PROCEDE BIOMASS B.V.

Inventarisatie van markttoepassingen van biomassaketels en bio-wkk

Ir. J. Koppejan

Enschede
December 2016

Colofon

Dit rapport is samengesteld in opdracht van

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Rene Wismeijer
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Auteur:

Ir. J. Koppejan, Procede Biomass BV

Project PB201602

December 2016

Procede Biomass BV
Postbus 328
7500 AH Enschede

Inhoudsopgave

1 AANLEIDING EN VRAAGSTELLING 5

1.1 ACHTERGROND 5
1.2 HUIDIGE TOTSTANDKOMING ADVIES BASISBEDRAGEN 6
1.3 VRAAGSTELLING 8
1.4 AANPAK 8

2 WERKWIJZE 10

2.1 BESCHIKBAARHEID VAN DATA 10
2.1.1 CBS 10
2.1.2 MJA3 gegevens 11
2.1.3 Agrimatie.nl 12
2.1.4 ECN analyse van utiliteitsgebouwen 12
2.1.5 Emissiehandelssysteem (ETS) 13
2.1.6 SDE jaarrapportages 13
2.2 DATA VAN MARKTPARTIJEN OVER SPECIFIEKE CASES 13
2.3 BEPALING VAN ESSENTIËLE BEDRIJFSPARAMETERS PER SECTOR 14
2.3.1 Vollasturen en thermische capaciteit 14
2.3.2 Brandstofkeuze 15
2.3.3 Kosten van biomassagestookte ketelinstallaties 17
2.3.4 Kosten van biomassagestookte wkk's 19
2.3.5 Kosten van warmtedistributie 23
2.3.6 Rendementseisen en financieringsstructuur 23
2.3.7 Totale productiekosten per sector 24
2.3.8 Vermeden kosten van warmte- en elektriciteitsopwekking per sector 24
2.4 HUIDIGE STIMULERING VANUIT DE SDE+ REGELING 25

3 KENMERKEN PER SECTOR 27

3.1 LAND- EN TUINBOUW 27
3.1.1 Glastuinbouw 27
3.1.2 Slachtkuikens 28
3.1.3 Kalvermesterij 28
3.1.4 Varkenshouderijen 29
3.2 VOEDINGS- EN GENOTMIDDELENINDUSTRIE 30
3.2.1 Slachterijen en vleeswarenindustrie 30
3.2.2 Groente- en fruitverwerkende industrie 31
3.2.3 Spijsoliën- en -vettenindustrie e.d. 32
3.2.4 Zuivelindustrie 33
3.2.5 Meelindustrie 33
3.2.6 Diervoederindustrie 33

3.2.7 Rendering van slachtbijproducten *34*
3.2.8 Drankenindustrie *34*
3.2.9 Koffie- en cacaobranderijen *34*
3.3 OVERIGE INDUSTRIE 35
3.3.1 Papierindustrie *35*
3.3.2 (Petro)chemische en farmaceutische industrie *36*
3.3.3 Houtverwerkende industrie *36*
3.4 UTILITEITSBOUW EN DIENSTENSECTOR 37
3.4.1 Kantoren *37*
3.4.2 Zorgsector *37*
3.4.3 Onderwijs *38*
3.4.4 Horeca *38*
3.4.5 Cultuur *38*
3.4.6 Sportaccommodaties binnen *38*
3.4.7 Sportaccommodaties buiten *38*
3.4.8 Overdekte zwembaden *39*
3.4.9 Openluchtzwembaden *40*
3.5 STADSVERWARMING EN BLOKVERWARMING 41
3.5.1 Stadsverwarming *41*
3.5.2 Blokverwarming *42*

4 HAALBAARHEID VAN BIOKETELS EN BIO-WKK 44

4.1 MET BIOMASSA GESTOOKTE KETELS 44
4.2 MET BIOMASSA GESTOOKTE WKK INSTALLATIES 50
4.3 GEVOELIGHEIDSANALYSE 53

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 57

6 REFERENTIES 59

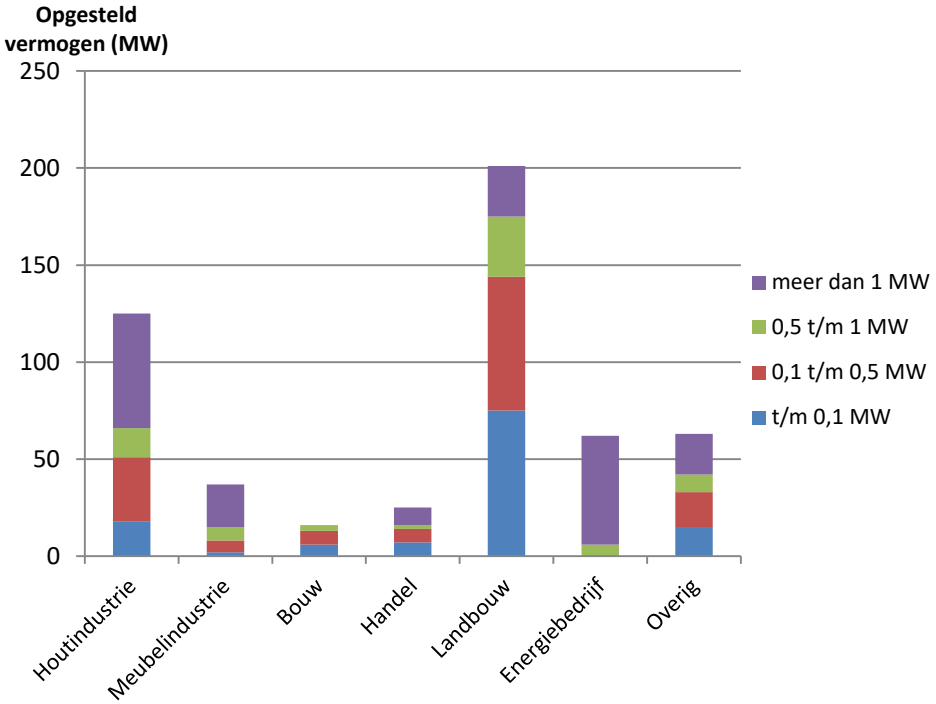
APPENDIX 1. KLANKBORDGROEP 61

1 Aanleiding en vraagstelling

1.1 Achtergrond

Sinds 2012 bevat de SDE+ regeling een aparte categorie voor warmteproductie uit verbranding van vaste biomassa in ketels vanaf 500 kW. Vanwege het relatief lage basisbedrag is de slaagkans bij een aanvraag relatief hoog. Omdat er bovendien een relatief kleine verschil is tussen basisbedrag en correctiebedrag (in verhouding tot andere categorieën), kan worden gesteld dat kleinschalige verbranding in bioketels een significante optie is om duurzame energie op te wekken tegen relatief lage maatschappelijke meerkosten.

Technologieën voor de verbranding van vaste biomassa voor opwekking van warmte en evt. elektriciteit zijn commercieel beschikbaar en inzetbaar in veel marktsegmenten in de maatschappij. Volgens CBS waren er in 2015 bijna 3000 ketels in bedrijf met een opgesteld vermogen van 529 MW [11]. In een aantal marktsegmenten wordt verbranding van hout voor warmteopwekking al veelvuldig toegepast. Waar houtverbranding vroeger vooral werd toegepast in de houtverwerkende industrie, worden ketels nu ook steeds meer in andere sectoren toegepast. Veruit de grootste toepassing qua aantallen en opgesteld vermogen is momenteel de landbouw.



Figuur 1.1 Opgesteld vermogen per eind 2015 naar schaalgrootte en sector [11]

Er is sprake van een toenemende diversiteit in uitvoeringsvorm en toepassingsmogelijkheden, in brandstof variërend van pellets tot snippers en shreds, in schaalgrootte variërend van individueel woningniveau tot industriële stoomketels en grootschalige warmtenetten en in temperatuurniveau van lage temperatuurverwarming tot bakprocessen bij 300°C. Unique Selling Points in verhouding tot andere opties voor duurzame energieopwekking zijn de mogelijkheid om vraaggestuurd energie te maken en om op efficiënte wijze warmte op hoge temperatuur te leveren voor bepaalde industriële processen. Alhoewel verbrandingstechnieken voor veel toepassingen als uitontwikkeld kunnen worden beschouwd, vinden er toch nog steeds weer kleine verbeteringen plaats in rendementen, uitstoot, betrouwbaarheid, brandstofflexibiliteit en kosteneffectiviteit.

Door een verschil in haalbaarheid worden sommige markttoepassingen wellicht overgestimuleerd terwijl andere worden ondergestimuleerd (en daarmee niet worden aangevraagd). Vanuit zowel de overheid als de markt is er daarom behoefte aan een beter beeld van een aantal specifieke kenmerken van te onderscheiden biomassawarmte en bio-wkk toepassingen. Het warmtedeel betreft zowel proceswarmte als ruimteverwarming.

Deze vraag om een beter beeld sluit aan bij een aanbeveling van ECN en DNV GL in hun Consultatiedocument basisbedragen SDE+ 2016. Daarin is het ministerie van Economische Zaken de suggestie meegegeven om meer integraal te kijken naar het aantal vollasturen in de diverse warmte- en WKK-categorieën in de SDE+.

1.2 Huidige totstandkoming advies basisbedragen

In de onrendabele top berekening van ECN welke ten grondslag ligt aan het advies voor het basisbedrag worden specifieke aannames gedaan voor de bedrijfsparameters bij een typische afnemer [27], deze zijn samengevat in Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Aannames voor referentieprojecten en resulterende basisbedragen in het SDE+ 2017 eindadvies voor verbranding en vergassing van biomassa [27].

		Ketel op vaste of vloeibare biomassa			Warmte voor stoom, houtpellets	Thermische conversie ≤ 100 MWe
		0,1-0,5 MWth	0,5-5 MWth	≥5 MWth		
P input	kW_{fuel}	326	833	11.111	33.333	10.000
P Output	kW_{th} kW_e	300	750	10.000	30.000	8.000 1.600
Vollasturen	uur/jaar	3.000	3.000	7.000	7.000	8000 (th) 5000 (w)
Rendement	Elektrisch Thermisch	90%	90%	90%	90%	16% 80%
Investeringskosten	Euro/kWinput Euro/kWoutput	480	510	580	560	1250
Totale investering	Euro (miljoen)	0,153	0,360	5,80	16,8	12,5
Vaste O&M-kosten	Euro/kWinput Euro/kWoutput	34	34	62	36	100
Totale jaarlijkse vaste O&M-kosten	Euro (duizend)	10	26	620	1080	1.000
Var. O&M-kosten	$Euro/kWh_{out}$	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
Energie-inhoud brandstof	GJ/ton	9,0	9,0	9,0	17,0	9,0
Biomassadoorzet	ton/jaar	391	1.000	31.111	49.411	32.000
Brandstofprijs	Euro/ton	50	50	50	170	50
Techn en econ.levensduur	jaar	12	12	12	8	12
Resulterend basisbedrag	Euro/kWh	0,057	0,056	0,044	0,062	0,062

Voor deze referentieprojecten zijn de in Tabel 1.2 genoemde parameters aangenomen voor de verwachte inflatie, wijze van financiering van de installatie en het vereiste rendement op eigen vermogen van de investeerder. Aangetoond kan worden dat deze parameters equivalent zijn aan een project-IRR voor belasting van 6,8% of een eenvoudige terugverdientijd (voor belasting) van 9,2 jaar.

Tabel 1.2 Algemene financiële aannames voor bovenstaande categorieën [27].

Inflatie	1.5%
Rente lening	2.5%
Vereist rendement op eigen vermogen	11.5%
Deel eigen vermogen in investering	30%
Deel vreemd vermogen in investering	70%
Vennootschapsbelasting	25.0%

1.3 Vraagstelling

Met deze studie wordt beoogd om voor de belangrijkste marktsectoren typische bedrijfscondities weer te geven welke op investeerdersniveau de haalbaarheid bepalen. Daarbij is er bewust voor gekozen om niet direct de aannames voor referentieprojecten uit de SDE+ adviesberekeningen over te nemen, maar zoveel mogelijk de haalbaarheid sectorspecifiek te maken.

De hoofdvragen welke met deze studie worden beantwoord zijn als volgt:

1. Welke 'karakteristieke toepassingsgebieden' categorieën kunnen worden gedefinieerd voor de toepassing van warmte uit biomassamassa gestookte ketels en de toepassing van bio-wkk in de industrie en de gebouwde omgeving. Denk hierbij aan zwembaden, glastuinbouw, wijkverwarming, kantoren, houtindustrie, agrarische sector, voedingsmiddelenindustrie, etc.
2. Wat zijn daarvoor specifieke kenmerken/kentallen (schaalgrootte, vermogensklasse of -range, vollasturen, technieken, systeemgrenzen e.d.)
3. Wat zijn karakteristieke investeringen en investeringskosten
4. Wat is het geschatte potentieel (in aantallen en PJ's) per 'karakteristiek toepassingsgebied'?

De marktsectorspecifieke kenmerken welke worden vermeld in het onderhavige rapport kunnen door ECN en DNV-GL worden gebruikt voor het verder verbeteren van de bestaande SDE+ regeling. Deze mogelijke verbetering is geen doel op zich van het onderhavige project.

1.4 Aanpak

De studie is uitgevoerd in samenwerking met een klankbordgroep, bestaande uit vertegenwoordigers van RVO, PBE en NBKL (zie Appendix 1). De rol van de klankbordgroep bestond uit het verstrekken van aanvullende inhoudelijke input voor de studie en het geven van feedback op tussenresultaten in tussentijdse bijeenkomsten. In het proces is tevens de achterban van de PBE en NBKL betrokken voor het aanleveren van marktspecifieke informatie. Daarmee is getracht een rapportage te genereren met optimale relevantie, correctheid en draagvlak binnen het beschikbare budget.

In het project is gestart met het maken van een inventarisatie van karakteristieke marktsectoren. Dit is gedaan door combinatie van beschikbare statistische gegevens uit diverse bronnen over warmtevragen, informatie van leveranciers van biomassaketels, etc.

De relevante bedrijfsparameters en de daaruit volgende systeemkeuze met technische en bedrijfseconomische parameters zijn afgeleid uit statistische informatie en specifieke cases, dit betreft volgordelijk:

- Het aantal gebruikers per sector, de totale warmtevraag en gemiddelde warmtevraag per gebruiker.
- De afhankelijkheid van de warmtevraag per gemiddelde gebruiker van buitentemperatuur en het aantal vollasturen warmte dat normaliter wordt gevraagd bij dimensionering op een buitentemperatuur van -15 °C
- De benodigde thermische capaciteit van een biomassagestookte ketelinstallatie (en bij een wkk installatie daaruit volgende elektrische capaciteit) welke op een buitentemperatuur van -3°C wordt gedimensioneerd, waarbij is aangenomen dat de bestaande warmteproducerende installatie op de achtergrond aanwezig blijft als backup/piek voorziening.
- Het aantal vollasturen waarmee een biomassagestookte ketel of wkk kan worden bedreven, gegeven de opbouw van de warmtevraag en gekozen dimensionering
- Aan de schaalgrootte en aantal vollasturen gekoppelde keuze voor het type brandstof (pellets, houtsnippers of shreds) met bijbehorende kwaliteit en prijs
- De gevraagde wijze van warmtelevering (warm water, stoom)
- De investeringskosten van de gekozen installatie,
- De vaste en variabele kosten van bedrijfsvoering
- De financieringsstructuur en het door de investeerder vereiste projectrendement
- De inkoop- of productiekosten in de bestaande situatie (marktprijs) in Euro/kWh
- De onrendabele top (Euro/kWh) ten opzichte van de huidige situatie
- De productiekosten incl. winstmarge (Euro/kWh)

Er is een uitgebreid analysemodel opgesteld om bovenstaande informatie samen te voegen en te analyseren. Dit model berekent tevens de kostprijs van de geproduceerde energie bezien vanuit het oogpunt van de investeerder, de vermeden kosten van de inkoop of opwekking van energie en het verschil tussen beide, uitgedrukt als de onrendabele top in Euro/kWh. In deze analyse wordt de invloed van de SDE+ regeling nog niet meegenomen.

Tenslotte wordt beschouwd in hoeverre de voor 2017 aangekondigde SDE+ regeling leidt tot een voor het marktsegment acceptabele terugverdientijd. Op deze wijze ontstaat inzicht in de vraag of biomassagestookte ketels of wkk installaties voor een gemiddelde afnemer in een marktsegment voldoende aantrekkelijk zijn, zodat het technische potentieel ook economisch haalbaar kan worden gerealiseerd.

2 Werkwijze

Het project beoogt een zo compleet mogelijk beeld te schetsen van de toepassingsmogelijkheden en economische condities waaronder bioketels en bio-wkk's kunnen opereren.

Hiertoe is begonnen met het inventariseren van de meest kansrijke sectoren voor toepassing van bioketels en bio-wkk. Vervolgens is aan de hand van openbaar beschikbare informatie van CBS, LEI, ECN en andere bronnen een overzicht samengesteld van de warmtevraag in diverse sectoren. In de analyse wordt per sector gekeken wat de typische warmtevraag is qua volume, capaciteit, aantal vollasturen en temperatuurniveau van de benodigde warmtelevering.

2.1 Beschikbaarheid van data

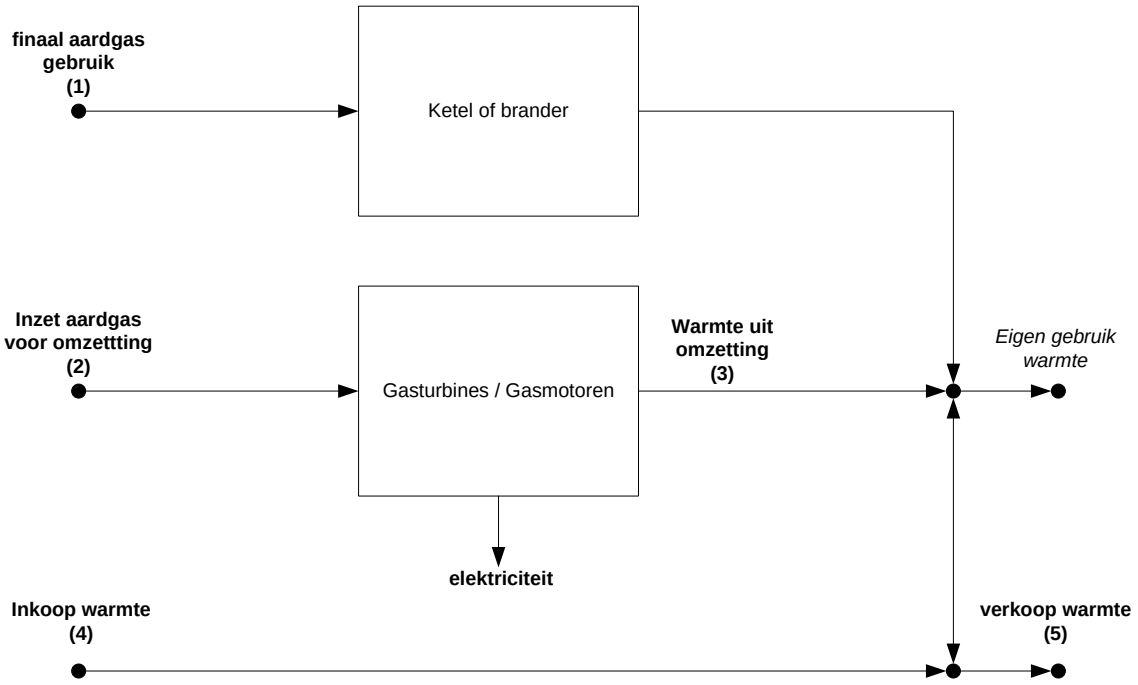
Een belangrijk deel van de analyse is gedaan door combinatie van verschillende bronnen. De belangrijkste worden hieronder kort toegelicht.

2.1.1 CBS

Gegevens van het geaccumuleerde energiegebruik per SBI code zijn beschikbaar via CBS Statline. Daarbij publiceert het CBS verschillende relevante gegevens (zie ook Figuur 2.1):

1. Finaal gasverbruik voor energie (gestookt in gasketels of direct gestookte branders voor bijvoorbeeld rooster- of bakprocessen)
2. Gasverbruik voor omzetting naar een andere energiedrager. Hieronder valt aardgas wat wordt ingezet in gasmotoren en gasturbines.
3. Warmteproductie uit omzetting. Dit betreft de hoeveelheid warmte welke wordt geproduceerd uit gasmotoren en gasturbines
4. De hoeveelheid bij derden ingekochte warmte
5. De hoeveelheid aan derden geleverde warmte

In de uitgevoerde analyse is het totale warmteverbruik per afnemer bepaald door de som te nemen van de berekende warmteproductie uit ketels (afgeleid uit het finale gasverbruik per afnemer (1) en een aangenomen ketelrendement van 90%), (2) de inzet van gas voor omzetting naar warmte en elektriciteit (2, 3) en het saldo van de warmteafname minus levering aan derden (4) – (5). Door combinatie van deze gegevens met het aantal bedrijven per sector konden per subsector gemiddelde warmtevragen worden afgeleid.



Figuur 2.1 Gehanteerde methode voor het bepalen van het eigen gebruik van warmte per sector uit CBS statistieken.

2.1.2 MJA3 gegevens

Vanuit gegevens over de voortgang van de Meerjarenafspraak energie-efficiency 3 (MJA3[1]) bij RVO zijn aanvullende, geanonimiseerde gegevens verkregen van de energievraag bij 291 grotere verbruikers in de VGI sector.

Alhoewel de sectorindeling en het aggregatieniveau niet exact overeenkomen met de SBI indeling van CBS, kunnen toch relaties tussen beide bronnen worden gelegd. Slechts 291 van de 4765 bedrijven in de VGI sector (6%) vallen onder de MJA afspraak, maar hiermee wordt wel het merendeel van het gasverbruik meegenomen zoals onderstaande tabel laat zien. Dit betekent dat voor de verduurzaming het goed te verantwoorden is om de analyse vooralsnog te beperken tot de MJA3 bedrijven. In overleg met de klankbordgroep is deze aanpak dan ook zo besloten.

[1] Nederlandse bedrijven hebben met de overheid afgesproken hoeveel energie ze zullen besparen tot 2020. De uitgangspunten hiervoor zijn vastgelegd in de Meerjarenafspraken energie-efficiëntie (MJA3/MEE), oftwel de energieconvenanten. De afspraken krijgen concreet vorm in de Energie-efficiëntieplannen (EEP's), die elke 4 jaar worden opgesteld. Elk jaar bekijken overheid en bedrijfsleven of de energiebesparing op koers ligt.

Tabel 2.1 Vergelijking tussen aardgasgebruik in 2015 volgens CBS en uit de MJA3 deelnemers

CBS sector	Aantal	inzet aardgas (PJ)			Waarvan bij MJA3 deelnemers	Aantal	PJ aardgas
		ketels	wkk	totaal			
101 Slachterijen en vleeswarenindustrie	550	2,4		2,4	Vleesverwerkende industrie	51	1,1
103 Groente-, fruitverwerkende industrie	150	6,1	1,3	7,4	Aardappelverwerkende industrie	15	6,5
					Groenten- en fruitverwerkende industrie	19	1,2
104 Spijsoliën- en -vettenindustrie e.d.	40	2,6	4,6	7,2	Margarine-, vetten- en oliënindustrie	18	7,2
105 Zuivelindustrie	300	14,6	2,9	17,5	Zuivelindustrie	52	12,4
106 Meelindustrie	110	1,9	4,8	6,7	Meelfabrikanten	5	0,2
108 Overige voedingsmiddelenindustrie	3.220				Cacaoindustrie	6	1,2
					Koffiebranderijen	10	0,3
					Koel- en vrieshuizen	80	0,1
109 Diervoederindustrie	175	2,6	0,2	2,8	Diervoeder industrie	72	1,2
11 Drankenindustrie	215	1,4	1,8	3,2	Frisdranken, Waters en Sappen	9	0,5
					Bierbrouwerijen	5	2,1
Totaal	**4.765**	**41,8**	**20,0**	**61,8**		**291**	**34,0**

2.1.3 Agrimatie.nl

Het LEI karakteriseert al jaren de opbouw van productiekosten van verschillende landbouwsectoren in de zgn. landbouwtelling, deze wordt gepubliceerd op www.agrimatie.nl [1]. De inventarisatie geeft complementaire gegevens aan het CBS over gasverbruik per sector en het aantal bedrijven, welke slechts informatie geeft voor de totale categorie landbouw. Op deze wijze kan een gemiddeld gasverbruik per bedrijf worden bepaald. Uit de landbouwtelling zijn de volgende bedrijfssectoren nader onderzocht:

- Kalvermesterijen
- Varkensbedrijven
- Zeugenbedrijven
- Vleesvarkensbedrijven
- Leghennenbedrijven
- Vleeskuikenbedrijven
- Akkerbouwbedrijven
- Glastuinbouw: groentebedrijven
- Glastuinbouw: snijbloemenbedrijven
- Glastuinbouw: pot- en perkplantenbedrijven

2.1.4 ECN analyse van utiliteitsgebouwen

Voor de sectoren winkels, kantoren en andere utiliteitsgebouwen heeft ECN recentelijk een analyse gemaakt van het gasverbruik per subcategorie, met daarbij ook informatie over de onderlinge spreiding in verbruik tussen afnemers [36]. De analyse is tot stand gekomen door koppeling van gegevens van de Basisadministratie Adressen en Gebouwen (BAG), Handelsregister en CBS. Voor 24 verschillende gebouwtypen binnen de dienstensector en voor bedrijfshallen in 12 onderscheiden industriële

sectoren worden de typische warmte- en elektriciteitsbehoefte in kaart gebracht, naast een statistische verdeling van gebouwgrootte. Deze gegevens zijn gebruikt om per sector een indruk te krijgen van het mogelijke potentieel aan biomassaketels > 500 kW en de schaalgrootteverdeling in capaciteiten.

2.1.5 Emissiehandelssysteem (ETS)

De Nederlandse deelnemers in het Europese Emission Trading Scheme (ETS) zijn verplicht om jaarlijks hun CO_2 uitstoot door te geven. De totaalresultaten zijn openbaar beschikbaar. Terwijl de CO_2 uitstoot bij een aantal sectoren grotendeels wordt veroorzaakt door niet-energiegerelateerde procesemissies (bijv. bij de productie van kunstmest en ethanol) wordt bij de meeste sectoren de CO_2 uitstoot vooral veroorzaakt door de verbranding van aardgas. In dergelijke gevallen kan het gasverbruik worden afgeleid uit de CO_2 uitstoot. Door aanvullende inzichten over de wijze waarop aardgas in de betreffende sectoren wordt ingezet, kan op deze wijze een globale indruk worden verkregen van de warmtevraag.

2.1.6 SDE jaarrapportages

Vanuit de SDE desk is geanonimiseerde informatie ontvangen over de productie van warmte en elektriciteit uit biomassagestookte installaties bij bedrijven die deze installaties nu al in bedrijf hebben en welke verplicht zijn jaarlijks hun gerealiseerde productie op te geven. Dit betreft 19 bioketels en 14 wkk's. De verstrekte informatie bevat tevens informatie over de capaciteit van de installatie, zodat het aantal vollasturen valt af te leiden (zie hieronder). Uit de analyse zijn zes installaties weggelaten, dit betreft bijvoorbeeld piekketels op vloeibare biomassa (biodiesel) en ketels welke worden gestookt op dierlijke vetten.

Tabel 2.2 Variatie in kenmerken van reeds gerealiseerde bioketels en bio-wkk's welke thans onder de SDE regeling worden bedreven [27].

	bioketel			biowkk		
	min	**gem**	**max**	**min**	**gem**	**max**
therm vermogen (MW)	0,5	2,3	44,0	1,4	13,9	52,4
electr vermogen (MW)	0	0	0	0,20	4,26	30,50
vollasturen	1.026	3.738	7.000	1.679	2.872	5.247

2.2 Data van marktpartijen over specifieke cases

Door ook individuele leveranciers, gebruikers van bioketels en andere direct betrokkenen te bevragen voor het onderzoek, kon aanvullende informatie uit in totaal ca. 60 concrete case studies worden betrokken. Dit betrof informatie over de typische inzet van warmte, met name de verdeling van de warmtevraag over ruimteverwarming en proceswarmte, de stooktemperatuur (de buitentemperatuur waarboven er geen

vraag meer is naar ruimteverwarming) en de tijdsfractie waarin er vraag is naar warmte. Ook zijn zo investeringskosten en operationele kosten van typische cases verkregen.

Met deze hierboven genoemde informatie is het mogelijk gebleken om per sector een gefundeerde inschatting te maken van de typisch benodigde schaalgrootte van bioketels, het aantal vollasturen, kosten van de inkoop van biomassa en vermeden inkoopkosten voor aardgas (zie 2.3). De (tussen)resultaten zijn besproken met een klankbordgroep, bestaande uit vertegenwoordigers van RVO, de NBKL en Platform Bioenergie (zie Appendix 1).

2.3 Bepaling van essentiële bedrijfsparameters per sector

Aan de hand van bovenstaande informatie is getracht per sector een consistent beeld te schetsen van de warmtevraag voor de totale sector en per afnemer.

2.3.1 Vollasturen en thermische capaciteit

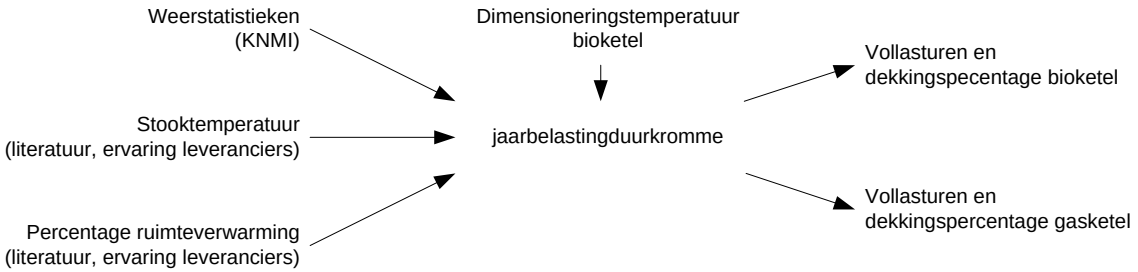
De gehanteerde methode om te komen tot een optimaal thermisch vermogen en aantal vollasturen per typische afnemer in een sector is als volgt

1. Eerst wordt per sector bepaald welk volume van de jaarlijkse warmtevraag typisch wordt gebruikt voor proceswarmte en welk deel voor ruimteverwarming.
2. Er wordt bepaald in welke mate de warmtevraag in deeltijd voorkomt, of dat deze continu aanwezig is.
3. Voor de benodigde capaciteit voor proceswarmte wordt eerst bepaald welk deel van de vraag naar proceswarmte daadwerkelijk in te vullen zou zijn met warm water of stoom uit een biomassagestookte ketel of wkk. Daarbij is zijn alleen toepassingen waarbij warmte indirect wordt overgedragen bij een temperatuur tot 300 °C haalbaar zijn (via warm water, stoom, thermische olie of een ander medium). Uitgesloten zijn dus hoge temperatuurprocessen waarbij rookgassen in direct contact kunnen komen met de producten (zoals bij de glas- en metaalindustrie, asfaltproducenten, branderijen voor koffie en cacao etc.)
4. Voor het te vervangen deel van de proceswarmtevraag wordt het jaarvolume (in kWh) gedeeld door het aantal vollasturen dat proceswarmte nodig is. Dit leidt tot de benodigde thermische capaciteit voor de component proceswarmte in de warmtevraag.
5. Voor de karakterisering van de warmtevraag voor ruimteverwarming in een sector wordt eerst vastgesteld vanaf welke buitentemperatuur ruimteverwarming nodig is. Onder deze zgn. stookgrens neemt de gemiddelde warmtevraag voor ruimteverwarming lineair toe met het verschil tussen de stookgrens en de buitentemperatuur [24].
6. Er wordt bepaald tot welke minimale omgevingstemperatuur (de ontwerptemperatuur) een bioketel of bio-wkk nog in de warmtevraag voor ruimteverwarming zou moeten voorzien. Terwijl een gasgestookte ketel meestal wordt ontworpen tot dekking van de capaciteit op -15°C, wordt de capaciteit van een biomassagestookte ketelinstallatie meestal ontworpen tot een omgevingstemperatuur van ca -5 of 0 °C omdat buitentemperaturen beneden

deze waarde sporadisch voorkomen en er meestal toch een gasgestookte backupketel moet komen. In deze studie is een dimensionering op -3 ˚C aangehouden.

7. Uit een combinatie van langjarige klimaatstatistieken met de stookgrens en ontwerptemperatuur en de typische beschikbaarheid van een biomassagestookte installatie kan de jaarbelastingduurkromme voor ruimteverwarming worden afgeleid. Ook geeft dit inzicht in het jaarlijkse dekkingsgraad waarin de bioketel in de vraag naar ruimteverwarming kan voorzien, het aantal vollasturen voor ruimteverwarming en de benodigde capaciteit voor ruimteverwarming.
8. Het totaal benodigde thermische vermogen is de som van de benodigde vermogens voor proceswarmte en voor ruimteverwarming
9. Het totale aantal vollasturen is de ratio van de totale warmteproductie en thermische capaciteit.

De aanpak om te komen tot vollasturen per sector is schematisch samengevat in onderstaand schema.



Figuur 2.2 Werkwijze voor het verkrijgen van vollasturen in de studie

2.3.2 Brandstofkeuze

Uit de analyse uit 2.3.1 volgt de benodigde thermische capaciteit van een bioketel of biowkk en het aantal vollasturen. Afhankelijk van deze gegevens kan vervolgens gekozen worden voor een bepaalde combinatie van biomassabrandstof en verbrandingstechnologie.

In een aantal situaties hebben bedrijven zelf de beschikking over een restproduct uit de eigen bedrijfsvoering, zoals resthout, papierslib, koffiedik, etc. Deze brandstoffen hebben vaak een beperkte of soms zelfs negatieve marktwaarde. In veel gevallen moet brandstof echter op de markt worden ingekocht. In de analyse per sector wordt daarom aangenomen dat een van onderstaande brandstoffen wordt gehanteerd. De keuze hangt dan af van de bedrijfsomstandigheden:

- Houtpellets zijn relatief duur per GJ, maar zijn naar verhouding schoon, zeer uniform van aard en makkelijk te handlen. Dit maakt het mogelijk om pelletverbranding betrouwbaar uit te voeren in relatief eenvoudig uitgevoerde ketels waarvan de investeringskosten beperkt blijven. Dit is belangrijk in

situaties waarbij sprake is van relatief weinig vollasturen en bij toepassing op relatief kleine schaal, waar economy-of-scale andere ketels te duur maakt. Ook zijn houtpelletgestookte ketels makkelijker in te passen op industrie-sites waar de beschikbare ruimte beperkt is. Houtpelletgestookte ketels zijn verkrijgbaar vanaf ca. 10 kW. Voor deze kleine schaal betreft het meestal ENplus pellets van klasse A1. De grotere ketels vanaf ca 100 kW kunnen ook worden gestookt met industriële pellets van ENplus klasse A2. Deze zijn goedkoper dan A1 pellets (ca 170 Euro/ton vs ca. 220 Euro/ton) maar hebben een wat hoger asgehalte. Daarnaast is er klasse B beschikbaar, dit zijn industriële kwaliteit pellets met een asgehalte tot 3%. Deze kwaliteit kan bijvoorbeeld worden ingezet voor bij- en meestoken. Verder is er een aparte categorie in de SDE regeling voor stoomproductie uit pellets.

- Shreds afkomstig uit composteeroverloop en van de houtige fractie uit groenafval zijn naar verhouding relatief goedkoop, echter deze vereisen een relatief dure verbrandingsinstallatie welke (vanwege het hoge asgehalte van de brandstof) bovendien hogere operationele kosten kent vanwege asafvoer en slijtage. Dit is daarmee vooral aantrekkelijk voor relatief grote ketels (>5 MW) welk vrijwel volcontinu worden bedreven.
- Houtsnippers afkomstig uit onderhoud van bossen en landschappelijke beplantingen zijn relatief schoon qua samenstelling. Mits de brandstof via ervaren brandstofleveranciers wordt aangeleverd en constant van kwaliteit wordt aangeleverd, is deze goed hanteerbaar in ketelinstallaties vanaf ca. 300 kW. Voor het prijsniveau wordt dezelfde aanname gehanteerd als in het advies voor de SDE+ basisbedragen voor 2017, nl. 50 Euro/ton.

Voor de brandstofeigenschappen en -kosten zijn onderstaande aannames gedaan. Voor de prijzen en eigenschappen van industriële pellets en houtsnippers is aansluiting gevonden bij de richtbedragen in de SDE+ berekeningen. Daarnaast zijn gegevens opgenomen voor shreds en pellets klasse A1, afkomstig uit gesprekken met diverse marktpartijen.

Tabel 2.3 Gehanteerde eigenschappen van beschikbare biomassabrandstoffen

		Pellets ENplus A1	Pellets ENplus A2	snippers	shreds
min. schaal van toepassing	kW	10	100	300	5000
Lower Heating Value	MJ/kg	17	17	9	8
brandstofprijs	Euro/ton ex BTW	220	170	50	35
brandstofprijs	Euro/GJ ex BTW	11,85	8,95	5,00	3,89
Asgehalte typisch	% ds	0,5%[1]	1,2%[2]	3%	7%

[1] de eis in de ENPLUS norm is < 0,7%
[2] de eis in de ENPLUS norm is <1,2%

2.3.3 Kosten van biomassagestookte ketelinstallaties

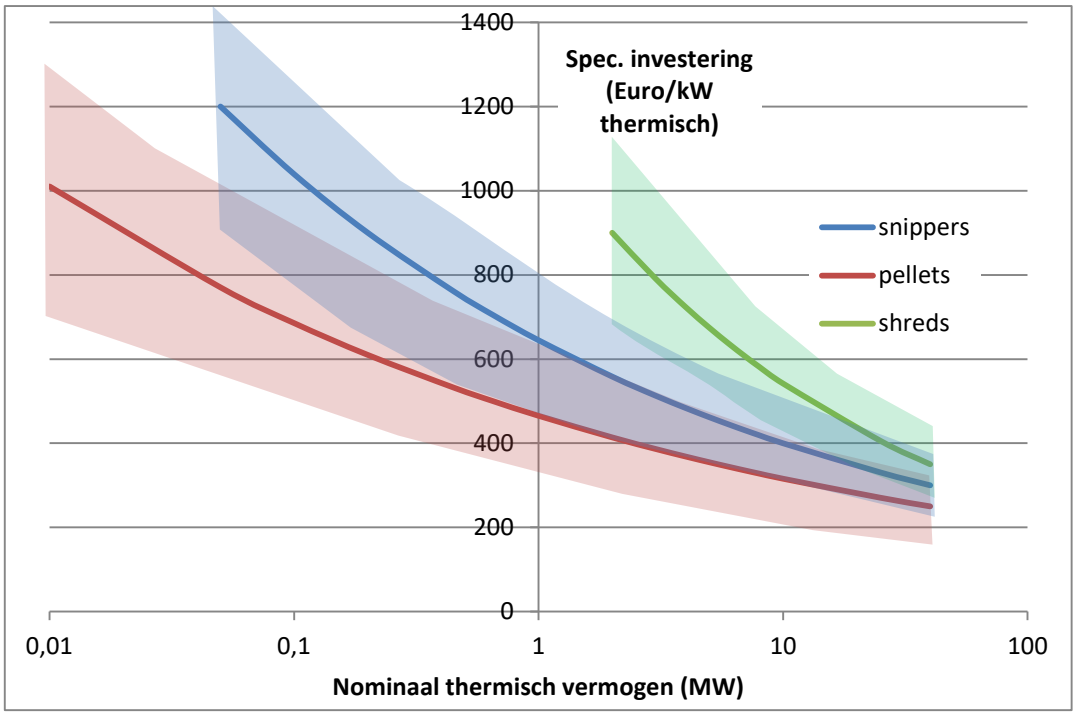
2.3.3.1 Investeringskosten biomassaverbranding

De totale investeringsomvang bestaat uit de volledige biomassagestookte ketelinstallatie, incl. brandstofbunker, brandstoftoevoer, asafvoer, rookgasreinigingsinstallatie, warmtebuffer, hydraulische en regeltechnische inpassing en ketelhuis. Een gasgestookte ketel welke vaak als backup dient is niet meegenomen in de investering, omdat aangenomen wordt dat een biomassagestookte ketelinstallatie aanvullend op een bestaande gasgestookte installatie wordt gerealiseerd welke in de nieuwe situatie als backup en piekvoorziening dient. Op deze wijze wordt alleen bespaard op de inkoop van aardgas, maar niet op onderhoud en afschrijving van de bestaande gasketel.

De investeringskosten in biomassagestookte ketelinstallaties zijn gebaseerd op ervaringsgetallen voor verbrandingsinstallaties voor pellets en houtsnippers uit het ISSO handboek [24], aangevuld met investeringskosten uit recente praktijkcases in Nederland. De getallen zijn afgestemd met een aantal marktpartijen. Uit deze gegevens blijkt een duidelijke afhankelijkheid van de specifieke investeringskosten van de schaalgrootte en het type brandstof, echter met nog steeds een belangrijke onzekerheidsmarge vanwege lokale variaties in bouwkundige eisen, meerkosten voor warmtedistributie, etc. welke kunnen leiden tot ca. 25% hogere of lagere kosten. Dit resulteert in Figuur 2.3.

De waarden in Figuur 2.3 zijn van toepassing voor een complete installatie op basis van een vlampijpketel welke warm water produceert, inclusief ketelhuis, aansluiting van water/electra etc. Indirecte voorbereidingskosten voor de realisatie van een installatie, betreffende de vergunningverleningsprocedure, basic engineering, aanbestedingsprocedures, risico-opslag vanwege doorlooptijden in toelevering van hardwarecomponenten en biomassabrandstof zijn niet meegenomen.

Indien een bioketelinstallatie wordt gebruikt voor de opwekking van processtoom, kan worden aangenomen dat de investeringskosten fors toenemen vanwege de toevoeging van verschillende appendages, waterbehandeling, een groter ketelhuis, etc. Aangenomen is een stijging van ca. 200-300 Euro/kW (gemiddeld 250 Euro/kW) [4].



Figuur 2.3 Specifieke investeringsomvang voor een complete bioketelinstallatie met de geschatte onzekerheidsmarge (Euro/kW)

2.3.3.2 O&M kosten

De kosten van onderhoud en beheer hangen sterk af van de schaalgrootte, het aantal vollasturen en de eigenschappen van de gehanteerde brandstof. Zo is er bij toepassing van shreds met een relatief hoog aandeel as meer sprake van slijtage van verschillende onderdelen dan bij pellets of snippers. Ook leidt deze brandstof tot hogere kosten voor asafvoer dan een houtpelletgestookte installatie.

In de O&M kosten kan onderscheid worden gemaakt tussen vaste en variabele kosten. De **vaste** O&M kosten hangen samen met de gekozen schaalgrootte en het type brandstof. Hieronder vallen o.a. beheer van de installatie, administratie, verzekeringen, etc. Ook bij stilstand van de installatie worden deze kosten gemaakt. Uit een aantal praktijkcases is afgeleid dat deze (afhankelijk van de brandstof) variëren tussen 19 en 34 Euro per kW (zie Tabel 2.4).

De **variabele** O&M kosten hangen samen met verschillende aspecten:

- de kosten van asafvoer: Aangetoond kan worden dat bij 80 Euro/ton afvoerkosten en de in Tabel 2.3 genoemde brandstofeigenschappen, de kosten van asafvoer kunnen uiteenlopen van 0.0001 Euro/kWh bij pellets tot 0.0005 Euro/kWh bij snippers en 0.0014 Euro/kWh bij shreds

- Het eigengebruik van elektriciteit. Bij 2% eigen gebruik van een bioketel op houtsnippers à 0,06 Euro/kWh bedraagt dit 0.0013 Euro per kWh warmte. Bij een bioketel op pellets is het elektriciteitsverbruik enigszins lager (aangenomen is 20%), bij een bioketel op shreds juist hoger vanwege groter uitgevoerde brandstof- en asvoorzieningen (aangenomen is 20% hoger).
- Toename van onderhoudskosten t.g.v. slijtage en andere variabele kosten gerelateerd aan gebruik van de installatie. De variabele kosten van onderhoud worden geschat op 0,0013 Euro/kWh voor pellets, 0,0026 Euro/kWh voor snippers en,0039 Euro/kWh voor shreds.
- Gezamenlijk betekent dit een meerprijs van 0,0025 Euro/kWh voor pellets, 0,0044 Euro/kWh voor snippers en 0,0069 Euro/kWh voor shreds.

Tabel 2.4 Gehanteerde vaste en variabele kosten van bedrijfsvoering en onderhoud

		Pellets A1	Pellets A2	snippers	shreds
Vast O&M	Euro/kW	19	19	28	34
Electriciteitgebruik	Euro/kWh	0.0011	0.0011	0.0013	0.0016
Asafvoer	Euro/kWh	0.0001	0.0003	0.0005	0.0014
Onderhoud	Euro/kWh	0.0013	0.0013	0.0026	0.0039
Totaal variabel O&M	Euro/kWh	0.0025	0.0027	0.0044	0.0069

Uit een vergelijking met de bedragen in de referentie-cases voor de SDE+ (Tabel 1.1) blijkt dat de variabele O&M kosten uit Tabel 2.4 substantieel hoger zijn dan de referentiecases, terwijl de vaste kosten juist aanmerkelijk lager zijn.

2.3.4 Kosten van biomassagestookte wkk's

Voor toepassingen met relatief veel vollasturen en een substantiële warmtevraag kan in plaats van een biomassagestookte ketel worden gekozen voor een biomassagestookte wkk-installatie. De referentietechnologieën hiervoor zijn stoomturbines en ORC's. Volgens een analyse uit het Europese Basis Bioenergy project [3] waren er in 2014 630 biomassagestookte wkk installaties in Europa. Daarvan zijn er volgens opgave van Turboden ca 250 ORC installaties, de overige 380 is bijna volledig gebaseerd op stoomturbines.

In dit onderzoek wordt de kostprijs van energieopwekking van wkk voor verschillende marktsegmenten vergeleken met de vermeden inkoop van energie. Het verschil tussen beide leidt tot een onrendabele top. Door vergelijking van deze onrendabele top met die van een bioketel bij hetzelfde marktsegment kan een kosteneffectieve keuze worden gemaakt. In de analyse wordt ervan uitgegaan dat de installatie is ontworpen voor houtsnippers, omdat dit de meest gangbare brandstof is.

2.3.4.1 Investeringskosten

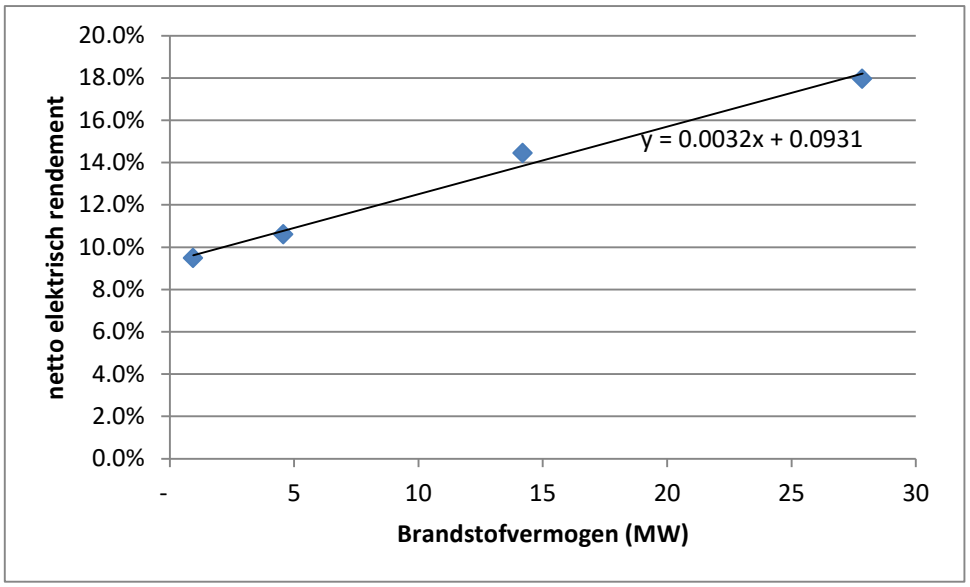
De typische investeringskosten en de O&M kosten voor bio-wkk's zijn afgeleid uit Obernberger et. al. [31]., waarin de techno-economische parameters van drie typische praktijkcases op verschillende schaalniveaus met typische bio-wkks op basis van ORC technologie en stoomsystemen in detail worden beschreven, zoals in Tabel 2.5 weergegeven. Daaraan is de optie van wkk door middel van een stoomturbine op een schaalgrootte van 600 kW_e/4,6 MW_{th} toegevoegd uit een praktijkcase in Nederland.

Genoemd moet worden dat het in principe altijd technisch mogelijk is om afwijkende stoomcondities te nemen zodat een hoger of lager elektrisch rendement wordt bereikt, echter dit leidt niet altijd tot een betere economische haalbaarheid omdat tegenover een hogere elektriciteitsproductie ook hogere investeringskosten staan. Door schaaleffecten in de investeringskosten ligt het optimum voor grotere installaties ook bij meer efficiënte elektriciteitsopwekking dan bij kleinere installaties.

Tabel 2.5 Technische kenmerken van bio-wkks op drie schaalgrootten. Bron: [31] en eigen informatie.

Parameter	Unit	ORC [31]	stoomturbine	ORC [31]	Stoomturbine [31]
brandstofinput	kW	950	4.580	14.200	27.860
bruto vermogen elektrisch	kW_e	130	600	2.400	5.700
netto vermogen elektrisch	kW_e	90	485	2.050	5.000
netto vermogen thermisch	kW_{th}	660	3.300	9.580	17.000
netto vermogen totaal	kW	750	3.785	11.630	22.000
bruto elektrisch rendement	%	13,7%	13,1%	16,9%	20,5%
Netto elektrisch rendement	%	9,5%	10,6%	14,4%	17,9%
Thermisch rendement	%	69,5%	72,1%	67,5%	61,0%
netto totaal rendement	%	78,9%	82,6%	81,9%	79,0%

Uit deze kenmerken kan worden geconcludeerd dat het redelijk is te veronderstellen dat een bio-wkk een netto totaalrendement heeft van ca 80%, waarbij de verdeling tussen warmte en elektriciteit afhangt van de schaal zoals in Figuur 2.4 aangegeven.



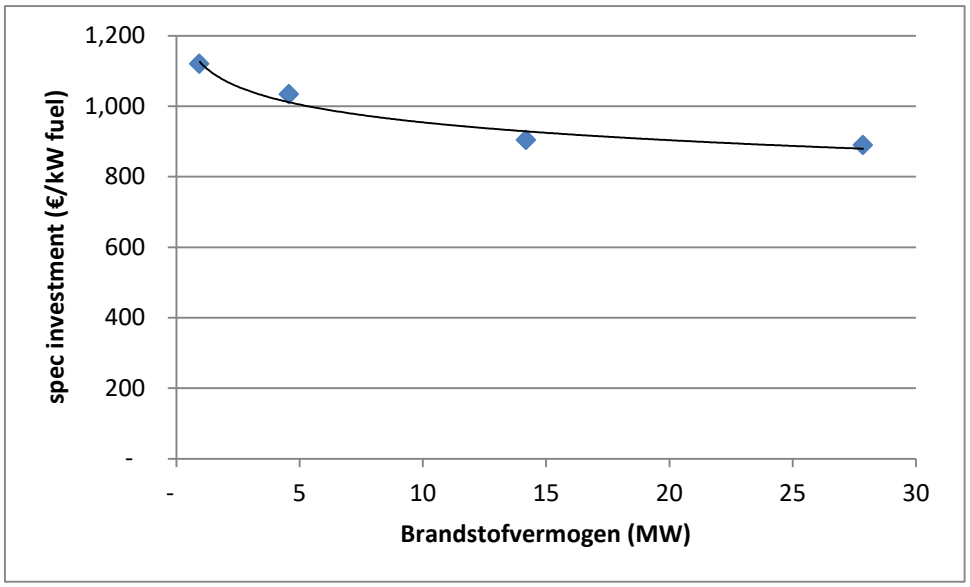
Figuur 2.4 Netto elektrisch rendement als functie van het brandstofvermogen. Bron: [31] en eigen informatie.

De bijbehorende investeringsopbouw van deze installaties is weergegeven in Tabel 2.6. Dit betreft de totale investering, incl bouwkundige zaken, netaansluiting etc. Uit de tabel blijkt dat de specifieke investering ca. 1100 Euro per kW brandstofinput betreft.

Tabel 2.6 Investeringskosten (Euro ex BTW) voor bio-wkk op drie schaalgrootten. Bron: [31] en eigen informatie.

		ORC [31]	stoomturbine	ORC [31]	Stoomturbine [31]
Civil works and infrastructure	€	20.000	500.000	1.960.000	4.710.000
Furnace and boiler	€	137.000	3.982.000	4.110.000	8.760.000
Flue gas cleaning	€	30.000		1.030.000	600.000
Ash container and conveyor	€	20.000		100.000	140.000
Heat recovery	€	-		80.000	-
Fuel conveyor	€	50.000		440.000	1.200.000
Electric installations	€	-		900.000	700.000
Hydraulic installations	€	30.000		410.000	2.040.000
Steelworks	€	-		330.000	-
CHP module (incl. generator, grid connection, transformer)	€	555.000		2.360.000	2.910.000
Planning	€	16.000	200.000	550.000	1.000.000
Fuel storage unit	€	500		440.000	1.050.000
Other investment costs	€	1.500	50.000	120.000	1.660.000
Investment costs CHP	€	860.000	4.732.000	12.830.000	24.770.000
Specific investment costs CHP	€/kW$_e$	9.556	9.758	6.259	4.954
	€/kW$_{fuel}$	1.119	1.033	904	889

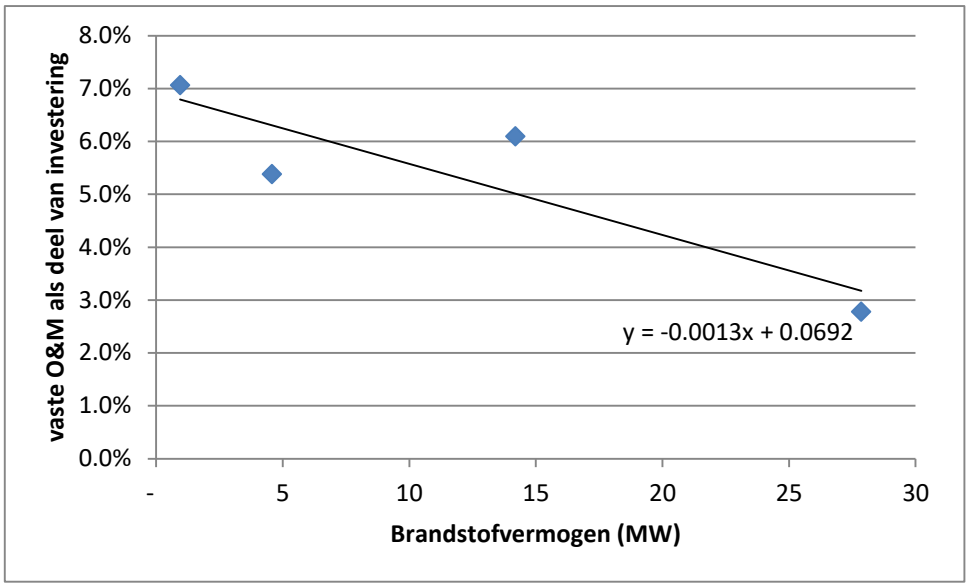
De hieruit afgeleide relatie tussen schaalgrootte en specifieke investeringskosten is weergegeven in Figuur 2.5.



Figuur 2.5 Specifieke investeringskosten als functie van het totaal opgestelde brandstofvermogen (Euro/kW$_{fuel}$). Bron: [31] en eigen informatie.

2.3.4.2 O&M kosten

Net als bij biomassagestookte ketels hangen de O&M kosten samen met vaste kosten voor personeel en onderhoud en variabele kosten voor inkoop van brandstof en afvoer van as. De **vaste** O&M kosten van de vier genoemde wkk installaties zijn weergegeven in Figuur 2.6.



Figuur 2.6 Vaste O&M als percentage van de investering voor 4 praktijkinstallaties als functie van het brandstofvermogen. Bron: [31] en eigen informatie.

De **variabele** O&M kosten bestaan uit inkoop van brandstof en afvoer van as en kunnen worden bepaald aan de hand van de in Tabel 2.3 genoemde eigenschappen en prijzen voor snippers. Bij een wkk-installatie is het eigen elektriciteitsverbruik van de installatie al meegenomen in het verschil tussen bruto en netto elektriciteitsproductie.

2.3.5 Kosten van warmtedistributie

Voor de meeste bedrijfssectoren wordt aangenomen dat de bioketel of bio-wkk collectief warmte levert op een locatie waar deze ook al wordt opgewekt in de huidige situatie. Een uitzondering vormt de mogelijkheid om een nieuw warmtenet te realiseren voor stadsverwarming, waarbij een nieuwe infrastructuur dient te worden aangelegd om bestaande individuele kleinverbruikers aan te sluiten, zie ook 3.5.1. De investeringskosten in warmtetransport en –distributie kunnen sterk verschillen per situatie en zijn typisch van dezelfde ordegrootte als een bio-energiecentrale. Voor de kosten van warmtedistributie wordt aangesloten bij een recente evaluatie van kosten van warmtedistributie bij biomassagestookte netten in IEA Bioenergy [30].

2.3.6 Rendementseisen en financieringsstructuur

Voor de berekeningen van kapitaalslasten incl. rendementeis is uitgegaan van dezelfde financieringsstructuur en rendementseis als welke wordt aangenomen in de SDE regeling (Tabel 1.2). Aangetoond kan worden dat deze gelijkwaardig zijn aan een simpele terugverdientijd van 9,2 jaar.

In de praktijk kunnen er echter aanzienlijke verschillen optreden in rendementseis en financieringsstructuur tussen verschillende toepassingen van bio-energie. Zo nemen gemeenten voor duurzame investeringen soms genoegen met een terugverdientijd van

8-12 jaar terwijl productiebedrijven vaak slechts 2-3 jaar hanteren omdat een investering in een duurzame energievoorziening niet hoort bij de kerntaken van een productiebedrijf [13]. Voor dergelijke investeringen in MJA3 sectoren kan worden aangenomen dat een terugverdientijd van 5 jaar tevredenstellend zou moeten zijn, omdat wordt geacht dat bedrijven in het MJA convenant alle investeringen in energiebesparing en duurzame energie met een maximale terugverdientijd van 5 jaar zouden moeten realiseren.

Omdat bij bioketels en bio-wkk de kapitaalslasten een aanzienlijk aandeel uitmaken van de totale productiekosten, is ook de integrale kostprijs voor een belangrijk deel afhankelijk van de rendementseisen op de investering. Om deze reden wordt na de presentatie van de resultaten een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de rendementseisen.

2.3.7 Totale productiekosten per sector

Voor het onderhavige project is een specifiek rekenmodel ontwikkeld wat laat zien wat de kosten zijn van toepassing van een biomassagestookte ketelinstallatie of wkk-installatie bij typische gebruikers in verschillende marktsegmenten. Het model dimensioneert aan de hand van een karakteriseerde warmtevraag wat de thermische capaciteit van een typische bioenergieinstallatie in de betreffende sector zou moeten zijn en doet een voorstel voor een te gebruiken brandstof (pellet, snippers of shreds) op basis van de capaciteit in het geval van een bioketel. Deze brandstofkeuze is door de gebruiker van het model aan te passen, omdat het in sommige gevallen bij een beperkt aantal vollasturen vanwege de substantieel lagere kapitaalslasten toch aantrekkelijker is om bijvoorbeeld over te schakelen van snippers naar pellets.

De optelsom van de hierboven genoemde financieringskosten incl. winstopslag, brandstofkosten en O&M kosten bepalen de kostprijs van de warmte- en evt. elektriciteitsopwekking, equivalent aan het basisbedrag in de SDE regeling.

2.3.8 Vermeden kosten van warmte- en elektriciteitsopwekking per sector

Met de realisatie van een bioketel of biowkk kan een investeerder besparen op de inkoop van aardgas en of elektriciteit. In het geval warmte uit een conventionele gasketel en (bij een biowkk) inkoop van elektriciteit uit het openbare net wordt verdrongen, hangen de vermeden kosten o.a. af van de vermeden kosten van inkoop van aardgas en evt. elektriciteit (levering en gestaffelde energiebelasting + ODE). Daarbij zijn de EB en ODE tarieven van 2016 genomen, de bedragen van 2017 waren bij het schrijven van dit rapport nog niet beschikbaar. Het rekenmodel bepaalt aan de hand van de ingegeven referentiesituatie hoeveel kosten voor de inkoop van aardgas en evt. elektriciteit hiermee worden vermeden.

Verdringing van een aardgasgestookte wkk leidt tot verdringing van aardgas waarover geen energiebelasting wordt betaald. Daarnaast zal het ook leiden tot verminderde stroomproductie uit deze wkk, ofwel een toename van de stroominkoop. Het model neemt dit effect eveneens mee in de berekening van de vermeden kosten. Uit het

verschil tussen productiekosten en vermeden kosten per kWh volgt de onrendabele top in Euro per kWh.

In de berekeningen wordt aangesloten bij de in de SDE+ regeling gehanteerde voorlopige marktindices voor gas en elektriciteit voor 2017 van 0,0160 Euro/kWh voor gas (0,1563 Euro/m^3 ex BTW) en 0,0319 Euro/kWh voor elektriciteit.

2.4 Huidige stimulering vanuit de SDE+ regeling

In de SDE+ methodiek worden van de marktindices voor gas en elektriciteit (TTF en APX) correctiebedragen afgeleid, afhankelijk van de SDE+ categorie.

Voor ketels tussen 0,5 en 5 MW (per 2017 aangepast):
$correctiebedrag\ warmte\ klein = (TTF + Energiebelasting + ODE_{170.000..1.000.000})/90\%$

Voor ketels groter dan 5 MW en stoom uit pellets:
$correctiebedrag\ warmte\ groot = (TTF) * 70\%$

Voor bio-wkk installaties < 100 MW_e:

$$corr.bedrag\ wkk = \frac{corr.bedrag\ elektriciteit + corr.bedrag\ warmte\ groot * wkk\ verhouding}{1 + wkk\ verhouding}$$

Dit leidt tot de bedragen welke zijn genoemd in Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Stimulering vanuit de SDE2017 regeling bij marktindices voor gas en elektriciteit voor 2017 van 0,0160 Euro/kWh voor gas (0,1563 Euro/m^3 ex BTW) en 0,0319 Euro/kWh voor elektriciteit

SDE categorie		**0.5-5MW**	**>5 MW**	**pellets voor stoom**	**wkk < 100 MWe**
categorie voor correctiebedrag		warmte,klein	warmte,groot	warmte,groot	wkk
Hantering EB, ODE en wkk correctiefactor		EB + ODE 0,17-1 mio m^3	Geen EB+ODE	Geen EB+ODE	wkk-factor 2.99
basisprijs	Euro/kWh	0.028	0.012	0.012	0.014
correctiebedrag bioketel	Euro/kWh	0.029	0.012	0.012	0.015
basisbedrag 2017	Euro/kWh	0.055	0.043	0.062	0.053
stimulering	Euro/kWh	0.026	0.031	0.050	0.038
vollasturen		3,000	7,000	7,000	7500

Opgemerkt wordt dat de werkelijke besparing in de praktijk anders kan zijn dan het correctiebedrag. Zo wordt voor de categorie 0,5-5 MW aangesloten bij de categorie 'warmte-klein, waarbij aangenomen wordt dat aardgas wordt vermeden in een afnamevolume tussen 170.000 en 1.000.000 m^3 gas. Dit resulteert in een voorlopig correctiebedrag van 0,029 Euro/kWh. In werkelijkheid kan het zijn dat een besparing in de inkoop van aardgas ook over de EB- en ODE tranche van 0-170.000 m^3 gas valt, zodat de werkelijke besparing hoger is dan het correctiebedrag aangeeft. Er kan eenvoudig worden aangetoond dat bij dezelfde marktindex voor gas en ketelrendement de vermeden kosten van inkoop van gas kunnen uiteenlopen tussen 25 en 53 Euro/MWh ex BTW, afhankelijk van de schaalgrootte en het aantal vollasturen. Dit is

substantieel hoger dan het voorlopige correctiebedrag van 29 Euro per MWh. Een initiatiefnemer zal in dat geval eerder geneigd zijn te investeren. Omgekeerd kan het echter ook voorkomen dat met een bioketel tot 5 MW geen gasgestookte ketel maar een gasgestookte wkk wordt verdrongen, waarvan de vermeden kosten juist substantieel lager zijn dan het geldende correctiebedrag. In dat geval zou een initiatiefnemer juist minder snel geneigd zijn te investeren in een biomassagestookte ketel.

In de totstandkoming van correctiebedragen voor warmteproductie in bioketels > 5 MW wordt aangenomen dat restwarmte uit bijvoorbeeld een gasmotor wordt verdrongen, met een kostprijs van 70% van de TTF ofwel 12 Euro/MWh. Het kan echter zijn dat in werkelijkheid met een dergelijke bioketel warmte uit een gasketel wordt vermeden waarop wel degelijk EB wordt vermeden. De vermeden kosten kunnen dan substantieel hoger zijn dan het correctiebedrag uit de SDE+ systematiek en de business case ziet er juist beter uit.

Tenslotte wordt bij plaatsing van een bio-wkk installatie aangenomen dat er warmte uit een gasgestookte ketel en van het net ingekochte elektriciteit wordt verdrongen. In werkelijkheid kan het zo zijn dat er (deels) warmte en elektriciteit uit een gasmotor wordt verdrongen. De vermeden kosten zijn dan in werkelijkheid lager dan verondersteld vanuit de SDE+ systematiek.

In de onderhavige analyse is per sector bepaald welke besparing in het typische geval wordt gerealiseerd door toepassing van een bioketel of biowkk, uitgaande van de typische wijze van warmteopwekking en hiervoor verbruikte hoeveelheid aardgas. Hiervoor is o.a. CBS data gebruikt (zie 2.1.1). De vermeden kosten kunnen voor een investeerder in werkelijkheid zowel gunstiger als minder gunstig uitpakken dan het voorlopige correctiebedrag uit de SDE+ regeling.

3 Kenmerken per sector

Dit hoofdstuk beschrijft de kenmerken van de warmtevraag voor de meest kansrijke sectoren, op basis waarvan de haalbaarheid onderzocht kan worden.

3.1 Land- en tuinbouw

Binnen de land- en tuinbouw zijn er een aantal sectoren welke aanzienlijke hoeveelheden warmte vragen en bewezen kansen hebben voor energie uit biomassa. Volgens CBS waren er in de landbouw in 2015 1626 houtgestookte ketels in gebruik met een totaal opgesteld vermogen van 200 MW. Verweg de meeste hiervan zijn relatief kleine ketels tot 100 kW.

3.1.1 Glastuinbouw

Binnen de glastuinbouw in Nederland wordt jaarlijks ca. 3,1 miljard m^3 gas verstookt voor het verwarmen van de kassen en het handhaven van de juiste vochthuishouding [1]. Ongeveer 60% hiervan wordt ingezet in de teelt van groenten (paprika, tomaat, komkommer e.d.), 28% bij snijbloemen en de resterende 14% voor de teelt van pot- en perkplanten. Ook per bedrijf is de teelt van groenten het meest energie-intensief.

Het opgesteld vermogen aan gasmotoren bedraagt nu ruim 3.000 MW_e, hiermee wordt ca 2/3 van het totale areaal glastuinbouw verwarmd [23]. Het resterende areaal wordt verwarmd met gasgestookte ketels en door middel van restwarmte van bedrijven.

De warmtevraag bij groentebedrijven, snijbloementeelt en pot- en perkplantenbedrijven is afgeleid van statistieken over het gasverbruik van LEI over 2014[1]. Aangenomen dat er gemiddeld verwarmd wordt tot een buitentemperatuur van 20 °C en bioketels worden gedimensioneerd op een buitentemperatuur van -3 C, is er een potentieel van 4.546 MW, waarbij de grootste ketels kunnen worden toegepast bij de groentebedrijven (gem 2.64 MW).

Tabel 3.1 Karakterisering van de warmtevraag in de glastuinbouw

	Warmte-vraag	aantal bedrijven	warmtevraag	aantal vollasturen	gem vermogen	totaal vermogen
	PJ		GJ per bedrijf	uur/jaar	kW	MW
Groentebedrijven	36,08	990	36.443	3.738	2.641	2.615
Snijbloemenbedrijven	17,82	1140	15.633	3.738	1.133	1.292
Pot- en perkplantenbedrijven	8,82	750	11.760	3.738	852	639
Totaal	62,88	2880	21.834	3.738	1.580	4.546

Onder de glastuinbouwers zijn er een aantal bedrijven met een warmtevraag welke fors hoger is dan gemiddeld. Zo zijn er 31 grotere glastuinbouwers welke een verplichting

hebben om jaarlijks de CO_2 uitstoot te rapporteren voor het ETS. Uit de gegevens wordt geschat dat er bij deze bedrijven met een totale geschatte warmtevraag van 5,8 PJ gemiddeld een biomassaketel van 14 MW zou kunnen staan.

Inmiddels zijn er vanuit de verplichte rapportages i.h.k.v. de SDE regeling enige statistieken beschikbaar van bioketels in de glastuinbouw. Deze zes projecten tussen 0,6 en 5,3 MW laten tussen 3200 en 5400 vollasturen zien.

3.1.2 Slachtkuikens

Bij het houden van slachtkuikens is klimaatbeheersing erg belangrijk. Bij de jonge kuikens is een warme temperatuur gewenst, terwijl bij de zware vleeskuikens de temperatuur vooral niet te hoog mag zijn. Hierdoor is er een in de tijd afnemende warmtevraag nodig, vooral gedurende ca. de eerste 2-3 weken in een cyclus van ca 8 weken, waarbij de stal op ca 25 °C moet worden gehouden [25].

Er zijn 440 vleeskuikenbedrijven in Nederland met een gemiddelde warmtevraag van 970 GJ [1]. Bij dezelfde tijdfractie van 30% waarin ruimteverwarming nodig is tot 22 °C volgt dat het aantal vollasturen wordt geschat op 1270 uur/jaar bij een gemiddeld vermogen van 187 kW. Momenteel wordt al 16% van de warmtevraag ingevuld door houtgestookte ketels [22]

Uit de SDE jaarrapportages [35] blijkt dat er momenteel 24 ketelinstallaties zijn gerealiseerd die vallen onder de SDE regeling tussen 0,5 en 1 MW, met een gemiddelde capaciteit van 650 kW. Deze laten tussen 500 en 2600 vollasturen zien (gemiddeld 1361).

3.1.3 Kalvermesterij

Bij kalvermesterijen is er warmte nodig voor het voorverwarmen van tapwater waarin melkpoeder wordt opgelost. Daarnaast wordt warmte gebruikt voor het verwarmen van het reinigingswater voor de melktank en (in sommige gevallen) ruimteverwarming van de stal tot 18 C en kantoor, woonhuis of bijgebouwen. Geschat wordt dat 50% van de warmte wordt gebruikt voor ruimteverwarming en 50% voor het opwarmen van tapwater gedurende 30% van de tijd, wat resulteert in 1294 vollasturen.

Volgens Blonk et al [21] wordt er ca 25 m^3 gas per kalverplaats gebruikt. Met 847.000 kalveren over 1300 bedrijven betekent dit gemiddeld 463 GJ per bedrijf. Dit resulteert in een gemiddelde bioketelcapaciteit van 47 kW. In de SDE rapportage zijn twee installaties bekend met een capaciteit van 500-650 kW en gemiddeld 1159 vollasturen. Hoeveel installaties er al zijn geplaatst in deze sector welke kleiner zijn dan 500 kW is onbekend.

3.1.4 Varkenshouderijen

Bij varkenshouderijen is er vooral warmte nodig voor verwarming van kraamhokken en bij de biggenopfok, terwijl volwassen vleesvarkens van zichzelf voldoende warmte produceren. Een verwarmingstemperatuur van ca. 23-27 °C is daarbij nodig [20]. De 940 zeugenbedrijven hebben gemiddeld een warmtevraag van 513 GJ, in totaal 0,48 PJ [1].

Uitgaande van een stooktemperatuur van 15 °C volgt een gemiddelde bioketel capaciteit van 48 kW bij 2821 vollasturen. Daarnaast zijn er nog eens 720 gesloten varkensbedrijven met per bedrijf een vergelijkbare warmtevraag (46 kW)

Vanuit de SDE monitoring zijn twee installaties van elk 500 kW bekend met 1468 en 2540 vollasturen[35]. Deze zijn dus aanzienlijk groter qua omvang dan gemiddeld.

Houtgestookte ketel bij varkenshouderij
Bron: Boerderij, 8-10-2015

De fam. Walvoort in Loerbeek (Gld.) heeft sinds 2012 een houtgestookte ketel ter verwarming van de varkensstallen en eigen woning. Deze verbrandt houtsnippers uit de directe omgeving.

De totale investering was € 60.000, waarvan € 30.000 voor de ketel. Daarnaast zijn er kosten gemaakt voor leidingwerk, de behuizing (zeecontainer), de projectvoorbereiding, de aanschaf van machines en de investering in houtopslag. De opslag van houtsnippers gebeurt in twee met vlieszeil afgedekte sleufsilo's en een opslagruimte onder de loods. Met de investering wordt jaarlijks 22.000 tot 24.000 m^3 gas vermeden. De terugverdientijd bedraagt zeven jaar.

3.2 Voedings- en genotmiddelenindustrie

Binnen de VGI sector zijn er veel bedrijven met warmtevragende processen welke volcontinu worden bedreven. Dit betreft vooral processen voor verwarmen en drogen

van (half)fabricaten [16]. Het hoge aantal vollasturen en de relatief grotere capaciteit welke nodig is van de grootte kan het relatief aantrekkelijk maken om over te schakelen van verbranding van aardgas naar biomassa.

3.2.1 Slachterijen en vleeswarenindustrie

De warmtebehoefte van Nederlandse slachterijen en vleeswarenindustrie betreft vooral de varkensketen, waar jaarlijks ruim 1,4 miljoen ton vleesproducten wordt geproduceerd.

De mogelijk door bio-energie te vervangen vraag naar warmte van de slachterijen, uitsnijderijen en vervolgens slagerijen van varkens is samengevat in onderstaande tabel (afgeleid van [19]). Dit betreft het verbruik van aardgas voor de verwarming van proceswater, tapwater en een klein deel ruimteverwarming. Daarnaast wordt er in de slachterijen ca. 200 MJ/ton gebruikt voor afschroeien van haren middels aardgas, dit is niet meegeteld. Vermenigvuldigd met het aantal kg slachtgewicht volgens CBS leidt dit tot een warmtevraag van 2,18 PJ, wat vrijwel overeenkomt met de totale warmtevraag van alle Nederlandse slachterijen volgens CBS .

Tabel 3.2 Karakterisering van de warmtevraag bij slachterijen.

Sector		spec. warmtevraag
Slachterijen excl afbranden haren	413	MJ/ton koud geslacht
Uitsnijderijen	528	MJ/ton koud geslacht
Slagerijen	724	MJ/ton koud geslacht
Totaal	1.660	MJ/ton koud geslacht
Totaal slachtgewicht	1,46	Mton
te vervangen gasverbruik	2,43	PJ
te vervangen warmtevraag	2,18	PJ

Nederland telt momenteel ca 550 slachterijen. Aangenomen dat ca. 10% van de warmte wordt gebruikt voor ruimteverwarming (90% voor proceswarmte) en dat de slachterijen bijna altijd volcontinu werken, betekent dit gemiddeld een bioketel van 150 kW kan worden toegepast, welke vrijwel volcontinu draait.

3.2.2 Groente- en fruitverwerkende industrie

De groente en fruitverwerkende industrie is redelijk divers van aard en kent gemiddeld een tamelijk grote warmtevraag per bedrijf. Er is bij veel bedrijven sprake van een volcontinue warmtevraag van processtoom voor het bewerken van product (bijv. stoomschillen) of het pasteuriseren van het eindproduct na de bewerking. De totale warmtevraag over 150 bedrijven bedraagt volgens CBS 7,2 PJ, ofwel een gemiddelde warmtevraag per bedrijf van 48 TJ of volcontinu 1,5 MW.

Onder deze categorie vallen aardappelverwerkende industrie en overige groente- en fruitverwerkende industrie. Uit een analyse van MJA3 deelnemers blijkt dat 15 aardappelverwerkende bedrijven al 6,5 PJ gas verbruiken, wat overeenkomt met een gemiddelde warmtevraag van 13,3 MW.

Uit een analyse van de 20 bedrijven uit de groente en fruitverwerkende bedrijven die vallen onder de verplichte ETS wordt geschat dat deze bedrijven een warmtevraag hebben tussen ca. 7 en 40 MW per locatie (AVEBE, Aviko, McCain).

Omdat de warmte bij processtoom op een dusdanig temperatuurniveau is dat hiervoor geen gebruik kan worden gemaakt van restwarmte van gasmotoren (ca 200°C), is er meestal sprake van directe verbranding van aardgas voor de productie van relatief lage druk processtoom tot ca 200 °C/15 Bar. Deze warmtevraag kan over het algemeen goed worden vervangen door een biomassaketel welke stoom produceert.

Biomassainstallatie Peka Kroef

Een goed voorbeeld van een toepassing van biomassaverbranding is de installatie van Attero, welke sinds 2015 stoom levert aan de aardappelverwerkingsfabriek van PEKA Kroef in Odilliapeel. Deze ketelinstallatie van 8,7 MW verbrandt ca 27 kton per jaar aan composteeroverloop en de houtige fractie uit groenafval voor de opwekking van 10 ton per uur aan stoom (20 Bar/215°C). De biomassaketel levert de basislast van de fabriek en vervangt daarmee ca. 7 miljoen m3 aardgas per jaar. De warmteproductie van de biomassaketelinstallatie wordt aangevuld met 2 gasketels. De investering bedroeg 7.5 miljoen Euro.

3.2.3 Spijsoliën- en -vettenindustrie e.d.

Volgens het CBS wordt er in de olie- en vettenproducerende industrie in Nederland ca. 7 PJ aan aardgas ingezet voor de productie van margarines, vetten en oliën [7]. De 40 bedrijven hebben gemiddeld een volcontinue warmtevraag van 7,5 MW. 10 productielocaties vallen onder het ETS schema, deze locaties hebben een totaal geschatte warmtevraag van ca 7 PJ welke door bioenergie zou kunnen worden ingevuld, met een warmtevraag van 24 MW per locatie.

De sector kent echter een hoge diversiteit aan productieprocessen, op basis van dierlijke en plantaardige grondstoffen en met een veelvoud aan producten zoals oliën voor voedingsmiddelen, eiwitten voor diervoeder, bulkchemicaliën voor de chemie of biodiesel [5]. De belangrijkste energieverbruikers in de MVO-sector kopen gas in om zelf warmte en elektriciteit op te wekken [28]. Uit een analyse van CBS data blijkt dan ook een relatief hoge penetratiegraad van gasmotoren van 58%.

Verbranding sojahullen bij Cargill

Bij Cargill in Amsterdam wordt jaarlijks ca. 1,4 miljoen ton soja verwerkt tot olie en meel. Er is warmte in de vorm van stoom nodig voor dit proces. Bij het crushen van soja komen sojahullen vrij. Dit is een relatief lastige brandstof vanwege het lage assmeltpunt en het hoge stikstofpercentage. Toch zijn er verbrandingstechnieken beschikbaar welke deze brandstof doelmatig kunnen verwerken. Een installatie verbrandt 550 kg/h aan sojahullen in een poederbrander en produceert hiermee 2.5 MW aan stoom (2.8 ton per uur, 16 Bar) waarmee de conventionele gasgestookte stoomketel (ca 40 tph) enigszins wordt ontlast.

3.2.4 Zuivelindustrie

In de zuivelindustrie wordt warmte gebruikt voor o.a. het pasteuriseren en indampen van diverse stromen. In 2015 werd er 13,3 miljoen ton melk verwerkt door de zuivelindustrie. Hiervan werd 7,4 miljoen ton verwerkt tot kaas, 1,7 miljoen ton tot melkpoeder en de resterende 3 miljoen ton tot consumptiemelk en andere melkproducten. Volgens het Meerjarenplan Energie Efficiency Zuivelindustrie [37] stijgt het energieverbruik geleidelijk omdat verpakkingen kleiner worden en procesapparatuur vaker wordt gereinigd vanwege een bredere diversiteit aan producten. De processtoom die over het algemeen nodig is binnen de sector kan uitstekend worden opgewekt door verbranding van biomassa.

Uit een analyse van CBS data volgt een totale warmtevraag van 17 PJ over 300 bedrijven, ofwel gemiddeld ca 57 TJ per bedrijf. Dit komt overeen met een gemiddelde warmtevraag van 1,8 MW per bedrijf. Volgens de MJA3 monitoring zijn er 52 bedrijven met een totaal gasverbruik van 12,4 PJ, ofwel ca 7,5 MW warmte per bedrijf wanneer dezelfde warmteopwekking als gemiddeld in de sector volgens CBS wordt aangenomen. Binnen de sector zijn er een paar grotere spelers zoals FrieslandCampina. Uit een analyse van de 11 bedrijven die onder de ETS registratie vallen, blijkt dat deze bedrijven een gemiddelde warmtevraag hebben van ca. 24 MW.

3.2.5 Meelindustrie

De Nederlandse meelfabrikanten, aangesloten bij NEBAFA (Vereniging van Nederlandse fabrikanten van bakkerij grondstoffen), leveren meel en bloem aan ambachtelijke en industriële bakkerijen in heel Europa. Warmte wordt bijvoorbeeld gebruikt voor het drogen van bloem, het zgn agglomeren, en het pelletteren van vrijkomend vlies voor veevoer [14].

Volgens het CBS zijn er in Nederland 110 bedrijven met een totaal gasverbruik van 6,7 PJ, wat voor 71% in wkk's wordt gestookt. Daarnaast wordt er bijna 6 PJ aan warmte door derden geleverd, zodat de totale warmtevraag ca 10,5 PJ bedraagt, ofwel gemiddeld ruim 3 MW warmte. Er zijn 5 meelfabrikanten welke deelnemen aan het MJA3 convenant met een gezamenlijk gasverbruik van 0,24 PJ, wat neerkomt op een vergelijkbare warmtevraag per bedrijf. Derhalve is besloten uit te gaan van de CBS cijfers.

3.2.6 Diervoederindustrie

De diervoederindustrie produceert diverse soorten voer voor vooral runderen, varkens en pluimvee. Warmte in de vorm van lage druk processtoom is soms nodig voor het persen van korrels en voor het drogen van product. Uit een analyse van CBS data volgt een jaarlijkse warmtevraag van ruim 3 PJ voor de 175 bedrijven in de sector, ofwel gemiddeld ca 570 kW warmte per locatie. Omdat het gemiddelde gasverbruik van de 72 MJA3 deelnemers in de diervoederindustrie hiermee vergelijkbaar is, is besloten om uit te gaan van de warmtevraag van de gehele sector.

3.2.7 Rendering van slachtbijproducten

Voor de rendering van slachterij bijproducten (waarvan een van de toepassingen ook diervoeder is) worden grotere hoeveelheden warmte gebruikt. Op basis van een analyse van de ETS registratie wordt geschat dat 3 bedrijven van Sonac en Rendac een gemiddelde warmtevraag hebben van ca. 10 MW.

3.2.8 Drankenindustrie

De drankenindustrie beslaat de productie van mout, bier, gedistilleerde alcoholische dranken, wijn en niet-alcoholische dranken. Processtoom wordt veelal gebruikt om halffabrikaten te verwarmen of voor de desinfectie van tanks etc. na overschakeling op een ander product. Volgens CBS gebruiken de 215 bedrijven in deze sector ca 3,1 PJ aan aardgas.

Er is echter sprake van een grote spreiding, waarbij het grootste energievebruik plaatsvindt bij de brouwerijen. Op basis van gegevens uit de ETS registratie (waarin ongeveer 2,7 PJ van dit gasverbruik is vertegenwoordigd) en de aanname dat de helft hiervan wordt opgewekt met gasturbines, wordt geschat dat vier grote brouwerijen gemiddeld 14 MW warmte nodig hebben, welke vervangen kan worden met bioenergie. Volgens de MJA3 monitoring zijn er 5 bierbrouwerijen met een totaal gasverbruik van ruim 2,1 PJ, wat neerkomt op dezelfde gemiddelde warmtevraag van ruim 14 MW.

3.2.9 Koffie- en cacaobranderijen

De koffie- en cacaobranderijen in het MJA convenant gebruiken gezamenlijk ca 0,4 resp. 1,2 PJ aan aardgas per jaar. Bij beide processen wordt uit aardgas hoge temperatuur warmte gebruikt voor het roosteren van de bonen. De restwarmte die uit

het roosterproces komt, is vervolgens beschikbaar voor het invullen van de warmtevraag op een lagere temperatuur, zoals voor het voordrogen van de bonen, het op temperatuur houden van de geproduceerde cacaomassa (70-80°C) en voor ruimteverwarming. Aardgas wordt verder gebruikt voor het maken van processtoom en het onschadelijk maken van afgassen uit het brandproces in een naverbrander.

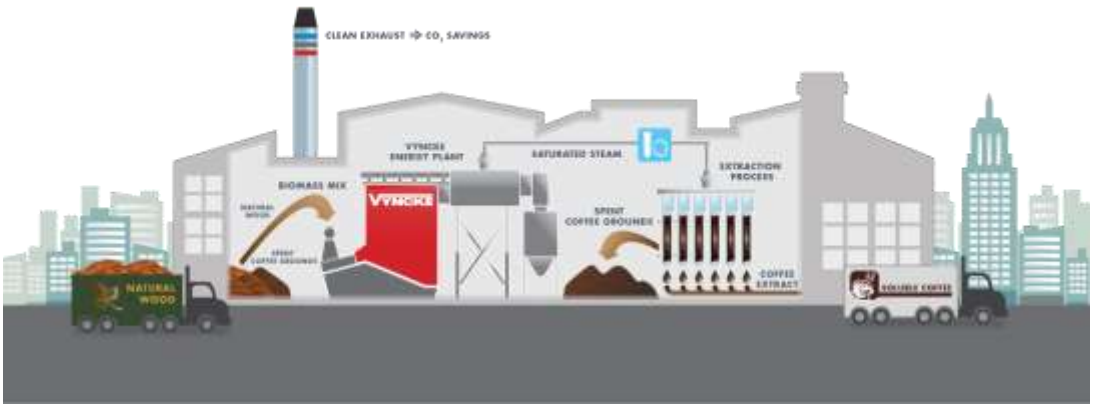
Bij cacaobranderijen is er vaak sprake van een overschot aan restwarmte, wat mogelijk kan worden geleverd aan nabijgelegen bebouwing. Voor de invulling van een beperkte vraag naar stoom kunnen mogelijk eigen cacaodoppen als brandstof worden gebruikt.

Vooral bij koffiebranderijen waar ook oploskoffie of koffieconcentraat wordt gemaakt, is er naast de inzet van aardgas voor het brandproces ook sprake van processtoom voor het indampen van het product. Bij dit proces kan koffiedik worden ingezet als brandstof ter vervanging van aardgas.

Alhoewel er kansen zijn bij een beperkt aantal bedrijven, is besloten om koffie- en cacaobranderijen vanwege het gevraagde hoge temperatuurniveau van de warmte niet op te nemen in de analyse.

Verbranding van koffiedik, Douwe Egberts

Bij Douwe Egberts in Joure is in 2012 een bestaande stoomketel op koffiedik vervangen voor een nieuwe, waarin naast ca 28 kton/jaar ook biogas wordt verbrand. Deze levert stoom (18 Bar/210°C) voor het productieproces, waarbij koffie wordt geconcentreerd. Het koffiedik uit hetzelfde proces wordt eerst mechanisch gedroogd tot een droge stofgehalte van ca 45% en daarna samen met het biogas uit de waterzuivering verbrand in de roosterbed-oven van Vyncke (12 MW_{th}).



3.3 Overige industrie

3.3.1 Papierindustrie

De papierindustrie is een relatief energie-intensieve sector met een totaal gasverbruik van ca 15 PJ. Het merendeel hiervan (geschat wordt 75% op basis van het gasgebruik bij de VNP leden [6]) wordt ingezet in gasturbines met afgassenketels voor stoomproductie bij de productie van papier en karton. Daarnaast wordt er ca 8 PJ aan warmte ingekocht. De totale warmtevraag komt daarmee op ca 18.50 PJ ofwel ca. 1.7 MW aan gemiddelde vraag per bedrijf. Dit wordt bijna volledig gebruikt bij de 20 installaties die rapporteren in de ETS rapportage, met een hieruit afgeleide warmtevraag van 3 tot 65 MW.

In de papierindustrie wordt ook nu al veel warmte opgewekt met lokaal beschikbare reststromen uit de papierproductie, zoals papierslib en rejects uit de recycling. Aangenomen kan worden dat het potentieel voor biowarmte ongeveer de helft (9 PJ) bedraagt, dit komt overeen met schattingen van ENECO [12].

3.3.2 (Petro)chemische en farmaceutische industrie

De warmtevraag in de (petro)chemische en farmaceutische industrie is zeer divers van aard en het is lastig om een goede uitspraak te doen over het potentieel voor bio-energie. Volgens het CBS wordt er in de chemische en farmaceutische industrie ca 95 PJ aan aardgas verstookt en is er bij de 985 bedrijven een afgeleide warmtevraag van ca 150 PJ (gemiddeld bijna 5 MW). Het verschil tussen de inzet van aardgas en het gebruik van warmte kan worden verklaard door veel warmte-uitwisseling tussen bedrijven onderling en de inzet van andere brandstoffen. Verder is er in een aantal gevallen warmte nodig van hogere temperatuur dan processtoom, wat maakt dat de warmtevraag maar slechts voor een klein deel kan worden ingevuld met bio-energie. Van de petrochemische industrie wordt niet aangenomen dat er potentieel is voor bio-energie, omdat er vaak sprake is van restproducten uit de productieprocessen zelf welke als brandstof kunnen worden ingezet.

Uit de ETS monitoring over 2015 blijkt dat er een aantal zeer grote chemische productielocaties zijn (Chemelot, Shell Chemie, Dow Chemicals) waarvan het praktisch onmogelijk is om een redelijke inschatting te maken van de met bio-energie te vervangen warmtevraag. Hoeveel warmte er in de chemische sector wel kan worden ingevuld met bio-energie blijft onbekend. Eneco komt in een potentieelschatting op ca 35 PJ aan biowarmte bij **alle** bedrijven welke onder de ETS vallen, waarvan ca 16 PJ bij 15 bedrijven in de chemische industrie. Dit komt neer op gemiddeld 27 MW per installatie. Dit is ongeveer een 30% van de bedrijven in de chemische sector welke onder ETS vallen.

3.3.3 Houtverwerkende industrie

De houtverwerkende industrie is van oudsher een sector waar relatief veel biomassaverbranding is toegepast, met ca. 551 installaties op dit moment [9]. De reden hiervan ligt bij veel bedrijven echter niet zozeer in het moeten invullen van een hoge warmtevraag voor proceswarmte, maar in de beschikbaarheid van eigen resthout met voorheen een lage of zelfs negatieve waarde. In de laatste jaren zijn de afvoerkosten van resthout echter gedaald of is er soms sprake van een kleine opbrengst. De bestaande installaties > 1 MW moeten per 1 januari 2017 voldoen aan strengere emissie-eisen en van diverse leveranciers wordt vernomen dat er een significant aantal uit bedrijf worden gesteld. Er is daarom eigenlijk vooral sprake van een vervangingsmarkt.

De haalbaarheid van biomassagestookte ketels of wkk kan sterk verschillen tussen bedrijven onderling. Er zijn een aantal bedrijven welke het hele jaar door droogkamers gebruiken om hun binnenkomende grondstoffen of producten te drogen, bijvoorbeeld voor de productie van pallets. Wanneer er bovendien sprake is van eigen resthout uit het productieproces kan de toepassing van biowkk hier aantrekkelijk zijn.

3.4 Utiliteitsbouw en dienstensector

Voor de karakterisering van de warmtevraag in de utiliteitsbouw en dienstensector wordt gebruik gemaakt van een recente analyse door ECN van het gasverbruik per van het gasverbruik per subcategorie, met daarbij ook informatie over de spreiding in omvang van de afnemers [36].

Helaas is er vooralsnog geen informatie beschikbaar over de inzet van aardgas in gasmotoren bij de grotere gebruikers, aangenomen wordt dat in onderstaande sectoren gas praktisch volledig wordt ingezet in gasgestookte ketels.

3.4.1 Kantoren

Onder de categorie ‘utiliteitsbouw’ zijn de kantoren met 45.229 gebouwen in de meerderheid. De totale warmtevraag bedraagt ruim 13 PJ, dit komt neer op een gemiddelde vraag voor een bioketel van 27 kW. Er zijn 68 kantoorgebouwen met een totale warmtevraag van 0.8 PJ welke een bioketel groter dan 500 kW zouden rechtvaardigen. Het aantal vollasturen bedraagt 2821 per jaar.

3.4.2 Zorgsector

Onder de zorgsector vallen ziekenhuizen, verpleeghuizen, huizen met dagbehandelingen en groepspraktijken.

Ziekenhuizen hebben een relatief grote warmtevraag en beschikken in een aantal gevallen over een gasmotor waarmee een deel van de warmtevraag kan worden ingevuld. Volgens genoemde ECN studie zijn er 1953 gebouwen in Nederland met de

aanduiding ‘ziekenhuis’. Deze hebben een totaal gasverbruik van 4,3 PJ. Bij een stookgrens van 16°C en 40% van de warmtevraag voor proceswarmte (tapwater, sterilisatie, etc.) resulteert een gemiddelde bioketelcapaciteit van 150 kW. Uit de statistische verdeling van gasverbruiken volgt dat er 109 afnemers zijn met een warmtevraag welke een bioketel groter dan 500 kW mogelijk maakt, met een gemiddelde van 3,3 MW.

Een andere relevante categorie (6.1 PJ gasverbruik) is de categorie ‘tehuis met overnachting’. Dit zijn verpleeghuizen en andere kleinschalige en grootschalige zorginstellingen. Van de 8.231 afnemers in deze categorie zijn er 205 waar een bioketel > 500 kW zou kunnen worden geplaatst, met een gemiddeld vermogen van 788 kW en een totale warmteopbrengst van 2.05 PJ.

3.4.3 Onderwijs

Onder de categorie onderwijs wordt onderscheid gemaakt tussen basisscholen, voortgezet onderwijs en MBO/HBO/universiteiten. Ongeveer de helft van de totale 10 PJ aan aardgas wordt gestookt bij de 7160 gebouwen van de basisscholen, de warmtevraag hier is gemiddeld ca 50 kW per gebouw.

De 1258 gebouwen van het voortgezet onderwijs hebben een totale warmtevraag van 2,6 PJ en zouden een gemiddelde ketelcapaciteit uitkunnen van 168 kW. Er zijn geen gebouwen die een bioketel groter dan 500 kW rechtvaardigen.

De warmtevraag bij de 889 gebouwen van MBO/HBO/Universiteiten wordt geschat op 1.9 PJ, wat neerkomt op een gemiddelde ketelcapaciteit van 171 kW. Er zijn 36 mogelijkheden voor toepassing van een bioketel > 500 kW (gemiddeld 524 kW).

3.4.4 Horeca

Onder de categorie Horeca is vooral de warmtevraag bij de 3523 hotels in Nederland significant. De totale warmtevraag bedraagt 3.5 PJ, gemiddeld 72 kW. Er zijn 85 hotels met potentieel voor een bioketel > 500 kW (gemiddeld 661 kW). Het aantal vollasturen wordt geschat op 2198 per jaar.

Een niche marktsegment wordt gevormd door de 353 sauna’s. De gemiddelde warmtevraag van 24 kW is relatief laag, maar het aantal vollasturen is met 5621 wel relatief gunstig.

3.4.5 Cultuur

Er zijn een aantal musea en theaters met een substantiële warmtevraag. Geschat wordt dat er 3 musea en 14 theaters in Nederland zijn waar gemiddeld een bioketel van 1,3 MW resp. 710 kW zouden kunnen worden geplaatst, met 2821 vollasturen.

3.4.6 Sportaccommodaties binnen

Er zijn 4975 overdekte sportaccommodaties in Nederland, dit betreft gebouwen waarin sporthallen, sportzalen en tennishallen zijn gehuisvest. De gebouwen gebruiken gezamenlijk ca 2,51 PJ aan aardgas, ofwel 454 GJ per gebouw [36]. Uit een beschikbare jaarbelastingduurkromme van een typische sporthal blijkt een stooktemperatuur van 13°C en 91% warmtevraag voor ruimteverwarming. Hieruit volgt een gemiddelde dimensionering van een bioketel van 46 kW bij 2636 vollasturen.

3.4.7 Sportaccommodaties buiten

Onder deze categorie vallen 4210 kantines en kleedkamers van buitensportverenigingen, met een totaal gasverbruik van 1.53 PJ. Uit analyse van de jaarbelastingduurkromme van een typische voetbalvereniging met kantine en douches volgt een stooktemperatuur van 15°C en ca 700 vollasturen. Dit betekent dat een gemiddelde vereniging een bioketel zou kunnen plaatsen van ca 112 kW.

3.4.8 Overdekte zwembaden

De warmtevraag van een overdekt zwembad bestaat uit de verwarming van de diverse vertrekken (infiltratieverliezen, ventilatieverliezen), het compenseren van warmteverlies door verdamping van zwembadwater, het voorverwarmen van warm tapwater, spuiwater en voor gebouwverwarming. Globaal kan worden aangenomen voor een gemiddeld zwembad dat ca. 50% van de warmtevraag temperatuuronafhankelijk is vanwege de continue vraag naar warmte voor warm tapwater en opwarming van badwater. Volgens ECN is er daarom bij een typisch overdekt zwembad sprake van ca. 3648 vollasturen [34]. De combinatie van de relatief hoge ketelgrootte en het hoge aantal vollasturen maakt deze sector relatief aantrekkelijk voor toepassing van biomassagestookte ketels.

Zwembad De Koekoek

Zwembad de Koekoek is een relatief nieuw zwembad in Vaassen (gebouwd in 2012), welke is gecombineerd met een sporthal. Bij de nieuwbouw in 2012 is meteen besloten een biomassagestookte ketel toe te passen voor de warmtevoorziening. Wekelijks wordt de ondergrondse bunker gevuld met houtsnippers, welke via vijzels worden vervoerd naar de ketel.

De ketel heeft een capaciteit van 400 kW en produceert jaarlijks ca. 4400 GJ warmte (3039 vollasturen). Hiermee wordt 90% van de warmtevraag opgewekt. De investering bedroeg ca 245.000 Euro, excl bouwkundige voorzieningen.

3.4.9 Openluchtzwembaden

Bij openluchtzwembaden is de warmtevraag beperkt tot het zomerseizoen, meestal zijn openluchtzwembaden slechts open van mei t/m september (5 maand/jaar). Doordat de warmteverliezen van het badwater naar de omgeving bovendien fors hoger kunnen zijn

dan bij overdekte zwembaden bij een lage omgevingstemperatuur, is het aantal vollasturen aanzienlijk minder. Voor een openluchtzwembad waar Bio Forte bij betrokken is, worden jaarlijks ca. 1500 vollasturen geregistreerd (waarbij de warmteaansluiting is gedimensioneerd op een buitentemperatuur van 10°C). Het warmteverbruik bestaat vooral uit het compenseren van warmteverliezen van badwater aan de omgeving. De stooktemperatuur is vrijwel gelijk aan de badtemperatuur (ca 23°C). Omdat deze warmtevraag in de zomer plaatsvindt, zijn er bij aansluiting op een warmtenet mogelijk wel goede combinaties te maken met bijvoorbeeld ruimteverwarming voor andere panden.

3.5 Stadsverwarming en blokverwarming

In Nederland wordt ongeveer 1076 PJ aan warmte lokaal opgewekt (meestal uit aardgas) en 148 PJ getransporteerd. Het merendeel van de getransporteerde warmte (112 PJ) betreft industriële stoom tussen bedrijven onderling, de resterende 36 PJ wordt via niet-industriële warmtenetten in de vorm van warm water geleverd aan huishoudens, utiliteitsgebouwen en bedrijven. Van deze 36 PJ valt ongeveer 27 PJ onder de Warmtewet, dit betreft levering aan aansluitingen tot 100 kW [15]. Ook wordt volgens het CBS ca 4 PJ aan de glastuinbouw geleverd.

Onderscheid kan worden gemaakt in gebiedsgebonden warmtenetten waarbij warmte vanuit een energiecentrale over meerdere gebouwen wordt verdeeld (stadsverwarming) en gebouwgebonden netten, waarbij warmte ten behoeve van een gebouwenblok of flatgebouw wordt opgewekt via een collectieve installatie en geleverd aan de individuele wooneenheden (blokverwarming). Daarnaast zijn er een aantal installaties met een WKO installatie.

Tabel 3.3 Externe warmtelevering aan kleinverbruikers [15].

Categorie	aantal netten	PJ	GJ/net
Stadsverwarming	305	8,74	28.652
Blokverwarming	9.303*	15,04	1.616
WKO en overig	713*	2,89	4.049
Totaal	10.321	26,66	2.583

*geschat uit de toebedeling van andere eigenaren dan VVE en corporaties aan WKO

3.5.1 Stadsverwarming

Levering van biomassawarmte aan stadsverwarmingsinstallaties kan interessant zijn vanwege het grotere volume. Zoals uit Tabel 3.3 blijkt, zijn er thans 305 warmtenetten in Nederland met een totale warmtevraag van 8,7 PJ. Betrokken op het piekvermogen gaat het typisch om ca. 1600-1700 vollasturen per jaar voor een gemiddeld warmtenet

[17]. Indien wordt aangenomen dat een biomassagestookte installatie wordt toegepast voor het dekken van de basislast, neemt dit toe tot ca. 2200 vollasturen en een gemiddeld vermogen van 2,4 MW. Er is echter een groot verschil in capaciteit tussen netten onderling, met een aantal netten welke honderden MW groot zijn.

Het komt frequent voor dat bestaande opwekeenheden aan vervanging toe zijn, of er vanuit toegenomen bedrijfskosten of de wens tot verduurzaming de mogelijkheid bestaat tot realisatie van een biomassagestookte ketelinstallatie of bio-wkk. Een voorbeeld hiervan is het voornemen van ENECO om op Lage Weide in Utrecht een houtsnippergestookte verbrandingsinstallatie van 50 MW te realiseren.

Voor het stadsverwarmingsnetwerk Purmerend (SVP) wordt sinds 2014 warmte geproduceerd met een biomassagestookte ketelinstallatie van 44 MWth, waarin jaarlijks 100.000 ton aan houtsnippers van Staatsbosbeheer worden verstookt.

In de analyse wordt uitgegaan van de huidige situatie voor het aantal warmtenetten en de gemiddelde grootte. Voor de toekomst kunnen ook nieuwe warmtenetten een belangrijke factor zijn voor de verduurzaming van de gebouwde omgeving, aldus minister Kamp in de warmtevisie [18]. De aanleg van een nieuw warmtenet is een kostbare aangelegenheid. Het hangt echter sterk af van de afnamedichtheid en het aantal vollasturen dat wordt gerealiseerd. Een erg ruwe schatting voor de aanleg (afgeleid van drie anonieme praktijkcases) is ca 50-150 Euro per GJ/jaar voor een typische situatie in stedelijk gebied, incl. afleversets. Voor kleinschalige biomassagestookte installaties tussen 0,5 en 5 MW kan bij een afnamedichtheid van 2000 kWh/jaar per meter tracelengte worden uitgegaan van 0,02-0,04 Euro/kWh warmte aan meerkosten voor de warmtedistributie [30].

3.5.2 Blokverwarming

De categorie blokverwarming (15 PJ in ruim 9300 gebouwen) is met name interessant voor vervanging door bioketels. Warmte wordt in dit geval meestal met CV ketels opgewekt binnen het gebouwenblok in plaats van dat het wordt geleverd van buiten het gebouw. Omdat er sprake is van doorlevering van de hiermee geproduceerde warmte aan kleinverbruikers, geldt voor de energiebelasting op het hiervoor ingezette gas het zgn. blokverwarmingstarief, wat overeenkomt met de eerste staffel uit de energiebelasting (tot 170.000 m^3). Dit maakt dat de vervangingswaarde van de warmte in collectieve ketelhuizen voor blokverwarming vooral bij grotere gebouwen met enkele honderden appartementen aanzienlijk hoger kan zijn dan bij vervanging van dezelfde warmtevraag bij één grote afnemer met hetzelfde afnameprofiel, bijvoorbeeld in de industrie. Bovendien zijn veel bestaande appartementencomplexen ongeschikt voor toepassing van lage temperatuurverwarming met warmtepompen, omdat een hoog temperatuurniveau wordt gevraagd.

De gemiddelde capaciteit voor een bioketelinstallatie bij de 9300 blokverwarminginstallaties bedraagt 127 kW. In het typische geval worden hiervoor houtpellets ingezet, niet alleen vanwege het relatief lage aantal vollasturen maar ook vanwege de hogere energiedichtheid en het beperkt aantal vrachtbewegingen.

Houtpelletketel Patrimonium

Een appartementencomplex van woonstichting Patrimonium in Veenendaal wordt sinds 2008 verwarmd met een pelletketel van 600 kW, welke op de begane grond is geplaatst. De ketel stookt jaarlijks ca. 150 ton pellets, welke vanuit een ondergrondse bunker worden aangevoerd.

In veel gevallen zijn er meerdere appartementencomplexen in dezelfde wijk gerealiseerd, zodat koppeling van een biomassagestookte installatie interessant kan zijn. De meerkosten van een warmteleiding moeten dan worden terugverdiend op een besparing in de kosten van een extra bioketelinstallatie.

4 Haalbaarheid van bioketels en bio-wkk

De haalbaarheid van met biomassa gestookte ketels en bio-wkk installaties wordt in dit hoofdstuk beschreven. Onder 4.1 wordt aangegeven wat het technische potentieel is voor met biomassa gestookte ketels waarbij ook de kostprijs en vermeden kosten in beeld worden gebracht. Onder 4.2 wordt dezelfde informatie weergegeven voor het geval biomassagestookte wkk installaties worden toegepast.

4.1 Met biomassa gestookte ketels

De resultaten zijn in Tabel 4.1 samengevat voor de biomassagestookte ketels. De sectoren zijn gerangschikt op hun onrendabele top in Euro/kWh, omdat dat bepaalt in hoeverre een toepassing zonder SDE of ISDE subsidie afwijkt van commerciële haalbaarheid. De kolom rechts ervan laat zien welke ondersteuning kan worden verwacht uit de SDE+ regeling voor 2017, uitgedrukt als het verschil tussen basisbedrag en verwacht correctiebedrag en verdeeld over het werkelijk aantal vollasturen. De gevallen waar de SDE+ bijdrage de onrendabele top dekt zijn groen gearceerd en voldoen dus aan de in de SDE+ regeling gestelde rendementseis (eenvoudige terugverdientijd van 9,2 jaar, totaal 42,8 PJ). Voor de ketels < 500 kW wordt aangegeven welke investeringssubsidie wordt verwacht uit de ISDE regeling in 2017 (110 Euro/kW) en tenslotte wordt de eenvoudige terugverdientijd voor de investeerder vermeld.

Uit Tabel 4.1 blijkt dat de onrendabele top in de verschillende sectoren varieert van 0,7 ct tot 10,6 cent per kWh. De meest rendabele toepassingen kunnen worden gevonden bij met pellet gestookte binnenzwembaden (0,7 ct/kWh onrendabele top excl stimulering, terugverdientijd 14 jaar incl ISDE stimulering). Deze toepassing is aantrekkelijk vanwege het relatief hoge aantal vollasturen en vermijding van aardgas in het kleinverbruikerstarief van de EB. Aantrekkelijke toepassingen met minder vollasturen maar eveneens vermijding in het kleinverbruikerstarief van de EB zijn grotere scholen en blokverwarming (ca. 1,5 ct/kWh onrendabele top excl stimulering, terugverdientijd incl ISDE stimulering echter langer dan 12 jaar). De installaties in deze marktsegmenten zijn meestal te klein om onder de huidige SDE+ regeling te vallen.

Voor sectoren waar de gemiddelde installatie wél in de SDE+ regeling valt (>500 kW), is voor een beperkt aantal sectoren de ondersteuning uit de SDE+ regeling voldoende om de rendementseisen te halen die in de SDE+ regeling worden aangenomen (eenvoudige terugverdientijd van 9,2 jaar, in groen weergegeven). De meest rendabele toepassingen zijn de grotere (>5 MW) met shreds gestookte ketels voor stoomproductie in de chemische en VGI industrie, waarbij volcontinu warmte kan worden gemaakt, dit betreft o.a. de aardappelverwerkende industrie, vleesverwerkende industrie, zuivelindustrie en diervoederindustrie. Inclusief SDE+ subsidie hebben installaties in deze sectoren een terugverdientijd van ca 4-6 jaar.

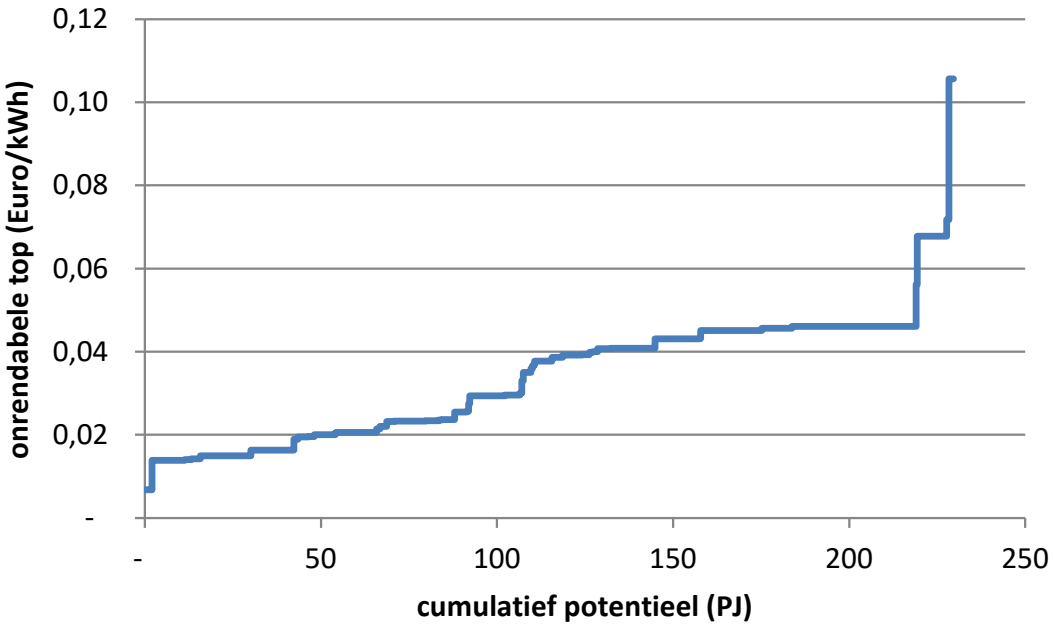
Tabel 4.1 Overzicht van het technisch potentieel aan bioketels per sector. Financiële getallen gelden voor een gemiddelde gebruiker

	brandstof	medium	aantal	Gem vermogen (kW_{th})	Aantal vollasturen per jaar	Technisch potentieel (PJ)	kostprijs (Euro/kWh	vermeden kosten (Euro/kWh)	Onrendabele top (Euro/kWh)	bijdrage uit huidige SDE regeling (Euro/kWh)	Bijdrage uit ISDE (kEuro)	Terugverdientijd incl stimulering (jaar)
1 zwembad binnen	pelletsA2	warm water	568	219	4.573	2,0	0,059	0,052	0,007	-	22	14
2 papierindustrie	snippers	processtoom	350	886	8.300	9,3	0,029	0,015	0,014	0,010	-	14
3 MBO/HBO/ universiteit	pelletsA2	warm water	889	171	3.399	1,8	0,066	0,052	0,014	-	17	25
4 voortgezet onderwijs	pelletsA2	warm water	1258	168	3.378	2,5	0,067	0,052	0,014	-	17	26
5 blokverwarming	pelletsA2	warm water	9303	127	3.419	14,4	0,067	0,052	0,015	-	12	27
6 chemie	shreds	processtoom	15	27.277	8.300	12,2	0,038	0,022	0,016	0,026	-	4
7 vleesverwerkende industrie	snippers	processtoom	51	776	8.300	1,2	0,048	0,029	0,019	0,010	-	40
8 diervoederindustrie	snippers	processtoom	175	569	8.300	3,0	0,049	0,029	0,019	0,010	-	41
9 houtindustrie	snippers	warm water	2290	58	3.419	1,6	0,059	0,040	0,020	-	5	18
10 aardappelverwerkende industrie	shreds	processtoom	15	13.351	8.300	6,0	0,039	0,019	0,020	0,026	-	6
11 sauna	pelletsA1	warm water	353	24	5.621	0,2	0,073	0,052	0,020	-	3	-
12 zuivelindustrie	shreds	processtoom	52	7.435	8.300	11,6	0,041	0,020	0,021	0,026	-	6
13 groothandel met koeling	pelletsA2	warm water	903	101	2.821	0,9	0,074	0,052	0,021	-	9	42
14 tehuis met overnachting > 500 kW	snippers	warm water	205	762	3.534	2,0	0,062	0,040	0,022	0,022	-	9
15 bierbrouwerijen	shreds	processtoom	5	14.503	8.300	2,2	0,039	0,016	0,023	0,026	-	7
16 margarine-, vetten- en oliënindustrie	shreds	processtoom	18	16.635	8.300	8,9	0,039	0,016	0,023	0,026	-	7
17 rubber- en kunststofproductindustrie	snippers	warm water	1320	270	2.821	3,6	0,076	0,052	0,023	-	28	28
18 groenten- en fruitverwerkende industrie	snippers	processtoom	19	1.709	8.300	1,0	0,047	0,023	0,024	0,010	-	-
19 grotere ziekenhuizen	snippers	warm water	109	2.269	4.111	3,6	0,054	0,030	0,024	0,019	-	13
20 hotel	pelletsA1	warm water	3523	72	3.757	3,4	0,078	0,052	0,025	-	6	-
21 bloembollenbedrijven	pelletsA1	warm water	580	70	3.738	0,5	0,078	0,052	0,026	-	6	-
22 frisdrankproducenten	snippers	processtoom	9	1.176	8.300	0,3	0,048	0,020	0,027	0,010	-	-
23 meelindustrie	snippers	processtoom	110	3.030	8.300	10,0	0,046	0,017	0,029	0,010	-	-

		brandstof	medium	aantal	Gem vermogen (kW_{th})	Aantal vollasturen per jaar	Technisch potentieel (PJ)	kostprijs (Euro/kWh	vermeden kosten (Euro/kWh)	Onrendabele top (Euro/kWh)	bijdrage uit huidige SDE regeling (Euro/kWh)	Bijdrage uit ISDE (kEuro)	Terugverdientijd incl stimulering (jaar)
24	basisschool	pelletsA1	warm water	7160	50	3.378	4,3	0,082	0,052	0,030	-	4	-
25	opvang zonder overnachting	pelletsA1	warm water	959	40	3.534	0,5	0,082	0,052	0,030	-	3	-
26	theater	pelletsA1	warm water	467	89	2.821	0,4	0,085	0,052	0,033	-	8	-
27	medische (groeps)praktijk	pelletsA1	warm water	13125	13	3.534	2,2	0,087	0,052	0,035	-	3	-
28	zeugenbedrijven	pelletsA1	warm water	940	48	2.821	0,5	0,088	0,052	0,036	-	3	-
29	gesloten varkensbedrijven	pelletsA1	warm water	720	46	2.821	0,3	0,089	0,052	0,037	-	3	-
30	vakantiepark	pelletsA1	warm water	1168	23	3.178	0,3	0,089	0,052	0,037	-	3	-
31	café/restaurant	pelletsA1	warm water	22356	19	3.178	4,9	0,090	0,052	0,038	-	3	-
32	supermarkt	pelletsA1	warm water	7931	37	2.821	2,9	0,091	0,052	0,039	-	3	-
33	groothandel zonder koeling	pelletsA1	warm water	15866	34	2.821	5,5	0,092	0,052	0,039	-	3	-
34	sportaccommodatie binnen	pelletsA1	warm water	4975	46	2.636	2,1	0,092	0,052	0,039	-	3	-
35	museum	pelletsA1	warm water	2831	32	2.821	0,9	0,092	0,052	0,040	-	3	-
36	autoschadeherstelbedrijf	pelletsA1	warm water	4759	31	2.821	1,5	0,092	0,052	0,040	-	3	-
37	garage/showroom	pelletsA1	warm water	14091	28	2.821	3,9	0,093	0,052	0,041	-	3	-
38	kantoren	pelletsA1	warm water	45229	27	2.821	12,4	0,093	0,052	0,041	-	3	-
39	winkel zonder koeling	pelletsA1	warm water	71439	18	2.821	12,7	0,095	0,052	0,043	-	3	-
40	zwembad buiten	pelletsA2	warm water	220	244	1.524	0,3	0,096	0,052	0,043	-	25	-
41	glastuinbouw: snijbloemenbedrijven	snippers	warm water	1140	1.133	3.738	17,4	0,059	0,013	0,045	0,021	-	-
42	glastuinbouw: pot- en perkplanten	snippers	warm water	750	852	3.738	8,6	0,060	0,014	0,046	0,021	-	-
43	glastuinbouw: groentebedrijven	snippers	warm water	990	2.641	3.738	35,2	0,056	0,009	0,046	0,021	-	-
44	vleeskuikenbedrijven	pelletsA2	warm water	440	187	1.270	0,4	0,109	0,052	0,056	-	19	-
45	stadsverwarming	snippers	warm water	305	2.450	3.153	8,4	0,120	0,052	0,068	0,025	-	29
46	kalvermesterijen	pelletsA1	warm water	1300	97	1.294	0,6	0,124	0,052	0,072	-	9	-
47	sportaccommodatie buiten	pelletsA2	warm water	4210	112	788	1,3	0,158	0,052	0,106	-	10	-

Voor veel marktsegmenten zijn de omstandigheden echter minder gunstig en is de SDE+ steun onvoldoende. De reden hiervan is veelal dat het aantal vollasturen substantieel lager is dan wat is aangenomen in de SDE+ regeling. Een andere reden kan zijn dat de vermeden kosten te laag zijn, dit is o.a. van invloed bij de glastuinbouw waar al relatief veel gasgestookte wkk's zijn geplaatst. In dat geval leidt het vermijden van warmteproductie tot de noodzaak tot inkoop van elektriciteit, terwijl de vermeden kosten van inkoop van aardgas relatief laag zijn omdat hierover geen energiebelasting wordt betaald (bovendien geldt hier een lager EB tarief).

De onrendabele top van warmteproductie met biomassagestookte ketels (in Euro/kWh) als functie van het te realiseren marktvolume is in Figuur 4.1 uitgezet.



Figuur 4.1 Onrendabele top van warmteproductie met bioketels als functie van het cumulatieve marktpotentieel

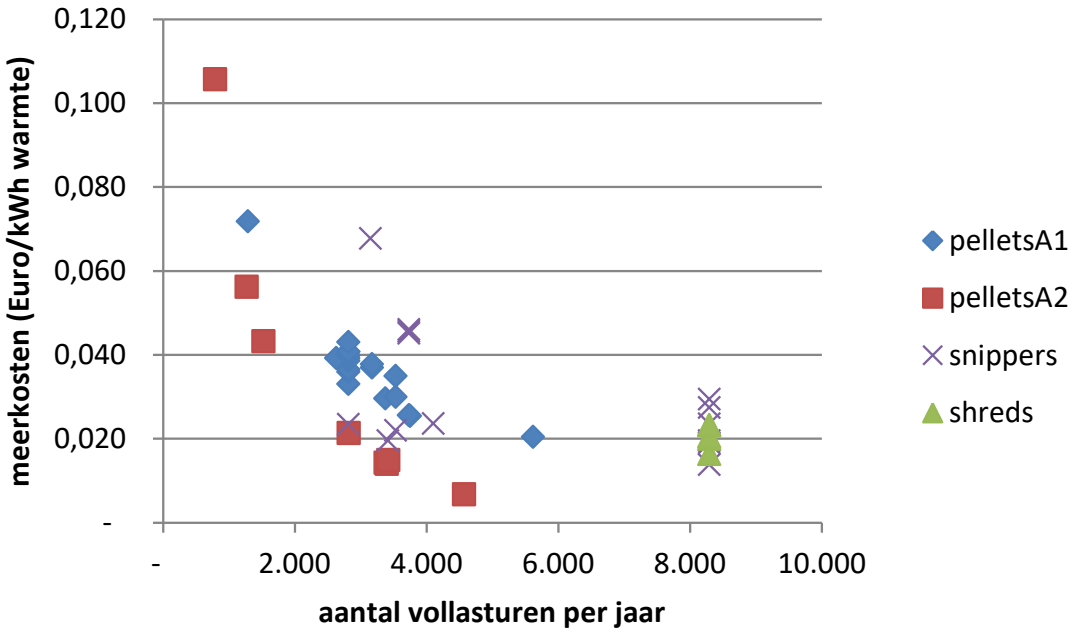
De figuur laat zien dat er in theorie met een stimulering van bijna 5 cent per kWh ongeveer 200 PJ biomassawarmte zou kunnen worden gerealiseerd, indien alle genoemde sectoren volledig zouden overschakelen naar biomassawarmte. De hoogte van de SDE+ subsidie in 2017 is voldoende om bij 42.8 PJ van dit potentieel de onrendabele top te dekken.

Per brandstof treden ook significante verschillen op in haalbaarheid. Onderstaande tabel laat zien dat de onrendabele top voor verbranding van shreds in grote ketels over het algemeen lager is dan bij kleinschalige verbranding van pellets. Dit is vooral gelegen in de lagere brandstofkosten en het hogere aantal vollasturen.

Tabel 4.2 Overzicht van het theoretisch potentieel aan bioketels naar type brandstof

		Pellets (ENplus A1)	Pellets (ENplus A2)	snippers	shreds	Totaal
aantal		219,772	17,791	7,823	105	245,491
Totaal vermogen	MW	5,775	2,368	7,013	1,368	16,524
Gemiddeld vermogen	kWth	26	133	896	13,029	67
Totaal potentieel	PJ	60	24	105	41	230
Aantal vollasturen per jaar		2,932	2,722	3,883	8,300	2,949
kapitaalslasten	Euro/kWh	0.033	0.026	0.019	0.010	0.022
brandstof	Euro/kWh	0.050	0.038	0.026	0.019	0.032
O&M	Euro/kWh	0.009	0.010	0.011	0.011	0.010
Totale kostprijs	Euro/kWh	0.092	0.074	0.059	0.039	0.066
Vermeden kosten	Euro/kWh	-0.053	-0.053	-0.019	-0.019	-0.032
Onrendabele top	Euro/kWh	0.039	0.021	0.040	0.020	0.034

Figuur 4.2 laat zien dat er een duidelijke relatie is tussen het aantal vollasturen per jaar en de onrendabele top t.o.v. een terugverdientijd van 9,2 jaar. De reden hiervan is gelegen in de substantiële kapitaalslasten, welke vooral in situaties bij weinig vollasturen tot 60% van de kostprijs kunnen bepalen. Bij grotere installaties welke volcontinu worden gebruikt, maken de kapitaalslasten ca. 25% van de kostprijs uit.



Figuur 4.2 Onrendabele top van warmteproductie met bioketels in verschillende sectoren als functie van het aantal vollasturen

In de SDE+ regeling voor 2017 is het aantal vollasturen voor ketels tussen 0,5 en 5 MW van 4000 naar 3000 teruggebracht. Voor ketels > 5 MW wordt thans uitgegaan van 7000 vollasturen. Uit Tabel 4.3 blijkt dat het naar de warmteproductie gewogen aantal vollasturen van de onderzochte marktsegmenten 4612 uur bedraagt. Dit komt echter hoofdzakelijk doordat er een beperkt aantal grote ketels voor stoomproductie ook onder deze categorie vallen, welke continu kunnen worden gebruikt. Wanneer deze ketels worden weggelaten, bedraagt het aantal vollasturen ca. 3634. In het algemeen geldt overigens wel dat het maar de vraag is of bioketels zullen doordraaien wanneer de SDE beschikking is volgemaakt, omdat de marginale kosten dan vrijwel altijd hoger zijn dan de opbrengsten.

Voor toepassing van ketels in de industrie welke kleiner zijn dan 5 MW en toch volcontinue kunnen worden gebruikt, is het werkelijk aantal vollasturen substantieel hoger dan het subsidiabele aantal vollasturen. Voor deze marktsegmenten leidt stimulering vanuit de SDE gemiddeld niet tot een rendabele toepassing.

Tabel 4.3 Overzicht van het potentieel aan bioketels naar schaalgrootte en wijze van warmteafgifte

		< 0,5 MW			0,5-5 MW			> 5 MW			
		warm water	stoom	Totaal	warm water	stoom	Totaal	warm water	stoom	Totaal	Totaal
aantal		241.173	-	241.173	3.499	714	4.213	-	105	105	245.491
Totaal vermogen	MW	8.634	-	8.634	5.697	826	6.522	-	1.368	1.368	16.524
Gemiddeld vermogen	kWth	36	-	36	1.628	1.156	1.548	-	13.023	13.029	67
Totaal opgewekt	PJ	89	-	89	75	25	100	-	41	41	230
vollasturen	h/jaar	2.920	-	2.920	3.687	8.300	4.469	-	8.300	8.300	2.949
kapitaalslasten	Euro/kWh	0,031	-	0,030	0,020	0,011	0,018	-	0,010	0,010	0,022
brandstof	Euro/kWh	0,045	-	0,045	0,028	0,021	0,027	-	0,019	0,019	0,032
O&M	Euro/kWh	0,009	-	0,009	0,012	0,008	0,011	-	0,011	0,011	0,010
Kostprijs	Euro/kWh	0,086	-	0,086	0,064	0,040	0,058	-	0,039	0,039	0,066
Vermeden kosten	Euro/kWh	0,053	-	0,053	0,018	0,019	0,018	-	0,019	0,019	0,032
Onrendabele top	Euro/kWh	0,033	-	0,033	0,047	0,022	0,040	-	0,020	0,020	0,034
Stimulering SDE	Euro/kWh	-	-	-	0,022	0,010	0,019	-	0,026	0,026	0,013

In de SDE+ regeling voor 2017 is er een categorie opgenomen voor stoom uit pellets bij installaties groter dan 5 MW. Uit de in het kader van dit project uitgevoerde analyse blijkt echter dat de kostprijs van warmteopwekking substantieel lager is wanneer gebruik wordt gemaakt van shreds. Het is echter maar de vraag of investeerders kiezen voor shreds als brandstof, aangezien de stimulerende werking vanuit de SDE het verschil in kostprijs meer dan compenseert (Tabel 4.4). Bovendien is de investering dan substantieel lager, waardoor een substantieel lagere terugverdientijd resulteert.

Tabel 4.4 Vergelijking van de gemiddelde productiekosten van stoom uit pellets, snippers en shreds voor ketels > 5 MW

		pellets	snippers	shreds
kapitaalslasten	Euro/kWh	0,007	0,008	0,010
brandstof	Euro/kWh	0,038	0,028	0,019
O&M	Euro/kWh	0,005	0,008	0,011
kostprijs	Euro/kWh	0,050	0,044	0,039
vermeden kosten	Euro/kWh	-0,019	-0,019	-0,019
Onrendabele top	Euro/kWh	0,031	0,025	0,020
stimulering SDE	Euro/kWh	0,042	0,026	0,026
Terugverdientijd	jaar	3,8	9,8	6,2

4.2 Met biomassa gestookte wkk installaties

Voor een beperkt aantal marktsegmenten met gemiddeld een voldoende grote warmtevraag (met een thermisch vermogen tussen 0,7 en 17 MW, zie 2.3.4) is onderzocht of het economisch aantrekkelijk is om in plaats van een bioketel een biomassagestookte warmtekrachtinstallatie te realiseren op basis van ORC of stoomturbine technologie. Het resultaat hiervan is weergegeven in Tabel 4.5. Het overzicht bevat marktsectoren uit de VGI industrie, de chemische industrie is vooralsnog weggelaten omdat de warmtevraag hier gemiddeld nog veel groter is.

Bij 8300 vollasturen in de onderzochte industriesectoren bedraagt de stimulerende werking van de SDE+ regeling onder categorie ‘thermische conversie’ 0,034 Euro/kWh, wat hoger is dan de onrendabele top voor een potentieel van 50 PJ aan bio-wkk’s gestookt met houtsnippers en daar resulteert in een terugverdientijd van 6-8 jaar (groen gearceerd). Het is overigens de vraag of de installaties ook zullen doordraaien nadat ze 7500 vollasturen hebben volgemaakt in een jaar, omdat de marginale kosten niet opwegen tegen de opbrengsten.

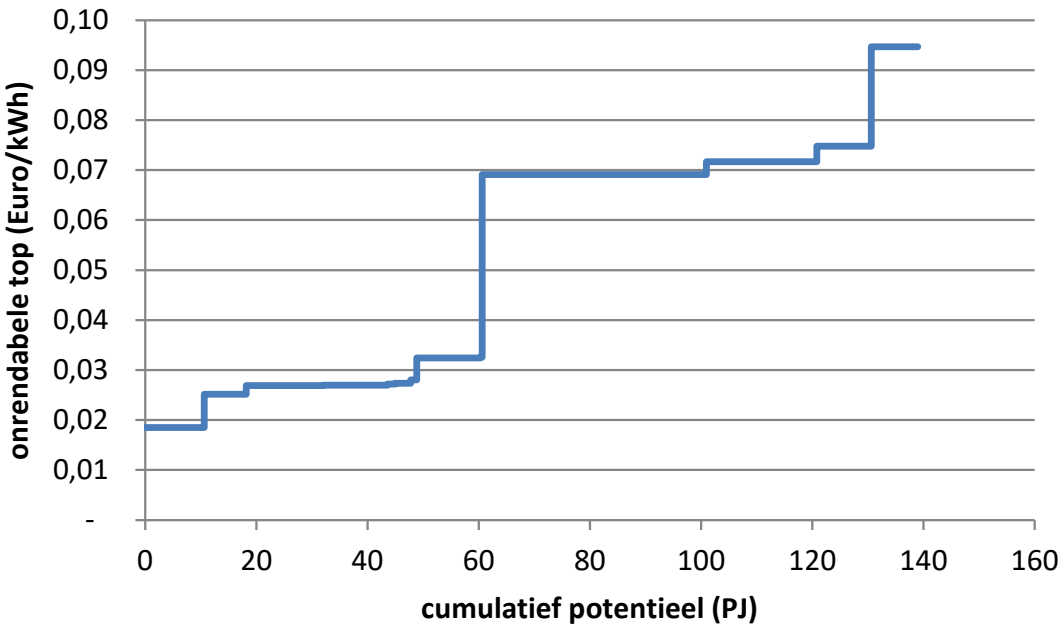
Toepassing van bio-wkk in de glastuinbouw is meestal niet rendabel, omdat hier deels warmte uit een gasmotor wordt verdrongen, waardoor de vermeden kosten relatief laag zijn. Ook is de kostprijs hier hoger omdat er minder vollasturen worden gemaakt.

Toepassing van wkk bij stadsverwarming (met aanleg van een nieuw net) is eveneens niet rendabel vanwege de hoge kosten van aanleg van het warmtenet. De relatief hoge inkomsten uit de verkoop van warmte vanwege levering aan kleinverbruikers maken dit niet goed. Ook is het aantal vollasturen hier beperkt.

Wanneer de hier onderzochte sectoren worden vergeleken met de resultaten uit Tabel 4.1, blijkt dat de terugverdientijden voor een investeerder langer zijn bij bio-wkk dan bij

bioketels. Ook wordt de onrendabele top in mindere mate gecompenseerd door de verwachte bijdrage uit de SDE+ regeling.

Figuur 4.3 geeft de kostencurve weer voor bio-wkk als functie van het cumulatieve marktpotentieel. De hoogte van de SDE+ stimulering in 2017 (0,34 Euro/kWh) is voldoende om bij 50 PJ van het potentieel de onrendabele top te dekken.



Figuur 4.3 Onrendabele top van warmteproductie met bio-wkk als functie van het cumulatieve marktpotentieel

Voor alle marktsectoren is onderzocht of de onrendabele top bij een biomassagestookte ketel lager of hoger is dan bij een biomassagestookte wkk installatie. De analyse laat zien dat bij alle marktsegmenten de onrendabele top lager is en (met de huidige SDE+ regeling) de terugverdientijd korter is wanneer wordt gekozen voor een biomassagestookte ketel in plaats van een biowkk. Er kan dan ook worden verwacht dat de markt investeringen in bioketels zal prefereren boven bio-wkk.

Tabel 4.5 Overzicht van het potentieel aan bio-wkk's per sector

		brandstof	aantal	kWth	kWe	FLH bio	potentieel PJ bio	kostprijs Euro/kWh	vermeden kosten Euro/kWh	verschil Euro/kWh	bijdrage SDE Euro/kWh	TVT jaar
1	papierindustrie	snippers	350	886	124	8.300	10,6	0,039	0,021	0,018	0,034	5
2	aardappelverwerkende industrie	snippers	15	13.351	3.549	8.300	7,6	0,051	0,025	0,025	0,034	6
3	zuivelindustrie	snippers	52	7.435	1.516	8.300	13,9	0,053	0,026	0,027	0,034	6
4	margarine-, vetten- en oliënindustrie	snippers	18	16.635	4.855	8.300	11,6	0,050	0,023	0,027	0,034	6
5	vleesverwerkende industrie	snippers	51	776	107	8.300	1,3	0,060	0,033	0,027	0,034	7
6	bierbrouwerijen	snippers	5	14.503	4.007	8.300	2,8	0,050	0,023	0,027	0,034	6
7	groenten- en fruitverwerkende industrie	snippers	19	1.709	247	8.300	1,1	0,056	0,028	0,028	0,034	7
8	meelindustrie	snippers	110	3.030	444	8.300	11,4	0,054	0,022	0,032	0,034	8
9	frisdrankproducenten	snippers	9	1.176	167	8.300	0,4	0,058	0,025	0,033	0,034	8
10	glastuinbouw: groentebedrijven	snippers	990	2.641	386	3.738	40,3	0,085	0,016	0,069	0,038	>15
11	glastuinbouw: snijbloemenbedrijven	snippers	1140	1.133	161	3.738	19,8	0,091	0,019	0,072	0,038	>15
12	glastuinbouw: pot- en perkplantenbedrijven	snippers	750	852	119	3.738	9,8	0,095	0,020	0,075	0,038	>15
13	stadsverwarming	snippers	305	2.450	358	3.153	8,4	0,148	0,053	0,095	0,038	>15

4.3 Gevoeligheidsanalyse

Onderliggende rapportage is samengesteld op basis van de mogelijkheden voor gemiddelde afnemers in een sector en typische waarden voor investeringen, brandstof, e.d. In de praktijk kunnen significante verschillen optreden in de haalbaarheid van biomassagestookte ketels of wkk toepassingen bij verschillende gebruikers in dezelfde sector.

Zo kan het zijn dat een partij zelf de beschikking heeft over biomassabrandstof en deze dus tegen lagere prijs dan gemiddeld kan inzetten (voor een aantal sectoren zoals de houtverwerkende industrie en de papierindustrie was dit al meegenomen). Het kan ook zijn dat de waarde van de geproduceerde energie hoger is dan gemiddeld, bijvoorbeeld omdat propaan wordt vermeden in plaats van aardgas. Dit is een van de redenen waarom in het verleden veel kleine ketels zijn geplaatst in de landbouwsector. Verder is het ook mogelijk dat een partij zelf de installatie beter kan bedrijven en onderhouden dan gemiddeld en hiervoor bijvoorbeeld minder aanspraak hoeft te maken op de leverancier. Tenslotte kan ook de ruimtelijke inpasbaarheid en de daaraan gerelateerde bouwkundige investering fors verschillen tussen partijen onderling. In Tabel 4.6 wordt de invloed van deze parameters op de onrendabele top geëvalueerd. De laatste kolom geeft weer wat de onrendabele top is na afschrijving van de installatie (waarbij tevens de SDE+ periode is verstreken).

Tabel 4.6 Variatie van de onrendabele top (Euro/kWh) bij -20% tot +20% variatie in investering, brandstofkosten, O&M en vermeden inkoop van energie.

	standaard	investering	brandstof	O&M	vermeden inkoop energie	SDE+ bijdrage
1 zwembad binnen	0,007	0,004 .. 0,010	-0,001 .. 0,014	0,005 .. 0,008	-0,004 .. 0,017	-
2 papierindustrie	0,014	0,011 .. 0,016	0,012 .. 0,016	0,012 .. 0,015	0,011 .. 0,017	0,010
3 MBO/HBO/ universiteit	0,014	0,010 .. 0,018	0,006 .. 0,022	0,012 .. 0,016	0,004 .. 0,024	-
4 voortgezet onderwijs	0,014	0,010 .. 0,018	0,007 .. 0,022	0,013 .. 0,016	0,004 .. 0,025	-
5 blokverwarming	0,015	0,011 .. 0,019	0,007 .. 0,022	0,013 .. 0,017	0,004 .. 0,025	-
6 chemie	0,016	0,015 .. 0,018	0,013 .. 0,020	0,014 .. 0,019	0,012 .. 0,021	0,026
7 vleesverwerkende industrie	0,019	0,017 .. 0,021	0,013 .. 0,025	0,017 .. 0,021	0,013 .. 0,025	0,010
8 diervoederindustrie	0,019	0,017 .. 0,022	0,014 .. 0,025	0,018 .. 0,021	0,014 .. 0,025	0,010
9 houtindustrie	0,020	0,012 .. 0,027	0,018 .. 0,021	0,017 .. 0,022	0,012 .. 0,027	-
10 aardappelverwerkende industrie	0,020	0,018 .. 0,022	0,016 .. 0,024	0,018 .. 0,022	0,016 .. 0,024	0,026
11 sauna	0,020	0,017 .. 0,024	0,011 .. 0,030	0,019 .. 0,022	0,010 .. 0,031	-
12 zuivelindustrie	0,021	0,018 .. 0,023	0,017 .. 0,024	0,018 .. 0,023	0,017 .. 0,025	0,026
13 groothandel met koeling	0,021	0,016 .. 0,027	0,014 .. 0,029	0,019 .. 0,023	0,011 .. 0,032	-
14 tehuis met overnachting > 500 kW	0,022	0,018 .. 0,026	0,016 .. 0,028	0,020 .. 0,024	0,014 .. 0,030	0,022
15 bierbrouwerijen	0,023	0,021 .. 0,025	0,019 .. 0,027	0,021 .. 0,025	0,020 .. 0,026	0,026
16 margarine-, vetten- en oliënindustrie	0,023	0,021 .. 0,025	0,020 .. 0,027	0,021 .. 0,025	0,020 .. 0,026	0,026
17 rubber- en kunststofproductindustrie	0,023	0,017 .. 0,030	0,018 .. 0,029	0,021 .. 0,026	0,013 .. 0,034	-
18 groenten- en fruitverw. industrie	0,024	0,021 .. 0,026	0,018 .. 0,029	0,022 .. 0,025	0,019 .. 0,028	0,010
19 grotere ziekenhuizen	0,024	0,021 .. 0,026	0,018 .. 0,029	0,021 .. 0,026	0,018 .. 0,030	0,019

	standaard	investering	brandstof	O&M	vermeden inkoop energie	SDE+ bijdrage
20 hotel	0,025	0,021 .. 0,030	0,016 .. 0,035	0,024 .. 0,027	0,015 .. 0,036	-
21 bloembollenbedrijven	0,026	0,021 .. 0,030	0,016 .. 0,035	0,024 .. 0,027	0,015 .. 0,036	-
22 frisdrankproducenten	0,027	0,025 .. 0,030	0,022 .. 0,033	0,026 .. 0,029	0,023 .. 0,031	0,010
23 meelindustrie	0,029	0,027 .. 0,031	0,024 .. 0,035	0,028 .. 0,031	0,026 .. 0,033	0,010
24 basisschool	0,030	0,025 .. 0,035	0,020 .. 0,039	0,028 .. 0,031	0,019 .. 0,040	-
25 opvang zonder overnachting	0,030	0,025 .. 0,035	0,020 .. 0,040	0,028 .. 0,032	0,020 .. 0,040	-
26 theater	0,033	0,028 .. 0,038	0,023 .. 0,043	0,031 .. 0,035	0,023 .. 0,043	-
27 medische (groeps)praktijk	0,035	0,029 .. 0,041	0,025 .. 0,045	0,033 .. 0,037	0,024 .. 0,045	-
28 zeugenbedrijven	0,036	0,030 .. 0,042	0,026 .. 0,046	0,034 .. 0,038	0,025 .. 0,046	-
29 gesloten varkensbedrijven	0,037	0,030 .. 0,043	0,027 .. 0,046	0,035 .. 0,038	0,026 .. 0,047	-
30 vakantiepark	0,037	0,031 .. 0,043	0,027 .. 0,047	0,035 .. 0,039	0,026 .. 0,047	-
31 café/restaurant	0,038	0,031 .. 0,044	0,028 .. 0,048	0,036 .. 0,039	0,027 .. 0,048	-
32 supermarkt	0,039	0,032 .. 0,045	0,029 .. 0,048	0,037 .. 0,040	0,028 .. 0,049	-
33 groothandel zonder koeling	0,039	0,033 .. 0,046	0,029 .. 0,049	0,037 .. 0,041	0,029 .. 0,050	-
34 sportaccommodatie binnen	0,039	0,033 .. 0,046	0,029 .. 0,049	0,037 .. 0,041	0,029 .. 0,050	-
35 museum	0,040	0,033 .. 0,047	0,030 .. 0,050	0,038 .. 0,042	0,029 .. 0,050	-
36 autoschadeherstelbedrijf	0,040	0,033 .. 0,047	0,030 .. 0,050	0,038 .. 0,042	0,029 .. 0,050	-
37 garage/showroom	0,041	0,034 .. 0,048	0,031 .. 0,051	0,039 .. 0,043	0,030 .. 0,051	-
38 kantoren	0,041	0,034 .. 0,048	0,031 .. 0,051	0,039 .. 0,043	0,030 .. 0,051	-
39 winkel zonder koeling	0,043	0,036 .. 0,050	0,033 .. 0,053	0,041 .. 0,045	0,033 .. 0,054	-
40 zwembad buiten	0,043	0,035 .. 0,052	0,036 .. 0,051	0,040 .. 0,046	0,033 .. 0,054	-
41 glastuinbouw: snijbloemenbedrijven	0,045	0,041 .. 0,049	0,039 .. 0,051	0,043 .. 0,047	0,042 .. 0,048	0,021
42 glastuinbouw: pot- en perkplanten	0,046	0,042 .. 0,050	0,040 .. 0,051	0,043 .. 0,048	0,043 .. 0,048	0,021
43 glastuinbouw: groentebedrijven	0,046	0,043 .. 0,049	0,040 .. 0,052	0,044 .. 0,048	0,044 .. 0,048	0,021
44 vleeskuikenbedrijven	0,056	0,046 .. 0,067	0,049 .. 0,064	0,053 .. 0,060	0,046 .. 0,067	-
45 stadsverwarming	0,038	0,028 .. 0,047	0,032 .. 0,043	0,035 .. 0,040	0,027 .. 0,048	0,025
46 kalvermesterijen	0,072	0,060 .. 0,083	0,062 .. 0,082	0,068 .. 0,075	0,061 .. 0,082	-
47 sportaccommodatie buiten	0,106	0,087 .. 0,124	0,098 .. 0,113	0,100 .. 0,111	0,095 .. 0,116	-

Uit de tabel wordt bevestigd dat vooral de brandstofprijs en de hoogte van de investering sterk bepalend zijn voor de haalbaarheid.

Door significante variaties in haalbaarheid in de praktijk is biomassaverbranding voor een deel van de bedrijven meer aantrekkelijk dan genoemd in dit rapport, terwijl het voor een deel ook minder aantrekkelijk is. Voor een sector waar het voor een gemiddelde verbruiker onhaalbaar lijkt, kan dit betekenen dat een aantal gebruikers toch investeert omdat daar de omstandigheden gunstiger zijn. Omgekeerd zal het ook zijn dat in een sector waar biomassaverbranding nu rendabel lijkt, de omstandigheden bij een gebruiker toch te ongunstig zijn. Omdat het niet duidelijk is welke spreiding in haalbaarheid realistisch is te veronderstellen, geldt ook dat de resultaten met enige voorzichtigheid dienen te worden betracht.

Tenslotte is het interessant om de rentabiliteit van de installaties na afloop van de SDE periode (8 of 12 jaar) of na het in een jaar volmaken van het subsidiabele aantal vollasturen. Deze is weergegeven in Tabel 4.7. De tabel laat zien dat in alle sectoren

waar rendabele bedrijfsvoering met behulp van SDE stimulering mogelijk is (in groen gearceerd), er na afloop van de SDE periode een onrendabele top overblijft. Het is dus niet ondenkbaar dat deze installaties na afloop van de SDE periode of bij volmaken van het subsidiabele aantal vollasturen in de SDE regeling worden stilgezet.

Tabel 4.7 Vergelijking van de onrendabele top (ORT, in Euro/kWh) voor en na afloop van de SDE periode voor de standaard brandstof. Indien de categorie 'pellets voor stoom' van toepassing kan zijn, wordt deze als variant vermeld.

		tijdens SDE+ periode						na afloop SDE periode
Sector	brandstof	kapitaals-lasten	overige kosten	kostprijs totaal	vermeden kosten	ORT	bijdrage SDE+	ORT
aardappelverwerkende industrie	shreds	0,010	0,029	0,039	0,019	0,020	0,026	0,010
	pelletsA2	0,007	0,043	0,050	0,019	0,031	0,042	0,023
autoschadeherstelbedrijf	pelletsA1	0,034	0,058	0,092	0,052	0,040	-	0,006
basisschool	pelletsA1	0,025	0,057	0,082	0,052	0,030	-	0,005
bierbrouwerijen	shreds	0,010	0,029	0,039	0,016	0,023	0,026	0,013
	pelletsA2	0,007	0,043	0,050	0,016	0,034	0,042	0,027
bloembollenbedrijven	pelletsA1	0,021	0,057	0,078	0,052	0,026	-	0,004
blokverwarming	pelletsA2	0,021	0,046	0,067	0,052	0,015	-	-0,006
café/restaurant	pelletsA1	0,033	0,057	0,090	0,052	0,038	-	0,005
chemie	shreds	0,008	0,029	0,038	0,022	0,016	0,026	0,008
	pelletsA2	0,007	0,043	0,050	0,022	0,028	0,042	0,021
diervoederindustrie	snippers	0,013	0,036	0,049	0,029	0,019	0,010	0,007
frisdrankproducenten	snippers	0,012	0,036	0,048	0,020	0,027	0,010	0,016
garage/showroom	pelletsA1	0,035	0,058	0,093	0,052	0,041	-	0,006
gesloten varkensbedrijven	pelletsA1	0,031	0,058	0,089	0,052	0,037	-	0,006
glastuinbouw: groentebedrijven	snippers	0,015	0,040	0,056	0,009	0,046	0,021	0,031
glastuinbouw: pot- en perkplanten	snippers	0,019	0,040	0,060	0,014	0,046	0,021	0,026
glastuinbouw: snijbloemen	snippers	0,018	0,040	0,059	0,013	0,045	0,021	0,027
groenten- en fruitverwerkende ind.	snippers	0,011	0,036	0,047	0,023	0,024	0,010	0,013
groothandel met koeling	pelletsA2	0,026	0,047	0,074	0,052	0,021	-	-0,005
groothandel zonder koeling	pelletsA1	0,033	0,058	0,092	0,052	0,039	-	0,006
grotere ziekenhuizen	snippers	0,014	0,039	0,054	0,030	0,024	0,019	0,009
hotel	pelletsA1	0,021	0,057	0,078	0,052	0,025	-	0,004
houtindustrie	snippers	0,037	0,022	0,059	0,040	0,020	-	-0,018
kalvermesterijen	pelletsA1	0,058	0,066	0,124	0,052	0,072	-	0,014
kantoren	pelletsA1	0,035	0,058	0,093	0,052	0,041	-	0,006
margarine-, vetten- en oliënind.	shreds	0,010	0,029	0,039	0,016	0,023	0,026	0,014
	pelletsA2	0,007	0,043	0,050	0,016	0,034	0,042	0,027
MBO/HBO/ universiteit	pelletsA2	0,020	0,046	0,066	0,052	0,014	-	-0,006
medische (groeps)praktijk	pelletsA1	0,030	0,057	0,087	0,052	0,035	-	0,005
meelindustrie	snippers	0,010	0,036	0,046	0,017	0,029	0,010	0,019
museum	pelletsA1	0,034	0,058	0,092	0,052	0,040	-	0,006
opvang zonder overnachting	pelletsA1	0,025	0,057	0,082	0,052	0,030	-	0,005
papierindustrie	snippers	0,012	0,017	0,029	0,015	0,014	0,010	0,002
rubber- en kunststofproductind.	snippers	0,033	0,043	0,076	0,052	0,023	-	-0,010
sauna	pelletsA1	0,018	0,055	0,073	0,052	0,020	-	0,003
sportaccommodatie binnen	pelletsA1	0,033	0,059	0,092	0,052	0,039	-	0,006

Sector	brandstof	tijdens SDE+ periode						na afloop SDE periode
		kapitaals-lasten	overige kosten	kostprijs totaal	vermeden kosten	ORT	bijdrage SDE+	ORT
sportaccommodatie buiten	pelletsA2	0,093	0,065	0,158	0,052	0,106	-	0,012
stadsverwarming	snippers	0,049	0,042	0,090	0,052	0,038	0,025	-0,011
supermarkt	pelletsA1	0,033	0,058	0,091	0,052	0,039	-	0,006
tehuis met overnachting	snippers	0,021	0,041	0,062	0,040	0,022	0,022	0,001
theater	pelletsA1	0,027	0,058	0,085	0,052	0,033	-	0,006
vakantiepark	pelletsA1	0,032	0,057	0,089	0,052	0,037	-	0,005
vleeskuikenbedrijven	pelletsA2	0,053	0,056	0,109	0,052	0,056	-	0,003
vleesverwerkende industrie	snippers	0,012	0,036	0,048	0,029	0,019	0,010	0,007
voortgezet onderwijs	pelletsA2	0,020	0,046	0,067	0,052	0,014	-	-0,006
winkel zonder koeling	pelletsA1	0,037	0,058	0,095	0,052	0,043	-	0,006
zeugenbedrijven	pelletsA1	0,030	0,058	0,088	0,052	0,036	-	0,006
zuivelindustrie	shreds	0,011	0,029	0,041	0,020	0,021	0,026	0,009
	pelletsA2	0,008	0,043	0,050	0,020	0,030	0,042	0,023
zwembad binnen	pelletsA2	0,014	0,045	0,059	0,052	0,007	-	-0,008
zwembad buiten	pelletsA2	0,043	0,053	0,096	0,052	0,043	-	0,001

5 Conclusies en aanbevelingen

Deze studie geeft een indicatie van de typische haalbaarheid van toepassing van bioketels en bio-wkk in diverse marktsectoren, zonder en met ISDE/SDE subsidie.

De analyse is gedaan op basis van gemiddelde waarden voor het energieverbruik per sector. Dit betekent dat aangenomen wordt dat alle verbruikers in een sector hetzelfde zijn qua schaalgrootte en bedrijfsvoering. Vanzelfsprekend is er in de praktijk sprake van een belangrijke spreiding van kenmerken, welke een belangrijke invloed kan hebben op de haalbaarheid van introductie van bioketels. Ook kunnen er lokaal omstandigheden gelden die de haalbaarheid op andere wijze in positieve of negatieve zin beïnvloeden, zoals lokale beschikbaarheid van brandstof, bouwkundige eisen e.d. Dit maakt dat de resultaten uit deze studie met voorzichtigheid dienen te worden betracht en vooral als indicatief dienen te worden beschouwd. Ondanks dit voorbehoud, biedt de onderhavige analyse wel een toegevoegde waarde, omdat het inzicht geeft in verschillen in marktomstandigheden voor verschillende sectoren.

De onderzochte marktsegmenten beslaan een totaal technisch potentieel van ca 230 PJ aan biomassa-ketelwarmte. De hoogte van de bedragen uit de SDE+ regeling voor bioketels in 2017 lijkt voldoende om ca. 43 PJ van het technisch potentieel van ca 230 PJ voor bioketels rendabel te maken, dat wil zeggen ten opzichte van een terugverdientijd van 9,2 jaar in 2017 (in 2016 was dit nog omgerekend 6,5 jaar). Dit potentieel zit echter vooral in marktsectoren waar kortere terugverdientijden worden vereist en het is dus onduidelijk of dit wordt gerealiseerd. Voor veel andere sectoren geldt dat ze niet in staat om de gestelde rentabiliteitseisen uit de SDE regeling te halen. Alleen sommige partijen (zoals gemeenten) nemen voor duurzame investeringen soms genoegen met een terugverdientijd van 8-12 jaar.

De meest rendabele toepassingen zijn te vinden bij bedrijven in de chemie en VGI sectoren, waar continu behoefte is aan processtoom. Onder steun van de SDE+ regeling kunnen deze installaties worden gerealiseerd met een terugverdientijd van ca 4-6 jaar wanneer gekozen wordt voor shreds als brandstof. Onder de regeling ‘pellets voor stoom’ daalt dit naar ca. 3-5 jaar door een sterkere subsidiëring. Deze terugverdientijden vallen binnen de eis van 5 jaar terugverdientijd uit het MJA3 convenant. Verwacht wordt daarom dat deze marktsegmenten de komende tijd een sterke groei zullen doormaken.

Uit de analyse blijkt dat de kostprijs voor warmteopwekking met bioketels uiteenloopt tussen 2,9 en 15,8 ct per kWh, tegen vermeden kosten tussen 0,9 en 5,2 ct per kWh. De onrendabele top varieert tussen 0,7 en 10,6 ct per kWh warmte. De belangrijkste reden voor de grote verschillen in haalbaarheid is het verschil in vollasturen (tussen

788 en 8300 uren). Dit is van groot belang omdat de kapitaalslasten vooral bij weinig gebruik een fors deel van de totale kostprijs uitmaken.

Daarnaast is het van groot belang welke wijze van warmteopwekking wordt verdrongen. Zo wordt in de industrie vaak al wkk toegepast, wat leidt tot een lagere kostprijs dan warmte van een gasketel. Toepassing van een biomassagestookte ketel is dan minder rendabel. Evenzo geldt in de glastuinbouwsector een lagere kostprijs van aardgas vanwege een verlaagd EB tarief.

Voor de productie van stoom voor de procesindustrie bestaat momenteel de SDE+ categorie ‘stoom uit pellets’. Omdat de logistiek van pellets en de inpasbaarheid voor de procesindustrie grote voordelen biedt ten opzichte van andere biomassa, geeft de industrie vaak de voorkeur aan pellets. Dit wil echter niet zeggen dat het ook direct de goedkoopste oplossing is. Vanwege de lagere kostprijs lijkt verbranding van shreds voor deze toepassing aantrekkelijker dan pellets, ondanks de hogere investering.

De onrendabele top van biomassagestookte wkk is in alle onderzochte gevallen hoger dan dat van biomassagestookte ketels. De stimulering welke uitgaat van de SDE+ categorie ‘Thermische Conversie < 100 MWe” voor 2017 kan voor een aantal sectoren in de VGI sector leiden tot een terugverdientijd van 5-8 jaar, dit is echter langer dan de terugverdientijd van een biomassagestookte ketel in dezelfde sectoren (4-6 jaar) of bij toepassing van pellets (3-4 jaar). Verwacht wordt dan ook dat investeerders in deze sectoren niet snel zullen kiezen voor wkk.

Tenslotte blijkt uit de berekeningen voor zowel bioketels als biowkk systemen dat de marginale kosten na afloop van de SDE+ periode (of ná het volmaken van het beschikte aantal vollasturen uit de SDE regeling) vrijwel altijd hoger zijn dan de opbrengsten uit vermeden energieproductie. Het is daarmee niet ondenkbaar dat investeerders de installatie afschakelen na deze periode in een jaar, of na afloop van de SDE+ periode. Een meer flexibele stimulering van de bedrijfsvoering, waarbij de ondersteuning afhankelijk wordt van het aantal vollasturen, is daarom te overwegen.

6 Referenties

[1] Agrimatie, informatie over de agrosector, www.agrimatie.nl.
[2] Arcadis, Energie besparen in koffiebranderijen, RVO, 2015
[3] Basis Bioenergy 2015, European Wood chips plants – Country analysis; BASIS – Biomass Availability and Sustainability Information System; Version #2 –2015
[4] Bemmel, M. van, WES, mondelinge communicatie, 2016
[5] Bergmans F., Claessen F., Gouweloos R., Lankveld H., Oudkerk S., Op weg naar energiezuinige processen en een biobased economy - Routekaart MVO, Productschap MVO, Atos Consulting en RVO, 2012
[6] Bruyn S.M. de, Koopman M.J., Lieshout M. van, Croezen H.J., Smit M.E., Economische ontwikkeling energie-intensieve sectoren, Delft, CE Delft, september 2014
[7] CBS Statline, 2016, gegevens over aardgasgebruik per sector over 2014
[8] CBS, 2014: Vleeskalverbedrijven: de schaalvergroting gaat door, 2014
[9] CBS, 2015, Hernieuwbare Energie in Nederland 2014, 2015
[10] CBS, 2016, Hernieuwbare Energie in Nederland 2015, 2016
[11] CBS, 2016, Maatwerktabel houtketels voor warmte bij bedrijven eind 2015, 2016
[12] ENECO, 2016, Presentatie Biostoom
[13] Greef K. de, Stoomplatform, mondelinge communicatie
[14] Greeve J., Kuiper L., Ketenkaart Koopmans Meel BV, E-kwadraat advies, 2010
[15] Haffner R., Til H. van, Jong H. de, Mans W. en de Graaf L., Evaluatie Warmtewet en toekomstig marktontwerp warmte, Ecorys, 2016
[16] Hekkenberg M., Achtergronddocument voedingsmiddelenindustrie t.b.v. de referentieraming 2010-2020, Stand van zaken en verwachting, ECN E-10-102, 2010
[17] Jolman, A. Eneco Warmte en Koude, mondelingen communicatie, nov 2016
[18] Kamp, Minister H.G.J., Ministerie van Economische Zaken, brief aan Tweede Kamer over Warmtevisie, 2 April 2015
[19] K.J. Kramer, R. Hoste en H.J. van Dooren, Energie in de varkensketen, LEI, P-ASG, Wageningen UR, Maart, 2006
[20] Klimaatplatform Varkenshouderij, 2014, Richtlijnen klimaatinstellingen
[21] Kool A., Pluimers J., Blonk H., Fossiel energiegebruik en broeikasgasemissies in de kalfsvleesketen, Blonk consultants, December 2013
[22] Kool A., Pluimers J., Blonk H., Fossiel energiegebruik en broeikasgasemissie in de vleeskuikenketen 1990-2012, Blonk Consultants, Februari 2014
[23] Koolwijk E.M., Peeters S.J.W., WKK en bioWKK in de glastuinbouw, EnergyMatters, TVVL Magazine 06, 2011
[24] Koppejan J., Handboek Biomassaverbrandingsinstallaties - Ontwerpen, installeren en beheren, ISSO, 2015
[25] Korven T. van, ZLTO, mondelinge communicatie
[26] Lensink S.M., Zuijlen C.L. van, Aanvullend Onderzoek Correctiebedragen SDE+ regeling, ECN-E-15-070, ECN, Dec 2015

[27] Lensink S.M., Cleijne J.W., Eindadvies basisbedragen SDE+ 2017, ECN-E--16-040, ECN, 2016
[28] MJA-Sectorrapport 2015 Margarine-, vetten- en oliënindustrie, RVO, 2016
[29] Moerkerken A., Gerlagh T., Jong G. de, Verhoog D., Energie en klimaat in de agrosectoren, RVO, 2015
[30] Nussbaumer T., Thalmann S., Sensitivity of System Design on Heat Distribution Cost in District Heating, IEA Bioenergy Task 32, Swiss Federal Office of Energy, and Verenum, Zürich 2014, ISBN 3-908705-27-4
[31] Obernberger I., Hammerschmid A., Forstinger M., Techno-economic evaluation of selected decentralised CHP applications based on biomass combustion with steam turbine and ORC processes, Report for IEA Bioenergy Task 32, BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH, Graz, Austria, 2015
[32] Overzicht emissiecijfers (in tonnen CO_2-eq) Nederlandse deelnemers EU ETS, 2013-2015.
[33] Productschap Zuivel, Zuivel in cijfers 2015, 2016
[34] Römer J.C., Jong M.J.M., Warmte en Koudevraag in de utiliteitsbouw, ECN-C-99-067, 1999
[35] RVO, 2016, Geanonomiseerde samenvatting van jaarrapportages i.h.k.v. de SDE regeling
[36] Sipma J.M., Rietkerk M.D.A., Ontwikkeling energiekentallen utiliteitsgebouwen - Een analyse van 24 gebouwtypen in de dienstensector en 12 industriële sectoren, Januari 2016, ECN-E--15-068
[37] Vrij J.M., Oldenhof S., Bovenkamp M.V. van den, Meerjarenplan Energie-Efficiency Zuivelindustrie 2013-2016, Nederlandse Zuivel Organisatie, 2013

Appendix 1. Klankbordgroep

Fokke Goudzwaard, Platform Bioenergie
Ria Kalf, Platform Bioenergie
Eppo Bolhuis, NBKL
Rene Wismeijer, RVO
Jan Iepsma, RVO
Matte Brijder, RVO