn vanwege de regionale kostenverschillen en de wisselende sterkte van de zon in het geval van zonnepanelen. Sweerts et al. (2019) vertalen deze heterogene kapitaalkosten naar de Afrikaanse context en vindt schattingen van de WACC die variëren tussen de 8% en 32%. De auteurs introduceren ook een stilistisch model dat het mogelijk maakt om deze technologie- en land specifieke WACC-waarden te genereren tot 2050. Dit model bestaat uit drie componenten: landenrisico, technologiepremie, en financiële de-risking (Sweerts et al., 2019). De eerste twee werden al eerder in deze paper uitvoerig besproken; het derde concept wordt verderop in deze studie toegelicht.

Steffen (2020) identificeert drie dimensies die de hoogte van kapitaalkosten beïnvloeden: het land waarin het project wordt uitgevoerd; de technologie die wordt toegepast; de evolutie van economische omstandigheden doorheen de tijd. Hoewel dus steeds meer studies WACC differentiëren naar land en technologie, blijft de impact van internationale klimaatfinanciering op financieringskosten te weinig besproken (Briera en Lefèvre, 2024).

Uit het onderzoek van Steffen (2020) blijkt dat de kapitaalkosten gemiddeld hoger liggen in ontwikkelingslanden dan in geïndustrialiseerde landen. Maar ook binnen deze groep bestaan er

aanzienlijke verschillen, door onder meer variërende economische ontwikkeling en risicoprofielen. Dit benadrukt volgens Steffen (2020) het belang van het integreren van realistische, lokaal afgestemde kapitaalkosten in energiebeleidsstrategieën. Daarnaast bieden ze aanknopingspunten voor beleidsmakers om gericht in te grijpen en investeringen efficiënter aan te trekken.

Uit het onderzoek van Schinko en Komendantova (2016) blijkt dat de WACC voor *concentrated solar power* projecten in de Noord-Afrikaanse regio gemiddeld 6,1% hoger is dan in de Europese regio. Hierdoor is de gemiddelde LCOE in deze regio voor deze projecten niet concurrerend aan die van fossiele brandstof generatietechnologieën zonder dat er tussenkomst van overheden komen om deze kosten te beheren. In het algemeen wordt er met de LCOE methode geen rekening gehouden met de investeringsrisico's die gepaard gaan met hernieuwbare energie projecten in ontwikkelingslanden (Schinko & Komendantova, 2016).

Bovendien vormt een gebrek aan transparantie over kapitaalkosten een extra belemmering. Dergelijke informatie wordt vaak als bedrijfsgevoelig beschouwd en dus nauwelijks publiek beschikbaar gesteld. Dit gebrek aan transparantie is volgens Steffen (2020) niet zozeer een probleem voor investeerders, maar kan een uitdaging vormen voor onderzoekers en beleidsmakers. Daarnaast kunnen binnen één land regionale verschillen optreden, bijvoorbeeld tussen stedelijke en rurale gebieden. Ook deze nuance ontbreekt vaak in bredere modelleringen. Tenslotte benadrukt Steffen (2020) dat kapitaalkosten dynamisch zijn. Ze variëren over tijd als gevolg van macro-economische veranderingen, geopolitieke instabiliteit, of evoluerende financiële markten. Dit pleit voor het gebruik van aanpasbare discontovoeten in plaats van vaste waardes bij langetermijnprojecties.

2.3.2 Methoden voor risicokwantificering in kapitaalkosten

Om de financiële haalbaarheid van hernieuwbare energieprojecten in ontwikkelingslanden te beoordelen worden verschillende methoden gebruikt. De meest voorkomende is de klassieke methode van de *Net Present Value* (NPV). Hierbij worden de toekomstige kasstromen verdisconteerd aan de hand van een vooraf bepaalde discontovoet (Shimbar & Ebrahimi, 2020). Deze bestaat doorgaans uit een risicoloos rentepercentage en een risicopremie. Hoewel de NPV-methode vaak wordt gebruikt in de praktijk, trekt de literatuur deze toch in twijfel als het gaat over langetermijninvesteringen in hernieuwbare energie (Shimbar & Ebrahimi, 2020). Er wordt onvoldoende rekening gehouden met onzekerheid en dynamische risico's, wat het werkelijke investeringsrisico kan onderschatten. Dit vergroot het risico op inefficiënte of zelfs verkeerde investeringsbeslissingen.

Een alternatieve methode is het gebruik van risicogecorrigeerde disconteringsvoet (RADR). Hierbij wordt de discontovoet verhoogd naargelang het waargenomen risico (Shimbar & Ebrahimi, 2020). Ook deze methode kent echter beperkingen. Zo zijn ze vaak gebaseerd op historische rendementen of globale risicopremies en houden zelden rekening met project- of land-specifieke omstandigheden. Daarnaast wijzen Shimbar & Ebrahimi (2020) erop dat deze methode meestal verband houden met toekomstige kasstromen, wat conservatieve schattingen van de investeringswaarde opleveren. De verkregen risico gecorrigeerde disconteringsvoet is dus mogelijk niet in overeenstemming met het

werkelijk niveau van risico aangaande lange termijn investeringen in groene energie projecten. Projecten lijken dus al snel financieel onhaalbaar. Het kan dus gezegd worden dat de klassieke RADR methode niet in staat is om het commercieel potentieel van hernieuwbare energie in ontwikkelingslanden te laten zien (Shimbar & Ebrahimi, 2020).

Het verhoogde politiek risico in ontwikkelingslanden is moeilijk te kwantificeren. Hiermee omgaan is volgens Shimbar & Ebrahimi (2020) niet eenvoudig, omdat het complex is om deze risicopercepties op te nemen in een kwantitatieve investeringsanalyse. Om ze toch te integreren in besluitvorming, moet er een opwaartse aanpassing gemaakt worden van de disconteringsvoet. Shimbar en Ebrahimi (2020) stellen daarom een *sovereign spread* (SS) voor. Dit is het verschil in rente tussen buitenlandse obligatie (in Amerikaanse dollars) en een gelijkaardige Amerikaanse obligatie. Deze spread weerspiegelt de marktopvatting over het kredietrisico van een land. Toch erkennen de auteurs dat de effectiviteit van deze aanpak twijfelachtig blijft. De SS bevat naast politiek risico ook andere macro-economische factoren zoals inflatie en liquiditeit. Een verkeerde schatting kan dus leiden tot inefficiënte toewijzing van internationaal kapitaal aan ontwikkelingslanden (Shimbar & Ebrahimi, 2020).

Om dit probleem te vermijden, verwijzen de auteurs verwijzen in hun literatuurstudie naar een onderzoek van Bekaert et al. (2016). Die past namelijk een verfijndere maatstaf voor, de *Political Risk Sovereign Spread* (PRSS), het specifieke deel van de *sovereign spread* dat verband houdt met politiek risico. Dit wordt berekend aan de hand van een regressieanalyse, waarbij de SS wordt opgesplitst in vier verschillende aspecten: namelijk lokale factoren, mondiale invloeden, liquiditeitsindicator, en politieke risicobeoordelingen (Bekaert et al., 2016; Shimbar & Ebrahimi, 2020). De PRSS vormt een betrouwbaardere maat voor politieke instabiliteit bij investeringsbeslissingen.

Naast politiek risico speelt ook operationele risico's een rol in het bepalen van kapitaalkosten. Lilford et al. (2018) stellen voor om hiervoor een aanvullende risicopremie toe te voegen aan de WACC, wat leidt tot een aangepaste RADR. De auteurs stellen ook een dynamische benadering van *discount rates* voor, waarbij ze kunnen worden aangepast aan de veranderende schuld- en risicoprofielen. Deze aanpak is relevant voor ontwikkelingslanden, waar de risico's en financieringskosten gepaard met investeringen vaak volatiel zijn (Lilford et al., 2018).

2.4 Risicomanagementconcepten

Het verlagen van de waargenomen risico's, en de bijhorende premie, is noodzakelijk om hernieuwbare energieprojecten aantrekkelijker te maken en zo de energietransitie te versnellen (Calcaterra et al., 2024). In deze sectie worden risicobeheersing-strategieën besproken en opgedeeld in drie categorieën: politieke en regelgevende stabiliteit, financiële ondersteuning, en strategieën gericht op het verlagen van kapitaalkosten.

2.4.1 Politieke en regelgevende stabiliteit

Een stabiel beleidskader is essentieel voor het aantrekken van investeringen in hernieuwbare energie. De regelgevende onzekerheid in ontwikkelingslanden komt vaak voor in de vorm van plotse wijzigingen in subsidies of energieprijzen. Dit ondermijnt de rendabiliteit van projecten en verhoogt het investeringsrisico. Overheden zouden deze risico's echter kunnen beperken door onder andere strategieën en maatregelen op lange termijn vast te leggen. Transparantie in regelgeving zorgt voor stabiliteit, wat de impact van kortetermijnwijzigingen beperkt. Daarnaast kunnen internationale akkoorden en samenwerkingen bijdragen aan een stabiel investeringsklimaat.

2.4.2 Financiële ondersteuning

Een van de grootste uitdagingen in ontwikkelingslanden is de beperkte toegang tot betaalbaar kapitaal. De zwakke financiële markten maken het ontwikkelaars moeilijk om de juiste investeringen te verkrijgen. Internationale ontwikkelingsfinancieringsinstellingen, zoals de Wereldbank, kunnen hierin een cruciale rol spelen (Sweerts et al., 2019). Dankzij hun overheidsachtergrond genieten ze van een hoge kredietwaardigheid, waardoor ze tegen gunstige voorwaarden kapitaal kunnen mobiliseren. Het stelt hen ook in staat om grote hoeveelheden kapitaal op de internationale markt te werven. Daarnaast kunnen ze ook subsidies aanbieden of financiering verstrekken aan lagere rentetarieven (Sweerts et al., 2019). Naast financiële steun dragen ze dus ook bij aan kennisdeling, standaardisering van contracten en demonstratieprojecten. Daarnaast kunnen instrumenten zoals kredietverzekeringen en *first-loss guarantees* investeerders extra zekerheid bieden.

2.4.3 Strategieën om hoge CAPEX te beheersen

De hoge kapitaalkosten (CAPEX) blijven een structurele belemmering vormen voor groene investeringen in ontwikkelingslanden. Zonder risicobeperkende maatregelen blijven veel projecten financieel onaantrekkelijk. Schmidt (2014) en Komendantova et al. (2019) geven aan dat een combinatie van beleidsmaatregelen en financiële instrumenten is vereist om de financieringsvoorwaarden te verbeteren. Een geïntegreerde aanpak waarin de verschillende stakeholders samenwerken, is noodzakelijk. Op die manier kunnen hernieuwbare energieprojecten aantrekkelijker worden voor private investeerders en kan de energietransitie succesvol worden.

2.4.3.1 Financiële de-risking

Financiële de-risking verwijst naar maatregelen die risicopercepties verlagen en zo financieringskosten drukken. Dit kan aan de hand van het aanbieden van garanties, gesubsidieerde leningen of verzekeringen (Schmidt, 2014). Het verlagen van de hoge kapitaalkosten (CAPEX) die gepaard gaan met hernieuwbare energie investeringen in ontwikkelingslanden, zou de inzet van groene energiebronnen moeten aanmoedigen (Briera & Lefèvre, 2024). Het blijft echter moeilijk te voorspellen in wat de exacte beleidsmechanismen zullen resulteren. Komendantova et al. (2019) tonen aan in hun onderzoek dat financiële de-risking wel effectief kan zijn om de kapitaalkosten te verlagen.

Een belangrijk instrument is publieke financiering. Volgens Briera en Lefèvre (2024) zouden twee effecten in overweging moeten worden genomen. Ten eerste stimuleert het private investeringen door risicodeling. Ten tweede verlaagt het de kapitaalkosten door gunstigere leenvoorwaarden aan te bieden, bijvoorbeeld door internationale klimaatfondsen (Briera & Lefèvre, 2024; Schinko & Komendantova, 2016). Sweerts et al. (2019) verwijzen naar financiële de-risking als elke vorm van externe financiële steun die de investeringsrisico's vermindert en de rendementen verlaagt. Andere manieren die de risicopercepties van investeringen kunnen verminderen zijn onder andere subsidies, en kapitaalgaranties en verzekeringen.

2.4.3.2 Gemengde financiering en publiek-private partnerschappen (PPP's)

Gemengde financiering, ook wel *blended finance* genoemd, combineert publieke en private middelen om de risicopercepties van de particuliere investeerders te verminderen (Briera & Lefèvre, 2024). Dit houdt in dat er gebruik wordt gemaakt van concessionele middelen als hefboom, om extra commerciële financiering aan te trekken. Publiek-private partnerschappen (PPP's) helpen vaak om kapitaalkosten te verlagen door subsidies of belastingvoordelen van overheden. Het wordt een steeds populairder instrument dat de risico's verdeelt tussen publieke en private investeerders. Internationale publieke actoren zijn cruciale spelers om de barrières voor deze hernieuwbare energie-investeringen weg te nemen (Briera & Lefèvre, 2024). Ze worden, volgens de auteurs, verwacht de financiering veilig te stellen en het potentieel van hernieuwbare energie in ontwikkelingslanden te helpen ontsluiten. Wel moet worden opgemerkt dat PPP's ook kunnen leiden tot de marginalisering van lokale ondernemingen, zoals Elsner et al. (2022) aantonen in de context van Zambia.

2.4.3.3 Beleidsmatige de-risking

Beleidsmatige de-risking richt zich volgens Schmidt (2014) op het verminderen van structurele investeringsrisico's, zoals onduidelijke regelgeving of administratie. Maatregelen zoals het vereenvoudigen van vergunningsprocedures en stabiele subsidiesystemen kunnen zeker bijdragen aan een stabiel investeringsklimaat. Ook Aqeeq et al. (2023) concluderen dat kostenoptimalisatie kan worden bekomen via maatregelen om financieringskosten te verlagen. Daarnaast garanderen Feed-in-tarieven (FIT) een stabiel rendement voor de producenten van hernieuwbare energie. Het biedt een gegarandeerde betaling op lange termijn, wat risicopremies verlaagt (Saculsan et al., 2020).

Verscheidende studies trachten de impact van internationaal en binnenlands beleid op kapitaalkosten te modelleren. Zo integreren Briera en Lefèvre (2024) een kapitaalkostmodel (IMACLIM-R-model) om te analyseren hoe klimaatfinanciering de energietransitie in ontwikkelingslanden kan versnellen. Hoewel het theoretisch mogelijk is dat lagere kapitaalkosten investeringen in hernieuwbare energie stimuleren, blijven de mechanismen volgens de auteurs complex en weinig voorspelbaar. Andere studies, zoals die van Al-Sumaiti et al. (2020), bieden vergelijkende economische analyses die investeerders helpen bij het inschatten van projectrendementen.

2.5 CAPM en DCFROR model

Om de financiële haalbaarheid van hernieuwbare energieprojecten in ontwikkelingslanden te beoordelen, is het essentieel om risico's en rendementen kwantitatief te analyseren. De literatuur wijst op twee veelgebruikte modellen: het *Capital Asset Pricing Model (CAPM)* en het *Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFROR)-model*. Beide modellen bieden investeerders inzicht in hoe politieke, economische en regelgevende risico's de financieringsstructuur en verwachte opbrengsten van duurzame energieprojecten kunnen beïnvloeden.

2.5.1 Capital Asset Pricing Model (CAPM)

Het Capital Asset Pricing Model (CAPM) is een veelgebruikt financieel model om de verwachte rendementseis van investeringen te bepalen op basis van het systematisch risico. Dit is het deel van het risico dat niet kan worden weggenomen door portefeuillediversificatie. De verwachte rendementseis (*cost of equity*) wordt in dit model uitgedrukt als de som van een risicovrije rentevoet, een algemene risicopremie, en een project- of sector-specifieke bèta. Deze bèta geeft de gevoeligheid van een project weer ten opzichte van marktvolatiliteit.

Hoewel CAPM oorspronkelijk werd ontwikkeld voor beursgenoteerde activa, wordt het ook toegepast op hernieuwbare energie projecten in de energiesector. Aangezien deze projecten voor via *special purpose vehicles (SPV's)* worden gefinancierd en niet publiek worden verhandeld, zijn er andere benaderingen nodig om het risico te schatten (Steffen, 2020). Voor de marktkosten van schulden worden daarom proxy's gebruikt, zoals onder andere de opbrengst van obligaties van een vergelijkbaar bedrijf met een vergelijkbare kredietwaardigheid (Steffen, 2020).

Het onderzoek van Briera en Lefèvre (2024) bijvoorbeeld, modelleert de kosten van schulden als de som van een risicoloos tarief, een landenrisico en een technologierisicopremie. Deze technologierisicopremie neemt in de loop van de tijd af door leereffecten (*learning-by-doing*). De kosten van eigen vermogen wordt door Briera en Lefèvre (2024) gemodelleerd door middel van het CAPM. Dit is het meest voorkomend raamwerk, ondanks de erkende beperkingen (Saculsan et al., 2020). Briera en Lefèvre (2024) gebruiken het IMACLIM-R-Model, het geïntegreerde energie-economische model waar zowel landenrisico als technologierisico in de kostprijs van kapitaal worden opgenomen.

Het berekenen van de bèta staat centraal in deze methode (Saculsan et al., 2020), maar in ontwikkelingslanden is dit vaak problematisch wegens datagebrek en marktvolatiliteit. Hierdoor

wordt het klassieke CAPM minder geschikt geacht in deze context. Een alternatieve methode wordt de *downside bèta CAPM* voorgesteld. Dit houdt beter rekening met asymmetrische risico's volgens Steffen (2020).

2.5.2 Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFROR) model

Het DCFROR-model is een breed toegepaste methode, en wordt gebruikt om de economische haalbaarheid van projecten te beoordelen. Het model werkt op basis van het disconteren van toekomstige kasstromen naar hun huidige waarde. Hierbij kan zowel de NPV als de interne opbrengstvoet (IRR) worden berekend. Een project wordt als financieel aantrekkelijk beschouwd wanneer de NPV positief is én de IRR hoger ligt dan de WACC (Lee et al., 2020).

Het DCFROR-model wordt vaak ingezet om scenarioanalyses uit te voeren, meestal bij energieprojecten. Hierbij is het mogelijk de gevoeligheid van een project voor bepaalde onzekerheden, zoals fluctuaties in energietarieven of wijzigingen in financieringskosten, in kaart te brengen. Vooral bij kapitaalintensieve en risicogevoelige technologieën biedt dit model waardevolle inzichten voor zowel investeerders als beleidsmakers. Ideaal dus voor dit onderzoek aangaande hernieuwbare energie in ontwikkelingslanden.

2.6 Duurzame vliegtuigbrandstof als toepassing

De financiële haalbaarheid van hernieuwbare energieprojecten wordt sterk beïnvloed door risicopremies, kapitaalkosten en verwachte rendementen. Modellen zoals CAPM en DCFROR helpen investeerders bij het inschatten van deze risico's en het bepalen van de economische levensvatbaarheid van projecten. Dit is met name relevant voor technologieën die nog in ontwikkeling zijn en waarbij hoge initiële kosten en marktvolatiliteit een rol spelen.

Een concreet voorbeeld hiervan is *Sustainable Aviation Fuel (SAF)*, een innovatieve maar kapitaalintensieve oplossing voor het verduurzamen van de luchtvaartsector. Hoewel SAF aanzienlijke milieuvoordelen biedt, vormt de hoge kostenstructuur een belangrijke barrière voor grootschalige adoptie. Door financiële modellen toe te passen, kan beter worden begrepen hoe kapitaalkosten (CAPEX), operationele kosten (OPEX) en risicopremies de economische haalbaarheid van deze technologie beïnvloeden.

Zoals besproken in de inleiding is de luchtvaartindustrie verantwoordelijk voor ongeveer twee procent van alle menselijke CO₂-uitstoot (Bauen et al., 2020). Het doel van *Air Transport Action Group (ATAG)* is dan ook om tegen 2050 de netto-emissies te verminderen met 50% (Rojas-Michaga et al., 2023). SAF is hierbij een cruciale strategie, omdat het fossiele vliegtuigbrandstof kan vervangen.

In deze sectie worden de technologische mogelijkheden, milieuvoordelen en economische uitdagingen van SAF besproken, met bijzondere aandacht voor de kostenstructuur (CAPEX en OPEX) die de brede adoptie van SAF beïnvloeden.

2.6.1 Het potentieel van Sustainable Aviation Fuels (SAF)

SAF omvat hernieuwbare brandstoffen die de conventionele fossiele vliegtuigbrandstof kerosine kunnen vervangen en daarmee de milieu-impact verminderen. Het is een geschikt alternatief omdat het vrijwel identieke fysieke en chemische eigenschappen heeft als conventionele brandstoffen (Shahriar & Khanal, 2022). Het belangrijkste voordeel is de significant lagere koolstofemissie. Het kan de CO₂-uitstoot wel tot 90% verminderen. Hierdoor heeft de luchtvaartsector een lagere CO₂-voetafdruk (Shahriar & Khanal, 2022). Naast de directe reductie van CO₂-uitstoot, kan SAF ook helpen met het verlagen van niet-CO₂-klimaateffecten zoals condensatiestrepen en stikstofoxide-uitstoot (Braun et al., 2024).

Volgens Braun et al. (2024) kan de netto-nul doelstelling alleen worden behaald door verschillende methoden van CO₂-emissiereductie te combineren. Duurzame vliegtuigbrandstoffen zal echter een van de grootste bijdragers zijn volgens de laatste scenarioprognose van EUROCONTROL (Braun et al., 2024). Dit kan verklaard worden door het feit dat SAF "drop-in" brandstoffen zijn, ze kunnen zonder enige aanpassing gebruikt worden in bestaande vliegtuigtechnologieën en worden gemengd met kerosine (Braun et al., 2024). Dit maakt het een kosteneffectieve oplossing voor het verminderen van de CO₂-uitstoot terwijl zijn productie wordt opgeschaald om geleidelijk fossiele brandstoffen te kunnen vervangen. Een ander voordeel dat SAF met zich meebrengt is de

toekomstige energiezekerheid en onafhankelijkheid (Shahriar & Khanal, 2022). Het kan op verschillende manieren worden geproduceerd op basis van diverse grondstoffen, wat leidt tot verschillende soorten SAF (Braun et al., 2024). Enkele voorbeelden zijn onder andere biobrandstoffen uit het *hydroprocessed esters and fatty acids* (HEFA) conversie pad, het *Fischer-Tropsch Synthesis* (FT)-proces, *alcohol-to-jet* (ATJ)-proces, en *power-to-liquid brandstoffen* (PtL).

De duurzame vliegtuigbrandstof moet voldoen aan strenge voorwaarden in verband met duurzaamheidscriteria van de EU (Braun et al., 2024). Concreet moet de uitstoot van broeikasgassen worden verminderd met 50-70% in vergelijking met kerosine en wordt er een voorkeur gegeven naar grondstoffen zoals afval en residuen. De alternatieve duurzame brandstof is al in beperkte hoeveelheden verkrijgbaar op de commerciële markt, maar het effectief gebruik is nog zeer beperkt (Braun et al., 2024). Volgens de *European Union Aviation Safety Agency* (EASA) werd in minder dan één procent van alle Europese vluchten in 2022 gebruik gemaakt van deze alternatieve brandstof (Braun et al., 2024). Deze lage benuttingsgraad kan gerelateerd zijn aan de kosten die gepaard gaan met deze brandstof. De hoge kostenstructuur blijft een grote uitdaging voor de economische haalbaarheid van de technologie.

2.6.2 Kostenstructuur van Sustainable Aviation Fuel (SAF)

De kosten van deze alternatieve brandstoffen zijn vandaag de dag nog steeds hoger dan die van fossiele kerosine. Volgens Bauen et al. (2020) kunnen de totale kosten van SAF wel twee tot vijf keer hoger liggen dan die van kerosine, wat de adoptie vertraagt. Daarnaast zijn de infrastructuur en toeleveringsketens voor een efficiënte grootschalige productie van SAF nog onvoldoende ontwikkeld (Braun et al., 2024). De productiecapaciteit en -hoeveelheid is ook nog beperkt. Hoewel SAF een kosteneffectieve oplossing is dankzij de compatibiliteit met kerosine, blijft de productie duurder dan bij fossiele brandstoffen (Braun et al., 2024).

De kapitaalkosten (CAPEX) die gepaard gaan met de productie van SAF omvatten investeringen in infrastructuur, technologie en installaties. Ze zijn echter sterk afhankelijk van de productiemethode die wordt toegepast. Als de nodige productiefaciliteiten grotendeels kunnen worden geïntegreerd in bestaande raffinaderijen, zoals in het geval van co-processing, is de CAPEX nog relatief laag. Wanneer er echter complexe chemische processen of CO₂-afvangtechnologieën aan te pas komen zal de CAPEX stijgen. (Rojas-Michaga et al., 2023; Shahriar & Khanal, 2022)

De operationele kosten (OPEX) van de SAF-productie omvatten de terugkerende kosten zoals energieverbruik, grondstoffen en onderhoud. Dit is opnieuw afhankelijk van de gebruikte technologie. Wanneer de grondstoffen beperkt beschikbaar zijn, of wanneer er grote hoeveelheden nodig zijn, zal de OPEX stijgen. Zo zal de HEFA-technologie, gebaseerd op afvaloliën, een lagere OPEX hebben anderen die bijvoorbeeld afhankelijk zijn van dure waterstof en CO₂-afvang. De energievereisten bij processen die gebruik maken van vergassing of elektrolyse kunnen ook een significant aandeel van de operationele kosten uitmaken. Verder opschaling en technologische vooruitgang kan er wel voor zorgen dat deze kosten in de toekomst zullen verlagen. (Rojas-Michaga et al., 2023; Shahriar & Khanal, 2022)

2.7 Conclusie literatuurstudie

De transitie naar hernieuwbare energie is essentieel om de klimaatdoelstellingen te behalen en energiezekerheid op lange termijn te waarborgen. Investerings hiervoor in ontwikkelingslanden worden echter belemmerd door politieke, economische, en regelgevende risico's. De literatuurstudie heeft aangetoond dat deze risico's leiden tot verhoogde risicopremies, wat de financieringskosten van groene energieprojecten doet stijgen.

Modellen zoals het CAPM en DCFROR bieden inzichten in de impact van deze risico's op de kapitaalkosten van de projecten. Een stabiel regelgevend kader, voorspelbare energieprijzen en effectieve beleidsondersteuning zijn cruciaal om investeerders aan te trekken en duurzame energieprojecten financieel haalbaar te maken.

Sustainable Aviation Fuel (SAF) werd reeds besproken als een technologie met potentieel, maar de hoge CAPEX en OPEX vormen vandaag nog een drempel voor grootschalige uitrol. Beleidsmaatregelen, technologische innovaties en schaalvoordelen zullen cruciaal zijn om grootschalige adoptie mogelijk te maken.

Uit de literatuur blijkt dat risicobeperkende strategieën, zoals internationale klimaatfinanciering, publiek-private samenwerkingen en overheidssteun, effectief kunnen zijn om investeringsrisico's te verminderen en hernieuwbare energieprojecten aantrekkelijker te maken.

3 Methodologie

In dit hoofdstuk zal de onderzoeksmethode en dataverzameling die gepaard gaan met de kwantitatieve analyse worden toegelicht. Ook de keuze van model en duurzame brandstof zal worden verduidelijkt.

3.1 Onderzoeksmethode

Het empirisch gedeelte van deze masterthesis maakt gebruik van een kwantitatieve analyse op basis van een *discounted cash flow* model. Op die manier wordt geprobeerd om kwantitatief de impact van landenrisico's op financieringskosten en de *minimum selling price* (MSP) van *sustainable aviation fuels* (SAF) te analyseren. Het DCFROR-model van de Washington State University zal worden gebruikt om prognoses te maken voor het rendement op investering (ROI) van deze projecten in ontwikkelingslanden en om manieren te identificeren om de impact van deze risico's te verminderen. Met dit model zal een scenario-analyse worden uitgevoerd waarin verschillende scenario's worden getest om de impact op de financiële levensvatbaarheid te beoordelen. Op basis hiervan zullen aanbevelingen gedaan worden voor beleidmakers.

3.2 Keuze model

Zoals hierboven werd vermeld zal in deze studie het *Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRROR) model* worden gebruikt om de economische haalbaarheid van groene energieprojecten in ontwikkelingslanden te evalueren. De keuze voor dit model wordt in deze sectie verduidelijkt.

Eerst en vooral geeft het DCFRROR-model een inzicht in de verwachte rentabiliteit op lange termijn van een project. Dit is interessant in het geval van hernieuwbare energie projecten aangezien deze gepaard gaan met een hoge kapitaal investering. Daarnaast is dit model geschikt om verschillende scenario's te simuleren en een vergelijking te maken tussen de financiële prestaties van verschillende landen. Dit helpt bij het kwantificeren van de impact van investeringsrisico's op het verwacht rendement. Het meest doorslaggevende argument is echter de beschikbaarheid van dit model. Kristin Brandt van de *Washington State University* heeft dit model namelijk al ontworpen in functie van SAF, waardoor het logisch is om dit model te gebruiken als basis voor deze analyse. (Kristin Brandt et al., 2021) Dit model is terug te vinden in 8.1 (Bijlage 1).

3.3 Keuze Sustainable Aviation Fuel (SAF) technologie

Het model van de *Washington State University* wordt toegepast op *Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA)* als technologie voor hernieuwbare brandstoffen. De focus van deze thesis wordt dan ook gelegd op de kwantificering van risico's aangaande investeringen in HEFA technologieën in ontwikkelingslanden. Waarom HEFA wordt gekozen als technologie, wordt in deze sectie beargumenteerd.

HEFA is een van de meest succesvolle technologieën voor de productie van duurzame vliegtuigbrandstoffen (SAF). Het werd in 2011 goedgekeurd en is ondertussen commercieel beschikbaar (Atnoorkar et al., 2024). Er zijn al een aantal grootschalige HEFA-productiefaciliteiten aan de gang, wat de betrouwbaarheid en technologische rijpheid bevestigt. Daarnaast zijn HEFA-brandstoffen *drop-in fuels*, waardoor ze direct inzetbaar zijn in bestaande infrastructuur. Het kan ook tot 50% gemengd worden met conventionele vliegtuigbrandstof (Atnoorkar et al., 2024). HEFA maakt gebruik van verschillende duurzame vetbronnen, zoals onder andere dierlijke vetten of plantaardige oliën. Dit zorgt voor flexibiliteit in de grondstofkeuze en kan de afhankelijkheid van specifieke markten of hulpbronnen verminderen. De kostenstructuur van deze productietechnologie is ook gunstiger dan andere alternatieven, aangezien er al raffinagecapaciteit aanwezig is.

De gunstige kostenstructuur, gecombineerd met bestaande beleidsinitiatieven, verhoogt de economische aantrekkelijkheid voor investeerders. In Europa gaat het onder andere om de *Fit for 55-package* met de *ReFuelEU Aviation Initiative* en de *Renewable Energy Directive* (RED II) (European Commission, 2023). In de Verenigde Staten spelen de *Renewable Fuel Standard* (RFS) en de *Inflation Reduction Act* (IRA) een belangrijke rol (US EPA, 2015). Dit alles maakt HEFA een aantrekkelijke optie om SAF te produceren.

3.4 Keuze Feedstock

Deze studie is gebaseerd op het gebruik van FOG's (vetten, oliën en vetresten) als primaire grondstof voor de productie van duurzame brandstoffen. FOG's omvatten gebruikte frituuroliën, dierlijke vetten en vetafscheidingsresten, die worden beschouwd als tweedegeneratie-afvalgrondstoffen. Ze zijn relatief laag in kostprijs (Atnoorkar et al., 2024) en breed beschikbaar als afvalproduct van de voedingsindustrie en horeca. Daarnaast sluiten ze perfect aan bij de principes van circulaire economie.

3.5 Keuze Case Studies

Voor dit onderzoek werden Chili en Ghana geselecteerd als contrasterende case studies binnen de groep van ontwikkelingslanden. Beide landen ontwikkelen momenteel strategieën rond duurzame vliegtuigbrandstof (SAF), maar verschillen fundamenteel in hun institutionele en financiële context. Ze vertegenwoordigen uiteenlopende niveaus van economische ontwikkeling, wat toelaat te analyseren hoe landenrisico en beleidskaders de economische haalbaarheid van SAF-projecten beïnvloeden.

De landenkeuze is gebaseerd op twee criteria. Enerzijds weerspiegelen ze beide een verschillend niveau van kredietwaardigheid, wat invloed heeft op hun toegang tot kapitaal. De kredietscore geeft weer in welke mate een bedrijf of overheid in staat is om rente en schulden terug te betalen (Julia Kagan, 2024). Chili heeft een *credit rating* van A, wat wijst op een relatief laag risico. Ghana aan de andere kant wordt met een rating van B- als een hoog risico land geclassificeerd (Songwe et al., 2022). Deze rating beïnvloedt rechtstreeks de financieringsvoorwaarden voor grootschalige

investeringen in groene energie en is daarom een belangrijk element in het berekenen van *risk adjustment factors (RAF)*, *discount rates* en *loan rates*. Anderzijds beschikken beide landen over relevante kenmerken voor SAF-productie, zoals toegang tot geschikte grondstoffen en deelname aan internationale initiatieven.

3.5.1 Chili: laag risicoprofiel met strategisch luchtvaartbeleid

Chili combineert een stabiele economische en institutionele context met zijn strategische positie in Zuid-Amerika en zijn goed ontwikkelde luchtvaartsector. Het land toont sterke institutionele betrokkenheid bij de ontwikkeling van SAF. Het heeft zich gepositioneerd als koploper in Latijns-Amerika op het gebied van vliegtuigdecarbonisatie. Het nationale programma Vuelo Limpio (*Clean Flight*), dat sinds 2020 fungeert als een publiek-private samenwerking gericht op het verduurzamen van de luchtvaartsector, speelde hierin een grote rol (Sustainable Aviation Futures, 2024). Dit initiatief resulteerde onder meer in een nationaal SAF-ecosysteem met meer dan 60 partners en tot de publicatie van de 'SAF Roadmap 2050' (Vuelo Limpio, 2024). Hierin streeft Chili ernaar om tegen 2050 de helft van zijn vliegtuigbrandstof te vervangen door SAF. Een ander belangrijk onderdeel van deze roadmap is de geplande oprichting van de eerste grootschalige SAF-fabriek in Chili tegen 2030. Daarnaast is Chili actief betrokken bij internationale initiatieven zoals het ICAO (*International Civil Aviation Organization*) ACT-SAF programma, dat landen in staat stelt om de ontwikkeling en inzet van deze technologieën te versnellen. De Chileense luchtvaartmaatschappij LATAM heeft al concrete stappen gezet richting de integratie van SAF in haar duurzaamheidsstrategie, wat de relevantie van SAF voor Chili verder benadrukt.

Deze initiatieven tonen aan dat Chili beschikt over een beleidsmatig en economisch kader waarin investeringen in SAF relatief weinig belemmeringen kennen. Daardoor vormt Chili een ideaal referentiepunt binnen dit onderzoek om te analyseren hoe lage landenrisico's kunnen leiden tot lagere financieringskosten en een aantrekkelijkere investeringsomgeving.

3.5.2 Ghana: hoog risico maar opkomende ambities

Ghana vertegenwoordigt een heel andere realiteit. Het is een West-Afrikaans land met een hoge risicopremie, lagere kredietwaardigheid en beperkte toegang tot internationale kapitaalmarkten. Toch zijn er duidelijke aanwijzingen dat Ghana zich wil positioneren in de markt voor duurzame brandstoffen. Het land beschikt over een rijk potentieel aan biomassa en organische afvalstromen die geschikt zijn als grondstof voor SAF-productie via de HEFA technologie. Denk hierbij aan landbouwresiduen, palmolie, en gebruikt frituurvet. Bovendien zijn er recente ontwikkelingen die aantonen dat Ghana wel degelijk stappen zet richting een duurzaam luchtvaartbeleid. Zo kondigde het land aan dat het een haalbaarheidsstudie zou uitvoeren naar SAF-productie en -gebruik, gefinancierd door het Verenigd Koninkrijk (Maclean Kwofi, 2025). Factoren zoals de beschikbaarheid van feedstock, technologische vereisten en economische levensvatbaarheid zullen worden onderzocht in nationale contexten. Verder maakt Ghana ook deel uit van het ACT-SAF-initiatief van ICAO (aviationghana, 2025). Daarnaast wordt SAF als apart onderdeel gezien van een breder energiestrategisch plan om tegen 2060 netto-nuluitstoot te realiseren in het hele land (SEforAll,

2023). Ghana heeft dus zeker potentieel om een regionale hub te worden voor SAF-productie in West-Afrika.

Ghana vormt dus een interessante casus om te onderzoeken hoe beleidsinitiatieven en internationale samenwerking het effect van een hoog landenrisico kunnen milderen. De resultaten van deze studie tonen aan welke financiële voorwaarden noodzakelijk zijn om investeringen in SAF haalbaar te maken in een risicovolle context.

3.6 Dataverzameling

Gegevens worden verkregen uit secundaire bronnen zoals de World Bank, IMF en sectorrapporten. Ook de originele data uit het financieel DCFROR model van Kristin Brandt (Washington State University) zullen worden gebruikt.

De gebruikte data zijn afkomstig uit publieke, gevalideerde bronnen en worden gecontroleerd op consistentie met modelvereisten.

3.7 Analytische aanpak

In dit onderzoek wordt een kwantitatieve analyse toegepast om het effect van verschillende financieringsvoorwaarden op de *Minimum Selling Price* (MSP) van duurzame vliegtuigbrandstof (SAF) te evalueren. De analyse wordt uitgevoerd op basis van drie landen met uiteenlopende risicoprofielen: de Verenigde Staten (als benchmark), Chili (midden-inkomensland), en Ghana (laag-inkomensland). Deze landen werden geselecteerd om de impact van land gebonden risico's en financieringsstructuren op investeringsrendabiliteit in ontwikkelingslanden te illustreren.

Voor elk land wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij de sleutelparameters (*discount* en *loan rate*) systematisch worden gevarieerd. Deze parameters vormen de basis van het onderzoek, en worden aangepast in het economisch model op basis van enerzijds publieke data en anderzijds een *risico adjustment factor* (RAF). De RAF geeft het extra risico van ontwikkelingslanden ten opzichte van de benchmark (Verenigde Staten) weer. Per combinatie van deze inputparameters zal de resulterende MSP van SAF worden berekend via een *Discounted Cash Flow* (DCF)-model. Daarnaast wordt ook de impact van verschillende beleidsmaatregelen gekwantificeerd, en wat dit doet met de risicopremies.

Het model simuleert investeringskosten, operationele uitgaven en financiële kosten, en berekent vervolgens de MSP die nodig is om break-even te draaien binnen een vooraf bepaalde looptijd. De variatie in MSP tussen landen en scenario's laat toe om te evalueren welke beleidsopties en financieringsstructuren het meest invloedrijk zijn in het reduceren van de risicopremie in ontwikkelingslanden.

4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten toegelicht. De analyse richt zich op het kwantificeren van de impactfactoren die de risicopremies voor duurzame energie-investeringen beïnvloeden. Meer concreet voor *Sustainable Aviation Fuel* (SAF) in ontwikkelingslanden. De resultaten verschaffen relevante inzichten en vormen de basis voor de daaropvolgende beleidsaanbevelingen.

4.1 Inputfactoren

In dit hoofdstuk worden de inputfactoren voor de economische kwantificering verduidelijkt. De risicopremie die wordt gebruikt wordt toegelicht en hoe bepaalde waardes worden bekomen.

4.1.1 Componenten van de risicopremie

De risicopremie in groene energie-investeringen wordt in deze studie geschat aan de hand van drie componenten: de discontovoet (*discount rate*), de rente op schuldfinanciering (*loan rate*), en de verhouding tussen schuld en eigen vermogen (*debt-equity split*). Deze variabelen weerspiegelen het totaalrisico dat investeerders en kredietverstrekkers toekennen aan een project in een specifieke context of land.

De *discount rate* wordt benaderd via de gewogen gemiddelde kapitaalkost (WACC) en weerspiegelt de minimumrendementseis van investeerders rekening houdend met zowel project- als landrisico. Bij investeringen in ontwikkelingslanden is er dus een verhoogd risico, wat leidt tot een stijging van de *discount rate* (Estrada, 2002). Dit komt doordat investeerders een hogere risicopremie eisen om gecompenseerd te worden voor onzekerheden verbonden aan het land of het project. Deze factor wordt dus voornamelijk beïnvloed door het landrisico, de economische en geopolitieke omgeving (zoals politieke stabiliteit), en inflatie (Directorate-General for Mobility and Transport, 2024).

De *loan rate* daarentegen weerspiegelt voornamelijk de risico-inschatting van schuldeisers, vaak beïnvloed door het macro-economisch klimaat, wisselkoersrisico, en het politieke risico in ontwikkelingslanden. Bij toenemend risico verhogen banken hun rentevoet om zich te beschermen tegen potentiële verliezen (Caroline Banton, 2025). Deze wordt dus voornamelijk beïnvloed door de rentevoet op leningen en de toegang tot kapitaal.

De *debt-equity* verhouding geeft weer in welke mate goedkopere schuld dan wel duurder eigen vermogen wordt ingezet. Dit wordt rechtstreeks beïnvloed door het risicoprofiel en de financieringsstructuur van het project. Een hoog risico verlaagt de *debt-equity* ratio, aangezien kredietverstrekkers terughoudender worden en investeerders gedwongen zijn een groter aandeel eigen vermogen in te brengen (Jason Fernando, 2024).

Tabel 2: Factoren die elementen beïnvloeden

Element	Afhankelijk van
Discount rate	Landrisico, economische en geopolitieke omgeving
Loan rate	Rentevoet op leningen, toegang tot kapitaal
Debt-equity split	Risicoperceptie zelf

Door deze drie componenten gezamenlijk te analyseren, kan een land- of project specifieke risicopremie worden ingeschat. Op die manier worden investeerders gecompenseerd voor de onzekerheid die gepaard gaat met duurzame energie-investeringen in ontwikkelingslanden.

4.1.2 Verenigde Staten als benchmark

De Verenigde Staten van Amerika worden in dit model gebruikt als benchmark voor de baseline *discount rate*, aangezien het land een AAA-kredietwaardigheid heeft. Het beschikt daarnaast ook over diep ontwikkelde kapitaalmarkten, en worden in het algemeen beschouwd als een referentie voor investeringsrisico in een stabiele macro-economische context. De *baseline discount rate van de VS* wordt verondersteld 15% te zijn (Songwe et al., 2022). De *baseline loan rate* wordt geschat op 8% omdat dit de beginwaarde in het DCFROR model van Kristin Brandt is (*Washington State University*) die de oorspronkelijke ontwikkeling van de VS weerspiegelt. In realiteit ligt de *loan rate* een stukje lager, volgens de Wereldbank 3,3% (World Bank, 2021). De *discount rate* is echter zeer moeilijk te bekomen, vandaar de bovenstaande assumpties. Als *debt-equity*-verhouding wordt 80-20 gehanteerd. Deze verhouding weerspiegelt het typische financieringsprofiel van bedrijven in een ontwikkelde economie met diepe kapitaalmarkten en stabiele cashflows. De ruime beschikbaarheid van schuld tegen lage rentevoeten en het fiscale voordeel van renteaftrek maken schuldfinanciering aantrekkelijker dan eigen vermogen.

4.1.3 Risk Adjustment Factor

Al eerder in de methodologie werd beschreven dat dit onderzoek focust op drie verschillende gebieden, namelijk: Ghana, Chili, en de Verenigde Staten van Amerika (VS). De eerste twee worden gezien als ontwikkelingslanden, de VS wordt gebruikt als *benchmark*. Zoals al duidelijk werd gemaakt, brengen ontwikkelingslanden hogere risico's met zich mee in vergelijking met ontwikkelde landen, waardoor investeerders een extra compensatie eisen. Dit wordt gedaan door de *discount rate* aan te passen aan het risico waaraan ze worden blootgesteld. Deze aanpassing wordt ook wel de *risk adjustment factor* (RAF) genoemd.

Om de risicopremie voor investeringen in ontwikkelingslanden accuraat te schatten, wordt een land specifieke RAF toegepast. Een rapport van de *Independent High-Level Expert Group on Climate Finance* toont het vereiste rendement van zonne-energieprojecten per land (Tabel 3). Deze informatie kan worden gebruikt om een relevante RAF af te leiden. Omdat de VS wordt gebruikt als

benchmark kan de RAF voor Chili en Ghana berekend worden aan de hand van de 9% voor de VS uit de tabel. Voor Chili wordt een rendement vereist van 12%, als dit vergeleken wordt met de 9% van de VS, is duidelijk dat hier een factor 1,33 verschil is, dit is de RAF voor Chili. Hetzelfde wordt gedaan voor Ghana, waar 22% vereist rendement wordt weergegeven in de tabel. Dit wordt weer vergeleken met de 9% van de VS, wat leidt tot een factor 2,44 verschil.

Tabel 3: Rendementsverwachtingen zonneprojecten in verschillende landen

Country	S&P Rating	Required return from solar project (%)
Germany	AAA	7%
USA	AA+	9%
UAE	AA	10%
Saudi Arabia	A-	12%
Chile	A	12%
Morocco	BBB-	15%
India	BBB-	17%
Algeria	B	18%
Oman	BB-	18%
Peru	BBB	20%
Costa Rica	B	21%
Namibia	BB-	21%
Ghana	B-	22%
Brazil	BB-	22%
Nigeria	B+	22%
Bolivia	B+	24%
Tanzania	B	24%
Egypt	B	28%
Zambia	CCC-	38 %
Argentina	CCC+	52%

Source: Climate Policy Initiative (forthcoming)

Noot. Herdrukt van Songwe, V., Stern, N., & Bhattacharya, A. (2022). Finance for climate action: Scaling up investment for climate and development. p. 50.

4.1.4 Baseline discount en loan rates voor Chili en Ghana

Nu de *Risk Adjustment Factor* (RAF) voor de twee gebieden berekend zijn, kunnen de baseline *discount rate* en de *loan rate* worden gecorrigeerd door het toenemend risico. De *discount rates* en *loan rates* voor Chili en Ghana worden bekomen door de baselinewaarden van de Verenigde Staten te vermenigvuldigen met de land specifieke RAF. Deze benadering laat toe om het toegenomen risico in ontwikkelingslanden te integreren in de kasstroomanalyse zonder afhankelijk te zijn van volledige marktdata, die vaak beperkt beschikbaar zijn in deze context. De uitkomsten worden weergegeven in Tabel 4. Afgerond op één cijfer na de komma komt dit neer op 20,0% en 10,6% voor Chili en 36,6% en 19,5% voor Ghana.

Tabel 4: Berekening discount en loan rate

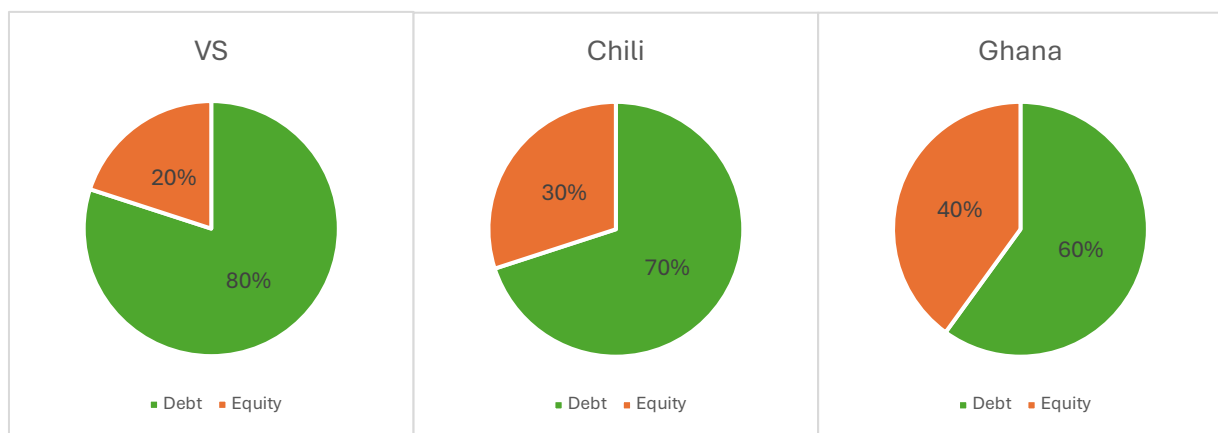
Land	RAF	Discount rate	Loan Rate
VS	1	15%	8%
Chili	1,33	$15\% \times 1.33 = \mathbf{19.95\%}$	$8\% \times 1.33 = \mathbf{10.64\%}$
Ghana	2,44	$15\% \times 2.44 = \mathbf{36.6\%}$	$8\% \times 2.44 = \mathbf{19.52\%}$

Noot. Eigen berekeningen

4.1.5 Debt-Equity split voor Chili en Ghana

De verhouding tussen vreemd vermogen (*debt*) en eigen vermogen (*equity*) is een belangrijke determinant van de kapitaalkost. Ze varieert sterk tussen landen door de verschillen in financiële markten, kredietwaardigheid en investeringsrisico. In deze studie wordt, zoals reeds besproken in de sectie aangaande de benchmark, aangenomen dat projecten in de Verenigde Staten gefinancierd worden met een verhouding van 80% schuld en 20% eigen vermogen. Dit is realistisch aangezien de VS beschikt over een stabiele, diepe financiële markt met ruime toegang tot goedkoop krediet (World Bank, 2024b). Voor Chili wordt een conservatievere verhouding van 70% schuld en 30% equity aangenomen. Ondanks de relatief stabiele economie in Chili, wijzen recente gegevens op verhoogde inflatie en stijgende rentevoeten, waardoor de investeringen toch gepaard gaan met iets hogere risico's dan de VS (World Bank, 2024c). In Ghana ligt het financieringsrisico aanzienlijk hoger dan dit van de VS, dit komt onder andere door een lagere kredietwaardigheid, grote politieke instabiliteit en hogere rentevoeten (World Bank, 2024d). Hierdoor wordt in deze studie voor Ghana een meer risicomijdende verhouding van 60% schuld en 40% *equity* gebruikt. Deze afnemende schuldfinanciering in risicovollere landen weerspiegelt de hogere vereiste zekerheden van kredietverstrekkers, de beperktere beschikbaarheid van lokale leningen en het belang van risicodeling met kapitaalverstrekkers zoals multilaterale instellingen.

Figuur 1: Debt-equity verhouding per land



Noot. Eigen berekeningen

4.2 Outputfactoren

Deze sectie zal ingaan op de resultaten bekomen door het financieel model voor de productie van duurzame vliegtuigbrandstof (SAF). Zoals al eerder werd verduidelijkt focust het model op de HEFA-technologie en zal deze worden uitgevoerd op basis van FOGs als feedstock. Twee landen met een andere mate van ontwikkelingsgraad, Chili en Ghana, worden van dichterbij bekeken en vergeleken met de Verenigde Staten als benchmark. Per land wordt de impact van risicopremies, meer specifiek de *discount rate*, *loan rate* en de *debt-equity* verhouding, onderzocht op de *minimum selling price* (MSP) van SAF. Daarnaast zal er ook een gevoeligheidsanalyse worden bekeken voor elk individueel land.

4.2.1 Baseline MSP

4.2.1.1 Benchmark Verenigde Staten

Voor de Verenigde Staten werd een relatief laag risicopremie verondersteld, wat zich vertaalt in een *discount rate* van 15%, een *loan rate* van 8%, en een *debt-equity* verhouding van 80/20. Deze parameters resulteren in een MSP van 0,85 \$/l. Deze prijs zal fungeren als benchmark bij de vergelijking met Chili en Ghana.

4.2.1.2 Ontwikkelingslanden

Chili

Voor Chili met een matig risico, worden verschillende scenario's bekeken. De baseline-aanname gaat uit van een *discount rate* van 20%, *loan rate* van 10% en een *debt-equity* verhouding van 70/30. Dit resulteert volgens het DCFROR-model in een MSP van 0,89 \$/l voor SAF. Deze hogere risicopremie heeft dus een stijging van 0,04 \$ ter gevolg per liter in vergelijking met de VS.

Om een beter beeld te krijgen van de individuele impact van de verschillende inputfactoren, wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Wanneer enkel de *discount rate* verhoogd tot 20%, en dus de *loan rate* constant gehouden wordt op 8%, zal de MSP een licht daling kennen naar 0,88 \$/l. Als enkel de *loan rate* verhoogd naar 10%, en de *discount rate* constant blijft op 15%, zal de MSP verder dalen naar 0,86 \$/l.

Ghana

Voor Ghana met een hoger risicoprofiel wordt uitgegaan van een *discount rate* van 36%, en een *loan rate* van 20%, bij een D/E-verhouding van 60/40. Dit leidt tot een aanzienlijk hogere MSP van 1,03 \$/l. In vergelijking met de benchmark prijs van de VS, brengt de hogere risicopremie een stijging van maar liefst 0,18 \$/l SAF te weeg.

Om de individuele impact van de twee inputfactoren te onderzoeken, wordt ook voor Ghana een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Eerst wordt de *loan rate* verlaagd tot 8% (met *discount rate* constant op 36%), waardoor de MSP daalt naar 1,00 \$/l. Enkel het verhogen van de *discount rate* heeft dus een stijging van 0,15 \$/l tot gevolg in vergelijking met de benchmark MSP van de VS.

Daarna wordt de *discount rate* verlaagd tot 15% (*loan rate* op 20%), wat leidt tot een aanzienlijke daling van de MSP naar 0,89 \$/l. Wat overeenkomt met de prijs van de VS.

4.2.2 Vergelijking en Inzichten

Deze resultaten tonen aan dat de *discount rate* een grotere rol speelt in de prijszetting van SAF in vergelijking met *de loan rate*. Het reduceert de MSP sterker. Daarnaast heeft een hogere risicopremie in ontwikkelingslanden dus een zeer sterk effect op de MSP van SAF. Het verschil tussen de hoogste en laagste MSP in Ghana bedraagt maar liefst 14%, wat significant is voor investeringsbeslissingen. Hogere risico's in ontwikkelingslanden vertalen zich dus naar hogere minimum verkoopprijzen voor duurzame vliegtuigbrandstof. Dit komt door de hogere *discount rates* en minder gunstige financieringsvoorwaarden van deze investeringen. De invloed van de *debt-equity* verhouding is eerder indirect. Ze beïnvloedt de WACC via de verhouding tussen goedkopere leningen en duurder eigen vermogen.

Tabel 5: MSP in verschillende scenario's zonder beleidsinterventie

Land	Scenario	DR	LR	D/E	MSP (\$/l)	Vershil met VS (\$/l)
VS	Benchmark	15%	8%	80/20	0,85	-
	Baseline	20%	10%		0,89	0,04
Chili	Enkel DR verhoogd	20%	8%	70/30	0,88	0,03
	Enkel LR verhoogd	15%	10%		0,86	0,01
	Baseline	36%	20%		1,03	0,18
Ghana	Enkel DR verhoogd	36%	8%	60/40	1	0,15
	Enkel LR verhoogd	15%	20%		0,89	0,04

Noot. Eigen berekeningen

Zie schaal in voetnoot⁴

⁴

Donkergroen = Zeer sterk effect

Licht groen = Sterk effect

Geel/oranje = Matig effect

Rood = Zeer zwak effect

4.3 Beleidsrelevantie

De relevante vraag voor deze materthesis is nu op welke manier de risicopremies voor duurzame energieprojecten in ontwikkelingslanden kunnen worden verlaagd. Dit is zeer interessant aangezien lagere risico's resulteren in aantrekkelijkere investeringen en dus de MSP van duurzame vliegtuigbrandstof zal dalen. Beleidsmaatregelen en interventies zullen hierbij een belangrijke rol spelen.

Deze sectie zal drie groepen van maatregelen bespreken, namelijk: risico mitigerende maatregelen, marktgerichte maatregelen, en kosten gerelateerde maatregelen.

4.3.1 Risico mitigerende maatregelen

4.3.1.1 *Agency kosten en overheidsgaranties*

Bij investeringen in ontwikkelingslanden spelen agency kosten, ofwel kosten voortkomend uit conflicterende belangen tussen investeerders en projectuitvoerders, een belangrijke rol. Het hoge level van onzekerheid en landrisico maakt het moeilijk voor investeerders om het risico accuraat in te schatten. De asymmetrie in informatie tussen projectuitvoerders en internationale investeerders, in combinatie met onzekerheden rond het institutionele en politieke klimaat, vergroot het risico op inefficiënt gebruik van kapitaal. Investeerders eisen daarom hogere rendementen of vermijden schuldfinanciering, wat leidt tot hogere *discount rates* en een lagere *debt-equity* ratio. Maatregelen zoals garanties van multilaterale instellingen of overheden kunnen helpen om deze agency problemen te mitigeren. Doordat er een garantie tot terugbetalen wordt aangeboden aan investeerders, lopen ze minder risico.

Naast overheidsgaranties kunnen ook politieke risicoverzekeringen, aangeboden door multilaterale instellingen zoals MIGA (*Multilateral Investment Guarantee Agency*), een belangrijke rol spelen bij het reduceren van het waargenomen risico. Deze verzekeringen dekken risico's zoals onteigening, kapitaalrestricties, contractbreuk door overheden en politieke onrust. Door deze specifieke risico's af te dekken, verlagen ze de kans op financiële verliezen voor internationale investeerders, wat de *discount rate* en vereiste rendementen aanzienlijk kan reduceren (World Bank, 2024a).

4.3.1.2 *Financiële incentives en subsidies*

Een ander beleidsinstrument dat de waargenomen risicoperceptie kan verlagen zijn financiële incentives en subsidies. Ze kunnen namelijk de initiële kapitaalkost verlagen, waardoor het benodigde externe kapitaal daalt en de project-WACC afneemt (Kitzing et al., 2012). Overheden in zowel ontwikkelde als ontwikkelingslanden kunnen deze subsidies, belastingvoordelen of feed-in-tarieven introduceren voor SAF-productie en -afname. Daarnaast kan cofinanciering door overheden of multilaterale instellingen het waargenomen risico voor private investeerders verminderen. Dit wordt ook wel *blended finance* genoemd waar publieke fondsen worden gecombineerd met filantropische. Dit leidt tot lagere *discount rates* en meer gunstige *loan rates* (IFC, 2021). Operationele subsidies, zoals gegarandeerde minimumprijzen of productiebonussen, zorgen dan weer voor stabielere cashflows en vergroten de financiële haalbaarheid van projecten. Door deze

mechanismen dalen de risico gewogen rendementseisen wat investeringen in SAF-projecten aantrekkelijker maakt.

4.3.1.3 Technische ondersteuning

Ook niet-financiële ondersteuningsmaatregelen kunnen van cruciaal belang zijn om de risicopremie van investeringen in SAF-projecten in ontwikkelingslanden te reduceren. Technische ondersteuning verlaagt het projectrisico door betere voorstellen, kennisoverdracht en versterking van lokale vaardigheden (IRENA, 2016). Het ondersteunen van lokale projectontwikkelaars bij haalbaarheidsstudies, regelgevingsnavigatie en business planning kan de slagingskansen van projecten verhogen en zo het investeringsrisico beperken. Daarnaast draagt het opleiden van lokale arbeidskrachten bij aan de ontwikkeling van een robuuste operationele basis, wat op zijn beurt het operationeel risico en daarmee de financieringskosten verlaagt.

4.3.1.4 Regulering en beleid

Een stabiel en voorspelbaar beleidskader is cruciaal om investeerders aan te trekken in kapitaalintensieve sectoren zoals de productie van duurzame vliegtuigbrandstoffen (SAF). In ontwikkelingslanden kan het ontbreken van duidelijke regelgeving of het plots wijzigen van beleidsrichtlijnen leiden tot verhoogde onzekerheid over toekomstige inkomstenstromen en operationele risico's (IRENA, 2016). Dit verhoogt de *discount rate* en *loan rate* aanzienlijk. Consistente en langetermijnregelgeving zou dit kunnen verminderen. Door duidelijke mandaten, duurzaamheidscriteria en certificeringssystemen voor SAF in te voeren (bijvoorbeeld nationale blending targets of incentives gekoppeld aan duurzaamheidscertificatie), kan de overheid vertrouwen creëren in de stabiliteit van het marktklimaat. Daarnaast kan ook een versnelling en standaardisatie van vergunningsprocessen helpen want trage en ondoorzichtige processen vergroten het ontwikkelingsrisico. Een andere mogelijkheid is het SAF-beleid verankeren in officiële luchtvaartstrategieën waardoor beleidscommitment voor investeerders wordt bekomen. Dit draagt bij tot het verminderen van het risico, wat positief doorwerkt in de WACC en de financieringsvoorwaarden.

4.3.1.5 Samenwerkingen en partnerschappen

Samenwerkingen tussen publieke en private actoren, evenals tussen landen en gemeenschappen, kunnen systemische risico's verlagen. Publiek-private partnerschappen (PPP's) bijvoorbeeld, dit zijn samenwerkingen tussen de overheid en de private sector waarbij publieke steun wordt gecombineerd met private efficiëntie. Dit kan leiden tot betere projectvoorbereiding, risicodeling en toegang tot concessionele leningen, waardoor de WACC daalt. Ook internationale samenwerking, tussen ontwikkelde landen en ontwikkelingslanden zijn essentieel voor onder andere technologieoverdracht. Voor SAF-projecten is ook sociale acceptatie cruciaal, aangezien ze een impact hebben op lokale arbeid en infrastructuur. Lokale stakeholders betrekken in deze processen kan ervoor zorgen dat het operationeel risico zal verlagen. Samenwerkingen verbeteren de kwaliteit van projectuitvoering verbeteren, verhogen lokale acceptatie en spreiden financiële risico's over meerdere actoren (OECD & United Nations Capital Development Fund, 2020).

4.3.2 Marktgerichte beleidsmaatregelen

Om de financiële haalbaarheid van SAF-investeringen te versterken, zijn naast risico mitigerende maatregelen, ook marktgerichte en kosten gerelateerde beleidsmaatregelen belangrijk. Hoewel deze niet altijd rechtstreeks de risicopremie verlagen, dragen ze indirect bij aan een hogere netto contante waarde (NPV) en lagere minimum verkoopprijs (MSP) van SAF.

4.3.2.1 Marktgerichte maatregelen

Hoewel het verlagen van de risicopremie effectief om investeringen in SAF aantrekkelijker te maken, zijn er ook nog andere alternatieven. Zo zijn er *market-based measures*, die het gebruik van conventionele kerosine beïnvloeden. Hierdoor zal de betalingsbereidheid en de project NPV van SAF positief worden beïnvloed. Mogelijke instrumenten om dit te verwezenlijken zijn emissiehandelssystemen (ETS), koolstofkosten en compensatiemechanismen voor broeikasgasemissies. Voorbeelden zijn het EU ETS en het wereldwijde luchtvaartcompensatiesysteem CORSIA (European Commission, 2021; Malina et al., 2022).

4.3.2.2 SAF-mandaten

Een tweede beleidsoptie betreft het invoeren van SAF-mandaten, zoals in Noorwegen, Zweden en Indonesië. Hierdoor wordt het gebruik van SAF verplicht en zal de marktzekerheid dus stijgen op lange termijn. Dit leidt tot lagere risicopremies, een daling van de vereiste *discount rate* en een aantrekkelijker investeringsprofiel. Daarnaast stimuleren ze schaalvergroting en leereffecten, wat bijdraagt aan kostendaling op lange termijn (Malina et al., 2022).

4.3.3 Kosten gerelateerde beleidsmaatregelen

Kosten gerelateerde beleidsmaatregelen zijn de derde optie. Deze instrumenten zijn direct gericht op het verbeteren van de economische haalbaarheid, en bevatten onder andere feedstock subsidies, investeringssubsidies (*capital grants*) en leningsgaranties. Feedstock subsidies verlagen de operationele kosten (OPEX), terwijl *capital grants* bijdragen aan lagere kapitaalsinvesteringen (CAPEX), met als gevolg een hogere NPV en lagere MSP (Wang et al., 2021). Leningsgaranties, zoals voorzien in programma's als het Amerikaanse REAP of de DOE Loan Guarantee Program, verlagen de kost van vreemd vermogen, en dus ook de loan rate. (Malina et al., 2022).

4.3.3.1 Groene Financiering

Via de uitgifte van groene obligaties of duurzaamheid gebonden leningen kunnen SAF-projecten bijkomend kapitaal aantrekken aan gunstigere voorwaarden. Een voorbeeld hiervan is de groene obligatie uitgegeven door Neste in 2021. Dergelijke instrumenten verlagen de financieringskost en versterken de institutionele geloofwaardigheid van SAF-projecten (Malina et al., 2022).

Tabel 6 biedt een overzicht van de verschillende beleidsmaatregelen die de risicopremie voor SAF-projecten in ontwikkelingslanden kunnen verlagen. Er wordt aangegeven welke factoren beïnvloed worden.

Tabel 6: Risicomitigerende maatregelen en welke inputfactoren ze beïnvloeden

Beleidsmaatregel	Beïnvloede factoren
Overheidsgaranties en politieke risicoverzekering	Discount rate, debt-equity ratio
Financiële incentives en subsidies	Discount rate, Loan rate, MSP
Technische ondersteuning en capaciteitsopbouw	Discount rate, operationeel risico
Regulering en beleidszekerheid	Discount rate, Loan rate
Samenwerkingen en partnerschappen	WACC, operationeel risico, institutioneel risico
CO ₂ – belasting	Verhoogt prijs fossiele brandstof
Mandaten	Discount rate
Feedstocksubsidie	OPEX
Kapitaalsubsidie	CAPEX
Groene financiering	Loan rate

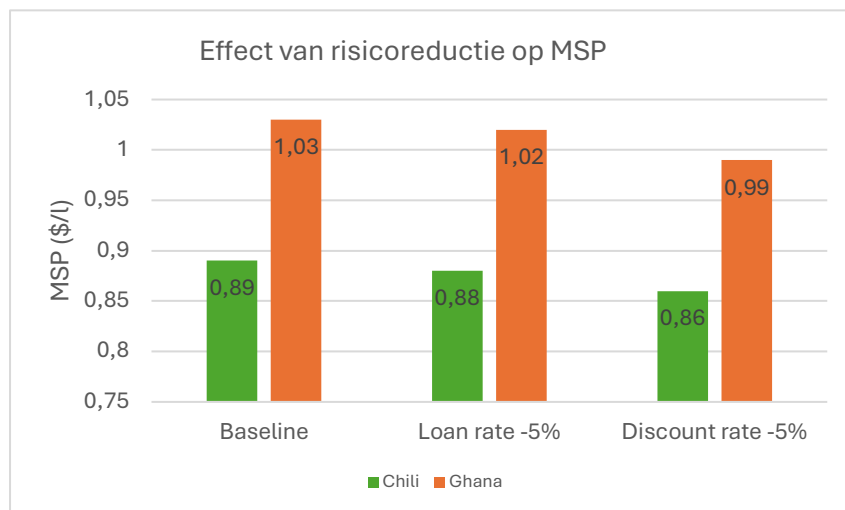
4.4 Impact van individuele beleidsmaatregelen op de MSP

In deze sectie worden de meest voorkomende beleidsopties geanalyseerd om hun effect op de *minimum selling price* (MSP) van duurzame vliegtuigbrandstof te verlagen in Chili en Ghana. De impact van elk beleidsinstrument werd geëvalueerd op basis van aanpassingen in de inputparameters in het DCFROR-model. De effecten worden uitgedrukt in Amerikaanse dollar, ze worden per land bekeken en vergeleken met de Verenigde Staten.

4.4.1 Overheidsgaranties, politieke risicodekking, groene financiering en lagere *loan rates*

Het invoeren van overheidsgaranties of politieke risicoverzekering kunnen zowel de *discount rate* als de *loan rate* worden verlaagd. In dit onderzoek werd gekozen om twee scenario's te bekijken, een verlaging van 2% en een van 5%. De keuze voor deze twee scenario's weerspiegelt de praktijk. Multilaterale instellingen, zoals de Wereldbank, kunnen rentetarieven verlagen tot 5 procentpunten ten opzichte van markt gebaseerde financiering met behulp van concessionele leningen of garanties (World Bank, 2024e). Beide gevallen resulteren in een lagere MSP. Als eerst en vooral de *discount rate* wordt verlaagd met 5 procentpunten, blijkt dat de MSP in Chili zal dalen van \$0,89/l naar \$0,86/l. In Ghana is dit effect iets groter, namelijk een verschil van \$0,04. Het effect als de *loan rate* wordt verlaagd met 5 procentpunten is iets minder groot. Voor Chili zal de MSP dalen tot \$0,88/l en voor Ghana tot \$1,02/l. Dit wijst op een relatief zwak effect van interest en overheid subsidies zonder toepassing van risicoreductie. Groene financiering komt overeen met een vermindering van de *loan rate*, hier wordt dus verder niet op ingegaan omdat dit hierboven al wordt toegelicht en het effect hetzelfde is.

Figuur 2: Het effect van risicoreductie-maatregelen op de MSP

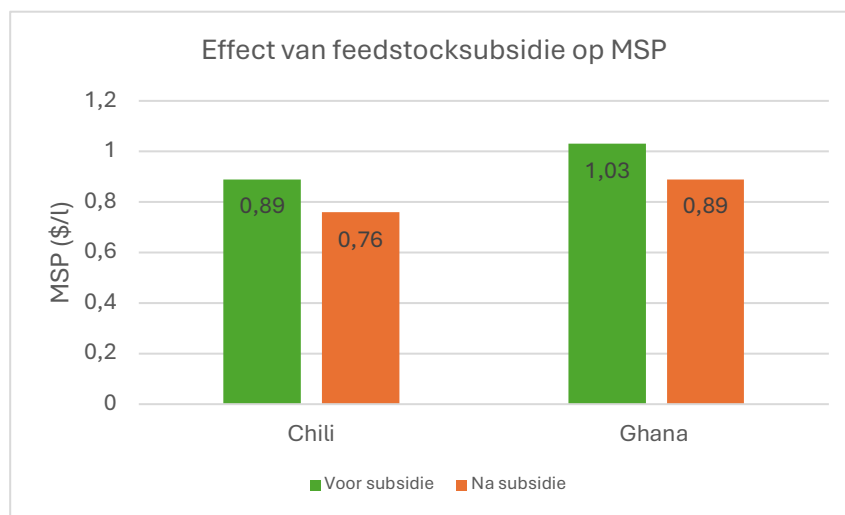


Noot. Eigen berekeningen

4.4.2 Feedstock subsidies

Om het potentiële effect van een feedstocksubsidie op de MSP van SAF te kwantificeren, wordt een subsidie van 20% op de feedstockkosten aangenomen. Deze keuze is realistisch en beleidsmatig relevant, aangezien beleidsmakers en internationale instellingen de kostenkloof tussen conventionele kerosine en SAF willen verkleinen. Een subsidie van 20% op de grondstof vertegenwoordigt dus een significante, maar potentieel haalbare, interventie om deze kostenbarrière te adresseren. Wanneer de prijs van de FOG feedstock met 20% wordt gesubsidieerd, zal de prijs dalen van \$580/t naar \$464/t. Dit leidt tot een duidelijk effect op de MSP. In Chili wordt een daling gezien van \$0,13 per liter en in Ghana zelfs \$0,14. Dit beleid heeft dus een sterk effect in beide ontwikkelingslanden, omdat het rechtstreeks de OPEX beïnvloedt.

Figuur 3: Het effect van een feedstocksubsidie van 20% op de MSP



Noot. Eigen berekeningen

4.4.3 Fiscale stimulansen (Tax Reduction)

Fiscale stimulansen worden vaak ingezet als beleidsinstrument om duurzame investeringen aan te moedigen. Om te simuleren welk effect zo een taks verlaging heeft op de MSP van SAF, wordt verondersteld dat de belasting met 10 procentpunten zal verlagen (van 18,8% naar 8,8%). Deze aanname vormt een realistische interventie binnen het huidige internationale kader. De stimulans resulteert in een marginale daling van de MSP, namelijk -\$0,01 in zowel Chili als Ghana. Het effect blijft dus eerder beperkt aangezien er geen directe invloed plaatsvindt op de operationele of kapitaalkosten.

4.4.4 Kapitaalsubsidies (Capital Grant)

In de hernieuwbare energiesector worden bij projecten in risicovolle markten regelmatig kapitaalsubsidies tot 20 à 40% van de totale investeringskosten aangeboden door de bijvoorbeeld de Wereldbank. Om het effect van zo een kapitaalsubsidie dus te kwantificeren ten opzichte van de MSP van SAF, wordt in dit onderzoek een subsidie van 30% aangenomen. Hierbij worden de initiële investeringskosten (CAPEX) met 30% verminderd en dus daalt van \$447,67 naar \$313,7. Dit verlaagt

de MSP in Chili met \$0,03 per liter en in Ghana met \$0,06 per liter. De impact is matig tot sterk, vooral in Ghana waar kapitaalkosten een groter aandeel van de totale kost uitmaken.

4.4.5 Blended Finance

Het strategisch gebruik van concessioneel kapitaal om aanvullende commerciële financiering aan te trekken, wordt blended finance genoemd. Om het effect van deze maatregel op de MSP te analyseren, wordt een scenario verondersteld die verschillende financiële verbeteringen omvat. Zo zal de *discount rate* worden verlaagd met vijf procentpunten, de *loan rate* met twee procentpunten, en een reductie van het equity-aandeel met 10 procentpunten. De verlaging van de DR met 5 procentpunten is in lijn met wat haalbaar is bij het gebruik van garanties. De reductie van de LR met 2 procentpunten weerspiegelt toegang tot zachte klimaatfondsen. De aanpassing van de *equity share* met 10 procentpunten weerspiegelt een toegenomen aanwezigheid van publiek kapitaal en risicodeling. De combinatie van deze maatregelen resulteert in een verlaging van de MSP met \$0,04 in Chili en met \$0,05 in Ghana. Dit duidt op een matig effect, afhankelijk van de projectcontext.

4.4.6 Technische ondersteuning

Zoals hierboven al wordt verondersteld kan technische ondersteuning een significante bijdrage leveren aan een lagere MSP. Dit kan worden bekomen door zowel een verlaging in de *discount rate* en in de OPEX. Het effect hiervan is echter zeer moeilijk te simuleren, vandaar dat hier verder niet op wordt ingegaan.

Tabel 7: Het effect van verschillende beleidsmaatregelen op de MSP per land

Scenario	Aangepaste input	MSP voor beleid (\$/l)		MSP na beleid (\$/l)		Verschil voor en na beleid	
		CHILI	GHANA	CHILI	GHANA	CHILI	GHANA
Feedstock subsidie	-20%	0,89	1,03	0,76	0,89	-0,13	-0,14
Tax reduction	-10%			0,88	1,02	-0,01	-0,01
Kapitaalsubsidie	-30%			0,86	0,97	-0,03	-0,06
Risk reduction	DR: -5%			0,86	0,99	-0,03	-0,04
	LR: -5%			0,88	1,02	-0,01	-0,01
Blended finance	DR: -5%						
	LR -2%			0,85	0,98	-0,04	-0,05
	E -10%						

Noot. Eigen berekeningen

Tabel 8: Vergelijking MSP na beleid met die van de Verenigde Staten

Scenario	Aangepaste input	MSP VS (\$/l)	MSP na beleid (\$/l)		Verschil met VS (\$/l)	
			CHILI	GHANA	CHILI	GHANA
Feedstock subsidie	-20%	0,85	0,76	0,89	-0,09	+0,04
Tax reduction	-10%		0,88	1,02	+0,03	+0,17
Kapitaalsubsidie	-30%		0,86	0,97	+0,01	+0,12
Risk reduction	DR: -5%		0,86	0,99	+0,01	+0,14
	LR: -5%		0,88	1,02	+0,03	+0,17
Blended finance	DR: -5%					
	LR -2%		0,85	0,98	0	+0,13
	E -10%					

Noot. Eigen berekeningen

Op het eerste zicht lijkt de MSP in Chili na beleidsmaatregelen soms lager uit te komen dan die van de VS. Het is echter belangrijk te benadrukken dat deze vergelijking plaatsvindt op basis van een basisscenario zonder beleid in de VS. Wanneer ook daar gelijkaardige beleidsmaatregelen worden toegepast, zal de MSP in de VS nog lager liggen.

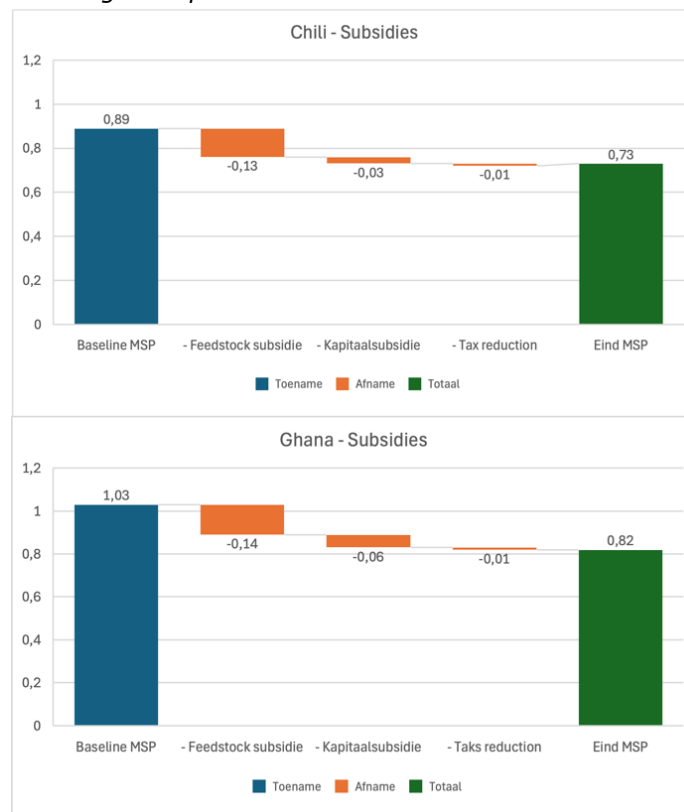
4.5 Impact van beleidscombinaties op de MSP

Naast de eerder besproken afzonderlijke beleidsmaatregelen (hoofdstuk 4.4) werd ook geanalyseerd wat het effect is van beleidscombinaties. In realiteit worden vaak meerdere instrumenten tegelijkertijd ingezet om hun impact op investeringsbereidheid en de MSP te versterken. In deze sectie wordt het effect van drie combinaties besproken, die elk voortbouwen op de maatregelen in 4.4. We bespreken hier niet opnieuw hun werking, maar focussen op het gecombineerde effect op de MSP.

4.5.1 Beleidsstructuur: Subsidies

Deze combinatie bundelt drie kostenverlagende maatregelen uit 4.4: een feedstocksubsidie (-20%), een kapitaalsubsidie (-30%) en een belastingvermindering (-10%). Deze relatief eenvoudige beleidsinterventies beogen een kostenverlaging aan zowel de operationele als de investeringszijden. De simulatie in het DCFROR-model toonde aan dat de MSP een daling kent tot \$0,73/l in Chili en \$0,82/l in Ghana. Deze daling is groter dan bij eender welke individuele maatregel, en toont aan dat simultane verlaging van OPEX én CAPEX bijzonder krachtig is.

Figuur 4: Het effect van combinatie kostenverlagende maatregelen op de MSP

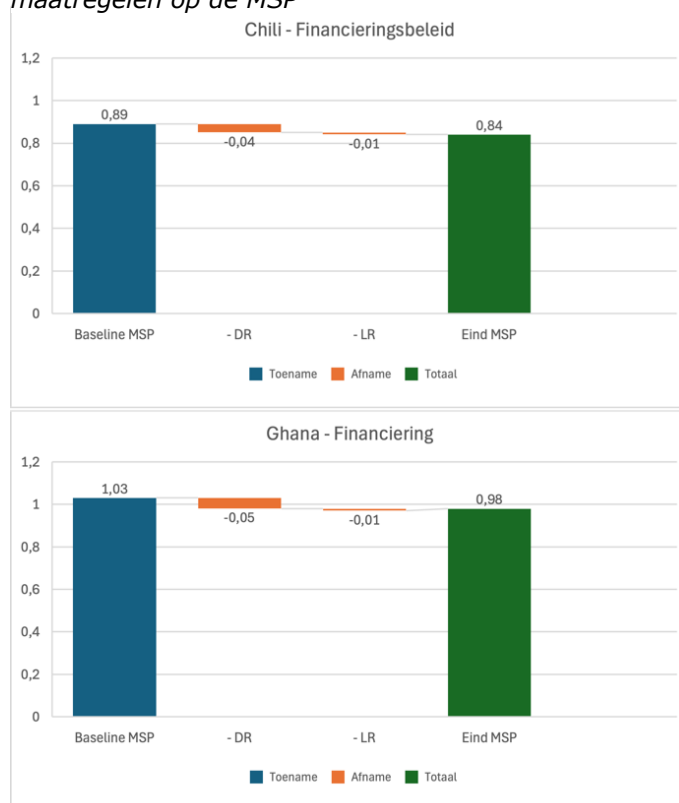


Noot. Eigen berekeningen

4.5.2 Beleidsstructuur: Financieringen

Deze combinatie omvat de simultane toepassing van blended finance en politieke risicodekking, zoals besproken in 4.4.1 en 4.4.5. Dit kan bijvoorbeeld de combinatie van een *political risk insurance* met een *first-loss guarantee*. Hierdoor daalt de discount rate met 7% en de loan rate met 2%. Dit resulteert in een MSP van \$0,84/l in Chili en \$0,98/l in Ghana. Hoewel het effect minder sterk is dan bij de subsidiestructuur, laat deze combinatie zien dat investeringsvoorwaarden verbeteren ook aanzienlijke impact heeft.

Figuur 5: Het effect van combinatie financierings maatregelen op de MSP

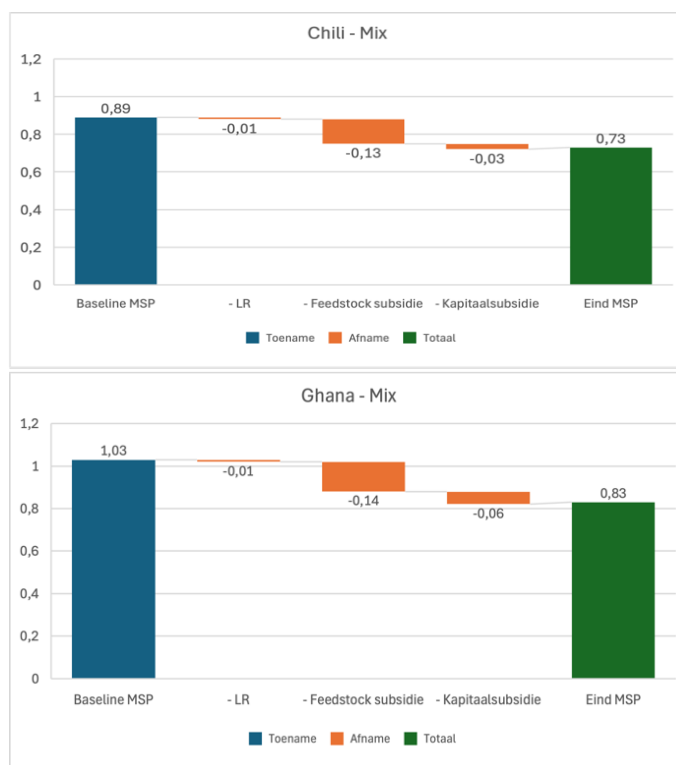


Noot. Eigen berekeningen

4.5.3 Beleidsstructuur: Mix

De derde combinatie bevat zowel kosten- als financieringsmaatregelen. Er zal dus een feedstock- en kapitaalsubsidie worden gecombineerd met groene financiering. Hierdoor daalden OPEX, CAPEX en de loan rate gezamenlijk. Dit leidt tot een MSP van \$0,73/l in Chili en \$0,83/l in Ghana, wat vergelijkbaar is met de resultaten van de subsidiecombinatie. Dit bevestigt dat een gecombineerde aanpak van kostenreductie en financieringsondersteuning het meest effectief is om de MSP te verlagen.

Figuur 6: Het effect van een mix maatregelen op de MSP



Noot. Eigen berekeningen

Ook hier is het weer belangrijk om te benadrukken dat de vergelijking gebeurt met de VS in een scenario zonder beleidsinterventies. Hoewel de MSP in ontwikkelingslanden zoals Ghana en Chili na beleid soms lager lijkt dan die van de VS, blijft de MSP van de VS in absolute termen nog steeds het laagst. Bij gelijke beleidsinspanningen zou de MSP in de VS vermoedelijk nog verder dalen.

Tabel 9: De resultaten van beleidscombinaties

Beleidscombinatie	Aangepaste input	VS	Chili	Ghana	Verschil met VS	
		MSP (\$/l)	MSP (\$/l)	MSP (\$/l)	(\$/l)	
					CHILI	GHANA
Subsidies	Feedstockprijs -20%	0,85	0,73	0,82	-0,12	-0,03
	CAPEX -30%					
	Belasting -10%					
Financiering	Discount rate -7%		0,84	0,98	-0,01	+0,13
	Loan rate -2%					
Mix	Loan rate -2%		0,73	0,83	-0,12	-0,02
	Feedstockprijs -20%					
	CAPEX -30%					

Noot. Eigen berekeningen

Uit deze analyse blijkt dat het combineren van beleidsmaatregelen een synergetisch effect kan hebben. Vooral combinaties die zowel kosten verlagen als financieringsvoorwaarden verbeteren, zorgen voor een significante daling van de MSP.

Tabel 10: Het effect op de MSP per beleidsscenario

Scenario	Aangepaste input	MSP VS (\$/l)	MSP na beleid (\$/l)		Verschil met VS (\$/l)	
			CHILI	GHANA	CHILI	GHANA
Feedstock subsidie	-20%	0,85	0,76	0,89	-0,09	0,04
Tax reduction	-10%		0,88	1,02	0,03	0,17
Kapitaalsubsidie	-30%		0,86	0,97	0,01	0,12
Risk reduction	DR: -5%		0,86	0,99	0,01	0,14
	LR: -5%		0,88	1,02	0,03	0,17
Blended finance	DR: -5%		0,85	0,98	0	0,13
	LR -2%					
	E -10%					
Subsidies	Feedstock -20%		0,73	0,82	-0,12	-0,03
	CAPEX -30%					
	Belasting -10%					
Financiering	Discount rate -7%		0,84	0,98	-0,01	0,13
	Loan rate -2%					
Mix	Loan rate -2%		0,73	0,83	-0,12	-0,02
	Feedstock -20%					
	CAPEX -30%					

Noot. Eigen berekeningen

Zie schaal in voetnoot⁵

⁵

Donkergroen = Zeer sterk effect

Licht groen = Sterk effect

Geel/oranje = Matig effect

Rood = Zeer zwak effect

4.6 Impact van CAPEX-niveau

Naast beleidsinterventies wordt ook de structurele impact van het initiële investeringsbedrag (CAPEX) geanalyseerd. De HEFA-technologie, waarop deze studie zich focust, vereist in het algemeen een relatief lage investeringskost in vergelijking met andere duurzame brandstof technologieën. Zo kent de Fischer-Tropsch-synthese aanzienlijk hogere CAPEX-niveaus door de dure installaties die hierbij komen kijken. Om het effect van de CAPEX op de MSP beter te begrijpen wordt een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd. Hierbij zal de CAPEX-waarde worden gevarieerd, om te simuleren hoe deze de rendabiliteit beïnvloeden.

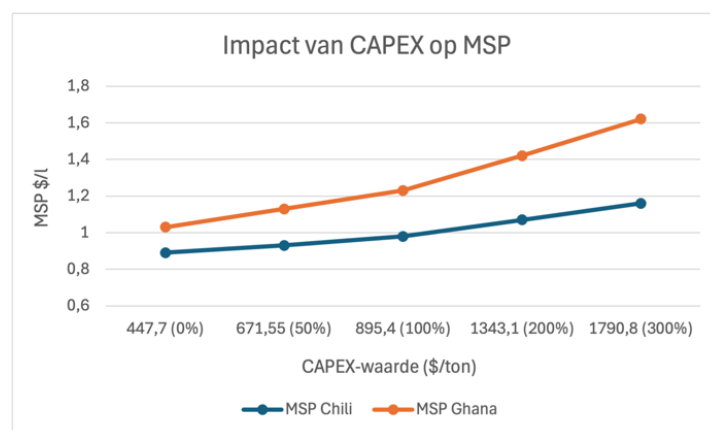
De verschillende waarden die zullen bekeken worden zijn 1,5 keer, dubbel, en driedubbel de huidige CAPEX. De huidige CAPEX-waarde is \$447,7/t en de MSP baseline van Chili en Ghana zijn respectievelijk \$0,89/l en \$1,03/l. De resultaten worden weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 11: Het effect van de CAPEX op de MSP

CAPEX-waarde (\$/ton)	Factor	MSP (\$/l)	
		CHILI	GHANA
671,55	x1,5	0,93	1,13
895,4	x2	0,98	1,23
1343,1	x3	1,07	1,42
1790,8	x4	1,16	1,62

Noot. Eigen berekeningen

Figuur 7: Impact van CAPEX op MSP



Zoals bovenstaande figuur weergeeft, stijgt de MSP bij een verhoging van de CAPEX. In beide ontwikkelingslanden is er een gelijke trend zichtbaar. Dit bevestigt dat de HEFA-technologie, ondanks haar lage CAPEX, aanzienlijke impact ondervindt bij toegenomen kapitaalkosten. Het beperken van de initiële investeringskosten is dus cruciaal.

5 Discussie

Deze masterthesis onderzocht hoe beleidsmaatregelen de economische haalbaarheid van *Sustainable Aviation Fuel (SAF)* kunnen verbeteren in ontwikkelingslanden. Als casestudie werd er gefocust op HEFA als productietechnologie en het onderzocht gebied werd beperkt tot Chili en Ghana. De centrale maatstaf in deze analyse is de *minimum selling price (MSP)*, die consistent vergeleken werd met een benchmarkscenario voor de Verenigde Staten. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste bevindingen geïnterpreteerd en kritisch gereflecteerd op de beperkingen van het onderzoek.

5.1 Interpretatie van de resultaten

De resultaten bevestigen dat ontwikkelingslanden geconfronteerd worden met significant hogere MSP's voor SAF-productie als gevolg van het verhoogd risico. Vooral verhogingen in de *discount rates* en de *loan rates* hebben een grote impact. Ook een lagere *debt-equity* ratio beïnvloedt de MSP. In Ghana bedraagt de MSP maar liefst \$0,18 meer per liter SAF dan in de benchmark Verenigde Staten. De literatuur verklaarde al dat kapitaalkosten een dominante factor zijn in de levenscycluskost van hernieuwbare energieprojecten in opkomende markten (Steffen, 2020; Sweerts et al., 2019). De resultaten komen hier dus mee overeen. Daarnaast toont de gevoeligheidsanalyse aan dat de *discount rate* een grotere invloed uitoefent op de MSP dan de *loan rate*. Het bevestigt dat investeerders primair reageren op het waargenomen risico, eerder dan enkel op financieringsvoorwaarden. Dit sluit aan bij de vaststellingen van Frisari et al. (2013) en Calcaterra et al. (2024), die politieke stabiliteit en investeerdersvertrouwen als kritische succesfactoren identificeren voor FDI in groene energie.

Om te bekijken hoe de risicopremie in ontwikkelingslanden verlaagd kan worden, werden verschillende beleidsmaatregelen gesimuleerd. Deze simulatie toonde aan dat directe kosteninterventies, zoals feedstock subsidies en kapitaalsubsidies, het meest significante effect hebben op het verlagen van de MSP. Een 20% subsidie op de feedstockprijs reduceert de MSP met \$0,13-\$0,14/l. Een kapitaalsubsidie van 30% blijkt dan wel een iets minder sterk effect te hebben en reduceert de MSP met \$0,03-\$0,06/l. Dit bevestigt de literatuur die stelt dat OPEX- en CAPEX-verlagingen cruciaal zijn om de economische haalbaarheid van SAF-projecten te verbeteren (Atnoorkar et al., 2024; IEA, 2021). Daarnaast blijkt ook dat blended finance maatregelen relevant zijn om de financieringsvoorwaarden te verbeteren. Door de combinatie van concessionele leningen en politieke risicoverzekering, zal de MSP dalen met \$0,04-\$0,05/l. Deze aanpak is iets minder effectief dan subsidies, maar vereisen minder directe overheidssubsidies. Dit is relevant voor ontwikkelingslanden met beperkte begrotingsruimte (IFC, 2021; World Bank, 2024e). Combinaties van beleidsmaatregelen leveren het hoogste effect op, met verlagingen in de MSP tot wel \$0,20/l. Beleidspakketten zijn dus effectiever dan individuele maatregelen, wat aansluit bij aanbevelingen in de literatuur om een geïntegreerde benadering te hanteren (Kitzing et al., 2012; OECD & United Nations Capital Development Fund, 2020).

5.2 Aanbevelingen voor beleidsmakers

De resultaten kunnen duidelijke aanbevelingen bieden voor beleidsmakers die duurzame vliegtuigbrandstof (SAF) willen te promoten in ontwikkelingslanden.

Voor landen met een hoog risicoprofiel, zoals Ghana, is een geïntegreerde en gefaseerde beleidsaanpak essentieel. Blended finance-constructies kunnen de financieringskosten aanzienlijk verlagen en daarmee de investeringsbereidheid verhogen. Dit zal de aantrekkelijkheid van zulke projecten verbeteren. Daarnaast zijn ook operationele subsidies nodig om de kostenstructuur te verbeteren. Dit kan door middel van feedstocksubsidies die de MSP op een competitief niveau brengen. Verder moeten overheden in deze landen sterk inzetten op institutionele versterking zoals governance en transparantie. Dit kan onder meer via capaciteitsopbouw, hervormingen en versterking van contracthandhaving.

In landen met een matig risicoprofiel, zoals Chili, ligt de nadruk op kostenefficiëntie. Gericht beleid dat technologische innovatie stimuleert, kan de CAPEX en OPEX reduceren. Dit kunnen zowel subsidies zijn als investeringen in efficiëntere conversieprocessen. Fiscale stimulansen, zoals investeringsaftrek of accijnzen, kunnen verdere ondersteuning bieden. Chili kan eigenlijk met relatief beperkte tussenkomst al concurrerend worden met mature markten zoals de VS. Op voorwaarde dat de beleidsmaatregelen stabiel en voorspelbaar blijven. Verder wordt aanbevolen om nationale beleidstrajecten te verankeren binnen bredere internationale klimaatagenda's. Door aansluiting te zoeken bij initiatieven zoals ReFuelEU of CORSIA kunnen landen hun geloofwaardigheid verhogen en financiering aantrekken. Ook multilaterale instellingen zoals MIGA, IFC of het *Green Climate Fund* kunnen een cruciale rol spelen in beide landen.

Er bestaat geen uniforme oplossing. De effectiviteit van maatregelen hangt af van de marktomstandigheden en het maturiteitsniveau van institutionele structuren. Flexibele, adaptieve en contextspecifieke beleidsstrategieën zijn daarom cruciaal voor een succesvolle SAF-productie en markt in ontwikkelingslanden.

5.3 Beperkingen van het onderzoek

Hoewel dit onderzoek een gedetailleerde economische analyse biedt van beleidsopties om investeringen in SAF in ontwikkelingslanden te stimuleren, kent het enkele beperkingen. Ten eerste lag in de analyse enkel de focus op twee landen, Chili en Ghana. Hierdoor zouden de bekomen resultaten niet helemaal generaliseerbaar kunnen zijn naar andere ontwikkelingslanden. Daarnaast werd enkel de HEFA-technologie bekeken, alternatieve productietechnologieën bleven buiten beschouwing. Verder houdt het gebruikte DCFROR-model geen rekening met onzekerheden, marktschommelingen of variatie in parameters zoals feedstockprijzen of rentetarieven. Ook ecologische of sociale impactfactoren werden niet opgenomen. Bovendien werd het landenrisico bepaald aan de hand van RAF-data gebaseerd op zonne-energieprojecten, wat niet sectorspecifiek is voor SAF. Deze beperkingen bieden kansen voor verdere verfijning en uitbreiding in toekomstig onderzoek.

6 Conclusie

De wereldwijde klimaatcrisis vraagt om een snelle en ingrijpende vermindering van broeikasgasuitstoot. Hernieuwbare energie vormt hierin een cruciale pijler. De luchtvaartsector in het specifiek vormt een bijzondere uitdaging. *Sustainable Aviation Fuels* (SAF) biedt een veelbelovende oplossing om de emissies in deze sector aanzienlijk te reduceren. Toch blijft financiering van SAF-projecten in ontwikkelingslanden moeilijk door hoge risicopremies. Deze masterstudie onderzocht hoe beleid kan bijdragen aan het verlagen van deze risicopremies en daarmee de economische haalbaarheid van SAF kan verbeteren.

De studie focuste op twee landen met verschillende risicoprofielen: Chili en Ghana. Voor beide werd de *minimum selling price* (MSP) via een DCFROR-model berekend en vervolgens vergeleken met de Verenigde Staten als benchmark. Daarna werden verschillende beleidsinterventies en financieringsvoorwaarden gesimuleerd om hun invloed op de economische haalbaarheid van SAF-projecten te bekijken.

De resultaten tonen aan dat landenrisico's zoals politieke instabiliteit, macro-economische volatiliteit, zwakke instellingen en beperkte toegang tot financiering, het waargenomen investeringsrisico versterken. Dit leidt tot hogere *discount rates* en *loan rates*, wat de MSP aanzienlijk doet stijgen. De gevoeligheidsanalyse bevestigde dat vooral de *discount rate* een doorslaggevende rol speelt in de kostprijsstructuur. Investeerders reageren dus sterk op het waargenomen risico en niet enkel op de financieringsvoorwaarde gepaard met de investering. Dit maakt beleidsinterventie noodzakelijk.

Beleidsmaatregelen blijken in staat om deze negatieve effecten deels te compenseren. Directe kosteninterventies zoals feedstocksubsidies en kapitaalsubsidies zijn bijzonder effectief. Blended finance-maatregelen hebben ook een impact op de MSP met minder budgettaire druk. Het sterkste effect wordt bekomen wanneer maatregelen worden gecombineerd. Deze bevindingen bevestigen het belang van geïntegreerde beleidsstrategieën die zowel operationele als financiële risico's aanpakken. Zeker voor landen met een hoog risicoprofiel, zoals Ghana, is een combinatie essentieel om investeringen in SAF rendabel te maken. Voor landen zoals Chili volstaat een gerichte subsidieaanpak om competitieve MSP-niveaus te bereiken. Internationale instellingen zoals de Wereldbank kunnen hierbij een cruciale rol spelen.

Beleid vormt een essentiële hefboom om investeringen in duurzame vliegtuigbrandstoffen in ontwikkelingslanden mogelijk te maken. Alleen met contextspecifieke, flexibele en financieel onderbouwde strategieën kunnen deze landen hun plaats innemen in een duurzame luchtvaarttoekomst.

7 Bibliografie

- Abba, Z. Y. I., Balta-Ozkan, N., & Hart, P. (2022). A holistic risk management framework for renewable energy investments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160, 112305. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112305>
- Aqeeq, M. A., Tahir, M. A., Haider, W. A., Aqeeq, F., & Abdullah, F. B. (2023). Energy transition for sustainable economic development in developing countries (DCs) – The case of utility-scale solar (USS) investments in Pakistan. *Energy Economics*, 122, 106696. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106696>
- Atnoorkar, S., Wiatrowski, M., Neues, E., Davis, R., & Peterson, S. (2024). Algae to HEFA: Economics and potential deployment in the United States. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 18(5), 1121-1136. <https://doi.org/10.1002/bbb.2623>
- aviationghana. (2025, mei 21). Ghana Plots Takeoff in Green Jet Fuel. *Aviationghana*. <https://aviationghana.com/ghana-plots-takeoff-in-green-jet-fuel/>
- Bauen, A., Bitossi, N., German, L., Harris, A., & Leow, K. (2020). Sustainable Aviation Fuels: Status, challenges and prospects of drop-in liquid fuels, hydrogen and electrification in aviation. *Johnson Matthey Technology Review*, 64(3), 263-278. <https://doi.org/10.1595/205651320X15816756012040>
- Bekaert, G., Harvey, C. R., Lundblad, C. T., & Siegel, S. (2016). Political risk and international valuation. *Journal of Corporate Finance*, 37, 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2015.12.007>
- Braun, M., Grimme, W., & Oesingmann, K. (2024). Pathway to net zero: Reviewing sustainable aviation fuels, environmental impacts and pricing. *Journal of Air Transport Management*, 117, 102580. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102580>
- Briera, T., & Lefèvre, J. (2024). Reducing the cost of capital through international climate finance to accelerate the renewable energy transition in developing countries. *Energy Policy*, 188, 114104. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114104>
- Calcaterra, M., Aleluia Reis, L., Fragkos, P., Briera, T., De Boer, H. S., Egli, F., Emmerling, J., Iyer, G., Mittal, S., Polzin, F. H. J., Sanders, M. W. J. L., Schmidt, T. S., Serebriakova, A., Steffen, B., Van De Ven, D. J., Van Vuuren, D. P., Waidelich, P., & Tavoni, M. (2024). Reducing the cost of capital to finance the energy transition in developing countries. *Nature Energy*, 9(10), 1241-1251. <https://doi.org/10.1038/s41560-024-01606-7>
- Caroline Banton. (2025, februari 25). *Interest Rates: Types and What They Mean to Borrowers*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/i/interestrate.asp>
- Das, B. K., Hoque, N., Mandal, S., Pal, T. K., & Raihan, M. A. (2017). A techno-economic feasibility of a stand-alone hybrid power generation for remote area application in Bangladesh. *Energy*, 134, 775-788. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.024>
- Directorate-General for Mobility and Transport. (2024, juni 25). *PRB Study on cost of capital—European Commission*. https://eu-single-sky.transport.ec.europa.eu/prb-study-cost-capital_en
- Elsner, C., Neumann, M., Müller, F., & Claar, S. (2022). Room for money or manoeuvre? How green financialization and de-risking shape Zambia's renewable energy transition. *Canadian Journal of Development Studies / Revue Canadienne d'études Du Développement*, 43(2), 276-295.

<https://doi.org/10.1080/02255189.2021.1973971>

Estrada, J. (2002). Systematic risk in emerging markets: The D-CAPM. *Emerging Markets Review*, 3(4), 365-379. [https://doi.org/10.1016/S1566-0141\(02\)00042-0](https://doi.org/10.1016/S1566-0141(02)00042-0)

European Commission. (2021, juli 14). *Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on ensuring a level playing field for sustainable air transport, COM/2021/561 final* [Website]. Publications Office of the EU; Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/00c59688-e577-11eb-a1a5-01aa75ed71a1>

European Commission. (2023). *Renewable energy*. https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy_en

Europees Parlement. (2024, februari 29). *Hernieuwbare energie | Infopagina's over de Europese Unie | Europees Parlement*. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/nl/sheet/70/hernieuwbare-energie>

Frisari, G., Hervé-Mignucci, M., Micale, V., & Mazza, F. (2013). *Risk Gaps: A Map of Risk Mitigation Instruments for Clean Investments*.

Haghighat Mamaghani, A., Avella Escandon, S. A., Najafi, B., Shirazi, A., & Rinaldi, F. (2016). Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia. *Renewable Energy*, 97, 293-305. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.086>

Hayakawa, K., Kimura, F., & Lee, H. (2013). How Does Country Risk Matter for Foreign Direct Investment? *The Developing Economies*, 51(1), 60-78. <https://doi.org/10.1111/deve.12002>

IEA. (2021, december 17). *The Cost of Capital in Clean Energy Transitions – Analysis*. IEA. <https://www.iea.org/articles/the-cost-of-capital-in-clean-energy-transitions>

IFC. (2021). *DFI Working Group on Blended Concessional Finance for Private Sector Projects*.

IRENA. (2016, juni 1). *Unlocking Renewable Energy Investment The role of risk mitigation and structured finance*. <https://www.irena.org/publications/2016/Jun/%20%20%20Unlocking-Renewable-Energy-Investment-The-role-of-risk-mitigation-and-structured-finance>

ISO 31000:2009(en), *Risk management—Principles and guidelines*. (z.d.). Geraadpleegd 27 januari 2025, van <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-1:v1:en>

Jason Fernando. (2024, maart 6). *Debt-to-Equity (D/E) Ratio Formula and How to Interpret It*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/d/debtequityratio.asp>

Jiang, W., & Martek, I. (2021). Political risk analysis of foreign direct investment into the energy sector of developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 302, 127023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127023>

Julia Kagan. (2024, maart 9). *Credit Rating: Definition and Importance to Investors*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/c/creditrating.asp>

Kansongue, N., Njuguna, J., & Vertigans, S. (2023). A PESTEL and SWOT impact analysis on renewable energy development in Togo. *Frontiers in Sustainability*, 3, 990173. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.990173>

Kassem, R., Mahmoud, M. M., Ibrahim, N. F., Alkuhayli, A., Khaled, U., Beroual, A., & Saleeb, H. (2024). A Techno-Economic-Environmental Feasibility Study of Residential Solar Photovoltaic/Biomass Power Generation for Rural Electrification: A Real Case Study. *Sustainability*, 16(5), 2036. <https://doi.org/10.3390/su16052036>

Kitzing, L., Mitchell, C., & Morthorst, P. E. (2012). Renewable energy policies in Europe: Converging or diverging? *Energy Policy*, 51, 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.064>

Komendantova, N., Schinko, T., & Patt, A. (2019). De-risking policies as a substantial determinant of climate change mitigation costs in developing countries: Case study of the Middle East and North African region. *Energy Policy*, 127, 404-411. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.023>

Kristin Brandt, Abid H. Tanzil, Lina Martinez-Valencia, MANUEL GARCIA-PEREZ, & Michael P. Wolcott. (2021). *Hydroprocessed esters and fatty acids techno-economic analysis, v. 2.2—Washington State University*. <https://rex.libraries.wsu.edu/esploro/outputs/model/99900620482201842>

Lee, U., Kang, N., & Lee, I. (2020). Choice data generation using usage scenarios and discounted cash flow analysis. *Journal of Choice Modelling*, 37, 100250. <https://doi.org/10.1016/j.jocm.2020.100250>

Lilford, E., Maybee, B., & Packey, D. (2018). Cost of capital and discount rates in cash flow valuations for resources projects. *Resources Policy*, 59, 525-531. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.09.008>

Maclean Kwofi. (2025, mei 22). *Ghana to undertake feasibility study on sustainable aviation fuels*. Graphic Online. <https://www.graphic.com.gh/news/general-news/ghana-news-ghana-to-undertake-feasibility-study-on-sustainable-aviation-fuels.html>

Malina, R., Abate, M. A., Schlumberger, C. E., & Freddy Navarro Pineda. (2022). *The Role of Sustainable Aviation Fuels in Decarbonizing Air Transport*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/38171>

OECD & United Nations Capital Development Fund. (2020). *Blended Finance in the Least Developed Countries: Supporting a Resilient COVID-19 Recovery*. OECD. <https://doi.org/10.1787/57620d04-en>

Ondraczek, J., Komendantova, N., & Patt, A. (2015). WACC the dog: The effect of financing costs on the levelized cost of solar PV power. *Renewable Energy*, 75, 888-898. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.053>

Perera, A. T. D., Attalage, R. A., Perera, K. K. C. K., & Dassanayake, V. P. C. (2013). Designing standalone hybrid energy systems minimizing initial investment, life cycle cost and pollutant emission. *Energy*, 54, 220-230. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.028>

Pratt, S. P., & Grabowski, R. J. (2014). Defining Cost of Capital. In *Cost of Capital* (pp. 1-10). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118846780.ch01>

Prum, M., Goh, H. H., Zhang, D., Dai, W., Kurniawan, T. A., & Goh, K. C. (2024). Optimizing hybrid energy systems for remote communities in Asia's least developed countries. *Heliyon*, 10(8), e29369. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29369>

Rojas-Michaga, M. F., Michailos, S., Cardozo, E., Akram, M., Hughes, K. J., Ingham, D., & Pourkashanian, M. (2023). Sustainable aviation fuel (SAF) production through power-to-liquid (PtL): A combined techno-economic and life cycle assessment. *Energy Conversion and Management*, 292, 117427. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117427>

Saculsan, P. G., Kanamura, T., 1 Graduate School of Advanced Integrated Studies in Human Survivability (GSAIS), Kyoto University, Japan, & 2 Japan & Graduate School of Global Environmental Studies (GSGES), Kyoto University, Japan. (2020). Examining risk and return profiles of renewable energy investment in developing countries: The case of the Philippines. *Green Finance*, 2(2), 135-150. <https://doi.org/10.3934/GF.2020008>

Schinko, T., & Komendantova, N. (2016). De-risking investment into concentrated solar power in

North Africa: Impacts on the costs of electricity generation. *Renewable Energy*, 92, 262-272. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.009>

Schmidt, T. S. (2014). Low-carbon investment risks and de-risking. *Nature Climate Change*, 4(4), 237-239. <https://doi.org/10.1038/nclimate2112>

SEforAll. (2023). *Ghana Energy Transition and Investment Plan*. Sustainable Energy for All | SEforALL. <https://www.seforall.org/our-work/initiatives-projects/energy-transition-plans/ghana>

Shahriar, M. F., & Khanal, A. (2022). The current techno-economic, environmental, policy status and perspectives of sustainable aviation fuel (SAF). *Fuel*, 325, 124905. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124905>

Shimbar, A., & Ebrahimi, S. B. (2020). Political risk and valuation of renewable energy investments in developing countries. *Renewable Energy*, 145, 1325-1333. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.055>

Songwe, V., Stern, N., & Bhattacharya, A. (2022). *Finance for climate action: Scaling up investment for climate and development*.

Steffen, B. (2020). Estimating the cost of capital for renewable energy projects. *Energy Economics*, 88, 104783. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104783>

Sustainable Aviation Futures. (2024, februari). *Paving the Way for SAF Adoption in Chile: The Role of Vuelo Limpio as a Collaborative Platform*. Sustainable Aviation Futures. <https://www.sustainableaviationfutures.com/saf-spotlight/vuelo-limpio-latam>

Sweerts, B., Longa, F. D., & van der Zwaan, B. (2019). Financial de-risking to unlock Africa's renewable energy potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.039>

Tamasiga, P., Onyeaka, H., Altaghlibi, M., Bakwena, M., & Ouassou, E. H. (2024). Empowering communities beyond wires: Renewable energy microgrids and the impacts on energy poverty and socio-economic outcomes. *Energy Reports*, 12, 4475-4488. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.10.026>

US EPA, O. (2015, april 8). *Renewable Fuel Standard Program* [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program>

Vanadzina, E., Pinomaa, A., Honkapuro, S., & Mendes, G. (2019). An innovative business model for rural sub-Saharan Africa electrification. *Energy Procedia*, 159, 364-369. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.001>

Vuelo Limpio. (2024). *Chile: SAF Roadmap 2050—Sustainable Aviation Fuels*. https://vuelolimpio.cl/wp-content/uploads/2024/10/Chile_SAF_Roadmap_2050_.pdf

Wang, Z. J., Staples, M. D., Tyner, W. E., Zhao, X., Malina, R., Olcay, H., Allroggen, F., & Barrett, S. R. H. (2021). Quantitative Policy Analysis for Sustainable Aviation Fuel Production Technologies. *Frontiers in Energy Research*, 9, 751722. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.751722>

World Bank. (2021). *World Bank Open Data*. World Bank Open Data. <https://data.worldbank.org>

World Bank. (2024a). *2024 Annual Report | World Bank Group Guarantees | MIGA*. <https://www.miga.org/2024-annual-report>

World Bank. (2024b). *World Bank Open Data*. World Bank Open Data. <https://data.worldbank.org/country/united-states?view=chart>

World Bank. (2024c). *World Bank Open Data*. World Bank Open Data. <https://data.worldbank.org/country/chile?view=chart>

World Bank. (2024d). *World Bank Open Data*. World Bank Open Data. <https://data.worldbank.org/country/ghana?view=chart>

World Bank. (2024e, oktober 15). *IBRD Financial Products* [Text/HTML]. World Bank. <https://treasury.worldbank.org/en/about/unit/treasury/ibrd-financial-products/lending-rates-and-fees>

Zebra, E. I. C., Van Der Windt, H. J., Nhumaio, G., & Faaij, A. P. C. (2021). A review of hybrid renewable energy systems in mini-grids for off-grid electrification in developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 111036. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111036>

8 Bijlagen

8.1 Bijlage 1: DCFROR-model

Inputfactoren:

Variables	Value		Citation for Typical Value
Financial			
Plant Maturity	nth		
Incentives	no		
Depreciation Schedule	double declining balance to straight line		IRS 2017
DDB to SL Duration (yrs)	7		IRS 2017
SL Duration (yrs)	10		
Real Discount Rate	10%		
Corporate Tax Rate	17,3%		
Inflation	2,0%		
Equity	30%		
Loan Interest Rate (no incentive)	8%		
Loan Term (yrs)	10		
Property Insurance (% FCI)	1%		
Local Taxes (% FCI)	1,5%		
Location Specific			
Feedstock type	FOGs		
FOGs Price (\$/t)	580		USDA 2019
Vegetable Oil Price (\$/t)	810		USDA 2020: canola, soy avg 2013-2019
Feedstock Transport Price (\$/t)	0		
Labor Factor (location wages:US wages)	1,0		For USA, use 1.0
Labor Burden	60%		
Consumables Factor (location price:US price)	1,0		For USA, use 1.0 - does not impact catalyst cost
Electricity (\$/kWh)	0,069		EIA 2019a: 2013-2017 annual average US industrial cost
Hydrogen (\$/kg)	1,77		Adapted from Dillich et al., 2012
Capital Cost Factor (location price:US price)	1,0		For USA, use 1.0
Process Specific			
Cleaning Loss for FOGs (wt%)	2%		USA DOE 2011
Facility Scale (t/yr feedstock)	892405		
Constant	Value	Defined Name	Citation for Typical Value
Cost year	2017	CostYr	
Operating hours (hrs/yr)	7884	OperatingHour	Jones et al. 2013
Hours per day	24	HrsDay	
Refined oil/hour after loss (kg/hr)	113192	OilPerHr	
Feedstock Scale (t/day)	2717	FeedPerDay	
Feedstock Price (\$/kg)	0,58	FeedCost	linked to regional entries and incentives
Maintenance and repairs (% of FCI)	6%	Maintenance	Peters et al. 2004
Working Capital (annual OPEX)	20%	WorkingCapital	
Incentive Adjusted Loan Interest Rate	8%	LoanInt	
Cost Growth Factor	1,00	CGF	Merrow et al. 1981
Effective Corporate Tax Rate	17,3%	InTaxRate	
Distillate Breakdown			
Jet fuel (%)	55%		
Diesel (%)	26%		
Naphtha (%)	8,0%		
Propane (%)	11,0%		
Total Distillate Yield (wt/wt)	0,83		de Jong et al. 2015
Jet fuel yield (wt/wt)	0,46	JetPerOil	
Diesel yield (wt/wt)	0,22	DieselPerOil	
Naphtha yield (wt/wt)	0,07	NaphPerOil	
Propane yield (wt/wt)	0,09	PropPerOil	
Product Densities			
Jet density (kg/L)	0,75	JetDen	ASTM D7566-20, used mid of range
Naphtha density (kg/L)	0,75	NaphthaDen	ASTM D3735-07(2012), used mid of range
Diesel density (kg/L)	0,89	DieselDen	ASTM D6751-20, used mid of range
Propane density (kg/L)	0,51	PropDen	ASTM D2598-16, used mid of range
Process conversion			
Boiler feedwater (for process steam) (kg/kg oil)	0,25	BFWPerOil	Pearlson, M., 2011
Cooling water (kg/kg oil)	5,33	CoolPerOil	Pearlson, M., 2011
Electricity (kW/kg oil)	0,02	ElecPerOil	Pearlson, M., 2011
Hydrogen (kg/kg oil)	0,04	HydrogPerOil	Pearlson, M., 2011
Catalyst lifetime (yrs)	0,5	CataLife	Tao et al., 2017
Wet hourly space velocity			
Hydrogenation (1/hr)	2	HydroWHSV	Tao et al., 2017
Isomerization/cracking (1/hr)	5	IsoWHSV	Tao et al., 2017
Raw Materials			
Cooling Tower Water (\$/kg)	0,00002	WaterCost	adapted from Turton et al. 2010
Catalysts: Hydrogenation & Hydrocracking (\$/kg)	136	CatalystCost	adapted from Tao et al., 2017
Boiler Feedwater (\$/kg)	0,00002	BFWCost	adapted from Turton et al. 2010

Incentives:

FEEDSTOCK SUBSIDY				
	Original Cost (\$/tonne)	Subsidy (\$/t)	Reduced Feedstock Cost (\$/t)	Note
Feedstock	580	0	580	original may be a combo of canola oil and FOGs
TAX REDUCTION				
none				
	Value	Notes		
Tax reduction	0%	reduces the tax rate		
Tax credit (\$MM)	0	reduces annual taxes paid, does not create or inflate a negative tax burden, i.e. no income from tax credit		
CAPITAL GRANT				
	payment	unit		
grant	0	million \$		
RISK REDUCTION				
	Original Interest Rate	Rate Reduction	Adjusted Interest Rate	
loan guarentee	8%	0,0%	8,0%	

Outputfactoren:

Revised	4/01/2023				
Author	Kristin Brandt, Abid H. Tanzil, Lina Martinez-Valencia, Manuel Garcia-Perez, Michael Wolcott				
Process	HEFA				
Feedstock	FOGs				
Plant maturity	nth				
Annual revenue					
Revenue Generating Product	Annual Production	Units	MSP	Units	Total annual revenue, MM\$
SAF	543	MM liter/year	\$0,83	\$/liter	\$450,0
Diesel	218	MM liter/year	\$0,84	\$/liter	\$183,0
Naphtha	79	MM liter/year	\$0,78	\$/liter	\$61,7
Propane	161	MM liter/year	\$0,36	\$/liter	\$57,9
Output Incentives					\$0,0
Total Revenue					\$752,6
Item	Value	Total delivered equipment cost			
Required feedstock (thousand t/year)	892	Hydroprocessing			
Price of lipids (\$/t)	\$580	Isomerization/cracking			
Operating hours (hrs/yr)	7884	Separation			
Analysis year	2017	Total capital investment			
Plant lifetime (year)	20				
Assumed annual inflation	2,0%	Operational expenditure			
Equity Percent of Total Investment	30%	Feedstock cost			
Target Nominal Financial Discount Rate	12,2%	Other variable OPEX			
Actual Nominal Financial Discount Rate	12,2%	Fixed OPEX			
Real Discount Rate	10%	Total			

Toelichting zoals beschreven door Kristin Brandt et al. (2021):

“Deze spreadsheet is bedoeld voor een greenfield **HEFA-faciliteit** die ratiofactoren gebruikt om de OSBL-kosten te schatten (Peters et al. 2004). Gebruikers kunnen financiële scenario's creëren met behulp van een reeks vervolgkeuzemenu's en door regionale, land- of locatie specifieke kosten en aannames in te voeren. **De initiële waarden/aannames weerspiegelen de oorspronkelijke ontwikkeling voor de VS.** De modelinvoer, zowel locatie- als proces specifiek, geselecteerd door de gebruiker en ingesteld door de maker van de spreadsheet, is opgenomen in twee secties, allemaal op het tabblad Invoer. Nadat de juiste informatie is ingevuld, klikt de gebruiker op de knop Model uitvoeren, die zich achter de variabelen op het tabblad Invoer bevindt. Door het model uit te voeren werden de **MSP-waarden** voor alle producten berekend, waarbij brandstof-MSP's werden gerelateerd aan de SAF MSP met behulp van de relaties die zijn gedefinieerd op het tabblad

FuelRelationships. De belangrijkste variabelen (bijv. grondstofprijs, kortingspercentage, enz.) binnen de spreadsheets kunnen door de gebruiker worden geselecteerd, maar de spreadsheet is vergrendeld om de computationele integriteit te behouden. Als er extra flexibiliteit nodig is, neem dan contact op met Kristin Brandt voor hulp.

Gebruikers kunnen de **gekleurde cellen** veranderen om een modelrun te creëren die een specifieke regio nabootst. Gebruikers moeten verifiëren dat alle gekleurde cellen op het tabblad Invoer het geselecteerde gebied weerspiegelen. Extra gekleurde cellen bevinden zich op de tabbladen Incentives en Brandstofrelaties.

Alle grijze cellen hebben een vervolgkeuzemenu in de cel. Klik op de cel en gebruik de pijl die rechts verschijnt om het gewenste scenario te selecteren.

Alle lichtblauwe cellen zijn cellen die gebruikers kunnen wijzigen en die een waarde nodig hebben om het model correct te laten werken.

Nadat de selecties en invoer zijn voltooid, klikt u op de knop **Run Model** onder het gekleurde celinvoergedeelte op het tabblad Invoer (rij 31). Modelresultaten worden weergegeven op het tabblad Uitvoer.”