Gemeente Assen

6-11-2020

Energie uit bioafval

Energiepotentie uit organische afval- en reststromen binnen de gemeente Assen

Gerbrand Eefting
STAGIAIR TEAM REINIGING
ENVIRONMENT & RESOURCE MANAGEMENT, ZUID-DEENSE UNIVERSITEIT, ESBJERG.

Voorwoord

Dit rapport inventariseert de bestaande organische afval- en reststromen binnen de gemeente Assen. Er is onder andere in kaart gebracht hoe deze stromen het beste kunnen worden omgezet naar energie. Deze stageopdracht is naar aanleiding van de gemeentelijke doelen omtrent de energietransitie en CO_2-neutraliteit geformuleerd om te kijken hoe team Reiniging met de organische afval- en reststromen kan bijdragen aan de vergroening van de Asser energiemix en het stimuleren van een circulaire economie. Als geboren en getogen Assenaar met een interesse voor milieu en klimaat werd ik meteen enthousiast toen ik de stageopdracht las. Ondanks de Covid-19 crisis, waardoor ik vrijwel uitsluitend vanuit huis heb gewerkt, heb ik het werken bij de gemeente Assen als plezierig ervaren. Zowel het interessante onderwerp, als het enthousiasme van mijn collega's hebben hier veel aan bijgedragen.

Ik wil graag van de mogelijkheid gebruik maken om de mensen te bedanken die mij met dit rapport hebben geholpen. Op de eerste plek mijn stagebegeleider Petra Medendorp. Petra heeft mij gedurende de stageperiode voorzien van coaching, informatie, feedback en inzage over de gemeentelijke organisatie. Dankzij haar heb ik een beter beeld gekregen hoe het er precies aan toe gaat bij de gemeente omtrent het maken van beleid en afvalverwerking in het algemeen. Ook wil ik Koeno Oosterhuis graag bedanken voor zijn enthousiasme over dit project en de feedback die ik vanuit hem heb gekregen om dit project succesvol af te ronden. Verder wil ik alle collega's van zowel team Reiniging als van andere teams bedanken voor hun enthousiasme en welwillendheid om mij te helpen met eventuele vragen en het wegwijs maken binnen de gemeente. Buiten de gemeentelijke organisatie zou ik graag dr. Tanmay Chaturvedi willen bedanken voor zijn begeleiding vanuit de universiteit met o.a. het verifiëren van de formules en het geven van adviezen/ informatie.

Gerbrand Eefting

Assen, 6 november 2020

Samenvatting

In het klimaatakkoord van Parijs zijn in 2015 doelen vastgesteld om er voor te zorgen dat de opwarming van de aarde wordt beperkt tot maximaal 2 graden. Dit houdt in dat we onze afhankelijkheid van fossiele brandstoffen moeten verminderen en moeten inzetten op een circulaire economie. Assen is net als veel andere gemeenten druk bezig met het verduurzamen, met als visie om in 2050 CO_2 neutraal te zijn. Door de beperkte oppervlakte en groeiende bevolking is er geen ruimte voor grote windmolens en veel zonneweides wat de energietransitie negatief beïnvloedt. Hierdoor moet er worden gezocht naar alternatieven. Veel van de organische afval- en reststromen die binnen de gemeente worden geproduceerd worden momenteel door externe bedrijven omgezet naar groen gas en energie. Voor deze verwerking betaalt de gemeente rond de € 1.000.000 per jaar, maar van de energieopbrengst ziet het niets terug. Hierdoor rijst de vraag of dit organische afval niet beter binnen de gemeente kan worden verwerkt. Dit zal de kosten van externe verwerking verminderen en een bijdrage leveren aan de energietransitie van Assen en CO_2 besparen. Het doel van dit onderzoek is om te kijken welke conversietechnieken beschikbaar zijn voor de gemeente en in hoeverre dit haalbaar is met het beschikbare organisch afval. Aan de hand van een literatuuronderzoek en data vanuit de gemeente en derden geeft dit rapport antwoord op de vraag of dit afval niet beter binnen de gemeente kan worden verwerkt.

Uit een inventarisatie van de gemeentelijke organische afval- en reststromen, komt naar voren dat de gemeente jaarlijks in totaal over circa 87.300 ton aan bioafval beschikt. Hiervan is 20% daadwerkelijk in handen van de gemeente en 80% in handen van boeren, aannemers of de waterschappen. Dit is genoeg bioafval voor een kleine verwerkingsinstallatie. Van de negen besproken verwerkingstechnieken zijn uiteindelijk de technieken vergassing, superkritische watervergassing, vergisting en compostering die in aanmerking komen voor een vervolgonderzoek. De andere technieken lijken o.a. op grond van milieuredenen en techno-economische overwegingen onrendabel.

De conclusie en advies van dit rapport is dat ondanks dat de gemeente Assen met één van de eerdergenoemde technieken een gedeelte van zijn energiebehoefte kan opwekken. Het toch raadzaam is om eventuele buurgemeentes of waterschappen te betrekken bij het verder onderzoeken van de mogelijkheden. Hierdoor kan het bioafval gebundeld worden en dus schaalvoordeel gehaald worden. Hieronder vindt u een tabel van de belangrijkste bevindingen. De elektriciteitspotentie en warmtepotentie zijn uitgedrukt in het aantal woningen dat kan worden voorzien van energie door verwerking van bioafval van de gemeente Assen.

Techniek	kWh/m³	Elektriciteits-potentie	Warmte potentie*	Investeringskosten	Investeringskosten per woning
Vergassing	7.443.912	2.896	430	€ 11.729.240	€ 4.050
Pyrolyse	5.237.167	2.038	441	€ 27.042.610	€ 13.270
Verbranding	4.087.287	1.590	640	€ 2.875.651	€ 1.808
Torrefactie	3.678.559	1.431	576	€ 18.076.729	€ 12.629
Vergisting (kWh)	1.593.127	620	214	€ 2.717.919	€ 4.384
Vergisting (m³)	531.042		396	€ 2.802.361	€ 7.071

* Voor het benutten van de warmte is een warmtenet nodig.

Inhoudsopgave

Afkortingen en begrippenlijst - 1 -
Eenheids- en conversietabellen - 2 -
1.0 Inleiding - 3 -
2.0 Bioafval inventarisatie gemeente Assen - 3 -
2.1 Bermmaaisel - 4 -
2.2 Groente-, fruit- en tuinafval - 4 -
2.3 Zuiveringsslib - 5 -
2.4 Houtsnippers - 5 -
2.5 Frituurvet - 5 -
2.6 Dakriet - 6 -
2.7 Plantsoen- en bladafval - 6 -
2.8 Snoeiafval - 6 -
2.9 Mest - 6 -
2.10 Afvalhout - 7 -
2.11 Landbouwresiduen - 7 -
2.12 Energiepotentie geïnventariseerde Bioafvalstromen - 8 -
2.13 Economisch overzicht - 9 -
3.0 Thermochemische verwerkingstechnieken - 9 -
3.1 Verbranding - 9 -
3.2 Reguliere vergassing - 11 -
3.3 Superkritische watervergassing - 14 -
3.4 Pyrolyse - 15 -
3.5 Torrefactie - 18 -
4.0 Biologische verwerkingstechnieken - 19 -
4.1 Vergisting - 19 -
4.2 Compostering - 22 -
4.3 Fermentatie - 23 -
4.4 Bokashi - 24 -
4.5 Samenvatting hoofdstuk 3 & 4 - 25 -
7.0 Conclusie en vervolgstappen - 26 -
8.0 Bronnenlijst - 27 -

Tabellenlijst

Tabel 1 Primaire energiepotentie bioafvalstromen Assen ..... - 8 -
Tabel 2 kostenoverzicht externe afvalverwerking ..... - 9 -
Tabel 3 kosten- en baten analyse verbranding ..... - 11 -
Tabel 4 kosten- en baten analyse vergassing ..... - 13 -
Tabel 5 kosten- en baten analyse pyrolyse, scenario elektriciteit ..... - 17 -
Tabel 6 kosten- en baten analyse pyrolyse, scenario pyrolyseverkoop ..... - 17 -
Tabel 7 kosten- en baten analyse torrefactie ..... - 19 -
Tabel 8 kosten- en baten analyse vergisting, scenario elektriciteit ..... - 21 -
Tabel 9 kosten- en baten analyse vergisting, scenario groen gas ..... - 21 -
Tabel 10 Verwerkingscapaciteit technieken ..... - 25 -
Tabel 11 Opbrengstenoverzicht ..... - 25 -
Tabel 12 Investeringsoverzicht ..... - 26 -

Afkortingen en begrippenlijst

Afkorting	Begrip	Uitleg
BG	Bevoegd gezag	Burgemeester en wethouder van de desbetreffende gemeente waar een project gerealiseerd wordt. In sommige gevallen treden de Gedeputeerde Staten in plaats van burgemeester en wethouders waaronder ook in het geval van een energiecentrale.
	Biochar	Is vergelijkbaar met actieve kool. Kan worden gebruikt als bodemverbeteraar of voor het opwekken van energie. Biochar wordt voornamelijk geproduceerd uit houtachtig bioafval.
	Bioethanol	Een biobrandstof verkregen uit microbiële fermentatie. Kan worden gebruikt als alternatief voor andere fossiele brandstoffen.
	Biogas	Een mix van voornamelijk methaan en koolstofdioxide. Komt voort uit vergisting en kan worden gebruikt voor het opwekken van energie of worden opgewerkt tot groen gas.
	Digestaat	Bijproduct van het vergistingsproces. Digestaat kan worden toegepast als bodemverbeteraar in de landbouw.
DS	Droge stofgehalte	Is het gehalte dat de basis vormt voor het uitrekenen van de energiepotentie. Het droge stofgehalte wordt bepaald door de bioafval thermisch te drogen voor een bepaalde tijd. Bioafval – verdampte water = droge stof gehalte.
GFT	Groente-, fruit- en tuinafval	Verwijst naar het organische gedeelte van het huishoudelijke afval.
	Groen gas	Opgewerkt biogas met een hoger methaangehalte. Hierdoor heeft het dezelfde eigenschappen als aardgas.
	Fischer-Tropsch	Een chemische reactie die het synthesegas omzet in vloeibare koolstoffen.
CO_2	Koolstofdioxide	Een anorganische verbinding van zuurstof en koolstof die in de aardse atmosfeer voorkomt.
CH_4	Methaan	Een koolwaterstof die het voornaamste bestandsdeel is van aardgas. Als broeikasgas is het 25 keer sterker dan koolstofdioxide.
	Methanisatie	Het proces om het methaangehalte in het biogas te vergroten waardoor het opgewerkt wordt tot groen gas.
ODS	Organische droge stofgehalte	Wordt gerekend in percentages van het droge stofgehalte. Het verschil is dat er bij het organische

		droge stofgehalte de niet-organische stoffen (bijv. zand) niet zijn meegerekend.
O&M kosten	Onderhouds- en beheerkosten	Vaste en variabele kostenposten van het exploiteren van een bioafvalcentrale. Denk o.a. vergunningen, onderhoud, personeel etc.
PH	Zuurgraad	Geeft de zuurgraad van een substantie aan. De pH waarde van een neutrale waterige oplossing is op 7. Een pH waarde lager dan 7 geeft een hoge zuurgraad aan en een pH waarde hoger dan 7 een lage zuurgraad.
	Primaire energie	Refereert aan de energie-inhoud van de bioafvalstromen voor verwerking. Door verwerking gaat een deel van de energie verloren.
	Pyrolyseolie	Biobrandstof die voortkomt uit pyrolyse. Kan worden gebruikt voor het opwekken van energie of toepassing in de chemische industrie.
	Synthesegas	Een mix van methaan, waterstofgas en koolstofdioxide die kan worden opgewerkt en/of toegepast voor energieopwekking.
	Vollast-uren	Het aantal uren dat een installatie op vol vermogen energie produceert.
H_2	Waterstof(gas)	Gas dat voorkomt uit vergassingstechnieken of fermentatie. Kan o.a. worden gebruikt als brandstof voor vervoermiddelen of voor het opwekken van warmte/ elektriciteit.
WKK-installatie	Warmtekracht-koppelingsinstallatie	Een WKK is een generator die wordt aangedreven door bijvoorbeeld een gasturbine op biogas waarmee zowel elektriciteit als warmte kan worden opgewekt.

Eenheids- en conversietabellen

Eenheid	Uitleg	Basis	X1000	X1000
Joule	Joule is een eenheid die aangeeft hoeveel energie er nodig is om een object te verplaatsen met een kracht van 1 newton over een afstand van 1 meter.	1 joule (J)	1 megajoule (MJ)	1 gigajoule (GJ)
Watt	Watt geeft het vermogen aan en is opgebouwd uit een eenheid van tijd en energie. Een Watt is 1 joule per seconde. Dus 1 kilowattuur is 3.600 joule of 3,6 MJ.	1 watt (W)	1 kilowatt (KW)	1 megawatt (MW)
Massa	Een natuurkundige eenheid die de eigenschap van materie aanduidt in gewicht.	1 kilo (kg)	1 ton (ton)	1 kiloton (Kton)

1.0 Inleiding

Net als veel andere gemeenten is Assen druk bezig met de energietransitie. En dat is hard nodig, gezien een van de doelstellingen van het klimaatakkoord van Parijs om de opwarming van de aarde met maximaal 2 Celsius te beperken. Om dit doel te halen moet iedereen zich extra inspannen, ook de gemeenten. Assen heeft het ambitieuze doel gesteld om in 2050 CO_2 neutraal te zijn, maar voordat het zover is moet nog veel gebeuren. De gemeente doet al veel maar we moeten onze afhankelijkheid van fossiele brandstoffen verminderen en zoveel mogelijk inzetten op een circulaire economie.

In dit onderzoek is gekeken naar de energiepotentie van het organische deel van het afval binnen de gemeente. Momenteel wordt dit afval extern verwerkt met als opbrengst onder andere groen gas en energie, maar hier ziet de gemeente energie technisch niets van terug. Hierdoor rijst de vraag of dit organische afval niet beter binnen de gemeente kan worden verwerkt. Hierdoor zullen de kosten van externe verwerking verminderen en kan een bijdrage worden geleverd aan de energie- en circulaire economie doelstellingen van de gemeente. Tevens besparen we op CO_2.

Dit rapport poogt de gestelde vraag te beantwoorden met als doel een idee te geven over de mogelijkheden van energiewinning uit de organische afval- en reststromen binnen de gemeente. Op basis van dit onderzoek kan worden gekeken of de gemeente verder wil gaan met een bepaalde techniek en een haalbaarheidsonderzoek wil laten uitvoeren.

Het onderzoek kent twee delen. Het primaire deel, dit rapport, bevat de bevindingen van de bioafvalinventarisatie binnen de gemeente (hoofdstuk 2) en bevat de inventarisatie van beschikbare technieken (hoofdstuk 3 en 4). In het secundaire rapport, de bijlage, wordt verder ingegaan op wet- en regelgeving en subsidies. Daarnaast zijn de berekeningen en visuele overzichten van de technieken terug te vinden.

2.0 Bioafval inventarisatie gemeente Assen

Onder biomassa wordt verstaan “de biologische afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen van de landbouw (met inbegrip van plantaardige en dierlijke stoffen), de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de biologische afbreekbare fractie van industrieel een huishoudelijk afval”.[1]

In dit onderzoek is ervoor gekozen om de term bioafval te gebruiken i.p.v. van biomassa. De term biomassa is tegenwoordig een beladen concept door verhalen van gekapte bossen in Estland en Canada. Om de duurzaamheid van dit project te waarborgen is er puur gekeken naar afval- en reststromen die momenteel extern worden verwerkt en die, in energetisch opzicht, de gemeente Assen niets opleveren. Producten als mais en suikerbiet die nog kunnen worden geconsumeerd zijn niet meegenomen in dit onderzoek. In relatie tot wet- en regelgeving wordt wel verwezen naar de term biomassa.

[1] Europees Parlement, “Betreffende de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen op de interne elektriciteitsmarkt”, *publicatieblad van de Europese gemeenschappen,* Brussel, 2001, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001L0077&from=RO

Om de hoofdvraag van dit onderzoek te beantwoorden, of het organische afval niet beter binnen de gemeente verwerkt kan worden, moet eerst een inventarisatie worden gemaakt van de huidige bioafvalstromen. Dit hoofdstuk bevat een opsomming van de bestaande bioafvalstromen binnen de gemeente Assen en hoe deze momenteel worden verwerkt. Vervolgens worden deze bioafvalstromen vertaalt naar de energiepotentie die ze bezitten en worden de economische aspecten van de huidige verwerking weergegeven in tabelvorm.

2.1 Bermmaaisel

De afvalstroom bermmaaisel bestaat uit verschillende onderdelen zoals gras, riet en verschillende plantensoorten. Bermmaaisel heeft als bioafval een grote energiepotentie voor bijvoorbeeld vergisting en compostering, al is er verschil in voorjaars- en najaarsgras.[2] Afbraaktesten in laboratoria kunnen een nauwkeurig inzicht geven over het biogaspotentieel van het bermmaaisel. Omdat voorjaarsgras meer biogaspotentieel heeft dan dat uit andere seizoenen zou kunnen worden overwogen het maaibeheer aan te passen om zo meer goed vergistbaar maaisel te produceren.

Op dit moment wordt het bermmaaisel door een aannemer gedeeltelijk aangeboden aan een vergistingsinstallatie in Tynaarlo. Ook wordt bermmaaisel achtergelaten op het perceel voor spontane compostering. De hoeveelheid geproduceerde bermmaaisel in Assen staat momenteel op 3.750 ton (2019).

Artikel 10.1a van de Wet Milieubeheer schrijft voor dat een aantal artikelen van hoofdstuk 10 “Afvalstoffen” voor groenafval niet gelden voor onder andere de productie van energie uit die biomassa door middel van processen of methoden die onschadelijk voor het milieu en die de menselijke gezondheid niet in gevaar brengen”.[3] Bermmaaisel heeft dus een afvalstatus, maar er is geen vergunningsplicht om dit toe te passen in een bioafvalcentrale.

2.2 Groente-, fruit- en tuinafval

Groente-, fruit- en tuinafval is het organische deel van het huishoudelijke afval. Op jaarbasis komt er circa 7.900 (2019) ton aan GFT vrij binnen de gemeente Assen dat verwerkt wordt tot compost en biogas. In de Wet Milieubeheer is voor gemeenten vastgelegd dat composteren, met oog op recycling, of vergisting de minimum verwerking voor GFT is.[4] GFT is een afvalstroom die gevoelig is voor contaminatie met andere afvalstromen. Gemeenten kunnen contaminatie voorkomen door heldere ‘wel/niet lijsten’ naar hun burgers met te communiceren en het gebruik van papieren afvalzakken voor het verzamelen van GFT te bevorderen. Jaarlijks kost de verwerking van GFT Assen circa €310.000. Als het huidige contract voor verwerking van GFT afloopt zal de prijs per ton stijgen naar minimaal € 65, dit heeft een negatief effect op de afvalstoffenheffing.[5] De hoeveelheid GFT zal in de toekomst stijgen omdat bewoners van appartementen volgend jaar ook de gelegenheid krijgen GFT gescheiden aan te bieden. Daarnaast groeit het aantal inwoners.

---

[2] RVO, “Gras benutten als substraat voor vergisting”, *RVO,* Utrecht, 2015, https://www.rvo.nl/sites/default/files/RVO-Publ-Grasvergisting-webdoc-mei15_1_def.pdf

[3] Rijkswaterstaat, “Artikel 10.1a Wet Milieubeheer”, https://www.afvalcirculair.nl/onderwerpen/afvalregelgeving/groenafval/artikel-10-1a-wet-milieubeheer/

[4] Iemke Bisschops et al, “Kleinschalige verwerkingsmethoden voor gft en swill – bijdragen aan de circulaire economie binnen bestaande regelgeving en beleid”, *LeAF,* Wageningen, 2020.

[5] Leeuwarder Courant, “Het verwerken van gft-afval wordt voor gemeenten flink duurder (en dus gaat de afvalstofheffing omhoog)”, https://www.lc.nl/friesland/Het-verwerken-van-gft-afval-wordt-voor-gemeenten-flink-duurder-en-dus-gaat-de-afvalstoffenheffing-omhoog-25830458.html

2.3 Zuiveringsslib

Door de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) in Assen wordt per jaar ongeveer 1.900 ton aan vergistbaar slib geproduceerd. Hiermee wordt 791.600m³ biogas geproduceerd. Hiervan gaat 168.200m³ biogas naar de biogasopwerking waar het omgezet wordt tot 111.300m³ groen gas. Dit groen gas wordt in het aardgasnetwerk van Assen ingevoerd. De overige 623.400m³ biogas wordt door een WKK omgezet in elektriciteit voor eigen gebruik, dit levert zo'n 578.000 kWh op. Het grovere afval zoals wc-papier wordt gedroogd en verbrand. Exacte cijfers qua verwerkingskosten zijn niet beschikbaar. Wel is bekend dat Wetterskip Fryslân momenteel € 65 betaalt om hun slib te laten drogen en verbranden; door een nieuw verwerkingscontract zal dit boven de € 100 uitkomen.[6] Het is mogelijk om zuiveringsslib lokaal te verwerken in een superkritische vergassingsinstallatie. Dit bespaart op transportkosten en levert energie op.

2.4 Houtsnippers

Houtsnippers zijn het houtige groenafval dat voortkomt uit het groenonderhoud uitgevoerd door de gemeente. Momenteel wordt er in Assen 490 ton aan houtsnippers geproduceerd die allemaal weer worden verkocht aan particulieren en private bedrijven. Een deel wordt verkocht aan Snipperhout BV die het voornamelijk gebruikt voor het verwarmen van zwembaden, particulieren gebruiken het voornamelijk voor het aanleggen van paden of tegen onkruid. Verder wordt een deel verkocht als haardhout.

Artikel 10.1a van de Wet Milieubeheer schrijft voor dat een aantal artikelen van hoofdstuk 10 "Afvalstoffen" voor groenafval niet gelden voor onder andere de productie van energie uit die biomassa door middel van processen of methoden die onschadelijk zijn voor het milieu en die de menselijke gezondheid niet in gevaar brengen".[7] Houtsnippers hebben een afvalstatus, maar er is geen vergunningsplicht om dit toe te passen in een bioafvalcentrale.

2.5 Frituurvet

Gebruikt frituurvet is een belangrijke bron bioafval die voor verschillende doeleinden kan worden gebruikt. In Nederland wordt deze grondstof bijna volledig ingezet voor de productie van biodiesel. Daarnaast is het een interessante grondstof voor de productie van biogas door het hoge energiegehalte van vetrijke oliën. Momenteel leveren bewoners zeven ton aan frituurvet in op het milieupark, daarnaast leveren bewoners ongeveer zeven ton aan frituurvet in bij inzamelpunten in supermarkten. Het frituurvet wordt verwerkt door een vetverwerkend bedrijf. Momenteel is het nog niet toegestaan om frituurvet uit huishoudens te gebruiken voor vergisting. Frituurvet uit de levensmiddelenindustrie is wel biomassa volgens de richtlijnen.[8]

---

[6] Leeuwarder Courant, "Wetterskip vertilt zich aan duurzame slibverwerking", https://www.lc.nl/friesland/Wetterskip-vertilt-zich-aan-duurzame-slibverwerking-26014169.html

[7] Rijkswaterstaat, "Artikel 10.1a Wet Milieubeheer", https://www.afvalcirculair.nl/onderwerpen/afvalregelgeving/groenafval/artikel-10-1a-wet-milieubeheer/

[8] Rijksdienst voor ondernemend Nederland, "Soorten biomassa voor verbranding" https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/bio-energie/verbranding-ketels-en-kachels/soorten-biomassa-voor-verbranding

2.6 Dakriet

Dakriet is afval dat vrijkomt bij de sloop en/of bouw van rieten daken. Qua product is het vergelijkbaar met het riet dat vrijkomt als bermmaaisel. Dakriet is bewerkt met chemische stoffen om de brandveiligheid van de panden te vergroten. Momenteel wordt het dakriet gecomposteerd en gebruikt als afdeklaag op een stortplaats.

2.7 Plantsoen- en bladafval

Plantsoenafval is het schoffel- en snoeiafval dat wordt geproduceerd tijdens het onderhoud van het plantsoengroen in de gemeente. Schoffelafval wordt voornamelijk gekarakteriseerd door het hoge aandeel zand dat het met zich meebrengt. De circa 3.300 ton aan plantsoenafval die de gemeente produceert (2019) bestaat dan ook voornamelijk uit zand. Zand zorgt voor problemen tijdens het verwerken van bioafval tot energie waardoor het in feite onbruikbaar is. Momenteel wordt deze afvalstroom gecomposteerd en gebruikt als bodemverbeteraar in de landbouw.

Bladafval wordt ook gecomposteerd maar is uitermate geschikt om te verwerken tot energie. Hierbij geldt wel dat het bladafval eerst moet worden voorbewerkt aangezien het gecontamineerd kan zijn met zand en zwerfafval. Van deze afvalstroom is 1000 ton beschikbaar.

2.8 Snoeiafval

Snoeiafval is praktisch gezien hetzelfde als de eerdergenoemde houtsnippers, alleen deze afvalstroom wordt voornamelijk door particulieren en bedrijven geleverd aan het milieupark. Deze afvalstroom wordt verwerkt tot compost dat als bodemverbeteraar in de landbouw wordt gebruikt. Hiervan is circa 2.460 ton beschikbaar.

Artikel 10.1a van de wet milieubeheer schrijft voor dat een aantal artikelen van hoofdstuk 10 “Afvalstoffen” voor groenafval niet gelden voor onder andere de productie van energie uit die biomassa door middel van processen of methoden die onschadelijk zijn voor het milieu en die de menselijke gezondheid niet in gevaar brengen”.[9] Snoeiafval heeft dus een afvalstatus, maar er is geen vergunningsplicht om dit toe te passen in een bioafvalcentrale.

2.9 Mest

Mest is een veel bediscussieerd onderwerp, Nederland kent namelijk een mestoverschot. Mest is de meest omvangrijkste afvalstroom uit de landbouw en wordt vergist, geraffineerd of gebruikt op eigen landbouwgrond. Mest bevat veel methaan waardoor het geschikt is voor vergisting om zo biogas te produceren. Mest wordt onderverdeeld in drie categorieën namelijk rundveemest, varkensmest en pluimveemest. Pluimveemest is over het algemeen vaster van textuur dan bijvoorbeeld rundveemest en varkensmest.[10] Cijfers van het CBS (2019) laten zien dat er 61.000 ton aan dunne mest en 3.000 ton aan vaste mest is in de gemeente Assen.[11] Wel moet hierbij rekening worden gehouden dat deze

[9] Rijkswaterstaat, “Artikel 10.1a Wet Milieubeheer”, https://www.afvalcirculair.nl/onderwerpen/afvalregelgeving/groenafval/artikel-10-1a-wet-milieubeheer/

[10] Dorette Corbey, Bert van Asselt, “Routekaart Nationale Biogrondstoffen. Naar een groter aanbod en betere benutting.”, *klimaatakkoord.nl,* 2020, Pagina 41.

[11] Centraal Bureau voor de Statistiek, https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/70072ned/table?searchKeywords=dierlijke%20mest

aantallen inclusief het mest is dat op akkers terecht komt, waardoor de hoeveelheid bruikbaar mest lager uitvalt. Mest heeft een afvalstatus en is volgens de wet geen biomassa.

2.10 Afvalhout

Afvalhout komt voornamelijk vrij als restproduct bij sloop, verbouwingen en/of van afgedankte meubelen. Dit sloophout wordt ingezameld door de gemeente op het milieupark.

- A-hout: is hout dat niet geïmpregneerd is, ongelakt, ongeverfd en onbehandeld is. Dit hout wordt veelal gerecycled. A-hout is biomassa volgens de gegeven definitie. De hoeveelheid a-hout dat wordt gestort op milieupark is verwaarloosbaar, daarom wordt dit samengevoegd met b-hout. Hiervan is circa 1.800 ton beschikbaar
- B-hout: is hout dat bewerkt is (zoals spaanplaat en multiplex) en valt niet onder de definitie van biomassa. 40% van deze afvalstroom wordt momenteel ingezet in de MDF- en spaanplaatindustrie en 60% wordt verbrand om energie op te wekken. Omdat b-hout niet onder de definitie valt is een vergunning nodig om dit toe te passen.[12]
- C-hout: is verduurzaamd hout wat inhoudt dat het behandeld en geïmpregneerd is (bijvoorbeeld tuinhout). Door middel van verbranding wordt met deze afvalstroom energie opgewekt. Voor energieopwekking met c-hout gelden wel strenge regels. C-hout dat geen wolmanzouten bevat mag als brandstof gebruikt worden. C-hout dat wel behandeld is met wolmanzouten mag alleen voor energieproductie worden gebruikt als de verbrandingsassen voldoende worden opgevangen en gestort.[13] Voor c-hout is een vergunning van toepassing.[14] Van c-hout is circa 320 ton aanwezig op het milieupark.

2.11 Landbouwresiduen

Bij het telen van landbouwproducten komen restromen (loof, stengels, veilingafval et cetera.) vrij die momenteel op het land blijven liggen of gebruikt worden als veevoer. Door het op het land te laten liggen draagt het bij aan het verbeteren van de bodemkwaliteit en het bodemleven, maar wordt de energiepotentie niet benut. Deze landbouwresiduen zouden als alternatief kunnen worden verwerkt in een vergistingsinstallatie waarna het geproduceerde digestaat als bodemverbeteraar kan functioneren. Wel moet rekening worden gehouden met het feit dat landbouwresiduen apart moeten worden geoogst van de hoofdoogst en daardoor zullen de kosten niet opwegen tegen de baten.[15] Exacte cijfers van landbouwresiduen zijn niet beschikbaar omdat deze vrijwel niet worden geregistreerd.

---

[12] Rijksdienst voor ondernemend Nederland, “Soorten biomassa voor verbranding” https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/bio-energie/verbranding-ketels-en-kachels/soorten-biomassa-voor-verbranding

[13] Recyclingplatform, “Hout”. https://www.recyclingplatform.nl/recycling-processen/hout#:~:text=Als%20C%2Dhout%20niet%20behandeld,mag%20als%20brandstof%20worden%20ingezet

[14] Rijksdienst voor ondernemend Nederland, “Soorten biomassa voor verbranding” https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/bio-energie/verbranding-ketels-en-kachels/soorten-biomassa-voor-verbranding

[15] Dorette Corbey, Bert van Asselt, “Routekaart Nationale Biogrondstoffen. Naar een groter aanbod en betere benutting.”, *klimaatakkoord.nl,* 2020, Pagina 40

2.12 Energiepotentie geïnventariseerde Bioafvalstromen

Deze paragraaf geeft de primaire energiepotentie van de bovengenoemde bioafvalstromen weer. Primaire energie staat voor energie wat in de natuur voorkomt voordat het menselijke conversietechnieken heeft ondergaan naar bijvoorbeeld elektriciteit, warmte of gas. Doordat de specificaties van bioafvalstromen per seizoen, compositie, geografische locatie en andere factoren afhankelijk zijn, kunnen de cijfers in het onderstaande overzicht slechts een indicatie geven. In dit onderzoek is er uitgegaan van de laagste energiewaarden om een zo realistisch mogelijk beeld te geven. Ook moet er onderscheid worden gemaakt tussen de theoretisch en technische hoeveelheid van de bioafvalstromen. De theoretische waarden zijn in het overzicht opgenomen, de technische hoeveelheid valt in de realiteit lager uit door bijvoorbeeld afkeuring, weersomstandigheden en andere factoren.

Bioafval	Ton	DS %	T/DS	MJ/kg DS	Tot. Energiepotentie (GJ)	ODS %	T/oDS	M³/t oDS	Tot. M³ biogas
Bermmaaisel	3.750	30	1.125	17	19.125	80	900	370	333.000
Houtsnippers	490	82	402	15,5	6.228		0	0	0
Snoeiafval	2.459	50	1.230	19,8	24.344	90	1.107	0	0
Zuiveringsslib	1.921	4	77	11	845	60	46	200	9.221
GFT	7.904	15	1.186	9	10.670	25	296	350	103.740
Dakriet	173	80	138	15	2.076		0	0	0
Frituurvet	7	95	7	38,1	253	92	6	850	5.200
Bladafval	1.000	35	350	15	5.250	51	179	370	66.045
Plantsoenafval	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A & B-Hout	1.793	90	1.614	15,1	24.367		0	0	0
C-Hout	316	90	284	15,1	4.294		0	0	0
Natte mest	61.000	7,5	4.575	16,7	76.403	85	3.889	400	1.555.500
Vaste mest	3.000	15	450	16	7.200	75	338	500	168.750
Totalen	**83.813**		**11.437**		**181.056**		**6.760**		**2.241.456**

Tabel 1 Primaire energiepotentie bioafvalstromen Assen [16]

Zoals weergegeven, heeft de gemeente circa 181.100 GJ of 2.241.500m^3/biogas aan primaire energiepotentie. Het overzicht geeft weer dat de bioafvalstromen niet alleen vrij veel verschillen in energetische waarde maar ook in biogaspotentieel. Bij bioafval wordt er onderscheid gemaakt tussen nat en droog bioafval. Hierbij wordt de grens arbitrair gelegd op +70% vochtgehalte. Onder natte stromen verstaan we onder andere bioafval, agrarische reststromen, reststromen uit de voedsel- en genotsmiddelenindustrie en zuiveringsslib. Onder droge stromen wordt veelal houtachtige bioafval verstaan. Dit onderscheid is belangrijk om te maken omdat het vochtgehalte in het bioafval directe invloed heeft op de energiepotentie. Des te natter het bioafval is, des te ongunstiger is het voor conversietechnieken die met hitte werken omdat de energiekosten voor het opwarmen van het vocht niet opwegen tegen de energieopbrengsten. Aan de andere kant zijn drogere bioafvalstromen juist weer ongeschikt voor biologische verwerkingstechnieken omdat hout moeilijk afbreekbaar materiaal is.

[16] Paula Schulze et al, “Biomassapotentieel in Nederland”, *DNV-GL,* 2017.

2.13 Economisch overzicht

Het onderstaande overzicht geeft weer welke bedragen de gemeente momenteel kwijt is voor het verwerken van de eerdergenoemde bioafvalstromen. In totaal spendeert de gemeente € 1.036.009 aan externe bedrijven die dit zelf verwerken tot energie of compost en daarna doorverkopen.

Team Groenbeheer	Ton	verwerkingskosten	transportkosten	Containerhuur	Totaal
Bermmaaisel	3.750	€ -157.378			€ -157.378
Houtsnippers	490	€ +13.554			€ +13.554
Waterschap Hunze en Aa					
Zuiveringsslib	1.921				
Grof riool afval	40				
Team Reiniging					
GFT	7.904	€ -310.074	€ -174.240		€ - 484.314
Snoeiafval	2.459	€ - 48.565	€ - 45.264		€ - 93.829
Dakriet	173	€ -14.186	€ - 5.344	€ -3.600	€ - 23.130
Frituurvet	7	€ +1.470			€ + 1.470
Plantsoen- en bladafval	4.438	€ -70.120	€ - 47.746	€ -2.400	€ -120.266
A & B-Hout	1.793	€ - 98.615	€ - 36.091	€ -6.000	€ -140.706
C-Hout	316	€ -22.120	€ - 6.342	€ -2.948	€ - 31.409
Landbouw					
Natte mest	61.000				
Vaste mest	3.000				
Totaal per jaar	**87.291**	€ -706.035	€ -315.027	€ -14.948	€ -1.036.009

Tabel 2 kostenoverzicht externe afvalverwerking

In het bijlagerapport, hoofdstuk 3 pagina 9, vindt u een gedetailleerder overzicht.

3.0 Thermochemische verwerkingstechnieken

3.1 Verbranding

3.1.1 Techniek

Het principe van verbranding is simpel. Door een overmaat van zuurstof verbrandt het bioafval waarbij verschillende producten vrijkomen. Het voorbewerkte bioafval wordt met behulp van een transportband getransporteerd naar de verbrandingsketel waar de temperatuur rond de 800 C° ligt.[17] Door verbranding komt warmte vrij die gebruikt wordt voor het opwarmen van water. De stoom die hierdoor vrijkomt wordt doormiddel van een stoomturbine toegepast in de elektriciteitsproductie. Na de stoomturbine wordt het water afgekoeld waardoor het begint te condenseren, hierdoor creëer je als het ware een cyclus waarin het water wordt hergebruikt.[18] Door bioafval te verbranden gaan waardevolle stoffen verloren. Hierdoor wordt verbranding gezien als een laagwaardige manier van verwerking.

[17] Energy Conversion Parks, “verbranding”, https://ecp-biomass.eu/sites/ecp-biomass.eu/files/books/ECP%20TF%20Verbranding_LG_HP_2nd.pdf
[18] Energy Conversion Parks, “verbranding”, https://ecp-biomass.eu/sites/ecp-biomass.eu/files/books/ECP%20TF%20Verbranding_LG_HP_2nd.pdf

3.1.2 Geschikte bioafvalstromen

Voor verbranding geldt dat droge bioafvalstromen de voorkeur hebben. Het gebruik van natte bioafvalstromen heeft een negatieve invloed op het verbrandingsproces waardoor het energierendement omlaag gaat. Geschikte bioafvalstromen zijn o.a. houtsnippers, dakriet, snoeiafval en sloophout.

3.1.3 Eindproducten

Uit de verbranding van bioafval kunnen de volgende producten worden gewonnen. [19],[20]

- Warmte: de warmte die vrijkomt tijdens het verbrandingsproces kan op verscheidene manieren worden toegepast. Door middel van een warmtenet kan de warmte worden geleverd aan huishoudens en industrie. De warmte kan ook intern worden gebruikt.
- Elektriciteit: zoals eerder vermeld, kan door middel van een stoomturbine elektriciteit worden opgewekt uit het verbrande bioafval.
- Verbrandingsassen: wanneer toegestaan, kunnen worden hergebruikt in de wegenbouw. Recentelijk is er in Zweden begonnen met het aanleggen van een installatie die kaliumchloride, calciumchloride en natriumchloride uit het as kan winnen. Daarnaast verwijdert deze installatie toxische substanties uit het as.
- Rookgas: bij het verbranden van bioafval komen rookgassen zoals stikstofoxiden, fijnstof en koolmonoxide vrij die schadelijk zijn voor het milieu. Deze moeten worden gefilterd voordat ze in de atmosfeer terecht mogen komen. Nieuw onderzoek heeft ook de mogelijkheid getoond om CO_2 met water via een katalysator om te zetten in bio-ethanol

3.1.4 Huidige toepassing

In Nederland wordt houtige bioafval/biomassa momenteel verbrandt in stookcentrales of meestookcentrales. In de meestookcentrales wordt ongeveer 3.000 Kton aan steenkool en bioafval/biomassa verbrand. De kleinschaligere verbrandingsinstallaties verbranden jaarlijks honderden tot duizenden tonnen aan bioafval/biomassa (voornamelijk voor eigen gebruik). Hier zijn er landelijk zo'n 100 van in gebruik. Door middel van een warmtenet levert bijvoorbeeld Warmtebedrijf Ede warmte aan 20.000 huishoudens. Deze warmte wordt geproduceerd door het gebruik van lokaal snoeiafval. Dagelijks verwerken deze installaties tussen de 90 en 270 ton snoeiafval.[21]

3.1.5 Techno-economische overzicht

Op basis van literatuuronderzoek en de beschikbare bioafvalstromen kan een indicatie gegeven worden over de elektriciteitsopbrengst van een installatie in Assen. De berekende installatie heeft een verbrandingsrendement van 80%, een elektriciteitsrendement van 30% en een warmterendement van 50%. Uitgaande van deze parameters, heeft de installatie een outputpotentie van 4.087.300 kWh. Een gemiddelde woning in Assen verbruikt 2.570 kWh per jaar.[22] Een verbrandingsinstallatie in Assen zou dus 1.590 woningen van stroom kunnen voorzien. Daarnaast is er nog een thermisch rendement van

[19] ibid
[20] Johan van Groenestijn et al "Biomassa voor de circulaire economie", *Groene Grondstoffen,* Wageningen, 2019. Pagina 52.
[21] Ibid. pagina 52.
[22] Gemeente Assen, assen.incijfers.nl,

24.500 GJ. Zonder warmtenet kan dit niet benut worden. Dit zou in theorie 640 woningen van warmte kunnen voorzien. Doordat er geen warmtenet beschikbaar is dit niet meegenomen in het economische overzicht. Qua emissies, op basis van het aantal geproduceerde kilowatturen elektriciteit, zal dit een besparing opleveren van 2.738.500 kg aan CO_2. Wel moet hier opgemerkt worden dat verbranden een laagwaardige manier is van afvalverwerking en dat de milieuwinst onder de streep minder groot is.

De investerings- en operationele kosten van een installatie hangen direct samen met de bovengenoemde outputpotentie. Een installatie op deze schaal zal gemiddeld € 2.875.700 kosten inclusief een 10% onzekerheidsmarge. Via een kosten-baten analyse kan worden geconcludeerd dat een verbrandingsinstallatie op deze schaal nagenoeg break-even draait. Hierbij zijn eventuele subsidies niet meegerekend omdat verbranding meer en meer wordt ontmoedigt.

Kosten			**Balans**	**Baten**	
Afschrijvingskosten	€ 323.495	10 jaar		Opbrengst energie	€ 367.856
Vaste proceskosten	€ 96.726			Besparing externe verwerkingskosten	€ 169.932
Variabele proceskosten	€ 48.775			Besparing transportkosten	€ 93.041
Afvalstoffenbelasting	€ 170.688			Besparing externe diverse kosten	€ 8.948
Totaal	**€ 639.684**		€ 93	**Totaal**	**€ 639.777**

Tabel 3 kosten- en baten analyse verbranding

In het bijlagerapport, hoofdstuk 4 pagina 10-11, vindt u de bijbehorende berekeningen.

3.1.6 Conclusie

Het verbranden van bioafval is een makkelijke manier om van het afval binnen de gemeente af te komen, maar ook de meest laagwaardige manier. Wanneer men puur kijkt naar de CO_2-winst dan is verbranding een optie. Kijkend naar het grotere geheel dan zien we dat de gebruikte bioafvalstromen al beter worden verwerkt tot onder andere compost en dus een grotere milieuwinst hebben. Aangaande de hoeveelheid geschikte bioafval binnen de gemeente, heeft een verbrandingsinstallatie in Assen een capaciteit van circa 5.230 ton bioafval, afvalhout en dakriet. De branchevereniging voor afvalinzamelaars, de Nederlandse Vereniging van Reinigingsdiensten (NVRD) stelt dat als er minder dan 20.000 ton aan bioafval beschikbaar is het project moeilijk rendabel te is krijgen.[23] Alles bij elkaar is de conclusie dat verbranding geen optie is in het kader van zowel haalbaarheid als milieu.

3.2 Reguliere vergassing

3.2.1 Techniek

Vergassing is een conversietechniek waarbij het bioafval bij temperaturen van 1.300 tot 1.500 C° met zuurstof, lucht of stoom wordt omgezet in synthesegas. Het proces van vergassen van bioafval bestaat uit de volgende processen:

1. Drogen: het bioafval bestemd voor het vergassen wordt gedroogd tot het gewenste vochtgehalte.

[23] NVRD, “spoorboekje biomassa: voor realisatie van biomassaprojecten door gemeenten en publieke afvalbedrijven”, Arnhem, 2019, pagina 24.

2. Pyrolyse: onder zuurstofloze omstandigheden en bij hoge temperaturen worden de organische moleculen in het bioafval omgezet naar kleinere moleculen. Hierbij ontstaan kool en gassen.
3. Vergassing: bij de vergassing reageert de kool met lucht en koolstofdioxide en ontstaat het synthesegas.
4. Oxidatie: hierbij wordt een deel van de gassen en kool verbrand, hierbij ontstaat koolmonoxide en koolstofdioxide.[24]

Mestvergassing

Naast reguliere vergassing kan ook mest worden vergast. In Emmen wordt de eerst mestvergister van Nederland gebouwd door Stercore, waarmee zo'n € 40 miljoen aan investeringskosten is gemoeid. De installatie zal op jaarbasis 185.000 ton droge mest en digestaat van mestvergisters vergassen wat rond de 30 miljoen m³ groen gras en 85.000 ton koolstof opbrengt. Het groene gas wordt geïnjecteerd in het aardgasnetwerk om 24.000 huishoudens van groen gas te voorzien.[25] De koolstof kan als bodemverbeteraar fungeren. Ondanks de milieuvoordelen is de bouw stopgezet door een beroep van Milieudefensie. Zij claimen dat de stikstofberekeningen niet kloppen doordat de mest volgens hen half Nederland moet doorreizen. De mest zou o.a. door een bedrijf uit Smilde worden geleverd. [26]

3.2.2 Geschikte bioafvalstromen

Voor vergassing geldt dat droog bioafval met een droge stofgehalte van 80% de voorkeur heeft. Onder droog bioafval worden houtsnippers, snoeiafval, dakriet en houtafval verstaan. Bestaande technieken hebben al uitgewezen dat mest geschikt kan zijn voor vergassing maar het mest moet worden gedroogd voor gebruik.

3.2.3 Eindproducten[27]

- Synthesegas: synthesegas is het hoofdproduct van vergassing. Dit gas bestaat uit een mix van waterstof, methaan en koolstofmonoxide. Met synthesegas kunnen verschillende routes worden overwogen. Na het reinigen van teer en onzuiverheden uit het synthesegas kan het direct worden gebruikt voor de opwekking van warmte en elektriciteit d.m.v. een gasmotor. Verder zou het gas kunnen worden opgewerkt naar groen gas. Daarnaast kunnen door het Fischer-Tropsch-proces brandstoffen worden gewonnen. Het waterstof kan ook naar brandstof geschikt voor voertuigen worden opgewerkt.
- Koolstofdioxide: het gezuiverde CO_2 zou kunnen worden hergebruikt in de glastuinbouw als voedingsstof. Nieuw onderzoek heeft ook de mogelijkheid getoond om CO_2 met water via een katalysator om te zetten in bio-ethanol (een biobrandstof).

---

[24] J. Greeve, "Haalbaarheid van kleinschalige vergassing van biomassa tot groengas in het kader van transitiepad GroenGas", *E kwadraat advies BV, Arnhem, 2009, pagina 19.*

[25] Veldpost, "Eerste mestvergasser komt in Emmen", https://www.veld-post.nl/artikel/236362-eerste-mestvergasser-komt-in-emmen/

[26] RTV Drenthe, "Milieudefensie stapt naar rechter: bouw van mestvergasser Emmen uitgesteld", https://www.rtvdrenthe.nl/nieuws/161618/Milieudefensie-stapt-naar-rechter-bouw-van-mestvergasser-Emmen-uitgesteld

[27] Johan van Groenestijn et al "Biomassa voor de circulaire economie", *Groene Grondstoffen,* Wageningen, 2019. Pagina 58-59.

- Biochar: biochar heeft ongeveer dezelfde werking als actieve kool. Dit bijproduct kan als brandstof worden gebruikt om zo energie op te wekken of het kan als bodemverbeteraar worden toegepast.

3.2.4 Huidige toepassing

Momenteel staat er in Nederland één houtvergasser in Amsterdam, gebouwd in 2017 door Bio Energy Netherlands. Deze wordt momenteel gebruikt voor het produceren van warmte, elektriciteit en biochar. In de toekomst wil de eigenaar ook waterstof winnen uit het synthesegas. Door de verkoop van alle eindproducten en met een SDE subsidie is de business case van deze fabriek rondgekomen.[28] In Tzum staat een vergasser die naast kippenmest ook schoon hout vergast. De totale capaciteit van deze installatie is 5.000 ton bioafval dat 1,9 miljoen kWh aan elektriciteit produceert wat genoeg is voor 630 woningen.[29]

3.2.5 Techno-economische overzicht

Via twee verschillende formules is er een indicatie geven van de energieopbrengst via deze verwerkingstechniek. Over het algemeen is voor beide formules gerekend met een vergassingsrendement van 80%, een elektrisch rendement van 29,8% en een warmterendement van 20%. Op basis hiervan ligt de verwachtte elektriciteitsopbrengst tussen de 6.828.000 kWh en 7.444.000 kWh. Dit komt neer op 2.600-2.900 woningen voorzien van stroom. Kijkend naar de milieuwinst vertaalt zich dit in een CO_2 besparing van gemiddeld 4.781.200 kg. Daarnaast is er nog een thermisch rendement van 16.500 GJ. Zonder warmtenet kan dit potentieel niet worden benut maar zou in theorie 430 woningen van warmte kunnen voorzien. Doordat er op dit moment geen warmtenet beschikbaar is is deze toepassing niet meegenomen in het economische overzicht.

Economisch gezien liggen de investeringskosten van een installatie op deze schaal op € 11.729.200. Een kosten en batenanalyse heeft uitgewezen dat een installatie rendabel is met behulp van SDE++ subsidie. Zonder subsidie is een dergelijk project dat puur is gefocust op elektriciteitsverkoop niet rendabel.

Kosten			**Balans**	**Baten**	
Afschrijvingskosten	€ 731.241	20 jaar		Opbrengsten energie	€ 687.404
Vaste proceskosten	€ 639.777			Besparing externe verwerkingskosten	€ 169.932
Variabele proceskosten	€ 23.830			Besparing transportkosten	€ 79.487
				Besparing containerhuur	€ 12.548
				SDE++ subsidie	€ 543.406
Totaal	**€ 1.394.848**		**€ 97.928**	**Totaal**	**€ 1.492.776**

Tabel 4 kosten- en baten analyse vergassing

In het bijlagerapport, hoofdstuk 5 pagina 13-14, vindt u de bijbehorende berekeningen.

[28] De Ingenieur, "Bouw houtvergasser van start", https://www.deingenieur.nl/artikel/bouw-houtvergasser-van-start

[29] Michiel Tijmensen & Rolf de Vos, "Bio-energie van eigen bodem", *Ecofys BV,* Utrecht, 2005. Pagina 47.

3.2.6 Conclusie

Reguliere vergassing is een bewezen techniek die, op kleine schaal, haalbaar moet zijn voor de gemeente. Vergassing heeft een hoge opbrengst en er is genoeg bioafval beschikbaar om het verder te laten onderzoeken. De techniek is interessant in het kader van de waterstofeconomie waar onder andere het rijk en de EU vol op inzetten.

3.3 Superkritische watervergassing

3.3.1 Techniek

Normaalgesproken moet bij een thermochemische techniek het droge stofgehalte worden verhoogd om zo de energieopbrengst te vergroten. Bij superkritische watervergassing wordt het aanwezige water juist gebruikt. Water met daarin het bioafval wordt naar de "superkritische fase" gebracht. Dit gebeurt onder een druk van minstens 221 bar en een temperatuur van 375 C°.[30] In deze fase verdwijnt het onderscheid tussen gasvormig en vloeibaar water en vallen de organische moleculen als het ware uiteen en vormen zo synthesegas. De anorganische stoffen kristalliseren waardoor schoon water overblijft. Het superkritisch vergassen van organische stromen is een vrij snel proces waardoor de installatie compact kan blijven. Daarnaast is de methode schaalbaar door een modulaire opbouw en vergt geen verdere investering in infrastructuur aangezien het gas al onder hoge druk wordt geproduceerd.

3.3.2 Geschikte bioafvalstromen

Voor superkritische watervergassing zijn de natte bioafvalstromen het meest geschikt. Hieronder vallen GFT, mest, zuiveringsslib, bermmaaisel en bladafval. Droog bioafval kan worden voorbewerkt door middel van stoom en water, hierdoor wordt het vochtgehalte verhoogd. Dit maakt deze techniek de meest veelzijdige qua verwerkingscapaciteit. Hoewel het niet binnen het onderzoek past geeft het bedrijf SCW Systems aan dat ook sommige soorten plastics geschikt zijn voor verwerking.[31]

3.3.3 Eindproducten[32]

De eindproducten die ontstaan bij superkritische watervergassing zijn iets anders dan de producten die worden geproduceerd bij reguliere vergassing. Afhankelijk van de procesparameters worden de volgende producten geproduceerd:

- Synthesegas: synthesegas is het hoofdproduct van vergassing. Dit gas bestaat uit een mix van waterstof, methaan en koolstofmonoxide. Met synthesegas kunnen verschillende routes worden overwogen. Na het reinigen van teer en onzuiverheden uit het synthesegas kan het direct worden gebruikt voor de opwekking van warmte en elektriciteit door middel van een gasmotor. Verder zou het gas kunnen worden opgewerkt naar groen gas. Daarnaast kunnen door het Fischer-Tropsch proces brandstoffen worden gewonnen. Het waterstof kan ook naar brandstof geschikt voor voertuigen worden opgewerkt.
- Koolstofdioxide: eventueel zou het gezuiverde CO_2 kunnen worden hergebruikt in de glastuinbouw als voedingsstof. Nieuw onderzoek heeft ook de mogelijkheid getoond om CO_2 met water via een katalysator om te zetten in bio-ethanol (een biobrandstof).

[30] SCW systems, "technologie", http://www.scwsystems.com/Technologie.html
[31] Ibid
[32] SCW systems, "technologie", http://www.scwsystems.com/Technologie.html

- Anorganische stoffen (gekristalliseerd): hier kunnen nutriënten als ammonium en fosfaat uit worden gewonnen.
- Water: het schone water dat overblijft kan worden hergebruikt in de installatie.

3.3.4 Huidige toepassing

Superkritische watervergassing is een techniek die nog in de kinderschoenen staat. Momenteel is er in Nederland een aantal initiatieven op dit gebied. Het bedrijf SCW systems, in samenwerking met Gasunie New Energy, richt zich specifiek op deze techniek en is in 2017 begonnen met de bouw van een demonstratie installatie in Alkmaar. Dit bedrijf wordt gesteund door het rijk met € 6.000.000.[33]

SNB, STOWA en de Waterschappen AA en Maas en de Dommel werken samen aan het onderzoeksproject "Supersludge". Het project richt zich op het superkritisch vergassen van rioolslib en onderzoekt of dit eventueel op grote schaal mogelijk is. De businesscase heeft laten zien dat voor rioolslibvergassing de verwachte investerings- en operationele kosten kunnen worden gefinancierd door rekening te houden met de besparingen op de verwerkingskosten en energieopbrengst.[34]

3.3.5 Techno-economische overzicht

Doordat superkritische watervergassing een nieuwe techniek is, is het voor dit onderzoek niet mogelijk om een indicatie te geven op basis van de beschikbare bioafvalstromen. Uit literatuuronderzoek is wel gebleken dat superkritische watervergassers twee keer zo efficiënt zijn als vergisters. Daarnaast is de businesscase gunstiger doordat de voor- en nabewerkingskosten lager liggen.[35]

3.3.6 Conclusie

Net als reguliere vergassing is superkritische watervergassing interessant om verder te onderzoeken. Ondanks dat de techniek van superkritische watervergassing nog in de proeffase zit, moet deze niet bij voorbaat worden afgeschreven. De resultaten zijn veelbelovend en met de mogelijkheid tot modulair bouwen kan dit een uitstekende kleinschalige oplossing zijn voor de gemeente. De techniek kan met een hoog rendement vrijwel al het bioafval verwerken. Ook in het kader van de waterstofeconomie, waar onder andere het rijk en de EU vol op inzetten, is dit interessant.

3.4 Pyrolyse

3.4.1 Techniek

Pyrolyse is een conversietechniek waarbij verschillende bioafvalstromen zuurstofloos en onder hogere temperaturen (450-750 C°) worden gedesintegreerd. De dampen die daarbij vrijkomen condenseren en vallen als pyrolyseolie weer naar beneden.[36] Pyrolyse wordt ook wel snelle pyrolyse genoemd omdat het proces maar twee minuten duurt.

---

[33] RVO, "Superkritisch Water Vergassen Alkmaar", https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/projecten/superkritisch-water-vergassen-alkmaar

[34] RVO, "Demonstratie Vergassing van Zuiveringsslib in Superkritisch Water"

[35] Reinier van der Veen et al, "Potentieel van lokale biomassa en invloedlocaties van groengas" *CE Delft,* Delft, 2020, pagina 37

[36] Johan van Groenestijn et al "Biomassa voor de circulaire economie", *Groene Grondstoffen,* Wageningen, 2019. Pagina 60.

3.4.2 Geschikte bioafvalstromen

Voor pyrolyse zijn in feite alle organische bioafvalstromen geschikt. De voorwaarde is wel dat het vochtgehalte ongeveer rond de 10% moet liggen. Omdat grootschalige pyrolyse een nieuwe techniek is, is er nog niet veel ervaring met verschillende soorten bioafval. Binnen de gemeente Assen zijn bermmaaisel, snoeiafval, houtsnippers, dakriet en het sloophout beschikbaar.

3.4.3 Eindproducten[37]

Bij pyrolyse komen hoofdzakelijk de volgende producten vrij:

- Pyrolyseolie: pyrolyseolie is het beoogde product bij het pyrolyseproces. Pyrolyseolie kan worden gebruikt als transportbrandstof, stookolie of worden gebruikt in de chemische industrie voor de winning van chemicaliën.
- Biochar: biochar is te vergelijken met actieve kool. Het biochar wordt voornamelijk als bodemverbeteraar gebruikt, maar kan ook gebruikt worden in meestookcentrales voor de opwekking van elektriciteit/warmte.
- Gas: het gas wordt voornamelijk ingezet als energie- of warmtevoorziener voor de installatie.
- Warmte: de warmte die vrijkomt tijdens de conversie kan worden gebruikt bij de installatie voor de productie van stoom of bij het thermische droogproces van het bioafval.
- Rookgas: de emissies die vrijkomen bij pyrolyse zijn in grote lijnen vergelijkbaar met die van verbranding. Stoffen als zwavelstofdioxiden en stikstofdioxiden moeten worden gereinigd door een rookgasreiniger voor ze in de atmosfeer terecht mogen komen. Nieuw onderzoek heeft ook de mogelijkheid getoond om CO_2 met water via een katalysator om te zetten in bio-ethanol (een biobrandstof).

3.4.4 Huidige toepassing

Grootschalige pyrolyse van bioafval wordt nog niet tot nauwelijks uitgevoerd. De enige pyrolyse installatie ter wereld die op commerciële schaal opereert staat in Hengelo. De reactor is gebouwd door Empyro BV/BTG die momenteel in handen is van Twence, een afvalverwerker volledig in handen van de Twentse gemeenten. In deze reactor wordt momenteel 20.000 m^3 aan pyrolyseolie geproduceerd dat wordt gebruikt door Friesland Campina voor de opwekking van stoom en elektriciteit. Een Fins bedrijf heeft recentelijk vier van deze reactoren aangekocht. Verder staan er in de VS en Canada demo-installaties waar onderzoek wordt gedaan naar het verfijnen van het pyrolyseproces.[38] Het bedrijf Bluecycle start in Heerenveen een installatie die kunststoffen om gaat zetten in pyrolyseolie.[39]

3.4.5 Techno-economische overzicht

Bij Pyrolyse zijn twee scenario's mogelijk waardoor de energieopbrengst en de economische opbrengst verschillen. Het primaire product is pyrolyseolie, dat meerdere functies heeft, waaronder het opwekken van elektriciteit door middel van een dieselmotor. In het scenario waar er elektriciteit wordt opgewekt, komt dit neer op een totale productie van 5.237.000 kWh overeenkomend met circa 2.000 woningen. Bij het scenario waar het pyrolyseolie wordt verkocht aan derden daalt dit

[37] Ibid. pagina 61
[38] Johan van Groenestijn et al "Biomassa voor de circulaire economie", *Groene Grondstoffen,* Wageningen, 2019. Pagina 61.
[39] Friesch dagblad, "Nieuwe Fabriek verwerkt Kunststof tot Olie in Heerenveen", https://frieschdagblad.nl/2020/8/28/nieuwe-fabriek-verwerkt-kunststof-tot-olie-in-heerenveen

naar 322.000 kWh overeenkomend met 125 woningen. Naast elektriciteit komt er, ongeacht het scenario, 16.900 GJ aan warmte vrij wat voor intern gebruik is gerekend. Anderzijds, zou dit ook 441 woningen van warmte kunnen voorzien. De CO_2 besparing gebaseerd op de elektriciteitsopbrengst komt neer op 3.509.000 kg wanneer de pyrolyseolie wordt gestookt en 215.600 kg wanneer het wordt verkocht.

Economisch gezien hebben de twee scenario's geen invloed op de investeringskosten van een eventuele pyrolyse installatie. De investeringskosten blijven hetzelfde met een gemiddelde investering van € 27.042.600 (inclusief 10% marge). Beide scenario`s zijn onrendabel maar het scenario waarin de pyrolyseolie wordt verkocht is iets meer rendabel.

Scenario Elektriciteit:

Kosten			**Balans**	**Baten**	
Afschrijvingskosten	€ 1.023.564	40 jaar		Verkoop energie	€ 471.345
Proceskosten	€ 1.081.704			Besparing externe verwerkingskosten	€ 327.311
				Besparing transportkosten	€ 93.041
				Besparing containerhuur	€ 12.548
Totaal	**€ 2.105.268**		€ -1.201.024	**Totaal**	**€ 904.244**

Tabel 5 kosten- en baten analyse pyrolyse, scenario elektriciteit

Scenario pyrolyseverkoop:

Kosten			**Balans**	**Baten**	
Afschrijvingskosten	€ 1.023.564	40 jaar		Verkoop Pyrolyseolie	€ 530.424
Proceskosten	€ 1.081.704			Verkoop energie	€ 28.956
				Besparing externe verwerkingskosten	€ 327.311
				Besparing transportkosten	€ 93.041
				Besparing containerhuur	€ 12.548
Totaal	€ 2.105.268		€ -1.112.989	Totaal	€ 992.280

Tabel 6 kosten- en baten analyse pyrolyse, scenario pyrolyseverkoop

In het bijlagerapport, hoofdstuk 6 pagina 15-17, vindt u de bijbehorende berekeningen.

3.4.6 Conclusie

Pyrolyse is een interessante techniek om in de gaten te houden. De opbrengsten zijn hoog en het is een hoogwaardige manier van verwerking doordat de olie in de chemische industrie kan worden toegepast. Aan de andere kant, liggen de investeringskosten wel hoog waardoor de terugverdientijd lang is. Het nadeel voor de gemeente Assen is dat het zelf te weinig bioafval heeft om een rendabel project neer te zetten. De gemeente zou kunnen samenwerken met andere gemeenten en bedrijven om zo de benodigde hoeveelheid houtige bioafval bij elkaar te krijgen. Het bedrijf Nettenergy heeft een mobiele en compacte pyrolyse installatie ontwikkeld, wat er voor kan zorgen dat deze techniek alsnog mogelijk kan zijn voor de gemeente.

3.5 Torrefactie

3.5.1 Techniek

Torrefactie is vrijwel hetzelfde als Pyrolyse. Het verschil is dat torrefactie op een temperatuur van 200 tot 400 C° plaatsvindt, waardoor het bioafval als het ware wordt geroosterd.[40]

3.5.2 Geschikte bioafvalstromen

Ook voor torrefactie geldt dat er een breed scala aan bioafval geschikt is voor conversie, maar dat houtig bioafval de voorkeur heeft. Binnen de gemeente Assen zijn snoeiafval, houtsnippers, dakriet en het sloophout beschikbaar.

3.5.3 Eindproducten[41]

Doordat torrefactie en pyrolyse vrijwel gelijk zijn, zijn de eindproducten ook hetzelfde. Het verschil is dat bij torrefactie het beoogde product biochar is en dit in een grote hoeveelheid vrijkomt.

- Biochar: biochar is te vergelijken met actieve kool. Het biochar wordt voornamelijk als bodemverbeteraar gebruikt, maar kan ook worden gebruikt in meestookcentrales voor de opwekking van elektriciteit en warmte.
- Gas: het gas wordt voornamelijk ingezet als energie- of warmtevoorziener voor de installatie.
- Pyrolyseolie: pyrolyseolie kan worden gebruikt als transportbrandstof, stookolie of worden gebruikt in de chemische industrie voor de winning van chemicaliën.
- Warmte: de warmte die vrijkomt tijdens de conversie kan worden gebruikt bij de installatie voor de productie van stoom of bij het thermische droogproces van het bioafval.
- Rookgas: de emissies die vrijkomen bij pyrolyse zijn in grote lijnen vergelijkbaar met die van verbranden. Stoffen als zwavelstofdioxiden en stikstofdioxiden moeten eerst worden gereinigd via een rookgasreiniger. Nieuw onderzoek heeft ook de mogelijkheid getoond om CO_2 met water via een katalysator om te zetten in bio-ethanol (een biobrandstof).

3.5.4 Huidige toepassing

In 2010 is het bedrijf Topell BV (nu Blackwood Technology) begonnen met de bouw van een torrefactie-installatie in Duiven. In deze installatie werd houtig groenafval uit de omgeving omgezet in biochar. Door het wegvallen van hun gehele afzetmarkt moest deze installatie worden gesloten. Deze installatie was de enige torrefactie-installatie waarvan de techniek op industriële schaal is bewezen.[42] Een Nederlands bedrijf (Momentum Capital) heeft € 45.000.000 geïnvesteerd in een torrefactie-installatie in Estland. In deze fabriek moet jaarlijks 200.000 ton houtig bioafval verwerkt worden.[43]

---

[40] Johan van Groenestijn et al "Biomassa voor de circulaire economie", *Groene Grondstoffen,* Wageningen, 2019. Pagina 62.
[41] Ibid
[42] Biobased Economy, "Topell Energy verder als `doorstarter` Blackwood Technology, https://www.biobasedeconomy.nl/2017/03/30/topell-energy-verder-als-doorstarter-blackwood-technology/ .
[43] Biomassa Magazine, "Dutch firm invests 53 million om Estonia biocoal plant", http://biomassmagazine.com/articles/14876/dutch-firm-invests-53-million-in-estonia-biocoal-plant.

3.5.5 Techno-economische overzicht

Voor torrefactie is gerekend met een algemeen rendement van 80% en een elektrisch rendement van 30%. Er komt energie vrij in twee stromen namelijk vanuit het biochar, wat via verstoking in elektriciteit en warmte kan worden omgezet, en vanuit gas. Vanuit het gas komt ongeveer 24.300 kWh vrij voor intern gebruik. Vanuit biochar komt er 3.678.600 kWh vrij wat overeenkomt met 1.431 woningen. De bespaarde CO_2 emissies zijn 2.480.900 kg. Daarnaast is er nog een thermisch rendement van 22.100 GJ. Dit kan niet zonder warmtenet benut worden en is niet meegenomen in het economische overzicht. Dit thermische rendement zou 576 woningen van warmte kunnen voorzien. De investeringskosten (inclusief een 10% marge) voor een installatie op deze schaal ligt rond de € 18.076.700. Net als voor Pyrolyse is er nog geen aparte SDE++ subsidie en is daarom niet meegenomen in het overzicht.

Kosten			**Balans**	**Baten**	
Afschrijvingskosten	€ 660.808	40 jaar		Elektriciteitsverkoop	€ 331.070
Proceskosten	€ 723.069			Besparing externe verwerkingskosten	€ 169.932
				Besparing transportkosten	€ 93.041
				Besparing containerhuur	€ 12.548
Totaal	**€ 1.383.877**		€ -777.286	**Totaal**	**€ 606.591**

Tabel 7 kosten- en baten analyse torrefactie

In het bijlagerapport, hoofdstuk 7 pagina 18-20, vindt u de bijbehorende berekeningen.

3.5.6 Conclusie

Gelijk aan pyrolyse, is het aandeel houtige bioafval te laag om een rendabel project op te zetten. De vraag is of torrefactie in Nederland een toekomst heeft. Het biochar wordt meestal meegestookt in een stookcentrale, maar met de ontmoediging van verbranding en het afschalen van kolencentrales kan het zijn dat de biochar moeilijk is af te zetten binnen Nederland. De Universiteit van Twente en het bedrijf Twence hebben een mobiele torrefactie machine ontwikkeld waardoor ook torrefactie nog een kleinschalige mogelijkheid kan zijn voor de gemeente.

4.0 Biologische verwerkingstechnieken

4.1 Vergisting

4.1.1 Techniek

Vergisten is het afbreken van organische materialen door bacteriën onder zuurstofloze omstandigheden. Vergisting is een van de meest ontwikkelde technieken beschikbaar en wordt daarom vaker op commerciële schaal aangeboden dan andere technieken. Wanneer er voor vergisten gekozen wordt zijn er een aantal keuzemogelijkheden met betrekking tot de conversieomstandigheden zoals de toevoer van het bioafval of temperatuur. Ongeacht de keuzes die gemaakt worden vindt vergisting plaats in vier stappen:

- Hydrolyse: is de eerste en langzaamste stap van het proces. In deze stap worden complexe materialen zoals koolhydraten, eiwitten en vetten omgezet tot eenvoudiger op te nemen monomeren zoals suikers, aminozuren en glycerol.
- Fermentatie: hier worden de monomeren omgezet tot verschillende soorten vetzuren en alcoholen, maar ook gassen als ammoniak en koolstofdioxide.

- Acetogenese: de vetzuren van de vorige stap worden omgezet in azijnzuur, koolstofdioxide en waterstof.
- Methanogenese: in de laatste stap worden de organische stoffen afgebroken in koolstofdioxide en methaan.[44]

4.1.2 Geschikte bioafvalstromen

Voor vergisting geldt dat de nattere bioafvalstromen de voorkeur hebben. Houtachtige reststromen zijn niet geschikt. Binnen de gemeente zijn GFT, bermmaaisel, mest, frituurvet, vloeibaar zuiveringsslib en bladafval geschikt om te vergisten.

4.1.3 Eindproducten

Biogas: biogas is het hoofdproduct dat voorkomt uit het vergistingsproces. Het is een gasmengsel dat voornamelijk bestaat uit methaan (gemiddeld 60%) en koolstofdioxide (gemiddeld 35%) .

- Het biogas kan worden omgezet in elektriciteit en warmte via een warmtekrachtkoppelingsinstallatie. Voor alleen het opwekken van uitsluitend warmte kan het beter in een ketel worden gestookt . Ook kan het biogas opgewerkt worden naar aardgaskwaliteit. Door het verhogen van het methaangehalte voldoet het aan dezelfde eisen als aardgas en mag het geïnjecteerd worden in het aardgasnetwerk. Als alternatief zou dit groene gas als transportbrandstof (bioLNG) gebruikt kunnen worden.[45]
- Digestaat: digestaat is het bijproduct van vergisting dat kan worden gebruikt als bodemverbeteraar in de landbouw.

4.1.4 Huidige toepassing

In Nederland is vergisting een goed ontwikkelde technologie. Zo bestaan er enkele bioafval vergisters onder andere bij Attero in Wijster, kleinere mestvergisters bij boerderijen, slibvergisters bij waterzuiveringsinstallaties en allesvergisters. Ook in het buitenland is dit een goed ontwikkelde technologie met installaties in bijvoorbeeld Duitsland en Denemarken. Er wordt uiteraard nog steeds onderzoek gedaan naar het efficiënter maken van het proces en het vergisten van andere organische producten.

4.1.5 Techno-economische overzicht

In het vergistingsscenario kun je uitgaan van twee verschillende routes voor het biogas. Over het algemeen wordt ervoor gekozen om met de volgende rendementen te werken: vergistingsrendement 60%, interne warmtevraag 5%, WKK-rendement voor energie 35% en een WKK- rendement voor warmte van 50%. Door deze parameters aan te houden heeft een installatie in Assen een opbrengst van 1.593.100 kWh energie. Dit komt neer op een stroomvoorziening van 620 woningen in Assen. Daarnaast is de thermische opbrengst 8.200 GJ. Theoretisch gezien zou dit 214 woningen van warmte kunnen voorzien. Het RVO bevestigd ook dat een WKK alleen optimaal is als er voldoende lokale warmtevraag is.[46]

---

[44] Yvonne Vögeli et al, "Anaerobic Digestion of biowaste in Developing Countries – Practical Information and Casr Studies", 2014

[45] RVO, "toepassingen biogas", https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/biogas/toepassingen-biogas .

[46] Ibid

Doordat de warmte niet gebruikt kan worden, heeft opwerking naar groen gas de voorkeur. De groen gas opbrengst na conversie zou neerkomen op 531.000m³. Dit zou genoeg zijn voor 396 Assense woningen. De bespaarde CO_2 uitstoot komt op 1.067.400 kg voor het elektriciteitsscenario en 949.000 kg CO_2 voor het groen gas scenario.

Uit een eerder rapport van het bedrijf DWA (transitievisie warmte) voor de gemeente Assen, kwam het getal 115.000 GJ aan energie uit biogas voort. Deze cijfers zijn gebaseerd op cijfers van het nationaal Georegister (gecorrigeerd met 50% voor realisme), en zou genoeg zijn om 3.000 woningequivalenten van warmte kunnen voorzien (via verbranding in een ketel). De 115.000 GJ wordt door DWA geïnterpreteerd als de potentie van het gas wat je in de ketel gaat verbranden en wat overeenkomt met de primaire energie. In de berekeningen van dit onderzoek zijn de eerdergenoemde rendementen toegepast op de primaire energie wat dus het verschil tussen de twee onderzoeken kan verklaren. Mocht dit onderzoek dezelfde formule toepassen dan komt dit erop neer dat 2.034 woningen kunnen worden voorzien van warmte.

De investeringskosten lopen uiteen maar komen gemiddeld rond de € 2.718.000 te liggen voor een installatie die elektriciteit en warmte opwekt. Voor een installatie die het biogas opwerkt naar groen gas ligt dit op € 2.802.400 Beide scenario's zijn rendabel mede dankzij de besparingen op externe kosten en SDE++ subsidies.

Scenario elektriciteit:

Kosten			**Balans**	**Baten**	
Afschrijvingskosten	€ 305.751	10 jaar		Opbrengst elektriciteit kWh_e	€ 143.381
Proceskosten	€ 129.734			SDE++ subsidie	€ 106.740
				Besparing externe verwerking	€ 481.782
				Besparing transportkosten	€ 184.998
				Besparing containerhuur	€ 600
Totaal	**€ 435.485**		€ 481.417	**Totaal**	**€ 916.902**

Tabel 8 kosten- en baten analyse vergisting, scenario elektriciteit

Scenario groen gas:

Kosten			**Balans**	**Baten**	
Afschrijvingskosten	€ 315.251	10 jaar		Groengas opbrengst	€ 152.409
Proceskosten	€ 129.734			SDE++ subsidie	€ 101.960
				Besparing externe verwerking	€ 481.782
				Besparing transportkosten	€ 184.998
				Besparing containerhuur	€ 600
Totaal	**€ 444.985**		€ 476.165	**Totaal**	**€ 921.150**

Tabel 9 kosten- en baten analyse vergisting, scenario groen gas

In het bijlagerapport, hoofdstuk 8 pagina 20-23, vindt u de bijbehorende berekeningen.

4.1.6 Conclusie

Vergisting is een bewezen techniek die alleen maar efficiënter en beter wordt. De gemeente beschikt over genoeg bioafval binnen de gemeentelijke grenzen om een kleinschalig project op te zetten. Zolang er geen warmtenet aanwezig is heeft het opwerken naar groen gas de voorkeur, anders is het stoken via een ketel voor alleen warmte het meest rendabel.

4.2 Compostering

4.2.1 Techniek

Composteren is het biologisch afbreken van organisch materiaal door micro-organismen. Dit kan spontaan gebeuren bij bijvoorbeeld achtergelaten bermmaaisel en bladafval, maar ook als het verzameld is in een hal of in de open lucht. De openlucht optie is vrij low-tech en bestaat voornamelijk uit het mechanische verkleinen van de bioafvalstromen, het omzetten van het compost en het vochtig houden van de composthoop. Door zuurstof en vocht wordt het organische materiaal afgebroken. Door dit proces loopt de temperatuur op tot 65 C° waardoor ziektekiemen en onkruid afsterven. Afhankelijk van de manier van composteren kan het proces tussen de 2 tot 6 maanden duren.[47]

4.2.2 Geschikte bioafvalstromen

Voor compostering geldt dat de gebruikte grondstoffen vochtig moeten zijn maar wel poreus en steekvast. Voor Assen geldt dat GFT, bermmaaisel, snoeiafval, bladafval, houtsnippers en plantsoenafval allemaal geschikt zijn voor compostering.

4.2.3 Eindproducten

- Compost: compost is het hoofdproduct van het composteringsproces. Het is een donkerbruine/zwarte kruimelige substantie die bestaat uit materialen die niet zijn omgezet in het composteringsproces. Deze substantie bestaat onder andere uit stukjes moeilijk afbreekbare materialen, mineralen en humuszuren die tijdens het composteringsproces zijn geproduceerd. Het compost kan gebruikt worden als bodemverbeteraar.
- Warmte: de warmte die wordt veroorzaakt door het composteren zou eventueel gebruikt kunnen worden voor het verwarmen van gebouwen in de omgeving. Dit wordt echter op kleine schaal toegepast. Upcycling Gemert gebruikt de warmte uit hun champost (compost uit champignons) om hun bedrijf mee te verwarmen.[48]
- Water: hoewel het vrijwel niet wordt toegepast zou eventueel water dat vrijkomt door het condenseren kunnen worden opgevangen en hergebruikt tijdens het composteren.

4.2.4 Huidige toepassing

Composteren is een eenvoudige en lang gebruikte techniek die goed is doorontwikkeld. In Nederland zijn er circa 60 grote installaties die elk ongeveer 40.000 ton aan organisch afval kunnen verwerken.

---

[47] Johan van Groenestijn et al “Biomassa voor de circulaire economie”, *Groene Grondstoffen,* Wageningen, 2019. Pagina 54.

[48] Topsectorenenergie, “Upcycling Gemert maakt duurzame warmte uit champost”, https://www.topsectorenergie.nl/nieuws/upcycling-gemert-maakt-duurzame-warmte-uit-champost .

4.2.5 Techno-economische overzicht

Het exploiteren van een composthoop (bij een akkerbedrijf) ligt op € 7,50 per ton/ organisch afval voor een grootschalige composthoop en € 20 per ton/organisch afval voor een kleinschalige composthoop.[49] Volgens een composteerbedrijf ligt dit tussen de € 15 tot € 20. Dit is per geproduceerde ton compost, voor het hele proces (vanaf het ophalen van het bioafval tot afvoer van het compost). Voor de casus Assen gaat dit onderzoek uit van € 20.

Ongeveer 40% van het organische afval wordt omgezet tot compost wat neerkomt op circa 8.600 ton compost. Dit zou neerkomen op een jaarlijkse kostenpost van € 171.300. De 8.600 ton compost kan verkocht worden van €18 per ton/compost[50]. De opbrengst komt dan op € 154.200 wat niet genoeg is om de kosten te dekken. Een businesscase kan worden verantwoord door de besparingen op de externe verwerkingskosten.

4.2.6 Conclusie

Composteren is een hoogwaardige manier van bioafvalverwerking. Het enige nadeel is dat er geen energie mee kan worden opgewekt. Composteren is een optie, maar in het kader van energietransitie heeft dat geen toegevoegde waarde. Omdat zand geen rol speelt bij het verwerken kan het interessant zijn om compostering verder te onderzoeken in het kader van de bestrijding van invasieve exoten zoals de Japanse Duizendknoop.

4.3 Fermentatie

4.3.1 Techniek

Fermentatie is een techniek waarbij met behulp van micro-organismen, zuurstofloos, het glucose in organisch afval omgezet wordt naar ethanol en melkzuur. De suikers worden omgezet d.m.v. een serie van chemische reacties in deze alcohol en zuren. De micro-organismen produceren op hun beurt ook CO_2.[51] Wat overblijft is biomassapulp.

4.3.2 Geschikte bioafvalstromen

Voor fermentatie zijn bioafvalstromen die veel koolhydraten bevatten het meest geschikt. Deze stoffen worden voornamelijk gevonden in biomassa die voor menselijke consumptie geschikt zijn zoals mais en suikerbiet. Daarnaast kunnen deze stoffen ook uit bladeren, gras, en hout gewonnen worden doormiddel van hydrolyse. Dit maakt het proces significant duurder.[52]

[49] Annemarie van Dam, “Akkerbouw & Vollegrondsgroente”, *Biokennis,* Wageningen, 2007. Pagina 4.
[50] Johan van Groenestijn et al “Biomassa voor de circulaire economie”, *Groene Grondstoffen,* Wageningen, 2019. Pagina 55.
[51] Eubia, “Fermentation”, https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/fermentation/
[52] Johan van Groenestijn et al “Biomassa voor de circulaire economie”, *Groene Grondstoffen,* Wageningen, 2019. Pagina 51.

4.3.3 Eindproducten

Bij fermentatie kun je energie opwekken of grondstoffen voor de chemische industrie produceren.

- Ethanol: de ethanol moet eerst gedistilleerd en gedroogd worden voordat het gebruikt kan worden als brandstof voor auto's.
- Biomassapulp: kan ingezet worden als veevoeder.
- Waterstof: Het waterstof zou gebruikt kunnen worden voor het opwekken van warmte en elektriciteit of als brandstof voor waterstofvoertuigen.
- Melkzuur: is toepasbaar voor de productie van bioplastics of in de chemische industrie.

4.3.4 Huidige toepassing

Momenteel staan er in Nederland drie fabrieken die biomassa fermenteren. In Rotterdam wordt mais omgezet tot bio-ethanol. De pulp die daarbij vrijkomt wordt ingezet als veevoer en de CO_2 wordt geleverd aan kassen als voedingsstof.[53] De productie van bio-ethanol uit mais is winstgevend al zij het met een kleine marge. Het voorbewerken van bij/reststromen als gras en hout om zo koolhydraten te verkrijgen is niet winstgevend.

4.3.5 Techno-economische overzicht

In het kader van dit onderzoek is het niet mogelijk geweest om de opbrengst te berekenen aangezien de reststromen die de gemeente Assen beheert (nog) niet geschikt zijn voor fermentatie. Economisch gezien is fermentatie voor de gemeente Assen niet kostendekkend.

4.3.6 Conclusie

Fermentatie valt met de huidige techniek niet te overwegen door de proceskosten. Mocht de techniek, en dan met name de kosten ervan, zich positief ontwikkelen dan kan fermentatie worden overwogen aangezien het een van de meest hoogwaardige manieren is van bioafvalverwerking.

4.4 Bokashi

Bokashi is een Japans concept dat staat voor "goed gefermenteerd organisch afval". Bij dit proces wordt vers organisch afval vermengd met een mengsel van micro-organismen, zeeschelpkalk en Edasil kleimineralen waarna het voor acht weken zuurstofloos wordt opgeslagen.[54] Bokashi kan als bodemverbeteraar worden gebruikt.

Tot op heden is Bokashi in strijd met de Wet Milieubeheer en de meststoffenwet waardoor het niet als compost wordt beschouwd en dus niet mag worden toegepast .[55] Dit komt voornamelijk omdat er wetenschappelijk onderzoek ontbreekt naar de werking van het product. Dit onderzoek wordt nu uitgevoerd aan de Universiteit van Wageningen en zal nog enkele jaren vergen. Ondanks dat het een goeie techniek is voor de verwerking van bioafval levert het geen bijdrage aan de energietransitie.

---

[53] Port of Rotterdam, "Autorijden op bio-ethanol uit Rotterdam", https://www.portofrotterdam.com/nl/nieuws-en-persberichten/autorijden-op-bio-ethanol-uit-rotterdam .
[54] Bokashi.nl, "Bokashi grootschalig", https://www.bokashi.nl/bokashi-grootschalig/.
[55] De Gelderlander, "Japanse Mest `prima spul`, maar toch doet Berg en Dal Bokashi in de ban", https://www.gelderlander.nl/berg-en-dal/japanse-mest-prima-spul-maar-toch-doet-berg-en-dal-bokashi-in-de-ban~a9259370/ .

4.5 Samenvatting hoofdstuk 3 & 4

Het onderstaande overzicht vindt u de verwerkingscapaciteit van de bovenstaande beschreven technieken uitgedrukt in het theoretisch beschikbare bioafval binnen de gemeentelijk grenzen.

Bioafval	Verbranden	Vergassen	Superkritisch vergassen	Pyrolyse	Torrefactie	Vergisting	Composteren	Bokashi
Bermmaaisel			3.750	3.750		3.750	3.750	3.750
Houtsnippers	490	490	490	490	490		490	490
Snoeiafval	2.459	2.459	2.459	2.459	2.459		2.459	2.459
Zuiveringsslib			1.921			1.921		
Grof riool afval			40					
GFT			7.904			7.904	7.904	7.904
Dakriet	173	173	173	173	173			
Frituurvet			7			7		
Bladafval			1.000			1.000	1.000	1.000
Plantsoenafval							3.338	3.338
A & B-Hout	1.793	1.793	1.793	1.793	1.793			
C-Hout	316	316	316	316	316			
Natte mest		61.000	61.000			61.000		
Vaste mest		3.000	3.000			3.000		
Verwerkings-capaciteit	**5.231**	**69.231**	**83.853**	**8.981**	**5.231**	**78.582**	**18.941**	**18.941**

Tabel 10 Verwerkingscapaciteit technieken

Het tweede overzicht geeft inzicht in hoeveel de respectievelijke energieopbrengst is per berekende techniek en vergelijkt dit met andere energieprojecten. De vergelijking is gebaseerd op het aantal kWh aan elektriciteit dat de respectievelijke projecten opleveren. Vergassing wekt dus bijvoorbeeld de helft minder op dan een windmolen in de Drentse Monden. Het aantal woningen is berekend aan de hand van het gemiddelde elektriciteitsverbruik van 2.570 kWh per jaar en gasverbruik van 1.340 m^3. [56]

Techniek	kWh/m^3	Elektriciteits-potentie	Warmte potentie	Zonneweide Assen-Zuid	Windmolen Drentse Monden	Bespaarde CO_2
Vergassing	7.443.912	2.896	430	1,45	0,50	4.987.421
Pyrolyse	5.237.167	2.038	441	1,02	0,35	3.508.902
Verbranding	4.087.287	1.590	640	0,80	0,27	2.738.483
Torrefactie	3.678.559	1.431	576	0,72	0,25	2.464.634
Vergisting (kWh)	1.593.127	620	214	0,31	0,11	1.067.395
Vergisting (m^3)	531.042	N.v.t.	396	N.v.t.	N.v.t.	947.911

Tabel 11 Opbrengstenoverzicht

[56] Gemeente Assen, assen.incijfers.nl,

Het laatste overzicht geeft inzicht in wat de geschatte investeringskosten zijn en wat de investeringskosten per woning zijn, gebaseerd op het aantal woningen dat van elektriciteit kan worden voorzien.

Techniek	KWh/m³	Assense Woningen	Investeringskosten	Investeringskosten per woning
Vergassing	7.443.912	2.896	€ 11.729.240	€ 4.050
Pyrolyse	5.237.167	2.038	€ 27.042.610	€ 13.270
Verbranding	4.087.287	1.590	€ 2.875.651	€ 1.808
Torrefactie	3.678.559	1.431	€ 18.076.729	€12.629
Vergisting (kWh)	1.593.127	620	€ 2.717.919	€ 4.384
Vergisting (m³)	531.042	396	€ 2.802.361	€ 7.071

Tabel 12 Investeringsoverzicht

7.0 Conclusie en vervolgstappen

In dit rapport is er getracht te onderzoeken of het mogelijk is om het bioafval binnen de gemeente te verwerken ten behoeve van de energietransitie en circulaire economie. Op basis van dit onderzoek kunnen een paar conclusies worden getrokken. Door middel van de inventarisatie in hoofdstuk 2, is duidelijk geworden dat de gemeente over verschillende afval- en reststromen beschikt die kunnen worden gebruikt voor het opwekken van energie of groen gas. Verder is er inzicht gegeven over dat de huidige verwerking van deze bioafvalstromen kostbaar is, met de verwachting dat deze alleen maar verder zullen stijgen.

Via een literatuuronderzoek en berekeningen geeft hoofdstuk 3 en 4 een indicatie welke techniek theoretisch gezien haalbaar is en hoe deze techniek nu wordt toegepast. Hier is uit voortgekomen dat binnen de gemeente de technieken vergassing, superkritische vergassing, vergisting en compostering in aanmerking komen voor verdere overweging. Voor deze technieken is voldoende bioafval beschikbaar voor een goede businesscase.

Wat kan de gemeente met deze conclusie en hoe nu verder? Ondanks dat het mogelijk is om met eigen bioafval een kleinschalige installatie te realiseren, kan het raadzaam zijn om samenwerking te zoeken met buurgemeentes en/of het waterschap Hunze en Aa's. Door een samenwerkingsverband aan te gaan kan een schaalvoordeel worden behaald. Ongeacht of eventuele partners een samenwerking willen aangaan zou de volgende stap, bij eventuele interesse in een techniek, een haalbaarheidsonderzoek kunnen zijn.

8.0 Bronnenlijst

Biobased Economy, “Topell Energy verder als `doorstarter` Blackwood Technology”, https://www.biobasedeconomy.nl/2017/03/30/topell-energy-verder-als-doorstarter-blackwood-technology/

Biomassa Magazine, ”Dutch firm invests 53 million om Estonia biocoal plant”, http://biomassmagazine.com/articles/14876/dutch-firm-invests-53-million-in-estonia-biocoal-plant

Bisschops Iemke, Eekert van, Miriam, Hobo, Anna, Kujawa-Roeleveld, Katarzyna, “Kleinschalige verwerkingsmethoden voor gft en swill – bijdragen aan de circulaire economie binnen bestaande regelgeving en beleid”, *LeAF,* Wageningen, 2020.

Bokashi.nl, “Bokashi grootschalig”, https://www.bokashi.nl/bokashi-grootschalig/

Centraal Bureau voor de Statistiek, https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/70072ned/table?searchKeywords=dierlijke%20mest

Corbey, Dorette, Asselt van, Bert, “Routekaart Nationale Biogrondstoffen. Naar een groter aanbod en betere benutting.”, *klimaatakkoord.nl,* 2020, Pagina 41.

Dam van , Annemarie “Akkerbouw & Vollegrondsgroente”, *Biokennis,* Wageningen, 2007. Pagina 1-4.

De Gelderlander, “Japanse Mest `prima spul`, maar toch doet Berg en Dal Bokashi in de ban”, https://www.gelderlander.nl/berg-en-dal/japanse-mest-prima-spul-maar-toch-doet-berg-en-dal-bokashi-in-de-ban~a9259370/

De Ingenieur, “Bouw houtvergasser van start”, https://www.deingenieur.nl/artikel/bouw-houtvergasser-van-start

Energy Conversion Parks, “verbranding”, https://ecp-biomass.eu/sites/ecp-biomass.eu/files/books/ECP%20TF%20Verbranding_LG_HP_2nd.pdf

Eubia, “Fermentation”, https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/fermentation/

Europees Parlement, “Betreffende de bevordering van elektriciteitsopwekking uit hernieuwbare energiebronnen op de interne elektriciteitsmarkt”, *publicatieblad van de Europese gemeenschappen,* Brussel, 2001, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001L0077&from=RO

Friesch dagblad, “Nieuwe Fabriek verwerkt Kunststof tot Olie in Heerenveen”, https://frieschdagblad.nl/2020/8/28/nieuwe-fabriek-verwerkt-kunststof-tot-olie-in-heerenveen

Gemeente Assen, assen.incijfers.nl,

Greeve, J, “Haalbaarheid van kleinschalige vergassing van biomassa tot groengas in het kader van transitiepad GroenGas”, *E kwadraat advies BV, Arnhem, 2009.*

Groenestijn van, Johan, Harmsen Paulien, Bos Harriette, “Biomassa voor de circulaire economie”, *Groene Grondstoffen,* Wageningen, 2019.

Leeuwarder Courant (A) , “Het verwerken van gft-afval wordt voor gemeenten flink duurder (en dus gaat de afvalstofheffing omhoog)”, https://www.lc.nl/friesland/Het-verwerken-van-gft-afval-wordt-voor-gemeenten-flink-duurder-en-dus-gaat-de-afvalstoffenheffing-omhoog-25830458.html

Leeuwarder Courant (B), “Wetterskip vertilt zich aan duurzame slibverwerking”, https://www.lc.nl/friesland/Wetterskip-vertilt-zich-aan-duurzame-slibverwerking-26014169.html

NVRD, “spoorboekje biomassa: voor realisatie van biomassaprojecten door gemeenten en publieke afvalbedrijven”, Arnhem, 2009.

Port of Rotterdam, “Autorijden op bio-ethanol uit Rotterdam”, https://www.portofrotterdam.com/nl/nieuws-en-persberichten/autorijden-op-bio-ethanol-uit-rotterdam

Recyclingplatform, “Hout”. https://www.recyclingplatform.nl/recycling-processen/hout#:~:text=Als%20C%2Dhout%20niet%20behandeld,mag%20als%20brandstof%20worden%20ingezet

Rijksdienst voor ondernemend Nederland, “Demonstratie Vergassing van Zuiveringsslib in Superkritisch Water”

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, “Gras benutten als substraat voor vergisting”, *RVO,* Utrecht, 2015, https://www.rvo.nl/sites/default/files/RVO-Publ-Grasvergisting-webdoc-mei15_1_def.pdf

Rijksdienst voor ondernemend Nederland, “Soorten biomassa voor verbranding” https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/bio-energie/verbranding-ketels-en-kachels/soorten-biomassa-voor-verbranding

Rijksdienst voor ondernemend Nederland, “Superkritisch Water Vergassen Alkmaar”, https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/projecten/superkritisch-water-vergassen-alkmaar

Rijksdienst voor ondernemend Nederland, “toepassingen biogas”, https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/biogas/toepassingen-biogas

Rijkswaterstaat, “Artikel 10.1a Wet Milieubeheer”, https://www.afvalcirculair.nl/onderwerpen/afvalregelgeving/groenafval/artikel-10-1a-wet-milieubeheer/

RTV Drenthe, “Milieudefensie stapt naar rechter: bouw van mestvergasser Emmen uitgesteld”, https://www.rtvdrenthe.nl/nieuws/161618/Milieudefensie-stapt-naar-rechter-bouw-van-mestvergasser-Emmen-uitgesteld

Schulze, Paula, Holstein, Johan, Vlap, Harm, “Biomassapotentieel in Nederland”, *DNV-GL,* 2017.

SCW systems, “technologie”, http://www.scwsystems.com/Technologie.html

Tijmensen, Michiel, De vos, Rolf “Bio-energie van eigen bodem”, *Ecofys BV,* Utrecht, 2005.

Topsectorenenergie, “Upcycling Gemert maakt duurzame warmte uit champost”, https://www.topsectorenergie.nl/nieuws/upcycling-gemert-maakt-duurzame-warmte-uit-champost

Veen van der, Reinier, Naber, Nanda, Leguijt, Cor, “Potentieel van lokale biomassa en invloedlocaties van groengas” *CE Delft,* Delft, 2020.

Veldpost, “Eerste mestvergasser komt in Emmen”, https://www.veld-post.nl/artikel/236362-eerste-mestvergasser-komt-in-emmen/

Vögeli, Y., Riu Lohri, C., Gallardo, A., Diener, S., & Zurbrüg, C., Anaerobic digestion of biowaste in developing countries : practical information and case studies. (S. Mercer, Ed.). Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2014