

Opwekkingsrendementen bio-WKK, gas-WKK en collectieve HR-ketels

Inventarisatie van beschikbare praktijkgegevens

Opwekkingsrendementen bio-WKK, gas-WKK en collectieve HR-ketels

Inventarisatie van beschikbare praktijkgegevens

-Openbare versie-

Klaas Koop

Lucas van den Boogaard

Luchien Luning

Christiaan Thissen

PBIONL084826

© Ecofys 2011

In opdracht van:

Agentschap NL | NL Energie en Klimaat, Programma Duurzame Energie in
Nederland (DEN)

(referentienummer van SenterNovem: DEN091770)

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding en doel	1
1.2	Leeswijzer	2
2	Beschrijving van de systemen	3
2.1	Uitgangspunten en systeemgrenzen	3
2.2	Definities van de systemen	5
2.3	Bio-WKK systemen	6
2.4	Gas-WKK systemen	11
2.5	Collectieve HR-ketels en warmtenetten	12
3	WKK en ketels in Nederland	15
3.1	Algemeen	15
3.2	Opvragen van gegevens	22
4	Gegevens uit gerealiseerde projecten	26
4.1	Biomassa-WKK op basis van dieselmotor	26
4.2	Biomassa-WKK op basis van vergisting met gasmotor	26
4.3	Biomassa-WKK op basis van verbranding met stoomcyclus	27
4.4	Aardgas-WKK's op basis van gasmotoren	27
4.5	Collectieve aardgas HR-ketels	30
5	Benodigde metingen	31
5.1	Aanbevolen metingen per categorie	31
5.2	Selectiecriteria en uitvoering van metingen	32
5.3	Aanbevolen metingen	32
6	Conclusies en aanbevelingen	34
	Referenties	36
Appendix A	Benaderde bedrijven	39
Appendix B	Memo gegevensvraag	41

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

In 2008 is het eerste integrale werkprogramma voor duurzame warmte en koude gepresenteerd: "Warmte op stoom". Hiermee heeft het onderwerp een duidelijke plek gekregen in het beleid. In het werkprogramma zijn de activiteiten met betrekking tot duurzame warmte en koude uit het programma "Schoon en zuinig" uitgewerkt. Binnen het werkprogramma worden drie typen stimuleringsmaatregelen genoemd. Één daarvan is "kennis ontwikkelen en delen". In het kader hiervan is het Nationaal Expertisecentrum Warmte (NEW) ingericht. Hiervoor zijn objectieve praktijkgegevens met betrekking tot efficiëntie van de verschillende warmtetechnieken nodig. Wanneer deze praktijkgegevens beschikbaar zijn, dienen deze eenduidig gebundeld te worden. Wanneer deze gegevens niet beschikbaar zijn, zullen veldtesten opgezet moeten worden. De praktijkrendementen dienen beschikbaar te komen voor technologieën op drie schaalgroottes:

- 1** Centraal (warmtelevering elektriciteitscentrales, industrie en AVI's);
- 2** Wijkniveau (bio-WKK's, gas-WKK's, collectieve warmtepompen en collectieve HR-ketels);
- 3** Lokaal / woningniveau (individuele warmtepomp, zonneboiler, micro-WKK en individuele HR-ketel).

SenterNovem heeft Ecofys eind 2009 gevraagd de beschikbare opwekkingsrendementen voor technologieën op wijkniveau (met uitzondering van collectieve warmtepompen) in kaart te brengen en veldtesten te definiëren voor ontbrekende opwekkingsrendementen.

Het doel van dit project is drieledig:

- Voor ieder van de drie technologieën bio-WKK's, gas-WKK's en collectieve HR-ketels vaststellen of voldoende objectieve praktijkgegevens beschikbaar zijn om het eenwaardig op te wekken;
- Opwekkingsrendement vast te stellen;
- Wanneer voldoende objectieve praktijkgegevens beschikbaar zijn, het eenwaardig opwekkingsrendement vaststellen voor elk van de drie hierboven genoemde technologieën;
- Wanneer onvoldoende objectieve praktijkgegevens beschikbaar zijn, veldtesten definiëren om deze gegevens te verkrijgen.

SenterNovem gaat de praktijkrendementen gebruiken om toekomstige projectontwikkelaars te voorzien van objectieve informatie zodat zij gedegen beslissingen kunnen nemen over de technologie.

Eind 2010 heeft Agentschap NL (voormalig SenterNovem) Ecofys gevraagd van de vertrouwelijke rapportage een publieke versie te maken. Dit is het rapport dat nu voor u ligt.

1.2 Leeswijzer

Na de introductie in hoofdstuk 1 volgen in hoofdstuk 2 de beschrijvingen van de drie bovengenoemde systemen. Ook worden de systemen waar nodig in subcategorieën ingedeeld. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de installaties die in Nederland in bedrijf zijn. Dit betreffen installaties zoals in hoofdstuk 2 beschreven. Dit hoofdstuk sluit af met een lijst van benaderde marktpartijen en bevindingen uit de consultatie hiervan. In hoofdstuk 4 worden de geïnterviewde cijfermatige praktijkgegevens per categorie gepresenteerd. Waar geen praktijkgegevens zijn verkregen wordt toegelicht of ze naar alle waarschijnlijkheid wel beschikbaar kunnen komen of dat metingen aangeraden worden. In hoofdstuk 5 worden adviezen gegeven over eventueel uit te voeren metingen. Ten slotte worden conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 6 gegeven.

2 Beschrijving van de systemen

2.1 Uitgangspunten en systeemgrenzen

Bij het verzamelen van getallen zijn een aantal uitgangspunten gehanteerd. Deze zijn:

Typen installaties

Alleen installaties die ook daadwerkelijk warmte aan warmtenetten voor woonwijken leveren zijn in deze studie geïnventariseerd. Wanneer binnen een groep van installaties onvoldoende relevante installaties bekend zijn, is bekeken of een installatie die een andere vorm van warmteafzet heeft (bijvoorbeeld industrie, drogen biomassa brandstof) geschikte gegevens zou kunnen opleveren.

Warmtevraag

Er wordt uitgegaan van systemen die in de warmtebehoefte van 50 – 5.000 huishoudens kunnen voorzien. Uitgaande van een gemiddelde jaarlijkse warmtevraag van 30 GJ/jaar per huishouden, komt dit overeen met systemen van 1.500 – 150.000 GJ.

Meetgegevens

Alleen concrete meetgegevens van in Nederland in bedrijf zijnde installaties worden gebruikt. Kengetallen, berekende energiestromen / rendementen en ontwerpgegevens worden niet gebruikt.

Meetomstandigheden

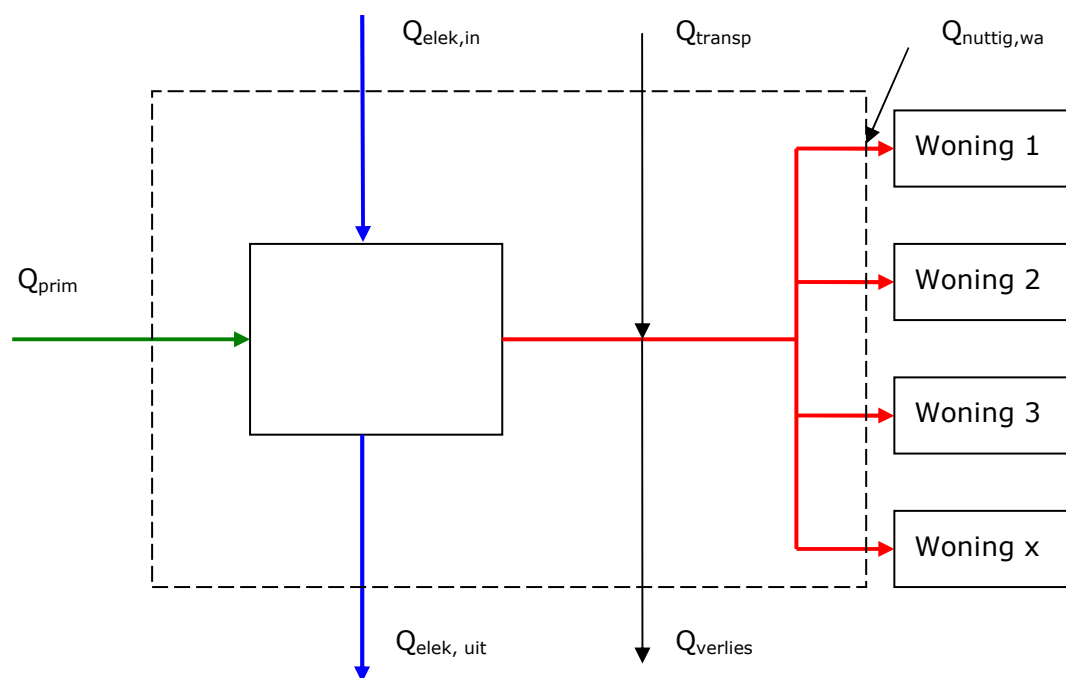
Waar gegevens worden gerapporteerd, worden ook de relevante meetomstandigheden gerapporteerd.

Eenwaardig Opwekkingsrendement (EOR)

Het eenwaardig opwekkingsrendement (EOR) is in de memo [1] van SenterNovem van 6 juli 2009 gedefinieerd. Naast een algemene definitie zijn specifieke definities gegeven voor drie verschillende systemen:

- 1** Collectieve systemen (elektriciteitscentrales, AVI's en industrie);
- 2** Semi-collectieve systemen (bio-wkk, gas-wkk, collectieve warmtepompen, collectieve WKO en collectieve HR-ketels);
- 3** Individuele HR-ketels.

Binnen deze studie wordt de definitie van de semi-collectieve systemen gehanteerd. In de berekening van het elektrisch rendement wordt uitgegaan van het rendement van het punt waar de primaire energie het omzettingapparaat (gasmotor, stoomketel, etc.) binnen gaat tot aan levering aan het net. Bij de berekening van het thermische rendement worden ook energiestromen tijdens transport tot aan 'de voordeur' van de woningen meegenomen. Een voorbeeld van transportverlies (Q_{verlies}) is warmteverlies. Een voorbeeld van energie die tijdens transport toegevoerd wordt ($Q_{\text{transport}}$) is pompenergie. Dit is weergegeven in Figuur 1. Deze figuur is gebaseerd op bovengenoemde memo, maar enigszins aangepast (in overleg met SenterNovem).



Figuur 1: Systeemgrenzen (binnen onderbroken lijnen) EOR

De rendementen op basis van Figuur 1 zijn als volgt gedefinieerd:

$$EOR_W = \frac{Q_{nuttig,wa}}{Q_{prim} + \frac{Q_{elek,in}}{\eta_{opw}} + Q_{transp}}$$

Figuur 2: Berekening eenwaardig thermisch opwekkingsrendement

$$EOR_E = \frac{Q_{elek,uit} - Q_{elek,in}}{Q_{prim}}$$

Figuur 3: Berekening eenwaardig elektrisch opwekkingsrendement

In Figuur 2 en Figuur 3 worden de volgende symbolen gebruikt:

EOR_W	: Eenwaardig opwekkingsrendement warmte (-)
EOR_E	: Eenwaardig opwekkingsrendement elektriciteit (-)
$Q_{nuttig,wa}$	: Nuttige warmte, geleverd aan 'voordeuren' woningen (GJ)
Q_{prim}	: Primaire energie zoals geleverd aan systeem (GJ _{ovw})
$Q_{elek, in}$	: Aan systeem toegevoerde elektrische energie (GJ)
η_{opw}	: Opwekkingsrendement elektriciteit in NL (-)

Q_{transp}	: Tijdens warmtetransport toegevoerde energie, zoals pompenergie (GJ)
Q_{verlies}	: Tijdens warmtetransport verloren energie (GJ)
$Q_{\text{elek,uit}}$	: Door het systeem extern geleverde energie (GJ)

2.2 Definities van de systemen

De systemen waar dit onderzoek zich op richt zijn:

- 1 Bio-WKK;
- 2 Gas-WKK;
- 3 Collectieve HR-ketels.

Ieder van deze drie categorieën kunnen worden onderverdeeld in verschillende systemen. Deze onderverdeling kan worden gemaakt op verschillende gronden en detailniveaus. Ecofys hanteert op verzoek van SenterNovem een onderverdeling op basis van de gegevens uit de 'Uniforme Maatlat' [2] die binnen NEW is ontwikkeld. Deze onderverdeling is in Tabel 2 - 1 gegeven. Ieder van de systemen in Tabel 2 - 1 wordt besproken in de volgende paragrafen.

Tabel 2 - 1 Belangrijkste systemen binnen de categorieën

(A) Bio-WKK	(B) Gas-WKK	(C) Collectieve HR-ketel
(1) Bio-olie dieselmotor	(1) Aardgasgestookte gasmotor	(1) Aardgasgestookte ketel
(2) Biomassavergister met gasmotor	(2) Aardgasgestookte gasturbine	
(3) Biomassa verbranding stoomcyclus < 10 MW _e		
(4) Biomassa verbranding stoomcyclus 10 – 50 MW _e		

Er zijn binnen de categorieën A – C meer systemen. Voorbeelden zijn biomassavergassers met gekoppelde ketel, gasmotor of turbine en ORC-systemen¹. Deze systemen worden nog niet of slechts in zeer beperkte mate toegepast in Nederland.

¹ ORC = Organic Rankine Cycle. Dit is vergelijkbaar met een stoomcyclus, met het verschil dat een organische vloeistof het water vervangt.

2.3 Bio-WKK systemen

Biomassa WKK-systemen zijn divers in uitvoering. Dit is een direct gevolg van de grote diversiteit in verschijningsvormen van biomassa. De verschillende systemen worden hieronder besproken.

Bij bio-energiesystemen is het van belang dat de invoer van primaire energie minder eenduidig is dan bij systemen die fossiele brandstoffen benutten. Bij aardgasgestookte installaties worden rendementen berekend op basis van de primaire energie-invoer die gebaseerd is op de verbrandingswaarde. Hierbij wordt energie die nodig is om de energiedrager te winnen en te transporteren naar de installatie buiten beschouwing gelaten. Voor winning en distributie van aardgas is slechts een klein deel van de energie-inhoud van aardgas nodig. Voor andere brandstoffen is dit een groter deel. Speciaal voor biobrandstoffen kan dit een aanzienlijk deel zijn. In Tabel 2 - 2 staan een aantal indicatieve getallen voor rendementen van deze voorbewerkingen. In deze inventarisatie worden deze verschillen niet in rekening gebracht: de energiedrager zoals deze bij de omzetting wordt ingezet (dus bijvoorbeeld de pyrolyseolie, de houtpellets of het aardgas) wordt als primaire energie beschouwd².

Tabel 2 - 2 Indicatieve rendementen van winning, transport en voorbewerking van een aantal brandstoffen

Bewerking	Indicatief rendement op energiebasis	Opmerkingen
Aardgas	~98%	Rendement van winning, conditionering en transport.
Pyrolyseolie [3,4]	~65%	Pyrolyse is een thermisch proces waarmee biomassa tot een bio-olie wordt verwerkt die in dieselmotoren kan worden toegepast. Rendement is van ruwe biomassa naar zuivere pyrolyseolie
Houtpellets [3]	~92%	Rendement is gebaseerd op ruwe houtachtige biomassa naar pellets.
Getorrificeerde biomassa [3]	~96%	Torrefactie is een thermisch proces waarmee biomassa tot een op steenkool lijkend product wordt verwerkt.

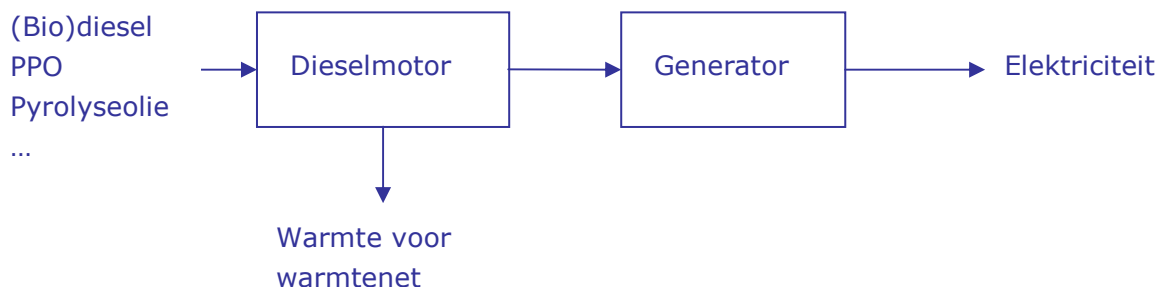
² Dit is in overleg met SenterNovem besloten.

A1 – Bio-olie dieselmotor

Dieselmotoren zijn luchtcomprimerende verbrandingsmotoren. Dieselmotoren worden toegepast in motorvoertuigen (auto's, vrachtauto's, treinen, schepen), maar ook in stationaire toepassingen. In stationaire toepassingen worden vaak langzaamlopende dieselmotoren toegepast met een relatief groot vermogen. Fossiele diesel is de dominante brandstof. Met over het algemeen geringe aanpassingen zijn deze motoren geschikt te maken voor andere vloeibare brandstoffen. Voorbeelden zijn:

- 1 Puur plantaardige oliën (PPO);
- 2 Biodiesel (met een alcohol veresterd PPO);
- 3 Afvalvetten (bijvoorbeeld oud frituurvet);
- 4 Pyrolyseolie (aanpassingen motor groter dan bovengenoemde).

Het motorrendement van een dieselmotor ligt rond de 40 – 50%. Dit wordt met een generator³ omgezet in elektriciteit. Een groot deel (rond 90%) van de resterende 60 – 50% kan als warmte teruggewonnen worden. Dit betreft de warmte die vrijkomt bij motor- en smeeroliekoeling en de rookgaskoeling. De warmte van de motor en smeeroliekoeling komt op een relatief laag temperatuurniveau vrij. Een typisch temperatuurtraject waarop warmte wordt afgegeven is: 70 - 90°C. In Figuur 4 is het systeem schematisch weergegeven.



Figuur 4: Concept WKK van bio-olie dieselmotor

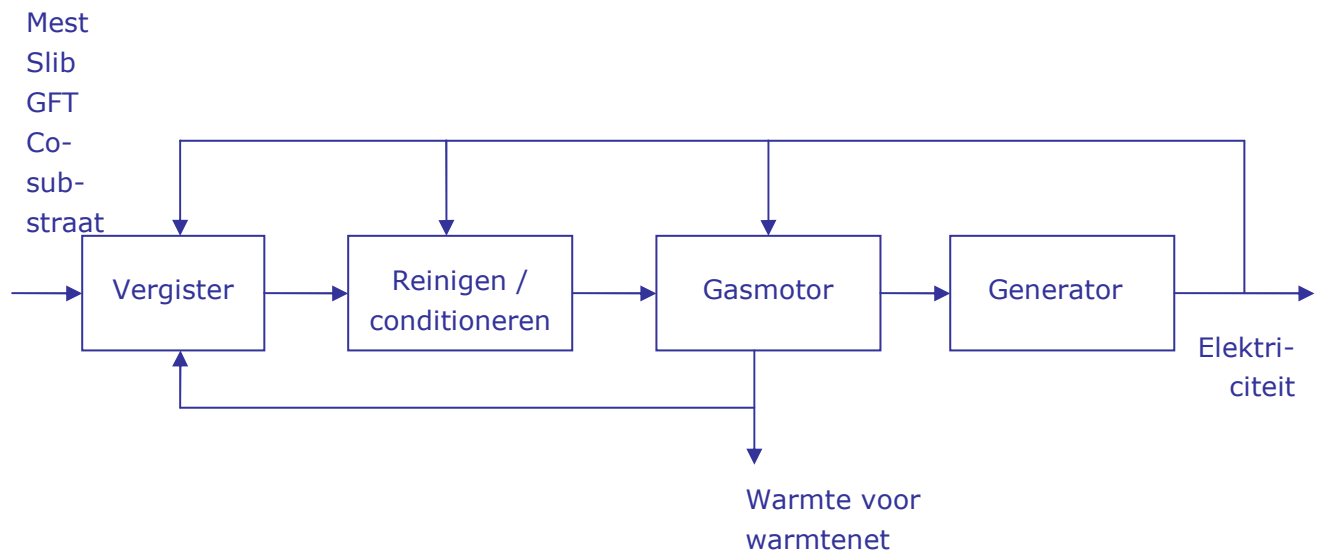
Binnen de gebouwde omgeving worden dergelijke systemen op beperkte schaal toegepast.

A2 – Biomassavergister met gasmotor

In een biomassavergister wordt relatief vochtige biomassa met een biologisch proces omgezet in biogas dat voor circa 60% uit methaan bestaat. Het biogas kan worden gevoed aan een gasmotor die met een generator elektriciteit opwekt.

³ Het genoemde elektrische rendement van 40 – 50% is inclusief het generator rendement. Generatorrendementen zijn typisch 96 – 98%.

Net als bij een dieselmotor kan warmte van de motor teruggewonnen worden waardoor een WKK-systeem ontstaat. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: Concept WKK van biomassavergister met gasmotor

Vergisters kennen verschillende verschijningsvormen, voornamelijk afhankelijk van de voeding. De meest voorkomende (circa 90 in Nederland) is de mest(co)vergister waarbij dierlijke mest, al dan niet met cosubstraten⁴ wordt vergist en waarbij het verwerkte materiaal (digestaat) als meststof wordt toegepast. Daarnaast zijn een aantal installaties voor de vergisting van slib en GFT-afval in bedrijf. De omzettingsrendementen van substraat en cosubstraat naar biogas verschillen sterk. In vergelijking met thermische omzettingsprocessen (zoals verbranding) is het definiëren van het rendement lastig. Bij thermische omzettingen naar elektriciteit via een stoomcyclus is het rendement gedefinieerd als:

$$\mu_e = \frac{\text{massastroom brandstof} \times \text{verbrandingswaarde brandstof}}{\text{elektriciteit output}}$$

Bij vergistingsprocessen is de verbrandingswaarde echter een grootheid van weinig betekenis. Daarbij komt dat specifieke biogasopbrengsten per (co)substraat sterk verschillen. In Tabel 2 - 3 staan van een aantal (co)substraten typische gasopbrengsten gegeven. Het definiëren van rendementen op basis van droge of organisch stof zal dus ook leiden tot grote verschillen in rendementen. Ten slotte is het van belang te realiseren dat in de meeste gevallen het primaire doel van vergisting het verwerken van reststromen en niet energieproductie is.

⁴ In een covergister wordt mest (het substraat) met andere producten (cosubstraten) samen vergist. Voorbeelden van co-substraten zijn: maïs, reststromen uit de voeding- en genotmiddelenindustrie en ruwe glycerine (restproduct van biodieselproductie).

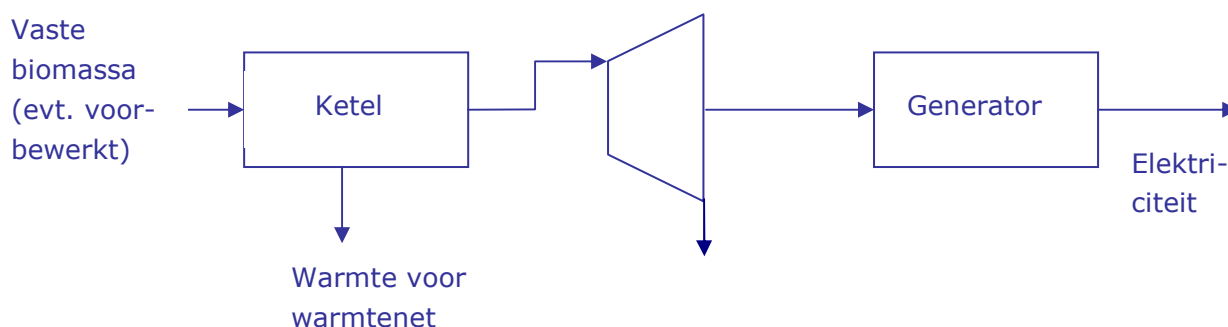
Op basis van bovenstaande is besloten geen rendementen van vergistingsprocessen mee te nemen in de te rapporteren rendementen. Om eenduidige en vergelijkbare rendementen te rapporteren, worden rendementen van de omzetting van biogas naar elektriciteit en warmte gegeven.

Tabel 2 - 3 Biogasopbrengsten van enkele substraten

(co)substraat	Droge stofgehalte (% _{nb})	Organische stofgehalte (% _{db})	Biogas opbrengst (Nm ³ /ton organische droge stof)	Biogas opbrengst (Nm ³ /ton nat product)
Koeienmest	7 – 15	65 – 85	200 – 400	9 – 51
Kippenmest	10 – 20	70 – 80	350 – 550	7 – 61
Groenteafval	10 – 20	65 – 85	400 – 700	25 – 120
Kuilgras	30 – 50	80 – 90	500 – 700	120 – 350
Vet	8 – 50	70 – 90	600 – 1300	120 – 315
Voederbiet	10 – 20	80 – 95	800 – 1200	65 – 230

A3 en A4 – Biomassa met stoomcyclus

Biomassa wordt in een ketel verbrand waarbij de warmte wordt gebruikt om hoge druk stoom op te wekken. De stoom wordt in een stoomturbine ontspannen waarbij de thermische energie wordt omgezet in mechanisch energie. De stoomturbine drijft een generator aan die elektriciteit opwekt. Het werkingsprincipe is gegeven in Figuur 6.



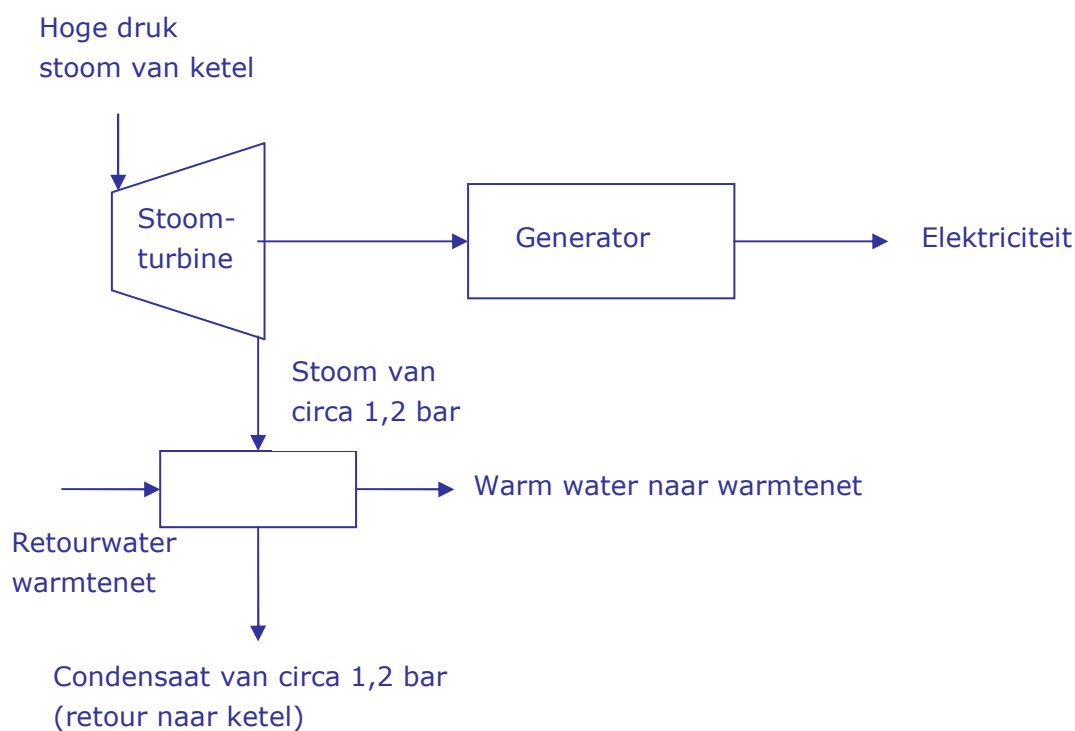
Figuur 6: Concept WKK van biomassa verbranding met stoomcyclus

De stoom uit de stoomturbine wordt gecondenseerd en teruggevoerd naar de ketel. Warmte kan op twee manieren gewonnen worden:

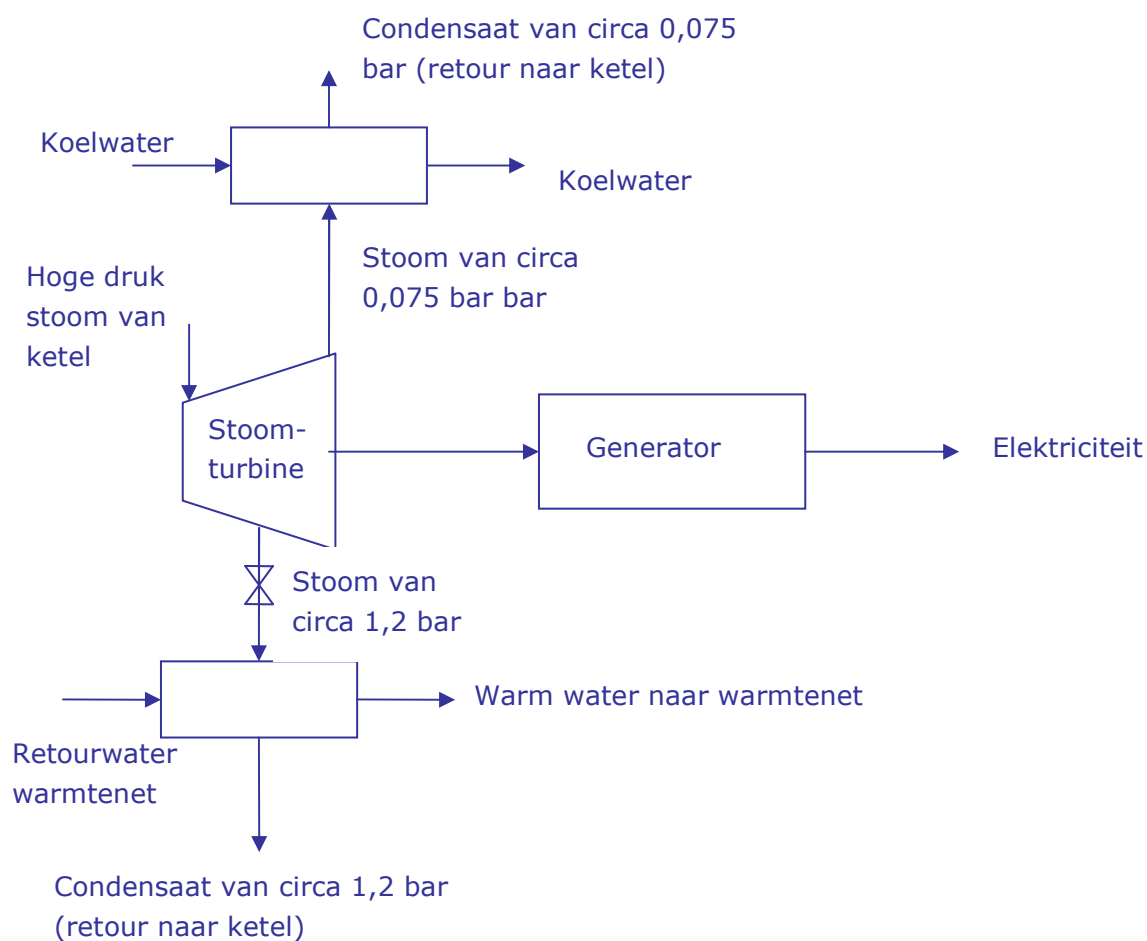
- 1 Door stoom uit de turbine af te tappen. De plek van aftappen bepaald de temperatuur van de stoom;
- 2 Door een hogere einddruk van de turbine te kiezen zodat de gecondenseerde stoom nog van een hoog genoeg temperatuurniveau is (tegendrukturbine).

In beide gevallen zal warmtelevering resulteren in een lager elektrisch rendement. Het principe van beide systemen is gegeven in Figuur 7 en Figuur 8. Bij systeem 1 kan de afname van stoom worden geregeld. Bij systeem 2 wordt altijd een constante hoeveelheid stoom geproduceerd. Door dit verschil heeft systeem 1 de voorkeur bij een warmtevraag die niet constant is. Systeem 1 wordt daarom vaak voor stadsverwarmingssystemen toegepast terwijl systeem 2 meer in de industrie toegepast wordt.

In Tabel 2 - 1 wordt binnen de bio-WKK's onderscheid gemaakt in systemen van < 10 MW_e en systemen van 10 – 50 MW_e (conform the uniforme maatlat). In Nederland is er slechts 1 verbrandingsinstallatie met stoomcyclus van > 10 MW_e. Dit is de installatie van Essent in Cuijk. Deze levert echter alleen elektriciteit. Deze categorie is daarom verder buiten beschouwing gelaten.



Figuur 7: Principe tegendruk stoomturbine



Figuur 8: Principe aftapstoomturbine

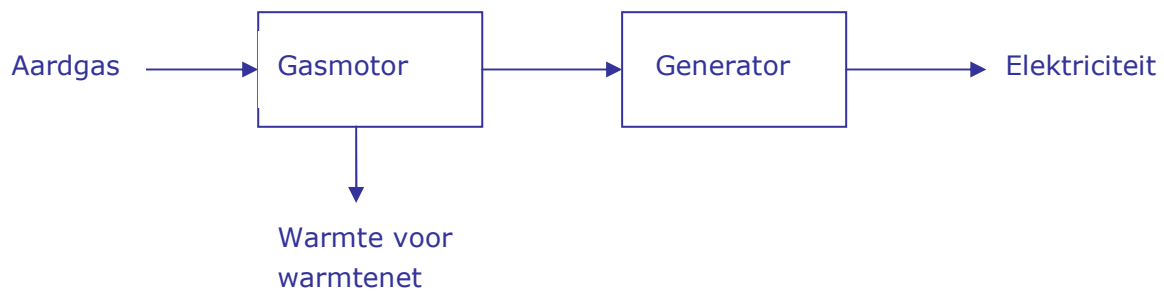
2.4 Gas-WKK systemen

Gasgestookte WKK's binnen de gebouwde omgeving zijn minder divers in uitvoering dan bio-WKK's. De meest toegepaste gasgestookte WKK-systemen worden onderverdeeld in:

- 1** Gasmotor met warmteterugwinning (analoog aan dieselsysteem van Figuur 4);
- 2** Verbrandingsketel met stoomcyclus (analoog aan biomassa-systeem van Figuur 6);
- 3** Een gasturbinecyclus;
- 4** Stoom- en gasturbine (STEG).

Naast deze vier systemen zijn ook nog enkel minder vaak toegepaste en in ontwikkeling zijnde systemen. Voorbeelden hiervan zijn: Stoommotor, Organic Rankine Cycle (ORC), brandstofcel, Stirling motor, etc.

In Nederland worden alleen gasmotoren met warmteterugwinning toegepast in de gebouwde omgeving. De andere systemen worden daarom buiten beschouwing gelaten. Het principe van een gasgestookte WKK op basis van een gasmotor met warmteterugwinning is gegeven in Figuur 9.



Figuur 9: Concept aardgasgestookte WKK op basis van gasmotor

2.5 Collectieve HR-ketels en warmtenetten

Grote HR-ketels worden veel toegepast binnen de utiliteitsbouw. Wanneer een HR-ketel warmte via een warmtenet aan meerdere huizen of gebouwen levert, spreken we van een collectieve HR-ketel. In tegenstelling tot HR-ketels in de utiliteitsbouw komen collectieve HR-ketels op beperkte schaal voor in Nederland. Wanneer ook back-up en piekketels die in combinatie met een WKK worden meegerekend zijn er aanzienlijk meer.

In Nederland zijn 13 grootschalige warmtenetten van meer dan 5.000 huishoudens die in totaal circa 220.000 huishoudens van warmte voorzien. Het oudste warmtenet (Rotterdam) dateert van de jaren '40 van de vorige eeuw terwijl de nieuwste enkele jaren oud zijn. Een groot aantal is in de jaren '80 van de vorige eeuw gerealiseerd. Warmtenetten van deze omvang vallen buiten het kader van deze studie en worden daarom niet verder besproken [16].

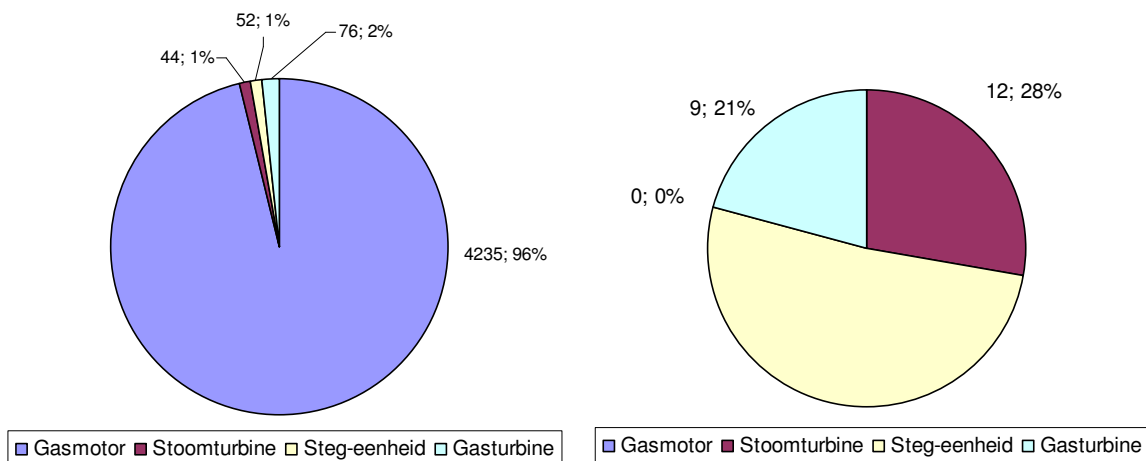
Warmtenetten met minder dan 5.000 aangesloten verbruikers worden kleinschalig genoemd. Systemen voor de verwarming van woningen in hoogbouw worden vaak blokverwarming genoemd. In Nederland zijn sinds de jaren '70 van de vorige eeuw veel van dergelijke systemen geïnstalleerd. Er is geen overzicht van alle kleinschalige warmtenetten in Nederland omdat deze ook beheerd worden door kleine bedrijven en verenigingen van eigenaren. Wel is bekend dat er in Nederland circa 6.900 kleinschalige warmtenetten zijn, waarvan ruim 300 beheerd worden door Eneco, Nuon en Essent. De overige 6.600 zijn in beheer bij kleine bedrijven en verenigingen van eigenaren. Dit zijn veelal kleinere systemen van < 50 woningen [16]. Daarnaast zijn gegevens van deze systemen moeilijk te verkrijgen gezien het grote aantal installatie-eigenaren.

Om deze reden is gekozen voor het verzamelen van praktijkrendementen van installaties in beheer bij de grotere energiebedrijven: Eneco, Essent en Nuon. De warmtenetten worden van warmte voorzien door zowel WKK's, restwarmte uit de industrie, AVI's en collectieve ketels.

3 WKK en ketels in Nederland

3.1 Algemeen

In Nederland zijn duizenden WKK-installaties en collectieve HR-ketels in bedrijf. In Figuur 10 is een overzicht gegeven van de WKK's in 2007 (laatste jaar waarvan statistische gegevens zijn). Hierin wordt onderscheid gemaakt in centrale en decentrale installaties. Centrale installaties zijn elektriciteitscentrales die gekoppeld zijn aan het hoogspanningsnet van TENNET. Decentrale installaties zijn installaties die bij bedrijven staan waarvan energieopwekking niet de primaire doelstelling is. Dit zijn bijvoorbeeld glastuinbouwbedrijven, industriële bedrijven en ziekenhuizen. Ook WKK's op wijkniveau vallen hier onder. Uit de figuur blijkt dat de gasmotor de dominante vorm van decentrale WKK is.



Figuur 10: Decentrale (links) en centrale (rechts) WKK-installaties in Nederland in 2007 (aantallen installaties; bron: CBS)

Van alle decentrale WKK's is ruim 60% opgesteld in de land- en tuinbouw (glastuinbouw). WKK's als wijkcentrale voor een woonwijk en aangesloten op een warmtedistributienetwerk komen veel minder voor.

Collectieve HR-ketels komen veel voor in grotere gebouwen. WKK-installaties worden naast toepassing in de gebouwde omgeving ook toegepast in de industrie en de glastuinbouw. In deze laatste twee gevallen is de warmtevraag constanter gedurende het jaar dan bij toepassing in de woningbouw.

Zoals in hoofdstuk 2.1 is gemotiveerd, worden alleen installaties van de drie grote Nederlandse energiebedrijven (Eneco, Essent en Nuon) behandeld. In Tabel 3 - 1 zijn deze installaties gegeven.

De gegevens in de tabel zijn gebaseerd op literatuur⁵, op websites gepubliceerde informatie en persoonlijke communicatie met enkele van de energiebedrijven. Ecofys gelooft dat de inventarisatie de grote meerderheid van de installaties in Nederland omvat⁶, maar kan niet uitsluiten dat er warmtenetten (die voldoen aan de gestelde voorwaarden) missen. Niet alle energiebedrijven konden verzekeren dat de aangeleverde gegevens compleet waren. Voor deze studie is volledigheid niet van groot belang. De tabel maakt in ieder geval duidelijk dat er in Nederland voldoende warmtenetten met WKK's zijn om gegevens van te verzamelen. Ten slotte is het opvallend dat er een aantal tijdelijke ketels zijn die al vele jaren in bedrijf zijn. In een aantal van deze gevallen is bekend dat hier op termijn restwarmte zal worden toegepast, maar de warmteleverancier daar nog niet klaar voor is of dat het aantal woningen dat aangesloten is nog onvoldoende is voor rendabele restwarmtelevering.

Tabel 3 - 1 Warmtenetten voor ~50 – 5000 woningen van Eneco, Essent en Nuon op basis van WKK en collectieve ketels [1, 16,17,18,19] ⁷

Naam warmtenet	Plaats	Beheerder	Aantal woningen	Opwekking	In bedrijfstelling
Vijfwal	Houten	Eneco	2.482	Gasmotor WKK	2001
Oosterheem	Zoetermeer	Eneco	2.471	Gasmotor WKK	2004
Vathorst	Amersfoort	Eneco	1.695	Gasmotor WKK	2006
Wateringseveld	Den Haag	Eneco	1.588	Gasmotor WKK	2005
Boterdorp	Berschenhoek	Eneco	1.028	Gasmotor WKK	2009
Vaanpark	Barendrecht	Eneco	849	Gasmotor	2007

⁵ In de tabel worden geen rendementen genoemd, alleen waar installaties staan en hoeveel woningen er op aangesloten zijn.

⁶ Installaties die aan woonwijken leveren met 50 – 5000 aansluitingen. Dus installaties in de utiliteitsbouw, glastuinbouw, industrie en <50 en > 5.000 woningen uitgesloten.

⁷ Een groot deel van de gegevens komt uit een recent rapport van bureau CE Delft [16]. Waar het mogelijk was, zijn de gegevens vergeleken met andere bronnen. Hieruit en uit Ecofys marktkennis, is gebleken dat er veel verschillen zijn in de gegevens van het aantal aangesloten woningen en jaartal van inbedrijfstelling. Waar dit aan het licht is gekomen is dit aangepast. Het is niet uit te sluiten dat ook de andere getallen niet allemaal correct zijn. Omdat de juistheid van de jaartallen en het precieze aantal aangesloten woningen niet veel af doet aan het doel van deze tabel in dit rapport (ordegrote van aantal en omvang), is niet alles gecontroleerd.

Naam warmtenet	Plaats	Beheerder	Aantal woningen	Opwekking	In bedrijf-stelling
				WKK	
Oostpolder	Papendrecht	Eneco	572	Gasmotor WKK	2000
Meerhoven	Eindhoven	Essent	2.308	WKK	1999
Camminghaburen	Leeuwarden	Essent	978	WKK	-
Hoogveld	Sittard	Essent	796	Biomassa WKK (ORC)	1998
Het Loon	Heerlen	Essent	659	WKK	1974
P. Schunckstraat	Heerlen	Essent	120	WKK	-
Parc Imstenrade	Heerlen	Essent	310	WKK	-
Ceramique	Maastricht	Essent	1.600	WKK + gasketels	1993
Welten	Heerlen	Essent	362	WKK	-
Tattersall	Enschede	Essent	570	WKK	-
Roombeek	Enschede	Essent	550	WKK	-
Wezenland	Deventer	Essent	523	WKK	-
Botlekstraat	Deventer	Essent	519	WKK	
Polderwijk	Zeewolde	Essent	416	WKK	2003
Rijtuigweg	Bergen op Zoom	Essent	318	Gasketels	1981
Robert Kochlaan	Bergen op Zoom	Essent	53	Gasketels	-
Mercuriusplein	Bergen op Zoom	Essent	213	WKK	-
Lievenshovenlaan 3	Bergen op Zoom	Essent	74	Gasketels	
Ouverture	Goes	Essent	331	Warmtepomp	2002
Waterwegcentrum	Hoek van Holland	Essent	161	WKK + ketel	2007
Zuidbroek	Apeldoorn	Essent	110	Bio-WKK (vergisting RWZI)	2007

Naam warmtenet	Plaats	Beheerder	Aantal woningen	Opwekking	In bedrijfstelling
Overdie	Alkmaar	Essent	56	Warmtepomp	2007
Landschapslaan	Emmen	Essent	84	Gasketels	-
Ciboga	Groningen	Essent	200	WKK	-
Volksbelang	Hoogezand	Essent	144	Gasketels	-
Maarsheerd	Stadskanaal	Essent	98	WKK	-
Veldhof	Utrecht	Essent	143	WKK	-
Jan Vermeer	Venlo	Essent	127	WKK	-
Molenbossen	Venlo	Essent	306	WKK	-
WKK's Amsterdam	Amsterdam	Nuon	8.460	WKK	1994 – 2003
Lelystad	Lelystad	Nuon	4.748	Bio-WKK (verbrading, stoomcyclus)	2001
Waalsprong	Nijmegen	Nuon	2.334	Gasketels, tijdelijk	1998
Heerhugowaard	Heerhugowaard	Nuon	2.211	WKK	1998
Arnhem	Arnhem	Nuon	1.549	WKK	2001
Assendelft	Assendelft	Nuon	1.185	WKK	2000
Kernhem	Ede	Nuon	1.117	Gasketels, tijdelijk	1999
Broek op Langedijk	Broek op Langedijk	Nuon	937	WKK	2001
Hoogvliet	Rotterdam	Nuon	910	Gasketels, tijdelijk	2003
Wageningen	Wageningen	Nuon	740	WKK	1994
Zandvoort	Zandvoort	Nuon	541	WKK	1998
Parijsch	Culemborg	Nuon	529	Gasketels, tijdelijk	2000
Hilversum	Hilversum	Nuon	279	Gasketels, tijdelijk	1998
Mariënborg	Nijmegen	Nuon	123	WKK	1992
Schoonoord	Schoonoord	Nuon	117	WKK	2000

Uit Tabel 3 - 1 blijkt dat bio-WKK's in zeer beperkte mate aanwezig zijn in Nederland. Daarom zijn bio-WKK-projecten in meer detail weergegeven in Tabel 3 - 2 (woonwijken) en Tabel 3 - 3 (anders dan woonwijken). Hieruit blijkt dat de installaties om diverse redenen niet allemaal geschikt zijn voor het gebruik van getallen of het doen van metingen.

Tabel 3 - 2 Projecten bio-WKK met warmtelevering aan warmtenet in woonwijk [Ecofys marktkennis,8]

Type ¹⁾	Locatie	Beschrijving	Warmte-afzet	Status ²⁾	Capaciteit
A3	Lelystad	Verbranding met stoomcyclus in eigendom van NUON. Brandstof is snoei- en dunningshout.	Woonwijk en naastgelegen gevangenis	In bedrijf sinds 2001	10 GWh elektriciteit 150.000 GJ (4.748 woningen + gevangenis)
A1	Denekamp	WKK bestaande uit 14 vrachtwagenmotoren met PPO als brandstof.	Verwarming appartementen-complex	Onbekend	60 woningen
A2	Zeewolde	Biogas uit mestcovergisting wordt via leidingen getransporteerd naar een wijkcentrale (Essent) waar met een WKK elektriciteit en warmte wordt geproduceerd. Warmte wordt via een warmtenet naar woningen getransporteerd.	Polderwijk in Zeewolde	Recent gestart, maar nog niet op volle capaciteit	3000 woningen verwarmen (momenteel nog minder)
A2	Apeldoorn	Slib van een waterzuivering in Apeldoorn wordt vergist. Het biogas wordt verbrand in een motor (Essent) die elektriciteit voor het net en warmte voor woningen	Nieuwbouwwijk Zuidbroek in Apeldoorn	Wijk is nog in aanbouw. Vergister nog niet op volle capaciteit.	2500 woningen verwarmen (momenteel nog minder)

Type ¹⁾	Locatie	Beschrijving	Warmte-afzet	Status ²⁾	Capaciteit
		levert.			
-	Sittard	Verbranding van snoeihout met nageschakelde ORC	Woonwijk Hoogveld in Sittard	In bedrijf sinds 2005	
-	Almelo	Stortgas via 10 km lange leiding naar wijkcentrale met ketels en WKK's	Woonwijk Windmolenbroek in Almelo	In bedrijf sinds 2000	Circa 850 woningen.

¹⁾ Het type refereert aan Tabel 2 - 1.

²⁾ Eind 2009

Tabel 3 - 3 Projecten bio-WKK met warmtelevering anders dan warmtenet in woonwijk

Type ¹⁾	Locatie	Beschrijving	Warmte-afzet	Status ²⁾	Capaciteit
A2	Putten	Biogas uit mestcovergisting wordt via een 4 km lange leiding getransporteerd naar een wijkcentrale (Eneco) waar met een WKK elektriciteit en warmte wordt geproduceerd. Warmte wordt voor een subtropisch zwembad gebruikt.	Subtropisch zwembad in putten	In aanbouw	Circa 10 GWh elektriciteit
A3	Goor	Verbranding met stoomcyclus in eigendom van Bioenergie Twente BV. Brandstof is B-hout	Drogen van brandstof en inzet in productieproces	In bedrijf sinds 2006	14 GWh elektriciteit 33.500 GJ warmte
A1	Ermelo	Oude scheepsdiesel-motor met generator geschikt voor PPO en afvalvetten	Calluna zwembad	Voor zover bekend voorlopig buiten bedrijf	
A2	Leeuwarden	Slibvergisting	Bejaardenhuis	Onbekend	

¹⁾ Het type refereert aan Tabel 2 - 1.

²⁾ Eind 2009

Naast de projecten die in Tabel 3 - 2 en Tabel 3 - 3 genoemd zijn, zijn er meer bio-energiecentrales, maar deze leveren alleen elektriciteit of alleen warmte. Dit zijn:

- (Afval)houtverbrandingsinstallaties die met een stoomcyclus elektriciteit leveren. Voorbeelden zijn de installaties van HVC in Alkmaar en Twence in Hengelo. Deze staan beide naast een AVI van waaruit wel warmte wordt geleverd. Omdat kWh-vergoedingen voor elektriciteit uit een AVI lager zijn dan van een afvalhoutgestookte installatie en levering van warmte resulteert in een iets lager elektrisch rendement, is de keuze voor warmtelevering vanuit de AVI in plaats vanuit de houtgestookte installatie begrijpelijk.
- In Nederland zijn circa 90 mestvergisters in bedrijf. Een deel van de warmte die hier vrij komt wordt gebruikt voor het vergistingsproces zelf. De overige warmte wordt weg gekoeld. De belangrijkste reden dat de warmte niet benut wordt zijn problemen met het vinden van geschikte warmte-afzet.

3.2 Opvragen van gegevens

Zoals eerder genoemd zijn primair de drie grootste Nederlandse energiebedrijven benaderd. Daarnaast zijn enkele andere partijen benaderd waarvan Ecofys vermoedde dat gegevens beschikbaar zouden zijn.

Eneco

Eneco heeft een aantal warmte-krachtcentrales voor woonwijken in bedrijf.

Essent

Ook Essent heeft een aantal warmtenetten voor woonwijken in bedrijf.

Essent gaf aan dat praktijkrendementen voor WKK-installaties vrijwel gelijk zijn aan door leveranciers opgegeven rendementen. Dit is ook door Eneco bevestigd [9]: Omdat altijd prestatiecontracten met de leveranciers worden afgesloten (bonus-malus systeem bij hoger rendement – lager rendement) zijn de opgegeven rendementen realistisch. Voor gasmotoren zullen de opgegeven rendementen de praktijk goed weergeven. Voor andere systemen is dit minder zeker, vooral voor biomassasystemen zijn praktijkgegevens onontbeerlijk.

Nuon

Net als Eneco en Essent heeft ook Nuon een aanzienlijk aantal warmtenetten in bedrijf.

Ecofys

Ecofys is bij ontwikkeling van diverse WKK projecten betrokken. Algemeen kan gesteld worden dat Ecofys meer in beginstadia van projecten betrokken is (haalbaarheid, realisatie, opstart, optimalisatie) terwijl relevante praktijkrendementen juist in latere stadia (bij stabiel werken van de installatie, dus ná opstart- en optimalisatieperiode) gegenereerd kunnen worden. Door Ecofys' betrokkenheid bij de projecten zijn wel goede contacten met de operators. Dit heeft binnen de inventarisatie geleid tot een relatief goede toegang tot gegevens en snel kunnen benaderen van de juiste personen.

Met betrekking tot bio-WKK's zijn wel enkele praktijkcijfers gebruikt. Deze zijn geanonimiseerd.

Met betrekking tot gasgestookte systemen bleken directe gegevens uit deze projecten niet bruikbaar. Redenen zijn bijvoorbeeld:

- Gegevens zijn niet volledig op metingen gebaseerd (deels gemeten, deels berekend);
- Te weinig achtergronden bekend (specifieke situatie gedurende metingen);
- Gegevens zijn verouderd.

BAM Energy Systems

BAM Techniek – Energy Systems is vooral actief in collectieve WKO systemen, warmtepompen en pieklastvoorzieningen. Gasgestookte warmtenetten voor woonwijken, worden, als dus BAM Techniek – Energy Systems, vooral door energiebedrijven ontwikkeld en beheerd. De energiebedrijven hebben, volgens BAM Techniek – Energy Systems, als brandstofleverancier een gunstigere concurrentiepositie ten opzichte van andere partijen. Daarnaast zijn terugleververgoedingen voor energiebedrijven gunstiger.

De ketels en WKK's die door BAM Techniek – Energy Systems in beheer zijn of ontworpen zijn, staan vooral in de utiliteitsbouw (zorginstellingen, ziekenhuizen, kantoorpanden, etc.) en niet voor warmtenetten in woonwijken. In de utiliteitsbouw gaat het om maximaal 20 – 40 systemen waarvan slechts een klein deel (naar schatting ca. 20) door BAM beheerd worden. Van deze systemen zijn zeer beperkt meetgegevens beschikbaar (ca. 2 a 3 systemen). Alleen van deze laatste systemen zijn mogelijk rendementsgegevens te achterhalen. De BAM contactpersoon heeft aangegeven dat het achterhalen van deze gegevens een aanzienlijke tijdsinspanning vraagt, vooral omdat veel van de meetgegevens niet opgeslagen worden (historie) of moeten worden omgebouwd om ze te kunnen analyseren. Daarnaast geldt dat in sommige gevallen met de gebouweigenaar afgestemd moet worden of de gegevens beschikbaar gesteld mogen worden. Ditzelfde geldt voor ketels die bij BAM's WKO-installaties staan.

Hoewel BAM bereid is tot op bepaalde hoogte medewerking te willen geven, is het lastig om gegevens beschikbaar te stellen. Ecofys is van mening dat het zinvoller is andere bronnen te benaderen voor de onderbouwing van de onderzoeksvraag.

KIWA Gas Technology

Kiwa Gas Technology meet NO_x-emissies aan stookinstallaties. Uit de meetgegevens kan in sommige gevallen ook het opwekkingsrendement berekend worden, ondanks dat dit niet het doel is van de metingen. Als reactie op de gegevensvraag heeft KIWA Gas Technology aangegeven enkel rendementsgegevens binnen de utilitaire bouw en glastuinbouw te kunnen leveren. KIWA GasTec beschikt niet over praktijkrendementen van installaties die warmte aan een warmtenet voor woningen leveren en valt dus binnen deze inventarisatie af.

COGEN Nederland

COGEN Nederland is de belangenbehartiger van WKK in Nederland. COGEN heeft [12] te kennen gegeven niet over praktijkrendementen van systemen voor warmtenetten in woonwijken te beschikken. Daarnaast is het zo dat de gegevens die wel bekend zijn van COGEN's leden (veel WKK's in de glastuinbouw) vertrouwelijk zijn. Kees den Blanken is van mening dat exploitanten de enige partijen zijn die dergelijke praktijkgegevens hebben. Dit is in lijn met Ecofys' verdere bevindingen in deze inventarisatie.

Cogen gaf verder te kennen dat de diversiteit in WKK systemen enorm groot is en dat het verzamelen en delen van 'typische rendementen' een lastige klus is en een beperkte waarde heeft. Hij stelt dat iedere situatie dermate specifiek is dat een specifieke analyse noodzakelijk is. Zijn overwegingen heeft hij al eerder in een memo aan SenterNovem te kennen gegeven.

ECN (Energieonderzoek Centrum Nederland)

ECN berekent in opdracht van het Ministerie van Economische zaken ten behoeve van de SDE subsidie de onrendabele top van diverse energieconversietechnieken. Voor WKK's heeft ECN onder andere getallen van Jacobs Consultancy gebruikt. Ecofys heeft ECN gevraagd [20] deze gegevens, al dan niet geanonimiseerd, ook te mogen gebruiken. ECN heeft de rapporten van Jacobs Consultancy aan Ecofys ter beschikking gesteld [5,6,7]. De rapporten beschrijven STEG's⁸, gasturbines en gasmotoren. Binnen het kader van deze inventarisatie zijn alleen de gasmotoren van belang aangezien de andere twee technieken alleen op grotere schaal worden toegepast, vaak niet binnen de gebouwde omgeving worden toegepast en specifiek geoptimaliseerd zijn voor maximale elektriciteitsproductie.

⁸ STEG = SToom En Gasturbine

De rapporten zijn gedetailleerder voor STEG's en gasturbines dan voor gasmotoren. Opvallend is dat ook Jacobs Consultancy zich in de rapportage aan ECN baseert op rendementen die door leveranciers zijn opgegeven. Kennelijk gaat Jacobs er vanuit dat deze rendementen representatief zijn. Dit is in lijn met Ecofys' mening en met andere experts (zie ook opmerking elders) die geraadpleegd zijn binnen deze inventarisatie. De aangenomen rendementen voor 2 MW_e gasmotoren zijn: 40% elektrisch en 48% thermisch.

CertiQ

CertiQ certificeert duurzame elektriciteit en geeft onder andere Garanties van Oorsprong en WKK-certificaten uit (namens moeder TenneT). Hierdoor heeft CertiQ gedetailleerde informatie over geproduceerde energie door WKK's. Deze gegevens betreffen enkel geproduceerde elektriciteit en geen gegevens met betrekking tot het verbruik van brandstof. Daarnaast zijn de gegevens van CertiQ vertrouwelijk. Om deze redenen is CertiQ niet benaderd.

4 Gegevens uit gerealiseerde projecten

4.1 Biomassa-WKK op basis van dieselmotor

In Nederland zijn de meeste projecten op basis van een dieselmotor op plantaardige oliën buiten bedrijf of draaien met verlies. De meeste van de nog in bedrijf zijnde systemen zijn niet in de gebouwde omgeving. De oorzaak is een hoge prijs voor plantaardige oliën. Een alternatief voor plantaardige oliën zijn afvalvetten. De prijzen van deze stromen hangen echter samen met die van plantaardige oliën omdat het er een goed alternatief voor is. Omdat degelijke systemen niet meer gesubsidieerd worden zullen er geen nieuwe initiatieven bij komen. Een goed voorbeeld is het Ir. Ottenbad in Eindhoven, waar de plannen voor een bio-WKK op basis van een motor gestopt zijn en verder gegaan wordt met een houtchipsverbrandingsketel. Er zijn vanuit deze systemen daarom onvoldoende gegevens bekend voor het vaststellen van het EOR. Op basis hiervan en gezien de toekomstverwachtingen van dergelijke systemen lijkt het Ecofys op dit moment niet mogelijk en niet zinvol om metingen te gaan uitvoeren. Bij dalende brandstofprijzen en/of nieuwe subsidies kan dit veranderen. Om metingen te kunnen uitvoeren, zullen dan eerst nieuwe installaties in bedrijf genomen moet worden of wellicht stilstaande installaties weer opgestart moeten worden. Een ander alternatief is het verzamelen van gegevens uit installaties in het buitenland. Een mogelijke bron is de bio-olie-WKK in Monopoli in Italië. Deze installatie bestaat uit een drietal 8 MW_e motoren.

4.2 Biomassa-WKK op basis van vergisting met gasmotor

Zoals in hoofdstuk 2.3 is genoemd, wordt alleen naar het rendement van de omzetting van biogas naar elektriciteit en warmte gekeken (vergisting buiten beschouwing). Bij alle mestvergisters⁹ wordt de geproduceerde elektriciteit van de motor en de geleverde elektriciteit gemeten. Dit levert het eigen verbruik van de installatie. Op basis van een aantal vergisters [21] is dit rond de 5 – 10%. Dit zijn betrouwbare metingen. Het energieverbruik van de eventuele opwerking van het biogas is meestal niet direct gemeten. Ook de samenstelling van het biogas wordt soms alleen periodiek gemeten. Of dit gemeten wordt is afhankelijk van de motor. De geproduceerde warmte wordt bij de meeste mestvergisters maar deels gebruikt. De verwerking van mest en de productie van elektriciteit is altijd leidend. Hierdoor wordt warmte niet of niet nauwkeurig gemeten. Ecofys raadt daarom aan eenvoudige metingen uit te voeren om hier een goed beeld van te krijgen en de getallen van de huidige meters aan te vullen.

⁹ Wanneer over een mestvergister gesproken wordt, kan in alle gevallen ook een mest-co-vergister bedoelt worden.

4.3 Biomassa-WKK op basis van verbranding met stoomcyclus

In Nederland zijn een aantal verbrandingsinstallaties in bedrijf. Deze zijn deels besproken in § 2.3. De enige installatie die ook warmte levert aan een warmtenet voor woningen is de Nuon-installatie in Lelystad¹⁰. Deze is sinds 2001 in bedrijf en daarmee enigszins verouderd. Zoals in § 3.2 is genoemd zijn van Nuon geen kwantitatieve gegevens ontvangen. Naar aanleiding van gesprekken heeft Ecofys er echter vertrouwen in dat op basis van de gegevens van Nuon het praktijkrendement van de installatie goed bepaald kan worden. Volledige zekerheid over de volledigheid en de betrouwbaarheid van de metingen is echter niet te geven. Hiervoor moeten eerst de gegevens ingezien worden.

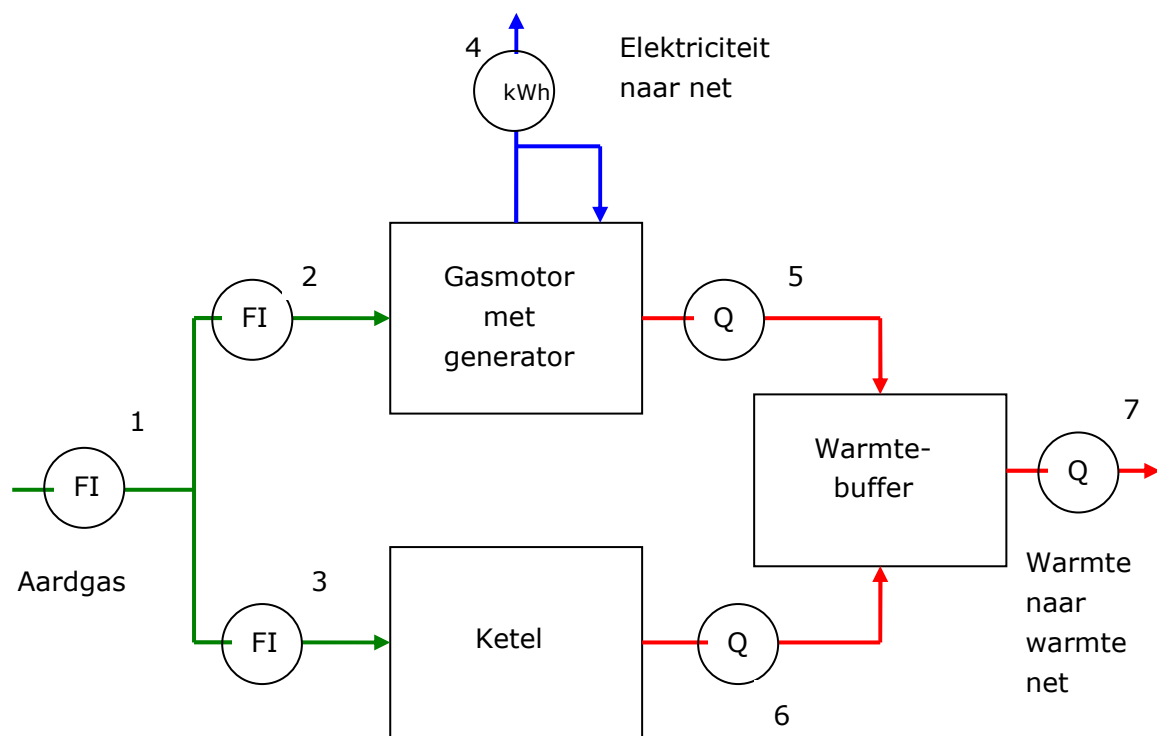
4.4 Aardgas-WKK's op basis van gasmotoren

In Nederland zijn een groot aantal gasgestookte WKK's in bedrijf (zie § 2.5). De exploitanten van deze installaties hebben een aantal gegevens van vijf aardgasgestookte WKK's ter beschikking gesteld. Hierbij is aangegeven waar metingen zijn uitgevoerd. Op basis van deze gegevens is Figuur 11 opgesteld. De op deze metingen gebaseerde rendementen zijn gegeven in Tabel 4 - 4. De installaties zijn geanonimiseerd.

Tabel 4 - 4 Praktijkrendementen van vijf gasgestookte WKK's in Nederland (data van 2008)

Installatie	P_e range (MW _e)	WKK dekking warmte	$\eta_e = EOR_e$	$\eta_{th} \neq EOR_w$
1	1 – 5	58%	39%	41%
2	1 – 5	64%	37%	48%
3	10 – 15	56%	39%	44%
4	1 – 5	67%	36%	47%
5	1 – 5	50%	39%	45%

¹⁰ De installatie in Sittard doet dat ook, maar deze werkt met een ORC in plaats van een stoomcyclus.



Figuur 11: Gasgestookte WKK configuratie

Enkele opmerkingen bij de installaties en metingen:

- Toelichting symbolen en afkortingen:
 1. Debietmeter hoofdaansluiting gas (FI = Flow Indicator; Nm^3/h)
 2. Debietmeter aardgas naar gasmotor (Nm^3/h)
 3. Debietmeter aardgas naar ketel (Nm^3/h)
 4. Elektriciteitsmeter levering aan net (KWh)
 5. Warmtemeter ter hoogte van uitgang koeling gasmotor (GJ's)
 6. Warmtemeter ter hoogte van uitgang ketel (GJ's)
 7. Warmtemeter levering aan warmtenet (GJ's)
- Alle gasmeters zijn EVHI-meters¹¹
- De twee debietmeters in de gastoevoer van de ketel en de gasmotor worden handmatig opgenomen. De aardgasmeter in de hoofdaanvoerleiding is de meter van de gasleverancier. De som van de twee handmatig opgenomen meters kwam met een nauwkeurigheid van gemiddeld 2% overeen met de meter in de hoofdaanvoerleiding. Dit resulteert in een kleine onnauwkeurigheid in de berekende rendementen.

¹¹ EVHI: Elektronisch Volume Herleidings Instrument

- De elektrische rendementen zijn netto rendementen omdat deze berekend zijn op basis van aan het net geleverde elektriciteit. Het eigen verbruik van de installatie is hier dus al van afgetrokken. De bruto rendementen zijn typisch circa 1% hoger.
- De verhouding tussen het thermische vermogen van de gasmotor en de ketel is niet voor ieder systeem gelijk (zie in de kolom "WKK dekking warmte").
- Alle systemen zijn warmtevraag gestuurd en leveren de volledige warmtebehoefte van de aangesloten wijk.
- WKK's worden tussen circa 06:00 uur en 00:00 uur zoveel mogelijk ingezet. Dit wordt in de zomer mede mogelijk gemaakt door de warmtebuffer.
- In de winter zorgt de warmtebuffer voor een verlaging van de te contracteren gaspiek.
- De ketels verzorgen alle warmte die niet door de warmtebuffer of WKK's kunnen worden geleverd.
- De bedrijfstijden van de installaties variëren omdat veel installaties een in aanbouw zijnde wijk bedienen en dus steeds meer woningen worden aangesloten.

Het EOR_w (zie Figuur 2) is alleen te berekenen als ook $Q_{nuttig, wa}$ en Q_{transp} bekend zijn. Een voorbeeld van de laatste is pompenergie. En voorbeeld van verliezen tijdens transport is warmteverlies naar de bodem. Warmteverliezen zijn te bepalen door de som van de warmtemeters bij de aangesloten huizen af te trekken van de gemeten warmteproductie direct na de warmtebuffer. Dit zal wellicht niet tot een nauwkeurig getal leiden om de volgende redenen:

- De som van de onnauwkeurigheden van de individuele warmtemeters bij de woningen kan tot een grote totale meetfout leiden.
- De energiebedrijven geven aan dat de gegevens over afname van individuele klanten bij een andere afdeling ligt [9],. Het is aannemelijk dat deze getallen ook te verkrijgen zijn.

Om bovenstaande redenen is het opwekkingsrendement van de installatie gerapporteerd en niet het EOR_w . De gerapporteerde elektrische rendementen komen wel volledig overeen met het EOR_e .

Op basis van gesprekken met andere exploitanten heeft Ecofys er vertrouwen in dat op verzoek vergelijkbare getallen van hun installaties beschikbaar gesteld zullen worden. Dit geldt overigens niet voor alle exploitantanten waarmee we gesproken hebben.

4.5 Collectieve aardgas HR-ketels

De ketels die energiebedrijven bij de gasmotoren hebben staan (zie Figuur 11) kunnen gebruikt worden om rendementen van collectieve HR-ketels te bepalen. Deze ketels komen vrijwel altijd voor in combinatie met gasgestookte WKK's. Losse ketels voor een warmtenet worden vaak tijdelijk gebruikt (tijdelijke warmte centrales) en zijn daarmee minder geschikt om gegevens over te rapporteren aangezien tijdelijke ketels waarschijnlijk niet volledig geoptimaliseerd zijn. Ten slotte zijn er blokverwarmingssystemen (voor een flat of appartementencomplex) en andere losse systemen. Deze zijn echter bijna altijd op basis van restwarmte, wat buiten de scope van deze inventarisatie valt. De rendementen van de ketels die een combinatie vormen met de WKK-installaties in Tabel 4 - 4, zijn in Tabel 4 - 5 gegeven.

Tabel 4 - 5 Praktijkrendementen van vijf gasgestookte ketels in Nederland (data van 2008)

Installatie (deze vormen combinaties met installaties in Tabel 4 - 4)	Ketelrendement = EOR_w
1	90%
2	86%
3	93%
4	95%
5	84%

Ecofys verwacht dat getalsmatige data zoals in Tabel 4 - 4 en Tabel 4 - 5 is gegeven voor meerdere installaties in Nederland beschikbaar is. Echter, de energiebedrijven zullen deze waarschijnlijk niet openbaar willen maken, maar mogelijk wel geanonimiseerd beschikbaar willen stellen.

5 Benodigde metingen

5.1 Aanbevolen metingen per categorie

Uit hoofdstuk 4 is gebleken dat niet voor alle categorieën metingen aangeraden worden. De conclusies hierover zijn samengevat in Tabel 5 - 1.

Tabel 5 - 1 Door Ecofys aanbevolen metingen

Type installatie		Gegevens nu beschikbaar	Gegevens na nader onderzoek beschikbaar	Metingen aanbevolen
A1	Bio-olie dieselmotor	nee	nee	nee
A2	Biomassavergister met gasmotor	deels	deels	ja
A3	Biomassaverbranding met stoomcyclus	nee	ja	nee
A4	Biomassaverbranding met stoomcyclus 10 – 50 MW _e	nee (geen installaties in Nederland)	Nee	nee (niet mogelijk)
B1	Aardgasgestookte gasmotor	ja	ja, meer gegevens beschikbaar	nee
B2	Aardgasgestookte gasturbine	nee (niet toegepast in gebouwde omgeving)	nee	nee
B3	Aardgasgestookte ketel	ja	ja, meer gegevens beschikbaar	nee

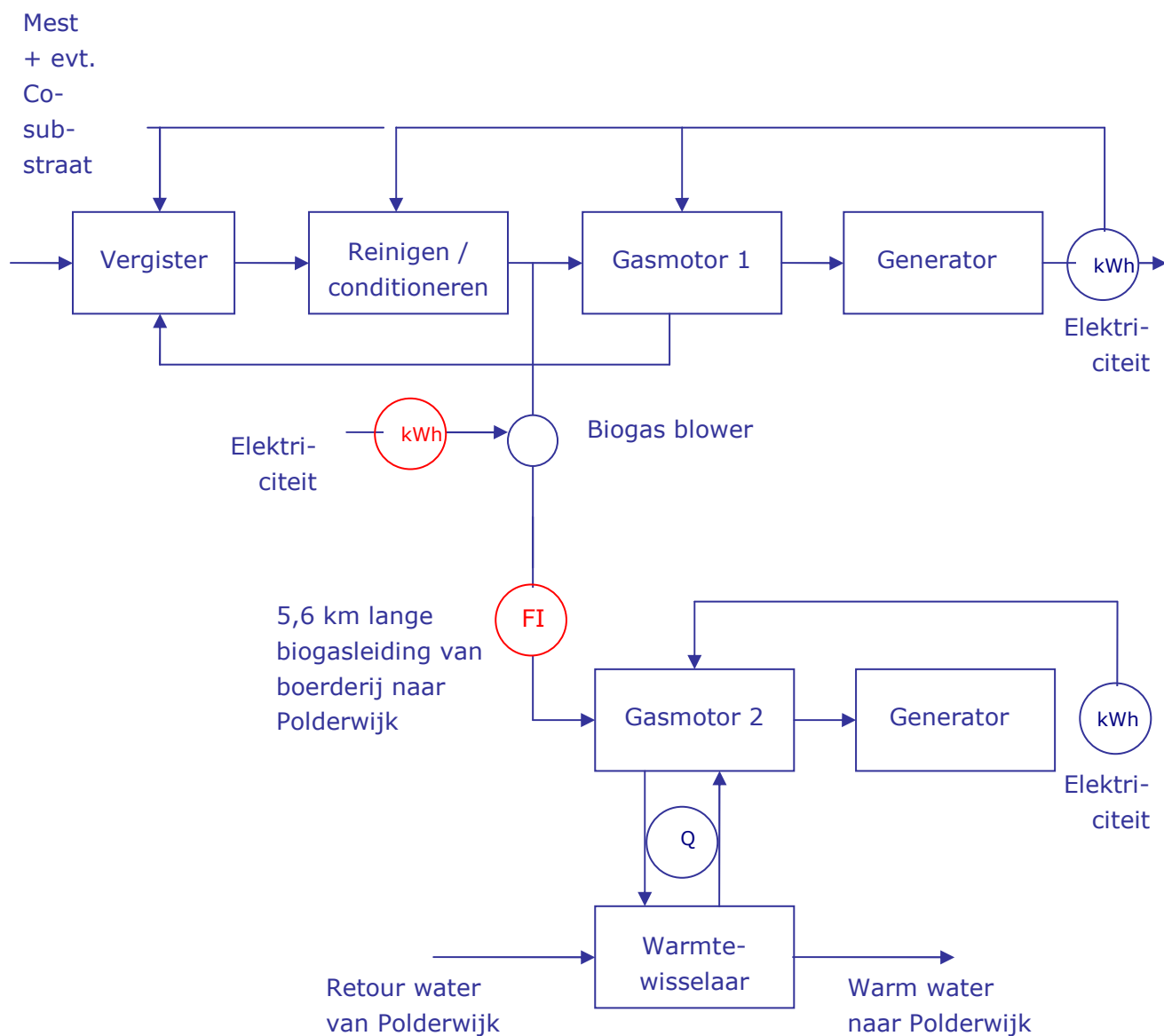
5.2 Selectiecriteria en uitvoering van metingen

Met betrekking tot het uit (laten) voeren van metingen heeft Ecofys een aantal aanbevelingen:

- De installatie waaraan gemeten wordt moet bij voorkeur state-of-the-art zijn. Dit is nodig omdat door technologische ontwikkelingen rendementen verbeteren. Omdat de gegevens door nieuwe initiatiefnemers gebruikt gaan worden, kan anders een verkeerd beeld ontstaan.
- De installatie moet al enige tijd in bedrijf zijn. Omdat installaties die net opgestart zijn vaak nog geoptimaliseerd worden, zijn de metingen gedurende deze periode niet representatief.
- De installatie moet op volledige capaciteit draaien. Warmtenetten worden vaak aangelegd in woonwijken in aanbouw. Vaak wordt gestart met een ketel, dan een WKK op deellast. Pas als de wijk af is draait de WKK op volledig vermogen.
- Informatie over bovenstaande optimalisatieperiodes, in aanbouw zijnde wijken en verschillende technologieën resulteren weliswaar niet in representatieve optimale praktijkrendementen, maar zijn wel zeer waardevol voor initiatiefnemers. Immers: de kosteneffectiviteit van een project hangt sterk af van hoe de installatie de eerst jaren zal functioneren. Ecofys is van mening dat het delen van ervaringen hieromtrent bijzonder waardevol is voor ontwikkelaars.

5.3 Aanbevolen metingen

Uit Tabel 5 - 1 blijkt dat Ecofys alleen een meting bij een vergistingsproject aanbeveelt. Het meest geschikte project om dit te gaan doen is het project in Zeewolde van Essent. Essent (bij monde van Klaas de Jong [8]) heeft aangegeven zelf een analyse op basis van uitgevoerde metingen te willen uitvoeren. Dit stond gepland voor begin 2010. Voor het bepalen van het rendement van de gasmotor moet de biogasstroom gemeten worden. Eind 2009 werd in de installatie enkel het methaangehalte gemeten. Een biogas debietmeter is dus noodzakelijk. De eigenaar van de vergistingsinstallatie heeft eerder richting Essent aangegeven mee te willen werken aan metingen. Ecofys raadt SenterNovem aan contact op te nemen met Essent om te inventariseren welke additionele meters nodig zijn. Zoals het eind 2009 lijkt, is enkel een debietmeter nodig voor het bepalen van het rendement. Het samen met Essent bepalen en rapporteren zal naar Ecofys' mening leiden tot waardevolle getallen tegen slechts geringe investeringen. Ook zal deze samenwerking het draagvlak voor het vastleggen van praktijk opwekkingsrendementen vergroten. Een schematische weergave van de metingen rondom de opwekkingsinstallatie is gegeven in Figuur 12. Inmiddels (februari 2011) heeft Essent de eerste meetgegevens uit dit project beschikbaar. Om de representativiteit van de metingen te vergroten kan ook gemeten worden bij het vergelijkbare project van Eneco in Putten. Dit project is inmiddels gerealiseerd.



Figuur 12: Voorgestelde metingen bij 'project Zeewolde'. Metingen noodzakelijk voor bepalen EOR zijn weergegeven. Blauw is bestaand. Rood mist of is onzeker.

6 Conclusies en aanbevelingen

Algemene bevindingen

- Uit de inventarisatie is duidelijk geworden dat opwekkingsrendementen zeer specifiek zijn. Iedere situatie en ieder systeem heeft unieke kenmerken die het vergelijken met andere situaties en systemen lastig maakt. Het rapporteren van praktijkrendementen moet daarom met grote zorgvuldigheid gedaan worden.
- Het verkrijgen van praktijkgetallen is lastig en tijdrovend gebleken. Hierbij is de kern van het probleem dat de aanleveren van verzamelen, aggregeren en rapporteren van gegevens tijd kost. Omdat de aanleverende partijen niet direct een eigen belang in zien. In die gevallen waar meetgegevens naar alle waarschijnlijkheid wel aanwezig zijn, maar een extra inspanning nodig is om ze reproduceren. Om partijen te motiveren gegevens beschikbaar te stellen zou NEW kunnen overwegen:
 - De energiebedrijven een vergoeding te geven voor de tijd die besteed is voor het verzamelen, aggregeren en rapporteren van gegevens. Hiermee heeft het energiebedrijf geen kosten en heeft NEW een 'stok achter de deur'.
 - De naam van de partij die gegevens aanlevert op een lijst te zetten die via NEW beschikbaar is. Dit brengt de energiebedrijven bij projectontwikkelaars onder de aandacht als mogelijke partner/exploitant in het project.
- De in deze studie beschreven WKK- en ketelconcepten zijn technologisch volwassen. De werkelijke rendementen van deze installaties liggen dicht bij de rendementen die door fabrikanten worden opgegeven. Dit in tegenstelling tot nieuwe technologieën zoals ORC's waar meer onduidelijkheid is over werkelijk te halen rendementen. Ecofys is daarom van mening dat het opstellen van een meetprogramma niet noodzakelijk de volgende stap is als gegevens ontbreken. Als alternatief kunnen meetgegevens aangevuld worden met theoretische waarden wanneer deze in andere gevallen betrouwbaar gebleken zijn. Hiermee kunnen dure meetprogramma's voorkomen worden.
- De leeftijden van de installaties in Nederland variëren sterk. Aangezien rendementen met voortschrijdende technologische ontwikkelingen verbeteren, is het van belang alleen rendementen te rapporteren van installaties die volgens de huidige stand van de techniek zijn gerealiseerd.
- Ten opzichte van gasgestookte WKK's kennen biomassagestookte WKK's een extra complicerende factor: de pluriformiteit van de brandstof.

Aanbevolen metingen

Van de verschillende categorieën beveelt Ecofys alleen aan metingen uit te voeren bij een mestvergister. De andere categorieën vallen om verschillende redenen af. Ecofys beveelt aan de metingen uit te gaan voeren bij de mestvergister en warmtenet van Essent in Zeewolde. Hier kan SenterNovem aan (laten) sluiten bij een analyse die Essent al voornemens is te gaan uitvoeren.

Referenties

1. Ivo Blezer, Eenwaardig opwekkingsrendemen veldtesten, memo van 6 juli 2009
2. Mirjam Harmelink en Lex Bosselaar, Uniforme maatlat voor de warmtevoorziening in de woningbouw, Bèteversie 1.2, SenterNovem, 24 april 2009
3. Klaas Koop en Stijn Cornelissen, Vertrouwelijk Due Diligence rapport, Ecofys, 2009
4. A.V. Bridgewater, The production of biofuels and renewable chemicals by fast pyrolysis of biomass, Int. J. Global Energy Issues, Vol. 27, No. 2, 2007
5. Jacobs Consultancy, Techno-Economische Parameters MEP/SDE WKK 2008, , 31 Maart 2008
6. Jacobs Consultancy, Techno-Economische Parameters MEP/SDE WKK - Ontwikkeling van 2008 naar 2009, 19 november 2008
7. Jacobs Consultancy, Techno-Economische Parameters SDE - Ontwikkeling van 2009 naar 2010 STEG Eenheden 250 MWe, 3 september 2009
8. Klaas de Jong (Energieprojecten.com en Essent); persoonlijke communicatie via telefoon en e-mail; oktober / november 2009
9. Bas Tousain (Eneco); persoonlijke communicatie via telefoon en e-mail; oktober / november 2009
10. Hans Rödel (Nuon); persoonlijke communicatie via telefoon en e-mail; oktober / november 2009
11. Arno Uiterweerd (Bam Energy Systems); persoonlijke communicatie via telefoon en e-mail; oktober 2009
12. Kees den Blanken (Cogen Nederland); persoonlijke communicatie via telefoon en e-mail; oktober 2009
13. Hans de Laat (Kiwa / Gastec); persoonlijke communicatie via telefoon en e-mail; oktober 2009
14. StatLine databank, Centraal Bureau voor de Statistiek, <http://statline.cbs.nl/statweb/>, geraadpleegd in oktober 2009
15. Bio-energie van Eigen bodem; Editie 2005, In opdracht van SenterNovem samengesteld door Ecofys; 2005
16. Schepers, B.L. en M.P.J. van Valkengoed, Warmtenetten in Nederland, CE Delft, 2009
17. Website Essent Warmte:
<http://www.essent.nl/content/grootzakelijk/producten/warmte/warmtelocaties.jsp>; geraadpleegd in oktober 2009

18. Website Eneco Warmte:
http://prive.eneco.nl/producten_en_tarieven/producten/ecostroom_duurzameprojecten.asp; geraadpleegd in oktober 2009
19. Website Nuon: <http://www.nuon.nl/producten-en-diensten/stadswarmte/achtergrond.jsp>; geraadpleegd in oktober 2009
20. Sebastiaan Hers (ECN); persoonlijke communicatie via telefoon en e-mail; oktober / November 2009
21. Klaas Koop (Ecofys), Recente persoonlijke communicatie met bedrijfsvoerders van diverse mestvergisters.

Appendix A Benaderde bedrijven

Bedrijf	Contactpersoon	Functie / bedrijfsonderdeel
Eneco	Bas Tousain	Eneco New Energy
Essent	Klaas de Jong	Senior Adviseur
Nuon	Hans Rodel	Nuon Warmte
BAM	Arno Uiterweerd	manager BAM Techniek - Energy Systems
COGEN Nederland	Kees den Blanken	Managing Director Cogen Nederland
ECN	Sebastiaan Hers	-
KIWA Gastec	Hans de Laat	-

Appendix B Memo gegevensvraag

Van: **Ecofys (Klaas Koop, Christiaan Thissen en Lucas van den Boogaard)**
Aan:
Datum: oktober 2009

Achtergrond

Eind vorig jaar is binnen de ministeries van VROM en EZ het eerste integrale werkprogramma voor duurzame warmte en koude gepresenteerd: "Warmte op stoom". Hiermee heeft het onderwerp een duidelijke plek gekregen in het beleid dat door SenterNovem wordt uitgevoerd. In het werkprogramma zijn de activiteiten met betrekking tot duurzame warmte en koude uit het programma "Schoon en zuinig" uitgewerkt. Een onderdeel hiervan is "kennis ontwikkelen en delen", waarvoor het Nationaal Expertisecentrum Warmte (NEW) is ingericht. Binnen het NEW is behoefte aan objectieve praktijkgegevens met betrekking tot efficiëntie van verschillende warmtetechnieken.

SenterNovem heeft Ecofys gevraagd om de beschikbaarheid van de opwekkingsrendementen in kaart te brengen van technologieën op wijkniveau. Indien deze praktijkgegevens beschikbaar zijn, dienen deze eenduidig gebundeld te worden. Wanneer deze gegevens niet beschikbaar zijn, zullen veldtesten opgezet moeten worden. Ecofys is gevraagd om onderzoek te doen naar de volgende technologieën op wijkniveau (50 – 5000 huishoudens):

- 1** bio-WKK's (bio-olie/vet motor, vergister met gasmotor, verbranding met stoomcyclus);
- 2** gas-WKK's;
- 3** collectieve (HR-) ketels);

Het gaat om de praktijk opwekrendementen van de installaties die de warmte opwekken voor de voeding van een stadsverwarmingnet in een wijk en dus niet over praktijkjaarrendementen bij individuele bewoners.

Doel van deze memo

Praktijkrendementen worden door diverse partijen bepaald. In de eerste plaats zijn dit de installatie-eigenaren, maar ook andere instanties kunnen deze gegevens hebben. Om het beeld zo compleet mogelijk te maken, ontvangen we graag van al deze partijen gegevens. Met deze memo lichten we de achtergrond toe (hoofdstuk 1) en leggen we uit naar welke gegevens we op zoek zijn (hoofdstuk 3). De gegevensvraag is op dit moment vrij algemeen.

Nadat we gegevens ontvangen hebben, zullen we deze verwerken. We verwachten dan nogmaals contact op te nemen om dit te bespreken.

Wat we graag willen weten

De voorkeur gaat uit naar gegevens voor individuele installaties afzonderlijk, in plaats van geaggregeerde gegevens of gemiddelden over meerdere installaties gezamenlijk.

Voor elke installatie of project is ter aanvulling nodig/gewenst:

- De configuratie van het systeem (bijvoorbeeld blokkenschema waarin hoofdcomponenten en meetpunten zijn aangegeven).
- Het nominale vermogen van het systeem.
- Jaar van inbedrijfstelling / leeftijd installatie.
- De regeling van het systeem (Hoe draait het? in basislast? Hoe wordt voorzien in de piekvraag?)
- Temperaturen in aanvoer- en retourleidingen (ook hier liever meetgegevens dan ontwerpspecificaties)
- Het verbruik aan (verschillende) brandstof(fen) in het systeem, de daadwerkelijk geproduceerde hoeveelheid warmte en de bijbehorende warmtelevering aan de eindverbruikers
- Andere informatie die nodig is om de gegevens van het systeem met andere systemen te kunnen vergelijken (bijvoorbeeld de rol van NOx minimalisatie bij de inzet van de installatie)
- Op welke punten bevinden zich de meters? Welke gegevens horen bij welk meetpunt?
- Hoe betrouwbaar is de gebruikte meetapparatuur?

Het gaat om de drie typen installaties die in Hoofdstuk 1 genoemd zijn. De gegevens mogen geanonimiseerd worden aangeleverd. Na het verwerken van de gegevens worden de verwerkte gegevens en conclusies daaruit teruggekoppeld (indien gewenst). We hopen de gegevens in de eerste week van november te verwerken en definitief te maken. We ontvangen de gegevens dan ook graag zo spoedig mogelijk.

Document:	REP - PBIONL084826 - KIK 2009 11 22 KIK.doc
Last saved:	juni 27, 2011
Author:	KIK