

Recycling van koffieresidu tot biobrandstof

Onderzoeksrapport naar de mogelijkheden van koffieresidu om energieneutraliteit voor de gemeente Texel te bereiken.



Texelpellets



Aeres hogeschool Dronten

01-02-2019 / 06-04-2020

Koen Willem Pieter Hoogendiik

Recycling van koffieresidu tot biobrandstof

Onderzoeksrapport naar mogelijkheden om met koffieresidu
de energieneutraliteitsdoelstelling van de gemeente Texel te
behalen.

Opleiding dier- en veehouderij
Aeres hogeschool Dronten
Afgesloten op: 06 april 2020
Dronten

Opdrachtgever: Aeres hogeschool Dronten
Begeleidster: Mandy van Vugt

Auteurs: K.W.P Hoogendijk

DISCLAIMER

Dit rapport is gemaakt door een student van Aeres Hogeschool als onderdeel van zijn/haar opleiding. Het is géén officiële publicatie van Aeres Hogeschool. Dit rapport geeft niet de visie of mening van Aeres Hogeschool weer. Aeres Hogeschool aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade voortvloeiend uit het gebruik van de inhoud van dit rapport.

Voorwoord

Voor u ligt het onderzoeksrapport over de mogelijkheden van het recyclen van koffieresidu tot biobrandstof om zodoende bij te dragen aan de doelstelling van de gemeente Texel, aangaande energieneutraliteit. Dit onderzoeksrapport is onderdeel van het afstudeerwerkstuk en vierde leerjaar van de opleiding dier- en veehouderij aan de Aeres hogeschool te Dronten. Dit onderzoek heeft plaatsgevonden in het eerste semester van het academisch jaar 2019-2020.

Ik kijk zeer positief terug op mijn keuze om zelf een onderzoeksthema op te stellen, in plaats van het uitvoeren van een voorgeschreven onderwerp van een bedrijf voor het afstudeerwerkstuk. Ik zag deze keuze als een extra uitdaging en heb hier zeker geen spijt van gehad. Onderwerpen zoals duurzaamheid en biomassa hebben mij altijd al erg aangesproken. Bovendien heb ik met het onderzoek de mogelijkheid gehad om mijn bevindingen in mijn directe omgeving in de praktijk te brengen. Dit onderzoek heb ik dan ook als erg leerzaam ervaren, waarmee ik ook mijn kennis over recyclen en biomassa heb kunnen vergroten.

Bij deze wil ik mevrouw Mandy van Vugt hartelijk danken voor alle begeleiding bij het opstellen van dit afstudeerwerkstuk. Tevens wil ik de heer Marc Roeper van Texel pellets erg danken voor al zijn informatie en expertise. Tenslotte wil ik de TESO N.V., Firma Timmer en bouwbedrijf Van Heerwaarden bedanken voor het verkrijgen van de benodigde grondstoffen.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Samenvatting

Dit onderzoeksrapport bevat de uitvoeringsmethode en de resultaten van het onderzoek op de hoofdvraag. Deze luidt als volgt: *Op welke manier kan koffieresidu een bijdrage leveren om de energieneutraliteit doelstelling van gemeente Texel voor 2020 te behalen?* Het achterliggende doel van de onderzoeksvraag is om erachter te komen of koffieresidu een bijdrage kan leveren aan de energieneutraliteitsvisie van de gemeente Texel. Hiervoor is onderzoek verricht naar de hoeveelheid koffieresidu op het eiland, de mogelijkheden om van koffieresidu een goede biomassapellet te maken en de mogelijkheden om koffieresidu tot biodiesel te verwerken. Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van zowel praktijkonderzoek als laboratoriumanalyses.

Om te berekenen hoeveel koffieresidu beschikbaar is op het eiland, is er gekeken naar de vijf grootste sectoren die koffie verkopen. Dit zijn de restaurants (127.600 kg), de drinkgelegenheden (102.210 kg), de hotels (80.360 kg), de strandpaviljoens (21.400 kg) en tenslotte de TESO-veerboot (5.400 kg). Voor extra nauwkeurigheid zijn de berekening gedaan aan de hand van het hoog- en het laagseizoen op het eiland. Het totale aanbod van koffieresidu op het eiland bedraagt voor een jaar 336.880 kg nat product.

Voor de biomassapellets is er gebruik gemaakt van verschillende verhoudingen in koffieresidu en resthout als grondstof. De verhouding 25% koffieresidu en 75% resthout is het beste uit de verbrandings- en productietests gekomen. Deze verhouding heeft als grote voordeel dat het koffieresidu van tevoren niet eerst gedroogd hoeft te worden, wat kosten bespaart en beter is voor het milieu. Deze koffieresidupellet is vervolgens getest op alle ENplus-certificeringspunten. ENplus is een certificering die wereldwijd erkend is en staat garant voor een hoge kwaliteit. De geteste pellets bevatten op 20 van de 21 geteste parameters de hoogste (ENplus A1) kwaliteit.

De potentie voor biodiesel is geanalyseerd via het ruwvetpercentage van het koffieresidu. Hiervoor is een drogestofbepaling gedaan en is een Soxhlet extraction toegepast. Om de betrouwbaarheid te vergroten is er gebruik gemaakt van twee monsters uit een homogeen product die allebei driemaal getest zijn. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat het uiteindelijke ruwvetpercentage 8.25% is. Van dit ruwvet kan vervolgens biodiesel gemaakt worden.

Van het aanbod van 336.880 kg natte koffieresidu kan er op het eiland 13.896 kg biodiesel gemaakt worden. Na vermenging met gewone diesel is dit goed voor 1.389.600 kWh. Ook kan eruit het koffieresidu 1.347.520 kg biomassapellets gefabriceerd worden. Dit levert 6.602.848 kWh op, wat gelijk staat aan 443 energieneutraal huishoudens (6.95% van het totaal). Hieruit valt te concluderen dat de koffieresidupellet een significante bijdrage kan leveren aan het realiseren van de doelstellingen van de gemeente Texel. Een aanbeveling voor de gemeente is dan ook om bedrijven te stimuleren om te investeren in de productie van koffieresidupellet. Dit kan via financiële middelen maar ook bijvoorbeeld via hulp bij de infrastructuur van grondstoffen.

Summary

This research document contains the result of the main question: is there is any potential in coffeeresidu to reach the energy neutral vision for the island Texel? To answer this, the availability of coffeeresidu on the island is calculated, the best way to produce biomass pellet of coffee residue and how much biodiesel coffee residue contains is tested. To do this, both practical research and laboratory analyzes have been used

To calculate how much coffee residue is available on the island, we looked at the five largest sectors that sell coffee. These are the restaurants (127.600 kg), the drinking places (102.210 kg), the hotels (80.360 kg), the beach pavilions (21.400 kg) and last the TESO Ferry (5.400 kg). The calculation is done annually and based on the high and low season on the island. The total supply of coffee residue on the island is 336,880 KG wet product a year.

For the biomass pellets, different proportions of coffee residue and residual wood were used as raw material. The ratio of 25 percent coffee residue and 75 percent residual wood scores the highest in the combustion and production tests. This ratio has the great advantage that the coffee residue does not have to be dried beforehand, which saves costs and is better for the environment. This ratio was then tested for all ENplus certification criteria. ENplus is a globally recognized certification for pellets and guarantees a high quality. The pellets tested contained the highest (ENplus A1) quality on 20 of the 21 parameters tested. The 21 point is ENplus A2 certified.

The production of biodiesel was analyzed by the raw fat percentage of the coffee residue. Dry matter determination and Soxhlet extraction were used for this. To increase reliability, two samples from a homogeneous product is used, both of which have been tested three times. This study showed that the final raw fat percentage is 8.25 percent. After extraction biodiesel can be made from the raw fat.

From the 336,880 kg of wet coffee residue, 13,896 kg of biodiesel can be made for the island. After mixing with regular diesel, this is good for 1,389,600 KWh. 1,347,520 kg of biomass pellet can also be produced from the coffee residue. This yields 6,602,848 KWh, which equals 443 energy neutral households (6.95 percent of the total). From this it can be concluded that coffee residue can make a significant contribution to the vision of the municipality of Texel. The recommendation for the municipality is therefore to encourage companies to invest in this. This can be done through financial resources but also through assistance with the infrastructure for the raw materials.

Inhoudsopgave

1. Introductie	8
1.1 Opwarming van de aarde	8
1.2 Klimaatakkoord	8
1.3 CO ₂ -reductie	9
2. Koffieresidu	10
2.1 Cascadering	10
2.2 Ladder van Lansink en kaderrichtlijn afvalstoffen.....	11
2.3 Eigenschappen koffie	11
2.4 Biomassapellets.....	12
2.5 Biodiesel	12
2.6 Hoofdvraag, deelvragen en doelstellingen	13
2.7 De doelgroep	13
3. Materiaal en methode.....	14
3.1 Pellets productie.....	14
3.2 Grondstoffen	14
3.3 Biomassapellet praktijkonderzoek	14
3.3.1 Het productieproces.....	15
3.3.2 Data-analyse biomassapellet productie	15
3.3.3 Het verbrandingsproces	16
3.3.4 Data analyse biomassapellets verbrandingsproces	16
3.4 Laboratorisch onderzoek koffieresidupellets en data-analyse	18
3.5 Biodiesel onderzoek	20
3.5.1 Data-analyse biodiesel	20
3.6 Aanbod koffieresidu op het eiland	20
3.6.1 Data-analyse aanbod koffieresidu.....	21
4. De resultaten	22
4.1 Biomassapellet van koffieresidu.....	22
4.3 Laboratoriumonderzoek biomassapellet	23
4.4 Koffieresidu tot biodiesel	25
4.5 De hoeveelheid koffieresidu	25
4.5.1 Koffieresidu in kWh	26
5. Discussie	27
5.1 Biomassapellets.....	27
5.2 Biodiesel	27

5.3 Hoeveelheid koffieresidu	28
6.Conclusie	29
6.1 Biomassapellet van koffieresidu.....	29
6.2 Biodiesel van koffieresidu	29
6.3 De hoeveelheid koffieresidu	29
6.4 Hoofdvraag.....	30
6.5 Aanbevelingen.....	30
Bibliografie	31
Bijlage I Beoordelingsformulier productie- en verbrandingsproces	33

1. Introductie

In dit hoofdstuk wordt het onderwerp geïntroduceerd en wordt gekeken naar de context van het onderzoek. Hierin zal ook de aanleiding van het onderzoek en de relevantie ervan worden toegelicht. Dit wordt gedaan om te verhelderen wat precies het probleem inhoudt en waar het vandaan komt. Het onderwerp van het onderzoek wordt breed geïntroduceerd voor een duidelijk beeld, waarna het in het volgende hoofdstuk verder wordt afgebakend.

1.1 Opwarming van de aarde

De opwarming van de aarde is één van de grootste uitdagingen waar de mensheid tot nu voor staat. Circa 97% van de wetenschappers is het er anno 2018 over eens dat het klimaat van de aarde opwarmt (Molina, 2018). Zodra er minstens twee graden opwarming van de aarde plaatsvindt, heeft dit gevolgen voor de manier van leven op aarde. Door meer droogte zal het produceren van voedsel veel moeilijker worden. De kans op zowel bosbranden als overstromingen zal toenemen, en drinkwater zal schaarser worden. Deze gevolgen zijn zeer ernstige bedreigingen voor de huidige leefstijl van de mens (Hajer, 2010).

De opwarming van de aarde wordt veroorzaakt doordat er te veel CO₂ in de atmosfeer terecht komt. De CO₂ houdt namelijk warmte vast op aarde. Na de industriële revolutie van de mens in de jaren '20 is de vrijgekomen CO₂ exponentieel toegenomen. Dit komt voornamelijk doordat het verbranden van verschillende soorten fossiele brandstoffen, zoals olie en gas, zeer vergroot is. Deze brandstoffen bevatten namelijk CO₂, die door de verbranding ervan weer vrij in het milieu terecht komt. (Brinkman, 2007) Een andere factor voor de opwarming van de aarde is bijvoorbeeld de ontbossing van oerwouden. Doormiddel van fotosynthese wordt de CO₂ opgeslagen door planten en bomen (South, 2019). Door de ontbossing kan er dus ook minder CO₂ worden opgenomen in de natuur. Bovendien komt de opwarming van de aarde in een versnelling doordat ook de poolkappen smelten (NASA, 2018). De poolkappen bestaan uit ijs dat de functie heeft om de warmte van de zon te weerkaatsen. Door de opwarming van de aarde smelten de ijskappen sneller waardoor er nog minder warmte kan worden teruggekaatst: er is dus sprake van vicieuze cirkel.

1.2 Klimaatakkoord

Op 12 december 2015 is er een klimaatverdrag afgesloten in Parijs. Hierin erkennen 191 landen het probleem van de opwarming van de aarde en werd er afgesproken dat de aarde niet meer dan 2 graden mag opwarmen. Dit zal voornamelijk gerealiseerd moeten worden door de reductie van CO₂-emissie. De Europese Unie heeft drie doelen gesteld om de CO₂-uitstoot te verminderen, meer energie te besparen en hernieuwbare energie toe te gaan passen. Deze doelen zijn voor 2020, 2030 en 2050 gesteld. In 2020 moeten de lidstaten hun broeikasgas uitstoot uit de grootste sectoren hebben gereduceerd. In 2030 moet de uitstoot van de sectoren minstens 30% lager zijn dan het niveau in 2005. Voor 2050 is er afgesproken dat tenminste 30% van de energie in de gehele Europese Unie duurzaam opgewekt moet zijn en de CO₂-emissie met 80% is verlaagd. Dit wil de Europese Unie bereiken door de nieuwe ingestelde klimaatwetgeving van 2018. De nieuwe wetgeving richt zich voornamelijk op de uitstoot van broeikassen in de bouwsector, afval -, transport -, en landbouwsectoren. Voor deze nieuwe doelstellingen zal er fors geïnvesteerd moeten worden door de lidstaten van de Europese Unie. (Europa NU, 2019)

De CO₂-reductie van de Europese Unie wordt onderverdeeld aan de lidstaten, zo ook aan Nederland. Nederland heeft ook doelen gesteld om de opwarming van de aarde tegen te gaan. In het

klimaatakkoord staat dat Nederland in 2030 ten minste 49% van de uitstoot wil verminderen. Er is echter nog veel onduidelijk over hoe dit doel bereikt moet worden. Er zijn meningsverschillen over wie de grootste investeringen hiervoor moeten doen: de burger of het bedrijfsleven. Zodra alle huizen van de gasvoorziening af moeten, zal dit huishoudens veel geld kosten. Er moet geïnvesteerd worden in een vervangende duurzame warmtebron en nieuwe isolatie van huizen. De energietransitie in Nederland zal een grote invloed hebben op de gehele economie. In de industrie zullen er ook veel veranderingen plaats gaan vinden. Het industriebeleid wordt erop gefocust om goede (voorlopige) bedrijven te belonen en achtergebleven bedrijven sancties op te leggen. Dit zal uiteindelijk motiveren om te innoveren op duurzaamheid (Het Klimaatberaad, 2018).

1.3 CO₂-reductie

Naast de doelstellingen van de Europese Unie en Nederland hebben de Waddeneilanden, waaronder Texel, ook doelen opgesteld. Deze eilanden hebben de ambitie om in 2020 volledig energieneutraal te zijn. Op Texel, het grootste Waddeneiland is het isoleren van bestaande huizen en het bouwen van energieneutrale woningen hier een groot onderdeel van. Een andere doelstelling is het opwekken van duurzame energie op het eiland zelf. (Leguijt, 2008)

In het verwerken van biomassa tot energie, schuilen grote kansen om de ambitie te realiseren om lokaal duurzame energie op te wekken. Biomassa wordt namelijk als CO₂ neutraal bestempeld. Dit houdt in dat het niet erg is als tijdens de verbranding CO₂ vrijkomt, omdat deze CO₂ ook weer wordt opgenomen door de nieuwe generatie van het product. Hierdoor ontstaat erin principe een CO₂-circulatie van het product. Biomassa kan ook in verschillende vormen verwerkt worden. Neem bijvoorbeeld pellets, briquettes of biodiesel. Een pelletkachel is een veelvoorkomende en duurzame vervanging van de gebruikelijke cv-ketel die op gas werkt. In de kachel worden pellets verbrand die vaak gemaakt zijn van houtsnippers; ze zijn hierdoor duurzamer dan het gebruik van fossiele brandstoffen. De afkomst van de houtpellets wordt echter bekritiseerd omdat het transport CO₂ uitstoot en kosten met zich meebrengt. Het is duurzamer om biomassabrandstof te maken van lokale producten. Hierbij gaat de voorkeur in eerste instantie natuurlijk uit naar restproducten van bedrijven.

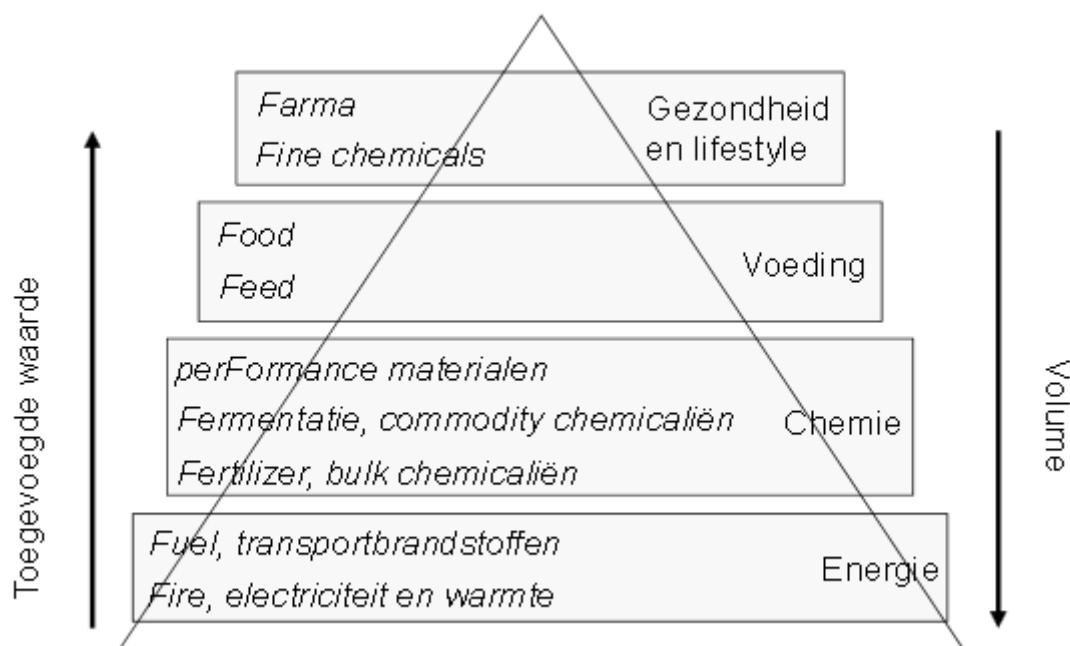
Koffieresidu is een restproduct, dat op Texel goed te verkrijgen is. Texel is een toeristisch eiland dat jaarlijks veel bezocht wordt; het bezoekersaantal staat op circa 1 miljoen mensen per jaar. (VVV Texel, 2019) Deze bezoekers consumeren vaak koffie bij restaurants, strandpaviljoens, de veerhaven enz. Hierdoor ontstaat er een reststroom aan koffieresidu die op het moment vaak tegen betaling wordt afgevoerd. Indien deze reststroom verwerkt kan worden tot een duurzaam product, zal dit een extra economische motivatie geven voor de deelnemende bedrijven. Alle inwoners en toeristen van Texel zullen in 2020 circa 1927 terajoule aan energie gaan gebruiken (Weerdhof, 2011). Het is nog niet realistisch om ervan uit te gaan dat dit verbruik 100% vervangen kan worden door duurzame biomassa, maar hoe minder afhankelijkheid er is van fossiele brandstoffen, hoe beter het is voor de reductie van de CO₂-uitstoot. Met name door de kleinschaligheid kan de productie van pellets en biodiesel van koffieresidu een waardevolle rol gaan spelen op het eiland.

2. Koffieresidu

Nadat er in hoofdstuk 1 een duidelijk beeld is geschetst van de context van het probleem, wordt het in hoofdstuk 2 beter afgebakend. Dit is gedaan doormiddel van het opstellen van hoofd- en deelvragen. Verder is er een literatuuronderzoek uitgevoerd om te kijken welke relevante kennis al beschikbaar is. Hiernaast zal er ook geconcludeerd worden welke cruciale informatie ontbreekt om de hoofd- en deelvragen te beantwoorden.

2.1 Cascadering

Cascadering is een erg belangrijk begrip in de biomassa wereld. Hierbij wordt namelijk stapsgewijs gekeken hoe alle componenten van de biomassa zo productief mogelijk benut kunnen worden. Ook is het van belang dat eerst de componenten gebruikt worden met de hoogst toegevoegde waarde. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de waarde piramide (zie figuur 2.1) (Virida, 2019).



Figuur 2.1: De waarde piramide om de toegevoegde waarde te beoordelen (Bos, 2014)

In deze figuur zijn vier verschillende niveaus te zien; gezondheid en lifestyle, voeding, chemie en energie. Per niveau neemt de toegevoegde waarde van de reststroom toe, waarbij het beschikbare volume juist afneemt; onder andere door bio-raffinage is biomassa tot verschillende componenten te scheiden. Het product koffieresidu is bijvoorbeeld te scheiden tot componenten die voor menselijke consumptie geschikt gemaakt kunnen worden. Door de energie die het kost en omwille van het feit dat er efficiëntere voedselproductiemethodes bestaan, is dit niet de meest voor de hand liggende optie voor koffieresidu. Ook is er sprake van een restproduct dat al eerder is gebruikt voor het produceren van voedsel. Hierdoor valt de categorie voeding af bij het verwerken van deze biomassa. De onderkant van de piramide heeft echter niet alleen maar negatieve aspecten. In deze groep is productie op kleinere schaal, met lagere investeringen en risico's bijvoorbeeld, beter mogelijk.

Pellets van koffieresidu vallen in de onderste groep (energie). Hierdoor is de toegevoegde waarde van het product klein waardoor je veel volume nodig hebt. Een ander product waar koffieresidu in

verwerkt kan worden, is biodiesel; dit is wederom de onderste groep (energie). Tijdens het proces komt er ook glycerol tot stand, dit verlaagt ongeveer 6% van de kosten van biodiesel (Haas, 2006). Glycerol is een product dat veel in de farmaceutische industrie wordt gebruikt en zodoende in de bovenste groep (gezondheid en lifestyle) behoort. Hierdoor is het wellicht aantrekkelijker, vanuit het biobased economische oogpunt, om eerder biodiesel van het koffieresidu te produceren dan pellets.

2.2 Ladder van Lansink en kaderrichtlijn afvalstoffen

De Ladder van Lansink, ook wel de afvalhiërarchie genoemd, is de internationale werkwijze voor het verwerken van afval. Het doel is gelijk aan de waardepiramide, namelijk het afval zo hoog mogelijk verwerken. De ladder van Lansink bestaat uit (Recycling Vision B.V, 2019):

1. Preventie
2. Hergebruik
3. Sorteren en recyclen
4. Verbranden
5. Storten

Op dit moment wordt koffieresidu voornamelijk verbrand of gestort als verwerkingsproces. Bij het afstorten van organisch materiaal wordt het product door micro-organismen omgezet naar methaangas. Dit is een gas is een broeikasgas dat tot 23 keer is dan normale CO₂-uitstoot. Hierdoor staat storten op de laagste plaats in de piramide. In het kader van de CO₂-uitstoot in het milieu, zal dit dan ook zo veel mogelijk moeten worden voorkomen. Verbranding is een minder belastende vorm voor het milieu, omdat de warmte die bij verbranding vrijkomt gebruikt kan worden om energie op te wekken. In het kader van koffieresidu is deze verbranding echter inefficiënt, doordat het product een hoog vochtgehalte bevat.

Bij het sorteren en recyclen van het product tot pellets neem je deze inefficiënte verbranding weg doordat het vochtgehalte al grotendeels is verlaagd tijdens het productieproces. Tevens kan de CO₂ neutrale warmte dan ook gemakkelijker op Texel blijven. Daarnaast is het hergebruiken van het koffieresidu niet meer interessant, omdat er al meer dan 70% van de cafeïne is weggehaald. Ook het hanteren van eventuele preventiemaatregelen, tegen de consumptie van koffie, is een niet voor de hand liggende oplossing. Het recyclen ervan biedt meer kansen bij dit product. Tenslotte is het verbranden van pellets ook voordeliger voor de consument. Dit omdat een warmtebron die gebruik maakt van elektriciteit, zoals bijvoorbeeld een warmtepomp, vaak hogere investeringskosten met zich mee brengt dan bijvoorbeeld een pelletkachels.

2.3 Eigenschappen koffie

Koffieresidu beschikt over een gemiddeld hoog carbon gehalte (>58%), een laag as gehalte (<1%) en een lage polarity coëfficiënt (Pujol, 2013). Hierdoor levert het per kilo circa 10 MJ/kg (onderwaarde) energie op (NL Agentschap, 2013). Dit staat ongeveer gelijk aan 0.33 m³ aardgas (Groningsgas levert 31,65 MJ/m³(onderwaarde)). De verbrandingswaarde van 1m³ aardgas staat dus circa gelijk aan de verbranding van 3 kg koffieresidu (Tolsma, 2009). Het as gehalte van koffieresidu is ongeveer gelijk aan dat van houtpellets, ze zijn namelijk beide lager dan 1% (Brinkmann, 2015). Om een reële inschatting te kunnen maken of het recyclen van koffieresidu een waardevolle bijdrage kan leveren aan de CO₂ neutraliteit van de gemeente Texel, is het van belang een product te produceren met een constante kwaliteit. Koffieresidu is hiervoor beter geschikt dan bijvoorbeeld de traditionele houtpellets. Houtpellets verschillen vaak in kwaliteit doordat de grondstoffen uit andere soorten

hout bestaan en verschillende structuren bevat. Koffieresidu bestaat uit een meer constant product. Er zijn voornamelijk twee soorten (Arabica en Robusta) die gebruikt worden voor koffie.

2.4 Biomassapellets

De methode van pellets maken is in principe al bekend. De biomassa mag maar een bepaald vochtpercentage bevatten voor de productie van een goed product. Met een te laag vochtgehalte, vaak lager dan 10% , wil het product niet binden. Een te hoog vochtgehalte, vaak hoger dan 20% , resulteert in een korrel die slechter brandt. In dit geval kost het extra energie om de pellet pers op temperatuur te houden. Een ideaal vochtgehalte ligt rond de 15%, dit kan echter per grondstof enigszins verschillen. Een voordeel tegenover traditionele houtpellets is dat het aanbod van de grondstof veel constanter is. Bij resthout heb je snel te maken met verschillende soorten hout (rassen) en de structuren waardoor het eerst geshredderd moet worden. Dit shredderen is van belang om het product te verkleinen en zo geschikt te maken voor de pers. De pers werkt met een combinatie van hitte en massa. Door de hitte (vaak rond de 200 graden Celsius) zet de lignine vanuit de celwand van het product om in lijmachtige substantie. In combinatie met de druk van de pers blijft de pellet in elkaar, zonder dat er andere toevoegmiddelen nodig zijn (Kienhuis, 2013).

Over het maken van pellets met koffieresidu is nog niet veel informatie beschikbaar. Er is geen literatuur aanwezig die aangeeft welk vochtigheidspercentage en welke temperaturen het beste gebruikt kunnen worden. Tevens is er niet een standaardmethode om de biomassa op het gewenste vochtigheidspercentage te krijgen. Het drogen van bijvoorbeeld hout wordt vaak gedaan door het vijf tot acht maanden droog op te slaan. Er wordt ook af en toe gebruik gemaakt van geforceerd drogen, hierbij wordt er doormiddel van koperen buizen geforceerde lucht door het product gepompt. Het nadeel hiervan is dat het meer geld kost en dat het ook meer energie verbruikt, waardoor het duurzaamheidsaspect minder wordt. (INBO, 2019)

2.5 Biodiesel

Doormiddel van Soxhlet extraction kan er olie uit de koffieresidu worden geëxtraheerd. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van een oplosmiddel, bijvoorbeeld hexaan of heptaan. Het apparaat zelf maakt gebruik van een warmtebron die het oplosmiddel verwarmt in een kolf. Als het oplosmiddel verdampt en verplaatst richting de koeler, daalt de temperatuur en condenseert de vloeistof. Hierna komt het oplosmiddel in aanraking met het product. Als er voldoende oplosmiddel is gecondenseerd, verplaatst het zich weer naar de oorspronkelijke kolf via het filtraat, op het verwarmingselement. Deze cyclus herhaalt zich enkele keren tot het oplosmiddel alle oliën uit het product heeft geëxtraheerd. Na dit proces kan doormiddel van extractie het oplosmiddel nog een keer gescheiden worden van het geëxtraheerde olie uit de grondstof. Het oplosmiddel kan zo meerdere keren gebruikt worden en wordt de olie verder verwerkt tot biodiesel (Luque de Castro, 2009).

Voor het maken van biodiesel brengt men al roerend de plantaardige olie op een temperatuur van 55 graden Celsius. Tegelijkertijd wordt er een bepaalde hoeveelheid kaliumhydroxide roerend opgelost in een bepaalde hoeveelheid methanol. Als de olie op temperatuur is en de kaliumhydroxide volledig is opgelost, mogen de vloeistoffen samengevoegd worden. De vloeistof moet nog een uur roerend op temperatuur gehouden worden zodat de reactie kan plaatsvinden. Na de reactie is er biodiesel en glycerol ontstaan. Deze moeten minimaal 12 uur rusten voordat ze gescheiden kunnen worden. Vervolgens kan de biodiesel voor een kwaliteitsproef worden gebruikt, dit om te kijken of de biodiesel niet verontreinigd is (Elmers, 2016).

Aan de hand van de aanwezige literatuur, is er op dit moment nog niet te zeggen wat de volledige opbrengsten in energie zijn van de verwerking van biodiesel. Dit zal in de praktijk gemeten moeten worden. Tevens is de exacte verbrandingswaarde van de gemaakte pellets van koffieresidu ook nog niet bekend. De circa 10 MJ/kg (zie eigenschappen koffie) is een indicatie, maar deze kan na verwerking wellicht hoger of lager uitvallen. Ook kunnen de ideale vochtpercentages voor verwerking afwijken van de eerdergenoemde houtpellets.

2.6 Hoofdvraag, deelvragen en doelstellingen

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt:

Op welke manier kan koffieresidu een bijdrage leveren om de energieneutraliteitsdoelstelling van gemeente Texel voor 2020 te halen?

Om de hoofdvraag te beantwoorden wordt de vraag opgesplitst in meerdere deelvragen.

Deelvragen:

1. In hoeverre is het mogelijk om van koffieresidu een biomassapellet te produceren en welke kwaliteit heeft dit?
2. Hoe efficiënt kan koffieresidu als grondstof voor de productie van biodiesel gebruikt worden?
3. Hoe groot is het aanbod van koffieresidu op het eiland Texel?

De doelstelling van het onderzoek is om erachter te komen of recyclen van koffieresidu naar biobrandstof een bijdrage kan leveren in de energieneutraliteit van gemeente Texel.

2.7 De doelgroep

De doelgroep voor dit onderzoek zal bestaan uit verschillende groepen. Ten eerste zal de gemeente Texel geïnteresseerd zijn in de uitkomst van dit onderzoek, omdat dit wellicht een bijdrage kan leveren aan de energiedoelstelling van 2020. Tevens kan dit onderzoek andere gemeentes van Nederland bevoordelen die ook geïnteresseerd zijn in CO₂-reductie. Daarnaast zijn zowel bedrijven als particulieren met een pelletkachel onderdeel van de doelgroep. Dit omdat de uitkomst van het onderzoek wellicht een goedkopere en duurzamere manier van brandstof tot gevolg kan hebben.

3. Materiaal en methode

In dit hoofdstuk wordt er beschreven welke materialen en methodes gebruikt zijn om de deelvragen te beantwoorden. Voor de overzichtelijkheid wordt dit per deelvraag behandeld. Er is echter een uitzondering gemaakt voor overlappende gedeeltes van sommige deelvragen, omdat hierbij de processen hetzelfde waren. In hoofdstuk vier zijn vervolgens de resultaten van de methodes weergegeven.

3.1 Pellets productie

Om de deelvraag: In hoeverre is het mogelijk om van koffieresidu een biomassapellet te produceren en welke kwaliteit heeft dit? te beantwoorden, zijn er eerst meerdere pellets met verschillende verhoudingen geproduceerd. De productie is uitgevoerd onder de begeleiding van Dhr. Marc Roeper van Texelpellets. Deze ondernemer heeft al ervaring over het verwerken van restmaterialen tot biomassa pellets. De ondernemer beschikt ook over verschillende pelletkachels waarmee het praktijkonderzoek verricht is. Ook doet de ondernemer aan collectieve inkoop van houtpellets voor het eiland.

Voor het maken van de koffieresidu pellets is een zo geheten pelletpers gebruikt. Deze pers bestaat voornamelijk uit twee rollers. Deze rollers drukken de grondstof door een matrijs van 6 mm, die afmeting bepaalt tevens de doorsnede van de pellet. Door de rollers en het ruwe materiaal ontstaat er wrijving en hitte. Door de temperatuursverhoging smelt het materiaal aan elkaar en is er geen bindmiddel nodig. Na een afkoelproces is er een stevig gecompriëerde pellet ontstaan. De pellet pers wordt aangedreven door een elektromotor die op 380 volt werkt. Voor de rest wordt er gebruik gemaakt van een opvangbak om de geperste pellets in op te vangen. Door de fijne structuur van koffieresidu hoeft het product in eerste instantie niet verkleind te worden. Mocht dit wel het geval zijn, beschikt de ondernemer ook over een hakselinstallatie.

3.2 Grondstoffen

Voor het materiaal en de methode is er een overeenkomst tussen de eerste twee deelvragen. Voor de productie van zowel de biodiesel als de biomassapellets moet koffieresidu verzameld en gedroogd worden. Het koffieresidu voor dit onderzoek wordt verzameld bij de Koninklijke Texelse Eigen Stoomboot Onderneming NV. (Afgekort TESO). Naar eigen schatting worden hier meer dan 1 miljoen kopjes koffie per jaar verkocht. De koffiebonen worden versgemalen in een koffiemachine, waarna het koffieresidu automatisch in een opvangbak gaat. De onderzoeker haalt om de twee dagen de verzamelde koffieresidu van het schip. Het aantal kilo's dat per keer wordt verzameld hangt van veel verschillende aspecten af. Er is namelijk vaak in het weekend sprake van piekdrukke waardoor er ook meer koffie verkocht wordt. Het bezoekersaantal en dus ook de koffieopbrengst worden op drukke dagen echter verspreid door de inzet van een tweede veerboot.

Het drogen van het product is een belangrijk proces voordat het koffieresidu verwerkt kan worden tot pellet of biodiesel. Het koffieresidu zal op een natuurlijke manier gedroogd worden. Hiervoor is gekozen, omdat het kostenbesparend is en het beter bij het duurzame imago van het product past.

3.3 Biomassapellet praktijkonderzoek

Om te beoordelen of het mogelijk is om een goede biomassapellet te maken van koffieresidu is er een praktijkonderzoek verricht met verschillende verhoudingen van koffieresidu en resthout. Deze proeven zijn gedaan met zowel natte, als droge koffieresidu om te ontdekken bij welke verhoudingen

drogen een vereiste is. Het resthout is verkregen van Timmer- en Bouwbedrijf Firma van Heerwaarden. Dit bedrijf heeft veel resthout over en is tevens opzoek naar een duurzame manier om dit te verwerken. In tabel 3.1 staat weergegeven welke verhoudingen er getest zijn.

Tabel 3.1: De geteste verhoudingen

Verhouding	Percentage koffieresidu	Percentage houtresten
A	100	0
B	75	25
C	50	50
D	25	75
E	0	100

De verhoudingen zijn praktisch getest op twee aspecten, het productieproces en het verbrandingsproces. Als er een pellet gemaakt kan worden van koffieresidu en eventueel resthout wordt deze, om de chemische kwaliteit vast te stellen, verder in het laboratorium getest. De keuze om hiervoor alleen de meest geschikte pellet te gebruiken is gemaakt vanuit financieel oogpunt.

3.3.1 Het productieproces

Om te beoordelen welke verhouding het beste geschikt is voor productie zijn er verschillende parameters onderzocht die belangrijk zijn in het productieproces. Deze parameter staan in tabel 3.2 weergegeven met verder onderzoekredentatie. Voor de beoordeling wordt er gebruikt gemaakt van een beoordelingsformulier (zie figuur 3.1). Dit beoordelingsformulier is opgesteld aan de hand van de praktijkkennis van het bedrijf Texelpellets (Roeper, 2019).

Tabel 3.2 Parameters die onderzocht worden tijdens het productie proces met redentatie

Parameter	Onderzoekredentatie
De doorloopsnelheid (Kg/uur)	Hogere capaciteit is beter voor de rendabiliteit
Hardheid pellet	Hoe harder, hoe beter gecompriemd; dat is beter voor de verbranding
Lengte pellet	Te korte/ te lang is slecht voor de verbranding
Glans pellet	Goede glans duidt op beter gecompriemde pellets

Voor de doorloopsnelheid wordt er gekeken hoeveel kg erin 15 minuten geproduceerd kan worden. Dit wordt vervolgens met vier vermenigvuldigd om tot kg per uur te komen. De lengte wordt beoordeeld aan de hand van het gemiddelde uit een steekproef. De hardheid en de glans worden beoordeeld door de onderzoeker door de pellets te vergelijken met gecertificeerde pellets.

3.3.2 Data-analyse biomassapellet productie

Bij de beoordeling van het productieproces wordt er een schaal van 1 tot 5 gebruikt. 1 staat hierbij voor slecht, 2 matig, 3 voldoende, 4 goed en 5 voor uitstekend. In tabel 3.3 staan de betekenissen van de beoordeling. Voor een pellet die bijvoorbeeld 65 kg per uur als doorloopsnelheid (score 4) heeft geldt dus dat dit goed is.

Tabel 3.3: Normeringen van de verschillende geteste parameters

Parameter	1	2	3	4	5
Doorloopsnelheid	0-20 kg/uur	21-40 kg/uur	41-60 kg/uur	61-80 kg/uur	81-100 kg/uur

Hardheid pellet	slecht	matig	voldoende	goed	uitstekend
Lengte pellet	<1 mm	1 mm	2 mm	3mm	4 mm
Glans pellet	slecht	Matig	voldoende	Goed	uitstekend

In tabel 3.4 staat de tabel die gebruikt wordt om te analyseren welke pellet de beste resultaten heeft gehaald. Om te beoordelen welke pellet het meest geschikt is voor chemische samenstelling wordt er tevens gekeken naar de resultaten van het verbrandingsproces en overige observaties van de onderzoekers.

Tabel 3.4: Resultaten tabel productieproces

Parameters	Score verhouding A	Score verhouding B	Score verhouding C	Score verhouding D	Score verhouding E
Doorloopsnelheid					
Hardheid					
Lengte					
Glans					
Totaal					

3.3.3 Het verbrandingsproces

Om te beoordelen welke verhouding de beste kwaliteit levert op verbrandingsproces zijn er parameters opgesteld. Voor de beoordeling is er gebruik gemaakt van hetzelfde beoordelingsformulier als bij het productieproces (zie figuur 3.1) In tabel 3.5 zijn deze parameters weergegeven samen met de onderzoekreden.

Tabel 3.5: Geteste parameter met onderzoekreden

Parameter	Onderzoekredenatie
Hoeveelheid rook (opstartfase)	Minder rook opstartfase geeft minder omgevingsoverlast
Duur ontvlaming sec.	Korte ontvlaming zorgt voor snelle warmte verspreiding
Hoogte vlam	Bij te lage vlam minder volledige verbranding
Warmte	Te weinig warmte maakt een pellet ongeschikt
Continuïteit vlam	Stabiele continuïteit van de vlam geeft betere verbranding
Gewicht asresten gram	Minder as vermindert schoonmaaktijd
Vastheid as	Minder vast as vermindert schoonmaaktijd en beter verbranding
Vervuiling glas	Schoner glas vermindert schoonmaaktijd

De reden dat er alleen wordt gekeken naar de hoeveelheid rook is omdat de rook na ontvlaming zo goed als verdwijnt. De hoeveelheid rook, hoogte vlam, continuïteit vlam en vervuiling glas wordt beoordeeld door de onderzoeker en de expertise van het bedrijf Texepellets. De overige parameter worden gemeten aan de hand van tijd of gewicht. De totale score van de verhouding wordt berekend aan de hand van het gemiddelde over de vier steekproeven.

3.3.4 Data analyse biomassapellets verbrandingsproces

De data analyse van het verbrandingsproces gaat in principe op dezelfde manier als dat van het productieproces. In tabel 3.6 staan dan ook de betekenissen van de beoordelingsformulieren. Tabel

3.7 wordt gebruikt om de totale score van het verbrandingsproces te analyseren. Zoals al eerder aangegeven wordt hiermee bepaald, plus de analyse van het productie proces en de overige observaties van de onderzoeker welke verhouding erop chemische samenstelling onderzocht wordt.

Tabel 3.6: Normeringen van de verschillende geteste parameters

Parameter	1	2	3	4	5
Hoeveelheid rook (opstartfase)	slecht	matig	voldoende	Goed	uitstekend
Duur ontvlamming sec.	> 600	600-540	539-480	479-420	< 420
Hoogte vlam	slecht	matig	voldoende	Goed	uitstekend
Continuïteit vlam	slecht	matig	voldoende	Goed	uitstekend
Warmte	slecht	matig	voldoende	Goed	uitstekend
Gewicht asresten gram	>2 %	2.0 – 1.7 %	1.69 – 1.4 %	1.39 % - 1.0%	< 1.0 %
Vastheid as	slecht	matig	voldoende	Goed	uitstekend
Vervuiling glas	slecht	matig	voldoende	Goed	uitstekend

Tabel 3.7: Resultaten tabel verbrandingsproces

Parameters	Score verhouding A	Score verhouding B	Score verhouding C	Score verhouding D	Score verhouding E
Hoeveelheid rook (opstartfase)					
Duur ontvlamming sec.					
Hoogte vlam					
Continuïteit vlam					
Warmte					
Gewicht asresten gram					
Vastheid as					
Vervuiling glas					
Totaal					

Het persproces is in het algemeen verder een uniform proces, dat een hoge externe validiteit garandeert. De resultaten van het verbrandingsproces omzetten naar de praktijk is echter lastiger. Dit komt mede door het hoge aanbod van diverse kachels met verschillende afstellingen. Om dit proces beter te beoordelen is het verbrandingsproces van de pellets in twee verschillende soorten pelletkachels getest.

	Percentage					Percentage					Percentage						
koffie						Hout						Overig					
Hoe perst het:																	
Doorloop snelheid	1	2	3	4	5												
Pellet eerste keer											Pellet tweede keer						
Hardheid	1	2	3	4	5						Hardheid	1	2	3	4	5	
Lengte	1	2	3	4	5						Lengte	1	2	3	4	5	
Glans	1	2	3	4	5						Glans	1	2	3	4	5	
Opmerkingen:																	
Hoe verbrand het:																	
Opstart fase:																	
Weinig rook	1	2	3	4	5												
Duur ontvlaming (sec):																	
verbrandings fase:																	
Hoogte vlam	1	2	3	4	5												
Warmte	1	2	3	4	5												
Continuïteit vlam	1	2	3	4	5												
Smerigheid glas	1	2	3	4	5												
Opmerkingen:																	
As resten:																	
Gewicht (gram)																	
Vastheid	1	2	3	4	5												
Opmerkingen:																	

Figuur 3.1: Het beoordelingsformulier voor de pellets op productie- en verbrandingsproces.

3.4 Laboratorisch onderzoek koffieresidupellets en data-analyse

De beste pellet uit het praktijkonderzoek is verder op chemische samenstellingen onderzocht. Deze proeven zijn uitgevoerd door het wetenschappelijke laboratorium TLR. In tabel 3.1 is weergegeven welke waardes er allemaal onderzocht zijn. Deze parameters zijn gekozen omdat deze ook gebruikt worden voor een ENplus-certificering. Als een houtpellet over de normwaarde van de parameter beschikt, komt deze pellet in aanmerking voor een ENplus-certificering. Dit is een internationaal standaard en is onderverdeeld in drie kwaliteitsvormen:

1. ENplus A1
2. ENplus A2
3. ENplus B1

ENplus A1 is de hoogste kwaliteit en ENplus B1 de laagste. De resultaten van de onderzochte pellets worden vergeleken met de certificeringsnormen. Als de resultaten van de onderzochte pellets overeenkomen met de A1 norm betekent dit dat de pellets over een hoge kwaliteit beschikken. In Tabel 3.8 zijn alle normen voor elke parameter van de ENplus-certificering weergegeven.

Tabel 3.8: De te meten parameter voor de koffiepellets (European Pellet Council, August 2015).

Property	Unit	ENplus A1	ENplus A2	ENplus B	Testing standard ¹¹⁾
Diameter	mm	6 ± 1 or 8 ± 1			ISO 17829
Length	mm	3,15 < L ≤ 40 ⁴⁾			ISO 17829
Moisture	w-% ²⁾	≤ 10			ISO 18134
Ash	w-% ³⁾	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2,0	ISO 18122
Mechanical Durability	w-% ²⁾	≥ 98,0 ⁵⁾	≥ 97,5 ⁵⁾		ISO 17831-1
Fines (< 3,15 mm)	w-% ²⁾	≤ 1,0 ⁶⁾ (≤ 0,5 ⁷⁾)			ISO 18846
Temperature of pellets	°C	≤ 40 ⁸⁾			
Net Calorific Value	kWh/kg ²⁾	≥ 4,6 ⁹⁾			ISO 18125
Bulk Density	kg/m ³ ²⁾	600 ≤ BD ≤ 750			ISO 17828
Additives	w-% ²⁾	≤ 2 ¹⁰⁾			-
Nitrogen	w-% ³⁾	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0	ISO 16948
Sulfur	w-% ³⁾	≤ 0,04	≤ 0,05		ISO 16994
Chlorine	w-% ³⁾	≤ 0,02		≤ 0,03	ISO 16994
Ash Deformation Temperature ¹⁾	°C	≥ 1200	≥ 1100		CEN/TC 15370-1
Arsenic	mg/kg ³⁾	≤ 1			ISO 16968
Cadmium	mg/kg ³⁾	≤ 0,5			ISO 16968
Chromium	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Copper	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Lead	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Mercury	mg/kg ³⁾	≤ 0,1			ISO 16968
Nickel	mg/kg ³⁾	≤ 10			ISO 16968
Zinc	mg/kg ³⁾	≤ 100			ISO 16968

¹⁾ ash is produced at 815 °C

²⁾ as received

³⁾ dry basis

⁴⁾ a maximum of 1% of the pellets may be longer than 40mm, no pellets longer than 45mm are allowed.

⁵⁾ at the loading point of the transport unit (truck, vessel) at the production site

⁶⁾ at factory gate or when loading truck for deliveries to end-users (*Part Load Delivery* and *Full Load Delivery*)

⁷⁾ at factory gate, when filling pellet bags or sealed *Big Bags*.

⁸⁾ at the last loading point for truck deliveries to end-users (*Part Load Delivery* and *Full Load Delivery*)

⁹⁾ equal ≥ 16,5 MJ/kg as received

¹⁰⁾ the amount of additives in production shall be limited to 1,8 w-%, the amount of post-production additives (e.g. coating oils) shall be limited to 0,2 w-% of the pellets.

¹¹⁾ As long as the mentioned ISO standards are not published, analyses shall be performed according to related CEN standards

3.5 Biodiesel onderzoek

Om de deelvraag: Hoe efficiënt is het gebruik van koffieresidu als grondstof voor het gebruik van biodiesel? te beantwoorden, is er gekeken in hoeverre koffieresidu geschikt is om te verwerken tot biodiesel. Hiervoor is het eerst van belang om het ruwvetpercentage van het gedroogde koffieresidu te bepalen. Dit is gedaan doormiddel van een Soxhlet extraction en een droge stof bepaling. Het protocol voor de droge stof bepaling en de ruwvetbepaling van het koffieresidu is terug te vinden in de bijlage. Deze proef is in zesvoud uitgevoerd met een homogeen monster om de betrouwbaarheid van het onderzoek te verhogen. Doordat deze proef in een laboratorium wordt uitgevoerd, beschikt het over een erg sterke interne validiteit. Het homogeen monster is verkregen door 10 kg gedroogde koffieresidu goed te mengen, waaruit vervolgens verschillende monsters zijn genomen.

3.5.1 Data-analyse biodiesel

Hoe hoger het percentage ruwvet van de koffieresidu is, hoe meer biodiesel gewonnen kan worden uit bijvoorbeeld 1 kg product. Om een inschatting te maken of het percentage ruwvet van koffieresidu goed is, zal dit vergeleken worden met andere producten die ook veel in de productie van biodiesel gebruikt worden.

Biodiesel wordt voornamelijk gemaakt van drie soorten plantaardige grondstoffen, namelijk sojabonen, oliepalm en maïs. In tabel 3.9 zijn de globaal gemiddelde ruwvetpercentages van deze planten weergegeven met het halffabricaat voordat er biodiesel van wordt gemaakt.

Tabel 3.9 Percentage plantaardige ruwvet per product (Mullie, 2003), (Malfait, 2009), (MVO, 2015)

Grondstof	Halffabricaat	Percentage
Sojabonen	sojaolie	17
Maiskorrels	maisolie	5
oliepalm	palmolie	30 – 35

De ruwvetpercentages van de grondstoffen liggen enigszins uit elkaar. Hoe lager het percentage ruwvet van het koffieresidu is, hoe groter de hoeveelheid moet zijn om een rendabele hoeveelheid biodiesel te produceren. Mocht het ruwvetpercentage tussen de 5 en de 10% zijn, dan is het geschikt voor de biobrandstof productie, mits er een grote hoeveelheid aanbod aanwezig is. De bijdrage die koffieresidu aan de visie van gemeente Texel kan leveren, is beoordeeld aan de hand van het ruwvetpercentage en het aanbod van de grondstof. Deze combinatie is verder uitgewerkt onder de deelvraag over de aangeboden koffieresidu op Texel (zie hoofdstuk 3.6).

3.6 Aanbod koffieresidu op het eiland

Om te onderzoeken hoeveel kg koffieresidu er efficiënt als grondstof gebruik kan worden, is er gekeken naar de vijf grootste sectoren, die koffie verkopen op het eiland. Het verbruik van particulieren wordt in dit onderzoek niet meegenomen door de kleinschaligheid. In de tabel hieronder (zie tabel 3.10) staat weergegeven uit hoeveel deelnemers elke subgroep bestaat. Tevens is deze tabel gebruikt om het totale aanbod te berekenen. Voor een betere inschatting van het aanbod is er gebruik gemaakt van een berekening voor het hoog- en laagseizoen. Het hoogseizoen op Texel betreft 20 weken van het jaar en het laagseizoen de overige 32.

Tabel 3.10 Het aantal deelnemers per subgroep (DNA, 2018)

Sector	Aantal	Gemiddelde hoog (KG/Week)	Gemiddelde laag (KG/Week)	Totaal (KG/ Jaar)
Strandpaviljoens	10*			
TESO (de boot)	1			
Restaurants	55			
Hotels	41			
Drank	46			
Totaal				

*Er zijn 4 paviljoens in het laagseizoen geopend en 10 in het hoogseizoen.

3.6.1 Data-analyse aanbod koffieresidu

Om te concluderen of het aanbod koffieresidu een significante bijdrage levert aan de energieneutraliteit is er berekend hoeveel huishoudens er mogelijk energieneutraal zullen kunnen zijn na de verwerking van het aanwezige koffieresidu.

Dit is gedaan door eerst te onderzoeken hoeveel kg biomassapellets / liter biodiesel van de totale hoeveelheid koffieresidu te maken valt. Vervolgens is dit aantal vermenigvuldigd met het aantal kWh per kilo/liter. De gemiddelde kWh per kg biomassapellets is tijdens de chemische analyse vastgesteld (zie hoofdstuk 4.3). Voor biodiesel bedraagt deze 10 kWh per liter (lesswatts, 2020).

Vervolgens zijn deze resultaten gedeeld door het gemiddelde energieverbruik van een huishouden van Texel (14.919 kWh per jaar (energiesite.nl, 2019)) . Hieruit komt het aantal huishoudens wat door het gebruik van de producten energieneutraal kan worden. Mocht dit percentage boven de 5% liggen, is er sprake van een significante bijdrage. Het totale aantal huishoudens waar de berekening op gebaseerd wordt is 6374 (OoZo, 2019). Tenslotte is er ook gekeken hoeveel procent er energieneutraal wordt van de gehele pellet (inclusief resthout) en bijmengen van diesel naar E10.

4. De resultaten

In dit hoofdstuk komen de resultaten van de uitgevoerde onderzoeken naar voren. Er wordt onder andere gekeken naar verschillende mogelijkheden om koffieresidu te gebruiken voor biomassapellets en biodiesel. Daarnaast wordt de totale hoeveelheid koffieresidu op het eiland berekend. Deze onderwerpen zijn tevens de deelvragen van het onderzoek. De antwoorden op de deelvragen vormen samen het antwoord op de hoofdvraag in hoofdstuk 6 (de conclusie).

4.1 Biomassapellet van koffieresidu

Om de deelvraag: In hoeverre is het mogelijk om van koffieresidu een biomassapellet te produceren en welke kwaliteit heeft dit? te beantwoorden zijn er verschillende testen gedaan met betrekking tot het productie- en verbrandingsproces van de pellets in verschillende verhoudingen. In dit hoofdstuk komen deze resultaten terug. In tabel 4.1 staat voor de duidelijkheid nogmaals een overzicht weergegeven met de verschillende verhoudingen.

Tabel 4.1: De eigenschappen van de verschillende geteste verhoudingen

Verhouding	Percentage koffieresidu	Percentage houtresten
A	100	0
B	75	25
C	50	50
D	25	75
E	0	100

In de tabellen hieronder staan de resultaten van het onderzoek weergegeven. Tabel 4.2 geeft de resultaten van het productieproces. In tabel 4.3 wordt de uitslagen van het verbrandingsproces weergegeven en tenslotte komen de totaalscores terug in tabel 4.4.

Tabel 4.2: resultaten koffieresidupellet productieonderzoek

Parameters	Score verhouding A	Score verhouding B	Score verhouding C	Score verhouding D	Score verhouding E
Doorloopsnelheid	Matig	voldoende	voldoende	Goed	uitstekend
Hardheid	slecht	voldoende	goed	goed	uitstekend
Lengte	Matig	matig	goed	goed	slecht
Glans	Slecht	matig	goed	uitstekend	goed
Totaal	Slecht/ matig	Matig/ voldoende	Goed -	Goed +	Voldoende +

Tabel 4.3 :resultaten koffieresidupellet verbrandingsonderzoek

Parameters	Score verhouding A	Score verhouding B	Score verhouding C	Score verhouding D	Score verhouding E
Hoeveelheid rook (opstartfase)	voldoende	voldoende	voldoende	voldoende	voldoende

Duur ontvlaming sec.	matig	voldoende	voldoende	Matig	voldoende
Hoogte vlam	goed	voldoende	goed	goed	goed
Continuïteit vlam	matig	voldoende	goed	goed	goed
Warmte	goed	goed	goed	goed	goed
Gewicht asresten gram	uitstekend	goed	goed	goed	goed
Vastheid as	uitstekend	uitstekend	goed	uitstekend	matig
Vervuiling glas	goed	voldoende	slecht	voldoende	uitstekend
Totaal	Goed -	Voldoende/ goed	Goed -	Goed -	Goed -

Tabel 4.4 :Analyse productie en verbrandingsonderzoek koffieresidupellets.

Onderzoek	Score verhouding A	Score verhouding B	Score verhouding C	Score verhouding D	Score verhouding E
Productie proces	Slecht/ matig	Matig/ voldoende	Goed -	Goed +	Voldoende +
Verbrandings proces	Goed -	Voldoende/ goed	Goed -	Goed -	Goed -
Totaal	Voldoende -	voldoende	Goed -	Goed	Voldoende/ goed

Uit de analyse komt naar voren dat de verhoudingen C, D en E de beste resultaten hebben gehaald. Verhouding D heeft van de bovengenoemde drie het hoogst gescoord. Deze verhouding heeft ook als enige de eigenschap om zowel nat als droog koffieresidu.

4.3 Laboratoriumonderzoek biomassapellet

Het laboratoriumonderzoek is verricht door TLR International Laboratories te Rotterdam. Dit bedrijf is een erkend onderzoeksbedrijf voor de pellet ENplus-certificeringen. ENplus-certificering is een wereldwijde erkende certificering die staat voor houtpellets met een hoge kwaliteit. Het TLR heeft dan ook onderzoek gedaan naar de parameters van de certificering. In tabel 4.5 is de uitslag van de eigen pellet, met verhouding D naast de normen van ENplus. In de laatste kolom is te zien in welke klasse verhouding D behoort.

Tabel 4.5 Waardes van de pellet met verhouding D naast de ENplus-certificeringnorm per parameter

Parameter	Eenheid	Value	Value	Value	Value	Group
-----------	---------	-------	-------	-------	-------	-------

		Verhouding D	ENplus A1	ENplus A2	ENplus B1	
Diameter	Mm (n=25)	6.2	6± 1 or 8 ± 1			ENplus A1
Length	mm	10.3	3.15 ≤ L 40 ^{4*}			ENplus A1
Moisture	W-% ^{2*}	9.10	≤ 10 ^{4*}			ENplus A1
Ash	W-% ^{3*}	0.63	≤0.7	≤1.2	≤2.0	ENplus A1
Mechanical durability	W-% ^{2*}	98.1	≥ 98.0 ^{5*}	≥97.5 ^{5*}		ENplus A1
Fines (<3.15mm)	W-% ^{2*}	0.2	≤1.0 ^{6*} (≤0.5 ^{7*})			ENplus A1
Temperature of pellet	°C	≤ 40	≤ 40 ^{8*}			ENplus A1
Net calorific value	KWH/KG *2	4.9	≥ 4.6 ^{9*}			ENplus A1
Bulk density	Kg/m ³ ^{2*}	694	600≤ BD ≤ 750			ENplus A1
Additves	W-% ^{2*}	>2	≤2 ^{10*}			-
Nitrogen	W-% ^{3*}	0.5	≤0.3	≤0.5	≤1.0	ENplus A2
Sulfur	W-% ^{3*}	0.025	≤0.04	≤0.05		ENplus A1
Chlorine	W-% ^{3*}	0.014	≤0.02		≤0.03	ENplus A1
Ash deformation temperature	°C	1370	≥1200	≥1100		ENplus A1
Arsenic	W-% ^{3*}	<0.040	≤1			ENplus A1
Cadmium	W-% ^{3*}	0.037	≤0.5			ENplus A1
Chromium	W-% ^{3*}	<5.0	≤10			ENplus A1
Copper	W-% ^{3*}	7.0	≤10			ENplus A1
Lead	W-% ^{3*}	2.56	≤10			ENplus A1
Mercury	W-% ^{3*}	<0.020	≤0.1			ENplus A1
Nickel	W-% ^{3*}	<3.0	≤10			ENplus A1
Zinc	W-% ^{3*}	11.5	≤100			ENplus A1

^{1*} Ash is produced at 815 C

^{2*} As received

^{3*} Dry basis

^{4*} A maximum of 1% of the pellets may be longer than 40mm, no pellets longer than 45mm are allowed

^{5*} At the loading point of the transport unit (truck, vessel) at the production site

^{6*} At factory gate or when loading truck for deliveries to end-users

^{7*} At factory gate when filling pellet bags or sealed big bags

^{8*} At the last loading point for truck deliveries to end-users

^{9*} Equal ≥ 16.5 MJ/KG as received

^{10*} The amount of additives in production shall be limited to 1.8 w-%, the amount of post-production additives shall be limited to 0.2 W-% of the pellets

In de uitslag van het onderzoek is te zien dat de waardes van de pellet maar op twee punten (Nitrogen, additives) niet tot de A1-certificering behoren. Nitrogen heeft een te hoge waarde om in aanmerking te komen voor A1 maar zit nog wel in de A2 groep. De parameter additives is ook groter dan 2% waardoor deze ook niet in de norm van de certificering valt.

4.4 Koffieresidu tot biodiesel

Hieronder staan de resultaten weergegeven voor de deelvraag hoe efficiënt is het gebruik van koffieresidu als grondstof voor het gebruik van biodiesel? Tabel 4.6 geeft het drogestofpercentage aan van het koffieresidu, waarna in tabel 4.7 het ruwvetpercentage op basis van de drogestof wordt weergegeven. Deze resultaten zijn tot stand gekomen doormiddel van een drogestofbepaling en Soxhlet extraction.

Tabel 4.6: Drogestofpercentage van koffieresidu

Monster NR.	Leeg (g)	voor (g) incl.	voor (g) alleen koffie	na (g) incl.	na (g) alleen koffie	%vocht	%DS
31	4,940	6,600	1,660	6,459	1,52	8,49	91,51
65	4,965	5,627	0,662	5,573	0,61	8,16	91,84

Het gemiddelde drogestofpercentage van het koffieresidu bedraagt 91.67% $((91.51+91.84)/2)$.

Tabel 4.7: Het Ruwvetpercentage op basis van drogestof van het koffieresidu

Monster NR.	Gewicht kolf (met kooksteentje) (g)	gewicht monster na drogen (g)	gewicht kolf en monster (g)	gewicht extract (g)	% RV	% RV op basis van DS
1	141,822	9,984	142,592	0,770	7,71	8,41
2	142,567	9,531	143,279	0,712	7,47	8,15
3	142,610	9,935	143,350	0,740	7,45	8,12
4	142,691	10,857	143,520	0,829	7,64	8,33
5	143,050	9,451	143,772	0,722	7,64	8,33
6	142,494	10,128	143,252	0,758	7,48	8,16

Het gemiddelde ruwvetpercentage op basis van de drogestof bedraagt van de 6 monsters 8.25%.

4.5 De hoeveelheid koffieresidu

Om de deelvraag te beantwoorden of er voldoende koffieresidu op het eiland te verkrijgen is, is er gekeken naar de gemiddelde koffieconsumptie van de vijf grootste sectoren van het eiland. Dit zijn de hotels, de restaurants, de strandpaviljoens, de drinkgelegenheden en de veerboot.

In tabel 4.8 staan de resultaten van dit onderzoek weergegeven. De totale beschikbare aantal koffieresidu op Texel bedraagt 336.880 kg. Deze hoeveelheid is inclusief waterrestante van het koffiezetproces.

Tabel 4.8: Resultaten van het onderzoek naar de hoeveelheid koffieresidu op Texel

Sector	Aantal	Gemiddelde hoog (KG/Week)	Gemiddelde laag (KG/Week)	Totaal (KG/ Jaar)
--------	--------	---------------------------	---------------------------	-------------------

Strandpaviljoens	10*	75	50	21.400
TESO (de boot)	1	150	75	5.400
Restaurants	55	60	35	127.600
Hotels	41	50	30	80.360
Drank	46	55	35	102.210
Totaal				336.880

*Er zijn 4 paviljoens in het laagseizoen geopend en 10 in het hoogseizoen.

4.5.1 Koffieresidu in kWh

In tabel 4.9 staat de hoeveel kWh die de koffieresidupellets kunnen opleveren na verwerking. Ook wordt er weergegeven wat het aandeel van het koffieresidu hierin is. Tenslotte wordt het aantal en het percentage energieneutrale huishoudens dat hiermee gecreëerd kan worden op Texel weergegeven.

Tabel 4.9: overzicht tabel van hoeveel kWh de koffieresidu oplevert.

	Totale kWh per Kg / L	KWh uit totaal aanbod Koffieresidu Texel	Aantal kWh uit koffieresidu	% huishoudens energieneutraal koffieresidu	% huishoudens energieneutraal totaal
Koffieresidu pellet Verhouding D	4.9	6.602.848	1.650.712	1.73	6.95
Diesel E10	10	1.389.600	138.960	0.14	1.46

5. Discussie

In dit hoofdstuk worden de resultaten vergeleken met de literatuur, normen en de verwachtingen. Ook komende er punten naar voren die door uiteenlopende omstandigheden niet mee zijn genomen in het onderzoek. Hierdoor kunnen de resultaten in de praktijk anders uitvallen dan de resultaten die het onderzoek weergeeft. Ook wordt de validiteit en betrouwbaarheid van het onderzoek behandeld.

5.1 Biomassapellets

Het is gelukt om een biomassapellet van koffieresidu te produceren. Tijdens het literatuuronderzoek kwam al naar voren dat in principe elke vorm van biomassa geschikt is voor pellets. Hierdoor was de verwachting dat dit ook van koffieresidu mogelijk was. Verder zijn er geen concrete onderzoeken gevonden waarin de kwaliteit van een biomassapellet van koffieresidu naar voren kwam. Daarom is er om te kijken welke verhouding het beste gebruikt kan worden voor productie het praktijkonderzoek opgesteld. Om vast te stellen welke kwaliteit deze verhouding heeft, is er vervolgens chemische analyse verricht. De beslissing om alleen de verhouding die het meest geschikt was voor productie hierop te onderzoeken is met name genomen vanuit financieel oogpunt.

Verhouding D is de pellet die verder voor chemische samenstelling onderzocht is. Deze keuze is gebaseerd op de analyse van het praktijkonderzoek en de observaties van de onderzoekers. In het praktijkonderzoek kwam deze pellet, met 25 % koffieresidu en 75% resthout als beste naar voren. Verder is er ook geconstateerd dat pellet D geproduceerd kan worden met zowel droog als nat koffieresidu. Dit is hoogstwaarschijnlijk te verklaren door het relatief hoge percentage (droog) resthout dat wordt toegevoegd. Hierdoor wordt echter het productieproces efficiënter, goedkoper en duurzamer.

De beste verhouding van koffieresidu en resthout is vastgesteld aan de hand van een pers en twee verschillende pelletkachels. Het persproces is met elke pers gelijk waardoor de externe validiteit van dit onderzoek erg hoog is. Voor het verbrandingsproces zijn er echter verschillende pelletkachels die allemaal anders afgesteld zijn. Hierdoor kan het verbrandingsproces van de pellet minder volledig worden en neemt de externe validiteit af. Om dit te compenseren is er tijdens het onderzoek gebruik gemaakt van twee verschillende pelletkachels.

Het onderzoek naar de chemische samenstelling van de pellet is verricht in een laboratorium. Hierdoor is interne validiteit hoog. Doordat de proeven uitgevoerd zijn aan de hand van meerdere ISO richtlijnen, die ook betrekking hebben op een praktijkomgeving, is de externe validiteit ook gewaarborgd gebleven. De parameter Additves is in eerste instantie niet onder de certificering norm A1 gekomen. Dit is omdat er meer dan 2% vreemde (geen hout) biomassa als grondstof is gebruikt. Dit is te verklaren door de toevoeging van koffieresidu (25%) en was van te voren al bekend. De belangrijkste kenmerken voor de consument, net calorific value, ash en moister vallen echter wel allemaal onder de ENplus A1-certificering. Dit hoeft niet te betekenen dat een pellet die met 1 punt niet A1 behaald uitgesloten wordt voor ENplus A1-certificering.

5.2 Biodiesel

Doormiddel van de Soxhlet extraction is het goed mogelijk om een significante hoeveelheid ruwvet van het koffieresidu te verkrijgen. Dit ruwvet kan vervolgens gebruikt worden om biodiesel te maken.

Een discutabel punt is de rendabiliteit van het productieproces. Productie van biodiesel is door de grote investeringen vaak alleen op erg grote schaal financieel haalbaar.

Een ander punt is dat er waarschijnlijk nog sprake is van een verlies bij het omzetten van de biodiesel naar warmte/stroom voor huizen. Dit komt doordat huizen niet direct gebruik maken van een generator die op biodiesel werkt (in tegenstelling tot een pelletkachel). Een andere toepassing van de biodiesel, bijvoorbeeld voor vrachtwagens of bussen is echter wel mogelijk. Ook ontstaat er tijdens de productie, glycerol en koffieresidu zonder ruwvet. Wellicht kunnen deze reststromen nog voor een andere toepassing gebruikt worden. Het restant van de koffieresidu is waarschijnlijk door het verwijderen van het ruwvet niet meer te gebruiken voor een efficiënte verbranding in een biomassapellet.

Het onderzoek naar het ruwvetpercentage is bewust meerdere keren uitgevoerd, met een homogeen product om de betrouwbaarheid te verhogen. Daarenboven heeft dit onderzoek plaatsgevonden in een laboratorium, waardoor de interne validiteit is gegarandeerd. Doordat de productie van biodiesel in de praktijk ook onder zulke omstandigheden wordt uitgevoerd is er tevens sprake van een relatief goede externe validiteit.

5.3 Hoeveelheid koffieresidu

De verklaring van de aanwezigheid van 336.880 kg koffieresidu in een relatief kleine gemeente is waarschijnlijk te vinden in het aantal toeristen dat het eiland ieder jaar trekt. Dit kan betekenen dat andere gemeente met hetzelfde aantal inwoners een lager aanbod koffieresidu kan verkrijgen.

In tabel 4.9 staat de totale opbrengst in kWh van de koffieresidupellets en biodiesel. Hieruit valt af te leiden dat de opbrengst hoger is, wanneer ervan het aanbod koffieresidu biomassapellets wordt gemaakt. De koffieresidu van de biomassapellets kan niet aan de norm van 5% energieneutrale huishoudens op Texel komen. Hierdoor zal het verwerken van koffieresidu geen significante bijdrage leveren aan de energieneutraliteit doelstelling van de gemeente. Wanneer het resthout van de biomassapellets ook meegenomen wordt in de berekening, komt er echter een percentage van 6.95% naar voren. Technisch gezien valt het verwerken van dit hout ook onder energieneutraal brandstof omdat er sprake is van een reststroom van het eiland. Bij diesel (geen reststroom van het eiland) bijmenging is hier geen sprake van. Hieruit kan afgeleid worden dat het koffieresidu op zichzelf geen significante bijdrage levert, maar de koffieresidupellet (onderzochte verhouding D (25%koffieresidu/75resthout)) wel.

6. Conclusie

In dit hoofdstuk worden de verschillende deelvragen aan de hand van de verkregen resultaten beantwoord. De hoofdvraag, naar de mogelijkheden van koffieresidu om de energieneutraliteit doelstelling van gemeenten Texel te behalen wordt beantwoord aan de hand van de deelvragen. Deze deelvragen bestaan uit de mogelijkheden naar verwerking tot biodiesel en biomassapellets en de verkrijgbaarheid van het koffieresidu.

6.1 Biomassapellet van koffieresidu

Uit het praktijkonderzoek blijkt dat het goed mogelijk is om een biomassapellet van koffieresidu te maken. De verhouding pellet die zowel op basis van productie- als verbrandingsproces als beste uit het onderzoek kwam, bestond uit 25% koffieresidu en 75% resthout. De verhouding heeft als bijkomend voordeel dat het koffieresidu niet eerst gedroogd hoefde te worden. Dit betekent in de praktijk een efficiënter en duurzamer productieproces.

Uit het laboratoriumonderzoek kwam naar voren dat deze koffieresidupellet beschikt over een kwaliteit die alleen op Nitrogen gehalte niet voldoet aan de hoogste keurmerkeisen, de ENplus A1-certificering voldoet. In de praktijk kan een pellet met dit minpunt echter nog steeds in aanmerking komen voor het keurmerk. Tevens beschikt de pellet over eigenschappen die voor een consument het belangrijkste zijn (net calorific value, ash en moister). Op deze eigenschappen scoorde de koffieresidupellet zelfs beter dan de normering.

6.2 Biodiesel van koffieresidu

Uit het onderzoek is gebleken dat het mogelijk is om vanuit koffieresidu ruwvet te verkrijgen. Het gemiddelde ruwvetpercentage van de monsters bedroeg 8.25 kg/DS. Dit percentage is lager dan bijvoorbeeld soja maar wel hoger dan mais, wat ook een gangbaar product is voor de productie van biodiesel. Dit betekent dat er in de praktijk minder koffieresidu dan maïs voor nodig is om evenveel biodiesel te produceren. Koffieresidu kan dus goed gebruikt worden voor de productie van biodiesel, maar vanwege de relatief kleine schaal is dit economisch waarschijnlijk rendabel.

6.3 De hoeveelheid koffieresidu

Het totale aanbod van koffieresidu van de vijf grootste sectoren van het eiland bedraagt 336.880 kg nat product. Dit betekent dat erop Texel in totaal 1.347.520 kg koffieresidupellets gemaakt kunnen worden die 6.602.848 kWh opleveren. Alleen gekeken naar de opbrengsten van het koffieresidu betekent dit dat 1.73% van huishoudens energieneutraal kunnen worden. Dit is niet genoeg om een significante bijdrage te leveren aan de energiedoelstelling van de gemeente. Wanneer we echter de koffieresidupellet in zijn geheel meerekenen, houdt dit in dat 6.95% van de huishoudens energieneutraal zou kunnen worden, hetgeen wel als een significante bijdrage te beschouwen is.

Van het totale aanbod koffieresidu blijft er 168.440 kg over voor de productie van biodiesel. Hier kan 13.896 kg ruwvet uit geproduceerd worden, wat gelijk staat aan 1.389.600 kWh. Dit betekent dat de waarde van koffieresidu voor een toename van 0.14% energieneutrale huishoudens kan zorgen. Gemengd met diesel kan dit oplopen tot 1.46%, maar dit valt niet meer onder de energiedoelstelling van de gemeente.

6.4 Hoofdvraag

Na alle resultaten van de deelvragen geanalyseerd te hebben kan de hoofdvraag beantwoord worden.

Het eiland Texel beschikt over voldoende koffieresidu om, na verwerking tot biobrandstof, een significante bijdrage te leveren aan de energieneutraliteit doelstelling van de gemeente. De manier waarop het aanbod koffieresidu een bijdrage kan leveren is door het te verwerken naar biomassapellets. De onderzochte biomassapellet (de koffieresidupellet) heeft een verhouding van 25% koffieresidu en 75% resthout en heeft zowel goede productie als verbrandingseigenschappen. Deze pellet heeft als voordeel, dat het koffieresidu niet voor verwerking gedroogd hoeft te worden en beschikt in de praktijk over de hoogste kwaliteitscertificering, ENplus A1. Verwerking naar biodiesel zal een kleinere bijdrage leveren voor energieneutraliteit en is hoogstwaarschijnlijk op deze kleine schaal niet rendabel.

6.5 Aanbevelingen

Uit het onderzoek blijkt dat de koffieresidu een bijdrage kan leveren aan het energieneutraal maken van Texel. Bedrijven die geïnteresseerd zijn in de verwerking van koffieresidu tot biobrandstof wordt aanbevolen dit te doen door koffieresidupellets te produceren.

Een aanbeveling voor de gemeente Texel is om financiële middelen beschikbaar te stellen voor bedrijven om de productie van pellets te starten. Hierdoor kan erop korte termijn goede resultaten in de energieneutraaldoelstelling gerealiseerd worden. Ook kan de gemeente hulp bieden in de logistiek van grondstoffen naar de bedrijven. Op lange termijn kan het gebruik van pelletkachels en biomassaketels door inwoners en bedrijven gestimuleerd worden. Dit kan gedaan worden door bijvoorbeeld de economische voordelen en het recycle van restromen te promoten. Hierdoor zal de vraag naar pellets blijven groeien, waardoor er ook geïnnoveerd kan worden met andere duurzame grondstoffen. Hierdoor zal het doel om energieneutraal te worden in de toekomst behaald kunnen worden.

Andere gemeentes wordt aangeraden om eerst onderzoek te verrichten naar het aanbod van koffieresidu in de omgeving. Hierdoor kan er eerst gekeken worden of het verwerken van koffieresidu een bijdrage kan leveren in de energieneutraliteit. Daarnaast zouden gemeentes vervolgonderzoek moeten verrichten naar de financiële rendabiliteit van de verwerking van koffieresidu naar biomassapellet of biodiesel. Hieruit kan blijken of een onderneming zonder eventuele financiële steun kan opereren. Als laatste zou vanuit de overheids- of bedrijfswegen onderzocht kunnen worden of particuliere inzameling van koffieresidu een significante bijdrage leveren aan de totale hoeveelheid grondstoffen.

Bibliografie

- Bos, H.L., van den Oever, M.J.A., & Meesters, K.P.H. (2014). *Kwantificering van volumes en prijzen van biobased en fossiele producten in Nederland*. Wageningen : Wageningen UR Food & Biobased Research.
- Brinkman, E. (2007). Koolstofdioxide (CO₂) Een heet molecuul. *Chemische Feitelijkheden*, 8.
- Brinkmann, A. (2015). *Houtpellets als brandstof*. Wageningen: BVOR - Branche Vereniging Organische Reststoffen.
- Elmers, M. (2016). *Bio-diesel uit olie*. Dronten: Aeres hogeschool.
- Europa NU. (2019). *Europa NU*. Opgehaald van Europese aanpak klimaatverandering: https://www.europa-nu.nl/id/vhesf063wxu9/europese_aanpak_klimaatverandering#up
- European pellet council. (August 2015). *ENplus Quality Certification Scheme For Wood Pellets Part3: Pellet Quality Requirements Version 3.0*. Brussels, Belgium: European Pellet Council (EPC).
- Haas, M.J., McAloonWinnie, A.J., YeeThomas, C., & Foglia, A. (2006). *A process model to estimate biodiesel production costs*. Elsevier.
- Hajer, M. (2010). *Evaluatie van een IPCC-klimaatrapport*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Het Klimaatberaad. (2018, 2 21). Opgehaald van klimaatakkoord.nl: <https://www.klimaatakkoord.nl/actueel/nieuws/2018/12/21/ontwerp-klimaatakkoord>
- INBO. (2019). Opgehaald van ecopedia.be: <https://www.ecopedia.be/pagina/hoe-kan-je-houtsnippers-chips-drogen>.
- Kienhuis, A. (2013). *Onderzoek naar het oogsten van houtige chips uit lokale landschappelijke beplantingenhet verstoken ervan in (lokale) verbrandingsinstallaties*. Velp: Hogeschool VanHall Larenstein.
- Leguijt, C, Benner, J.H.B., & Struick, R.J. (2008). *Energievisie Texelen uitvoeringsplan 2008 - 2011 hoofdroute naar een duurzame energievoorziening*. Texel: Gemeente Texel.
- Luque de Castro, M.D. & Priego-Capote, F. (2009). *Soxhlet extraction: Past and present panacea*. Córdoba, Spain: Elsevier.
- Malfait, A. (2009). *Arras, Orleans, Bourges, Barcelona*. Antwerpen, Apeldoorn: Malku.
- McKinnon, A. & Piecyk, M. (2011). *Measuring and Managing CO₂ Emissions*. EDINBURGH, UK: Heriot-Watt University.
- Molina, M. (2018). *What we know*. U.S.A: THE AAAS CLIMATE SCIENCE PANEL.
- MVO. (2015). Palmolie, veelzijdig ingrediënt en bron van vetten. *Voeding NU*, 7, 2.
- Mullie, P. (2003). *Functionale voedingsmiddel*. Leuven: Acco C.V.
- NASA. (2018). *Ramp-up in Antarctic ice loss speeds sea level rise*. NASA Global climate change news, 2.

- NL Agendschap. (2013). *Energie uit koffiedik*. Ministerie van economische zaken landbouw en innovatie.
- Pujol, D., Liu, C., Gominho, J., Olivella, M.A., Fiol, N., Villaescusa, i., & Pereira, H. (2013). *The chemical composition of exhausted coffee waste*. Elsevier.
- Qurrent. (2019, 06 01). *Qurrent.nl*. Opgehaald van [https://community.qurrent.nl/zonne-energie-en-zonnepanelen-4/wat-is-de-CO₂-uitstoot-die-correspondeert-met-1-kwh-groene-stroom-van-qurrent-1516](https://community.qurrent.nl/zonne-energie-en-zonnepanelen-4/wat-is-de-CO2-uitstoot-die-correspondeert-met-1-kwh-groene-stroom-van-qurrent-1516)
- Recycling Vision B.V. (2019). Opgehaald van recycling.com/: recycling.com/downloads/waste-hierarchy-lansinks-ladder/
- Roeper, M. (2019, 04 01). Aanbods verwachting . (K.W.P. Hoogendijk, Interviewer)
- South, P.F., Cavanagh, A.P., Liu, H.W., & Ort, D.R. (2019). Synthetic glycolate metabolism pathways stimulate crop growth and productivity in the field. *Science* , 11.
- Tolsma, H. (2009). Douwe Egberts bespaart aardgas door koffiedik en biogas te stoken. *Technisch weekblad*, 2.
- Virida. (2019, 06 01). Opgehaald van [virida.nl](http://virida.nl/cascadering-waardepiramide.html): <http://virida.nl/cascadering-waardepiramide.html>
- VVV Texel. (2019, 02 26). Opgehaald van [texel.net](https://www.texel.net/): <https://www.texel.net/nl/over-texel/over-ons/vvv-texel/wist-u-dat-van-texel>
- Weerdhof, W.V. (2011). *Energievisie Texel*. Amersfoort: Samenwerkingsverband VAST

Bijlage I Beoordelingsformulier productie- en verbrandingsproces

Percentage koffie					Percentage hout					Percentage overig				
Hoe perst het:					1 2 3 4 5					heel snel → met welk minder				
Doorloop snelheid					1 2 3 4 5									
Pellet eerste keer					1 2 3 4 5					Pellet tweede keer				
Hardheid					1 2 3 4 5					1 2 3 4 5				
Lengte					1 2 3 4 5					1 2 3 4 5				
Glans					1 2 3 4 5					1 2 3 4 5				
Pellet derde keer					1 2 3 4 5					met welk				
Hardheid					1 2 3 4 5					1 2 3 4 5				
Lengte					1 2 3 4 5					1 2 3 4 5				
Glans					1 2 3 4 5					1 2 3 4 5				
Opmerkingen:														
Pellet wordt heel erg heet, veel warme stank Werk toelagen per beler resultaat hoog Ambie														
Hoe verbrand het:														
Opstart fase:														
1 2 3 4 5														
Weinig rook														
Duur ontvlaming (sec):														
215														
verbrandings fase:														
1 2 3 4 5														
Hoogte vlam														
1 2 3 4 5														
Warmte														
1 2 3 4 5														
Continuïteit vlam														
1 2 3 4 5														
Smerigheid glas														
1 2 3 4 5														
Opmerkingen:														
Vakje wordt snel vies, waarschijnlijk door veel warme stank														
Asgehalte														
Gewicht (gram)														
1 2 3 4 5														
Vastheid														
1 2 3 4 5														
Opmerkingen:														
Veel rook, donkere as,														

Percentage koffie					Percentage hout					Percentage overig				
Hoe perst het:														
Doorloop snelheid					1	2	3	(4)	5					
Pellet eerste keer														
Hardheid					1	2	3	(4)	5					
Lengte					1	2	3	(4)	5					
Glans					1	2	3	4	(5)					
Opmerkingen:														
goede Pellet b. eerste keer Goed resultaat 5. nette koffie ho A gem														
Hoe verbrand het:														
Opstart fase:														
Weinig rook					1	2	(3)	4	5					
Duur ontvlaming (sec):					27.55									
verbrandings fase:														
Hoogte vlam					1	2	3	(4)	5					
Warmte					1	2	3	(4)	5					
Continuïteit vlam					1	2	3	(4)	5					
Smerigheid glas					1	2	(3)	4	5					
Opmerkingen:														
Brand goed u.s rustig na verloop van tijd														
Asgehalte														
Gewicht (gram)					131									
Vastheid					1	2	3	4	(5)					
Opmerkingen:														
moed Fine as														

Percentage koffie					Percentage hout					Percentage overig							
Hoe perst het:																	
Doorloop snelheid					1	2	3	4	5								
Pellet eerste keer										Pellet tweede keer							
Hardheid	1	2	3	4	5	Hardheid	1	2	3	4	5	Pellet derde keer	1	2	3	4	5
Lengte	1	2	3	4	5	Lengte	1	2	3	4	5	Lengte	1	2	3	4	5
Glans	1	2	3	4	5	Glans	1	2	3	4	5	Glans	1	2	3	4	5
Opmerkingen:																	
in een keer goede Pellet																	
Nette koffie geeft niet in een keer 100% gem																	
Hoe verbrand het:																	
Opstart fase:																	
Weinig rook	1	2	3	4	5												
Duur ontvlaming (sec):																	
215																	
verbrandings fase:																	
Hoogte vlam	1	2	3	4	5												
Warmte	1	2	3	4	5												
Continuïteit vlam	1	2	3	4	5												
Smerigheid glas	1	2	3	4	5												
Opmerkingen:																	
100% Constante Vlam																	
Asgehalte																	
Gewicht (gram)	139																
Vastheid	1	2	3	4	5												
Opmerkingen:																	
Wens Vestheid in de as licht gras																	

Percentage koffie					Percentage hout					Percentage overig				
Hoe perst het:														
Doorloop snelheid					1 2 3 4 5									
Pellet eerste keer										Pellet tweede keer				
Hardheid					1 2 3 4 5					Hardheid				
Lengte					1 2 3 4 5					Lengte				
Glans					1 2 3 4 5					Glans				
Pellet derde keer										Hardheid				
										Lengte				
										Glans				
Opmerkingen:														
Na 2 keer goede Pellet met goedkope koffie														
Nette koffie Sekt niet 35 andere Gemiddelt														
Hoe verbrand het:														
Opstart fase:														
Weinig rook														
Duur ontvlaming (sec):														
verbrandings fase:														
Hoogte vlam														
Warmte														
Continuïteit vlam														
Smerigheid glas														
Opmerkingen:														
Gemiddelde opstart deure weinig rook														
Asgehalte														
Gewicht (gram)														
Vastheid														
Opmerkingen:														
Goede 45														

Percentage koffie					Percentage hout					Percentage overig							
Hoe perst het:																	
Doorloop snelheid					1	2	3	4	5								
Pellet eerste keer										Pellet tweede keer							
Hardheid	1	2	3	4	5	Hardheid	1	2	3	4	5	Pellet derde keer	1	2	3	4	5
Lengte	1	2	3	4	5	Lengte	1	2	3	4	5	Lengte	1	2	3	4	5
Glans	1	2	3	4	5	Glans	1	2	3	4	5	Glans	1	2	3	4	5
Opmerkingen:																	
Meeriel Voelt vocht. Na 5 uur goede Pellet 11:14:55 mPer (30) hand de Res meel. & warm																	
Hoe verbrand het:																	
Opstart fase: 2784																	
Weinig rook 1 2 3 4 5																	
Duur ontlasting (sec): 251																	
Gemiddeld																	
verbrandings fase:																	
Hoogte vlam	1	2	3	4	5												
Warmte	1	2	3	4	5												
Continuïteit vlam	1	2	3	4	5												
Smerigheid glas	1	2	3	4	5												
Opmerkingen:																	
9:15 word gaar zwart, Vlam goed Sens l.t. den weer rook																	
Asgehalte																	
Gewicht (gram) 171																	
Vastheid 1 2 3 4 5																	
Opmerkingen:																	
mo: l.t en zwart, ween.5 voel																	