



# **De technisch potentiële haalbaarheid van biogas als bijdrage aan een energieneutrale stad Groningen**

**Grootschalige opwekking van elektriciteit en warmte voor de  
 stad Groningen door middel van biogas-warmtekrachtkoppeling  
 in het stedelijke gebied**



*PhotoGaf*

Een studie door:   Roeland Menger  
                              S1773801

Begeleider:         Ferry Van Kann M.Sc.

Bachelorthesis, 20 januari 2013

# Samenvatting

Biogas is een technisch reeds vergevorderde duurzame energie. Er zijn meerdere technieken beschikbaar om biogas op te wekken. Elk heeft zijn eigen voor- en nadelen. De twee meest voor de hand liggende technieken zijn via anaerobe vergisting van puur organische stromen en via de anaerobe vergisting van mest.

Ook zijn er meerdere technieken beschikbaar om het biogas te gebruiken. Zo kan het rechtstreeks als energie gebruikt worden, maar het kan ook indirect gebruikt worden voor de opwekking van energie. Als pure energiebron is de potentie van biogas in de huidige gas infrastructuur echter nog niet optimaal. Zowel een te hoog gehalte CO<sub>2</sub>, als een hogere verbrandingswaarde dan een CV-ketel nodig heeft, dragen bij aan uiteindelijk een laag rendement. Daarom wordt er gekeken naar indirect gebruik van het biogas.

Aangezien bij optimaal gebruik biogas-warmtekrachtkoppeling de meeste potentie van het biogas kan benutten, wordt er in deze studie vooral naar die toepassing gekeken. Een biogas-warmtekrachtkoppeling wekt zowel elektriciteit als warmte op.

Omdat voor een optimale benutting de vrijgekomen warmte zoveel mogelijk gebruikt moet worden, is de positionering van een warmtekrachtkoppeling van groot belang. In deze studie wordt er aan de hand van de doelstelling van de stad Groningen om in 2035 energieneutraal te zijn, gekeken in hoeverre biogas-warmtekrachtkoppeling daaraan kan bijdragen.

Zowel de ideale plaats voor een mestvergister, die bij bepaalde schaalvoordelen een hoger rendement levert, als de ideale plaats voor een warmtekrachtkoppeling, die zoveel mogelijke warmteafnemers in zijn buurt moet hebben, zijn hierbij met behulp van een afgeleide van de industriële locatietheorie van Weber onderzocht.

In deze studie is puur gekeken naar de technische haalbaarheid van een biogas-warmtekrachtkoppelingsinstallatie voor opwekking van elektriciteit en warmte in de stad Groningen. De financiële, juridische en maatschappelijke haalbaarheid is hierbij buiten beschouwing gelaten.

Uiteindelijk zijn, onder enkele randvoorwaarden, locaties gevonden die het meest geschikt zijn voor een biogas-warmtekrachtkoppelingsinstallatie. Als deze mogelijkheden benut worden, zal biogas technisch gezien nu al een grote bijdrage kunnen leveren aan een energieneutrale stad.

# Inhoudsopgave

<b>Voorblad</b>	<b>1</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>2</b>
<b>Inhoudsopgave</b>	<b>3</b>
<b>1. Inleiding</b>	<b>4</b>
<i>Aanleiding</i>	4
<i>Probleemstelling</i>	5
<i>Opbouw van de thesis</i>	5
<b>2. Achtergrond</b>	<b>6</b>
<i>Biogas</i>	6
<i>Biogas uit mestvergisting</i>	7
<i>Biogas-warmtekrachtkoppeling</i>	8
<b>3. Theoretisch kader</b>	<b>10</b>
<i>Industriële locatietheorie van Weber</i>	10
<i>Toepassing van de theorie</i>	11
<b>4. Methodologie</b>	<b>12</b>
<b>5. Resultaten</b>	<b>13</b>
<i>Positionering van mestvergisters</i>	13
<i>Positionering van warmtekrachtkoppelinginstallaties</i>	17
<i>Koppeling mestvergisters met warmtekrachtkoppelinginstallaties</i>	20
<b>6. Conclusies</b>	<b>21</b>
<i>Rol van biogas-warmtekrachtkoppeling in energieneutrale stad</i>	21
<b>Literatuurlijst</b>	<b>22</b>
<b>Bijlagen</b>	<b>24</b>
1. <i>Bedrijven- en industrieterreinen rondom de stad Groningen</i>	24
2. <i>Technisch rapport gevolgde stappen ArcGis</i>	25

# 1. Inleiding

## *Aanleiding*

Wij leven in een wereld met een groeiende behoefte aan energie. Echter, de fossiele brandstoffen raken in een steeds sneller tempo op. Daarom zullen wij onze vraag naar energie in steeds grotere mate uit andere bronnen dan fossiele brandstoffen moeten halen. De enige oplossing op de paradox van meer vraag en minder aanbod ligt in duurzame energiebronnen.

In de term duurzame energiebronnen ligt zelf al het karakter van deze energieën verscholen; ze zullen nooit opraken, en veroorzaken geen schade aan onze leefomgeving of die van een toekomstige generatie. Dit is dan ook gelijk hun grootste voordeel ten opzichte van fossiele brandstoffen. Helaas is de huidige technologie nog niet zo ver ontwikkeld dat ze met dit voordeel ook al op eerlijke schaal kunnen concurreren met de makkelijker verkrijgbare fossiele brandstoffen.

Er zijn veel verschillende duurzame energiebronnen, met elk hun eigen voor- en nadelen. Je hebt bijvoorbeeld windenergie, zonne-energie, geo-thermie, biomassa, hydro-energie etc. etc. De ene vorm van energie levert elektriciteit, de ander gas, en sommige leveren een combinatie.

Het is van groot belang om onderzoek te doen in alle vormen van duurzame energiebronnen. Alleen zo kan men inzicht krijgen in welke duurzame energiebronnen het efficiëntste en effectiefste zijn. Uiteindelijk zullen in de meest effectieve en efficiënte duurzame energiebronnen extra investeringen gedaan worden, opdat deze vormen van energieopwekking kunnen gaan concurreren met de huidige fossiele brandstoffen. Welke vorm van duurzame energiebron het meest effectief en efficiëntst is, kan per stad verschillen.

Op dit moment wordt het grootste deel van Nederland nog door fossiele brandstoffen als steenkool en aardgas voorzien van warmte en elektriciteit. Deze bronnen zijn naast niet onuitputtelijk ook nog eens slecht voor het milieu en onze leefomgeving. Een kolencentrale wordt zelfs als de meest schadelijke vorm van energieopwekking gezien (Energiewijzer, 2012).

Aan de andere kant is de technologie om elektriciteit en warmte op te wekken al zo ver gevorderd dat we het tegenwoordig uit dierlijk mest kunnen halen. Hierbij spelen twee installaties een belangrijke rol, te weten een mestvergister om biogas op te wekken en een warmtekrachtkoppelinginstallatie om uit het biogas warmte en elektriciteit te produceren. Met het gebruik van een combinatie van deze twee installaties produceert één koe bijvoorbeeld al genoeg mest om zeven huishoudens te kunnen voorzien van warmte en elektriciteit (Agentschap NL, 2012).

Als we tegenwoordig met mest van koeien huizen kunnen verwarmen en elektriciteit kunnen leveren, waarom wordt er dan nog niet op grote schaal van deze duurzame energiebron gebruik gemaakt? En wat is er nodig om dit wel haalbaar te maken?

## *Probleemstelling*

Centraal in deze studie staat de volgende vraag: Wat kan de bijdrage van biogas-warmtekrachtkoppeling zijn in de doelstelling de hele stad Groningen duurzaam te voorzien van elektriciteit en warmte?

De stad Groningen heeft als lange termijn doel opgesteld om in 2035 volledig energieneutraal te zijn. Dit houdt in dat de stad niet meer energie mag verbruiken dan dat zij zelf op wekt. In deze studie wordt er gekeken naar in hoeverre biogas in combinatie met warmtekrachtkoppelingssystemen rondom de stad dit lange termijn doel kan helpen bewerkstelligen.

Om dit goed te kunnen onderzoeken zal er eerst naar de potentie van biogas in combinatie met een warmtekrachtkoppelingssystemen gekeken moeten worden: Is zo'n installatie op de lange termijn wel profitabel? En is het biogas, aangezien het om ongeveer hetzelfde soort gas gaat als aardgas, zonder warmtekrachtkoppeling niet veel waardevoller?

Daarnaast is bij een biogas-warmtekrachtkoppeling de geleverde restwarmte van aanzienlijk belang. Voor de optimale benutting is het daarom cruciaal om de positionering van de installaties te onderzoeken. Alleen op de ideale plek kan het maximale rendement van hun opgewekte warmte en energie geleverd worden. Die ideale plek moet in deze studie dus ook weergegeven worden. Met behulp van een aanpassing op de industriële locatietheorie van Weber wordt er gezocht naar de beste plekken voor een mestvergister en warmtekrachtkoppeling. Bij deze aangepaste theorie zullen enkele randvoorwaarden gesteld worden, om zo alleen de technische haalbaarheid van biogas-warmtekrachtkoppeling te onderzoeken.

## *Opbouw van de thesis*

Onder de titel achtergrond wordt er uitgewijd over biogas, en wordt voornamelijk biogas uit mestvergisting besproken: Hoe werkt het principe, waar moet rekening mee gehouden worden en wat zijn de mogelijkheden van biogas. Daarna wordt op diezelfde wijze biogas-warmtekrachtkoppeling besproken.

Onder de titel theoretisch kader wordt de industriële locatietheorie van Weber besproken. Aangezien voor een optimaal rendement de positionering van een biogas-warmtekrachtkoppelingssystemen van groot belang is, zal aan de hand van deze theorie gezocht worden naar de mogelijke plaatsen rondom en in Groningen. Hierbij wordt eerst de theorie van Weber besproken, om vervolgens een aangepaste versie van zijn theorie te gebruiken om de ideale plaatsen voor de installaties te onderzoeken.

Onder de titel methodologie wordt er verder uitgewijd over de manier van data verzamelen, de betrouwbaarheid van deze data, en de verdere gevolgde stappen.

In de resultaten worden de resultaten van het uitgevoerde onderzoek besproken. Hierbij gaat het zowel om de resultaten van de studie naar de potentie van biogas als duurzame energiebron, als om de resultaten verkregen uit het onderzoek, gebaseerd op de industriële locatietheorie van Weber. Het gaat hier om de plaatsen die gevonden zijn

naar aanleiding van de studie en als geschikt beschouwd kunnen worden voor de optimale benutting van een warmtekrachtkoppelinginstallatie.

Aan de hand van deze resultaten kan er een conclusie worden getrokken. Hierin wordt antwoord gegeven op de centrale onderzoeksvraag: Kan biogas-warmtekrachtkoppeling een significante bijdrage leveren aan de doelstelling om de hele stad Groningen duurzaam te voorzien van elektriciteit en warmte? En wat is de beste plek om deze installaties te plaatsen?

Daarnaast wordt er in deze conclusie advies gegeven, worden er kanttekeningen bij het onderzoek geplaatst en worden bepaalde gestelde voorwaarden nogmaals besproken.

## 2. Achtergrond

### *Biogas*

Biogas is een gasmengsel, in grote lijnen vergelijkbaar met aardgas. Beide zijn methaanhoudende gassen, waarbij het methaan (CH<sub>4</sub>) ook het voornaamste bestandsdeel is.

Biogas ontstaat door de anaerobe vergisting van organische materialen zoals bijvoorbeeld mest, terwijl aardgas ontstaan is door hetzelfde proces dat tot de vorming van aardolie leidde. En hierin zit gelijk al het belangrijkste verschil: Aardgas is een fossiele brandstof, terwijl biogas, vanwege zijn biologische en reproduceerbare oorsprong, een duurzame brandstof is. Echter is het zo dat aardgas doorgaans een hogere concentratie methaan bevat en daarnaast ook nog een kleine hoeveelheid butaan, propaan en ethaan. Hierdoor heeft aardgas een hogere verbrandingswaarde dan biogas. Dat is een van de redenen waarom er nog steeds op grote schaal gebruik wordt gemaakt van aardgas, in plaats van biogas. Wanneer men op dit moment namelijk biogas in de huidige infrastructuur van het aardgasnetwerk wil verspreiden, zal dit biogas eerst moeten worden opgewaardeerd tot de kwaliteit van aardgas. Dit gebeurt door onder hoge druk het overschot aan CO<sub>2</sub> uit het biogas te onttrekken (Wageningen UR Livestock Research, 2011). Daarna kan het verkregen biogas in de bestaande aardgas infrastructuur geïnjecteerd worden.

Het door veel energiebedrijven geroemde 'groene gas' is dus vaak slechts een mengeling van opgewaardeerd biogas met aardgas (Wageningen UR Livestock Research, 2011).

Het gaat hier dus nog niet om een energieneutraal product. Daarnaast is direct biogas, dan wel aardgas, leveren voor de verwarming van huishoudens uiterst inefficiënt. Het gas kan in zijn optimale vorm tot 1200 graden Celsius verwarming leveren (Börjesson & Ahlgren, 2012). In een CV-ketel is echter maximaal 80 graden Celsius nodig om een huishouden te kunnen verwarmen. Omgerekend naar graden Kelvin is dit dus een rendement van nog geen 24%.

Daarom wordt er nu op meerdere fronten onderzoek gedaan naar andere mogelijkheden om met biogas te werken. De technologisch meest gevorderde optie is volgens sommige auteurs op dit moment om het biogas te koppelen aan een warmtekrachtkoppelinginstallatie (Akbulut 2012; Börjesson & Ahlgren, 2012). Via een warmtekrachtkoppeling is er namelijk wel sprake van optimale benutting van het gas. Bovendien is er bij biogas-warmtekrachtkoppeling sprake van een 100% duurzame energie, terwijl bij 'groen gas' dit niet altijd het geval is.

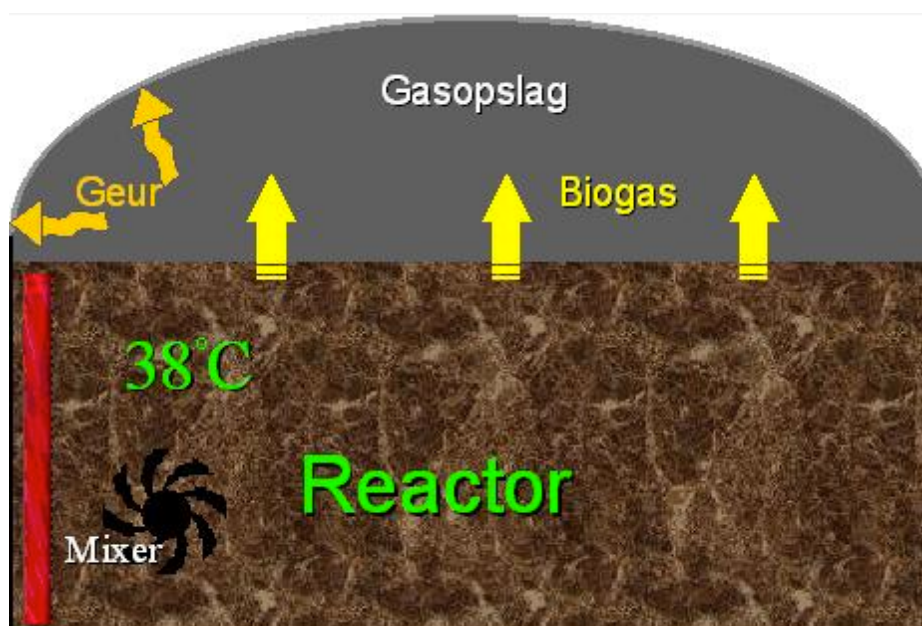
Vandaar dat deze studie ook in zal gaan op de mogelijkheden van biogas-warmtekrachtkoppeling, en niet aan het opwaarderen en injecteren van biogas in het bestaande aardgas infrastructuurnetwerk.

### *Biogas uit mestvergisting*

Er zijn meerdere mogelijkheden om biogas te verkrijgen. Naast vergisting van organische stromen is ook vergisting uit mest mogelijk. Mestvergisting is de meest milieuvriendelijke manier, omdat tijdens de mestvergisting gebruik wordt gemaakt van stoffen en gassen die bij vrije uitspreiding schadelijk zijn voor het milieu (Van der Vlist, 1998). Door de mestvergisting worden deze schadelijke stoffen en gassen echter anaeroob opgevangen en gebruikt in het biogas. Dit levert vele milieuvoordelen op (Wageningen UR Livestock Research, 2011).

Mest heeft echter uit zichzelf niet een hele hoge energetische waarde. Daarom wordt er bij mestvergisting vaak gebruik gemaakt van co-vergisting. Dit houdt in dat mest, dat relatief eenvoudig vergist, gecombineerd wordt met andere, energierijke organische stromen. Deze manier van mestvergisting is het effectiefst omdat mest wel gemakkelijk vergist, maar de biogasopbrengst van pure mest niet erg hoog is. Door een co-vergisting met andere, energierijke organische stromen wordt de biogasproductie aanzienlijk verhoogd. Door de toevoeging van deze coproducten werken de bacteriën die aanzetten tot vergisting namelijk efficiënter, wat uiteindelijk de biogasopbrengst aanzienlijk verhoogd (Wageningen UR Livestock Research, 2011). Voorbeelden van deze coproducten zijn maïs, bermgras of restproducten uit de voedselverwerkende industrie. Bijna alle mestvergisters die reeds in gebruik zijn werken met coproducten.

Een mestvergister werkt basaal gezien als volgt: De koeienmest en het coproduct worden aangeleverd in een reactor. Hier wordt de mest met het coproduct gemengd en in beweging gehouden door een mixer. Door middel van verwarming rondom de reactor wordt de temperatuur rond de 38 graden Celsius gehouden. De combinatie van deze temperatuur en de mixer maken dat het biogas zich los maakt. Dit biogas wordt opgevangen in een opslag in de mestvergister zelf, of in een aparte tank naast de mestvergister. Om fluctuaties in de gasproductie en in de gaskwaliteit te vermijden, wordt het niet gelijk aangeleverd aan een warmtekrachtkoppelingsinstallatie. Zie voor een verduidelijking van het proces ook figuur 1.



*Figuur 1:  
Dwarsdoorsnede  
mestvergister  
Bron: Fibronot*

Naast het verkregen biogas dat gebruikt kan worden om elektriciteit en warmte op te wekken, heeft mestvergisting, zoals eerder benoemd, nog meer milieuvoordelen. Voor het grootste deel bestaat biogas uit methaan (CH<sub>4</sub>). Dit methaangas komt in mindere mate ook vrij bij organisch materiaal als er geen sprake van vergisting is. Methaangas is blootgesteld aan de lucht echter erg schadelijk voor het milieu, doordat het bijdraagt aan het versterkte broeikas effect en de vorming van ozon. Methaan heeft een meer dan honderd keer zo sterke broeikaswerking als CO<sub>2</sub> (Veerman, 2011). Omdat het in de loop van tientallen jaren vanzelf wordt omgezet in CO<sub>2</sub>, telt het in berekeningen als een 20 keer zo sterk broeikasgas als CO<sub>2</sub> wanneer een eeuw vooruit wordt gekeken, maar als een 72 keer zo sterk broeikasgas op een termijn van 20 jaar (Veerman, 2011). Ondanks dit nadelige milieueffect moeten boeren echter wel hun mest blijven verspreiden over hun land, anders zal het land op termijn zijn vruchtbaarheid verliezen. Wanneer de mest echter eerst in een mestvergister gaat, wordt op anaerobe manier het methaangas hieruit gewonnen en opgevangen. Na dit proces blijft digestaat in de mestvergister over. Dit digestaat is methaanvrij en bevat door de verschoven koolstof-stikstofverhouding (C/N-coëfficiënt) makkelijker opneembare stikstof voor planten (Wageningen UR Livestock Research, 2011). Oftewel, digestaat is een vruchtbaardere mestvorm welke zonder gevaren voor het milieu verspreid kan worden over het land van de boer.

### *Biogas-warmtekrachtkoppeling*

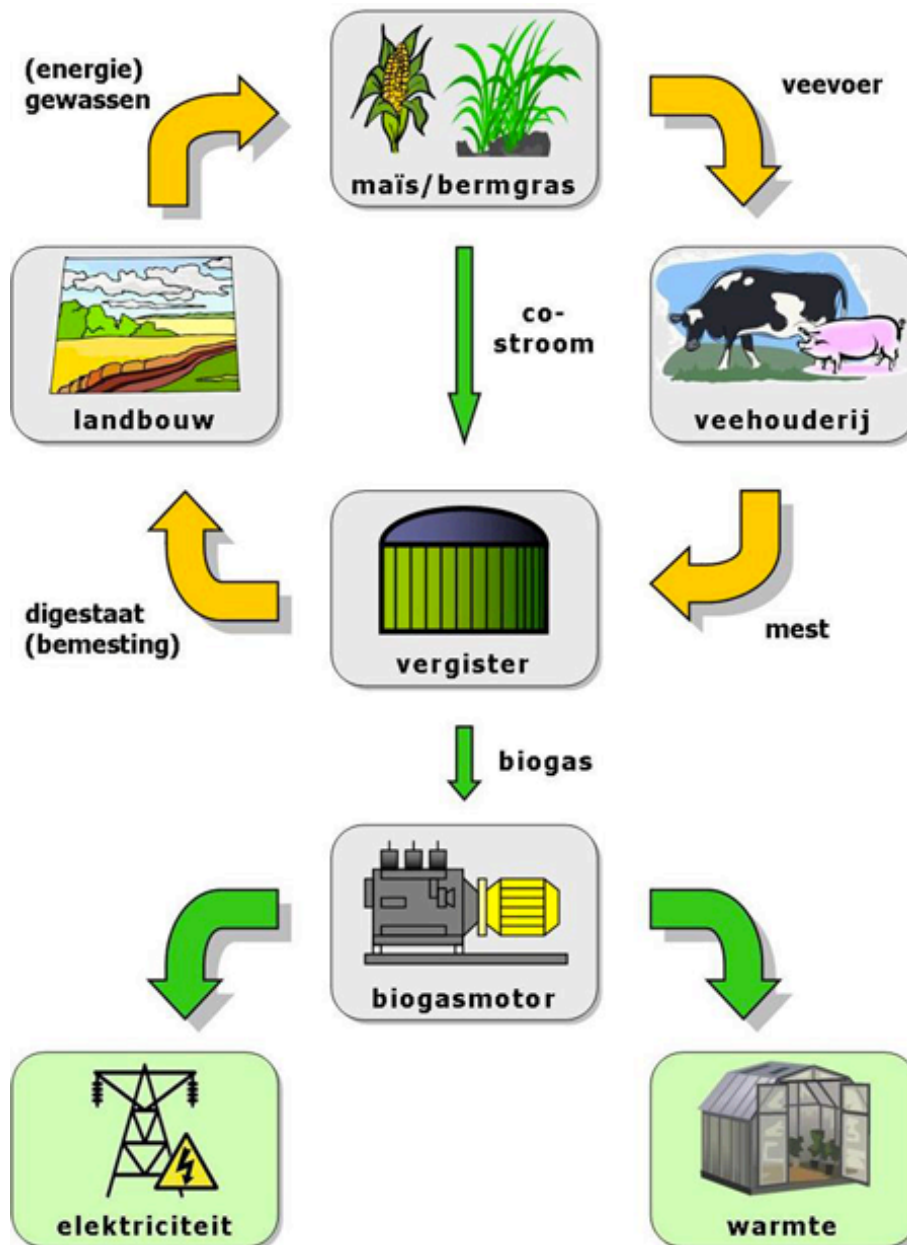
Om uit biogas warmte en elektriciteit op te wekken is er een warmtekrachtkoppeling nodig. Deze warmtekrachtkoppeling bestaat uit een gasmotor die aangedreven wordt door biogas, en een generator. De biogasmotor drijft een generator aan, die door beweging ervoor zorgt dat elektriciteit opgewekt wordt. Daarbij komt een grote restwarmte vrij. Deze restwarmte wordt omgezet in warm water, waardoor het geschikt gemaakt wordt voor ruimteverwarming (GasTerra, 2008).

Kortom zijn er op het eerste oog alleen maar voordelen te benoemen voor een biogas-warmtekrachtkoppeling. Het biogas bestaat voornamelijk uit methaan en wordt opgewekt door een mestvergister. Het methaangas is het enige gas dat er ontstaat tijdens de vergisting. Er is dus geen hoge schoorsteen nodig om eventuele andere gevaarlijke gassen af te voeren. Het opgewekte methaan wordt anaeroob opgeslagen, en vervolgens aangeleverd aan een warmtekrachtkoppeling. De gasmotor verbruikt bij de opwekking van elektriciteit via de generator 100% van het beschikbare gas, en de volledige potentie van dat gas. Naast de opgewekte elektriciteit wordt ook de restwarmte bij het proces benut. Door het gebruik van de restwarmte is het rendement 2 keer zo hoog (Akbulut, 2012).

In figuur 2 wordt de hele structuur van de mestvergister tot aan de warmtekrachtkoppeling schematisch weergegeven.

Het overgebleven product in de mestvergister, genaamd digestaat, wordt als mest weer op het land uitgestrooid. In digestaat zitten geen milieuschadelijke stoffen meer, dus is ook dat negatieve effect op het milieu en onze leefomgeving niet meer aanwezig.





*Figuur 2:  
Schematische structuur biogas-warmtekrachtkoppeling  
Bron: Fibronot*

Een kanttekening die echter gemaakt moet worden is dat warmte gedurende zijn transport veel van zijn potentie verliest. Hierdoor is dus de plek waar een warmtekrachtkoppeliningsinstallatie geplaatst wordt van cruciaal belang voor zijn potentiële maximale benutting (Akbulut, 2012). De huishoudens en bedrijven die van verwarming voorzien kunnen worden, moeten enerzijds niet te ver bij de warmtekrachtkoppeliningsinstallatie vandaan liggen, anderzijds moeten de aanvoer van mest en coproducten voor de mestvergister ook geen logistieke problemen opleveren. Aangezien het om CO<sub>2</sub> neutraal produceren van energie gaat, moet het transport hiervan namelijk tot een minimum beperkt blijven. Echter moet er wel gekeken worden naar de te behalen schaalvoordelen van één centraal geplaatste mestvergister tegenover meerdere kleinere mestvergisters.

Oftewel, er moet rekening gehouden worden met zowel de afname van de warmte over afstand, als met het feit dat de mest en de coproducten voor de mestvergister niet een lang transport af hoeven te leggen naar de mestvergister.

Om de optimale plekken voor mestvergisters met warmtekrachtkoppelinginstallaties te vinden rondom Groningen wordt in deze studie een aangepast model van de industriële locatietheorie van Weber gebruikt.

### **3. Theoretisch Kader**

#### ***De industriële locatietheorie van Weber***

De industriële locatietheorie van Weber werd in 1909 gepubliceerd door de Duitse econoom en geograaf Alfred Weber. Deze theorie valt onder de klassieke locatietheorieën. Kenmerkend voor een klassieke locatietheorie is dat de beschikbaarheid van productiefactoren bepalend is voor de productiemogelijkheden, en dus voor de welvaart van een gebied (Atzema et al., 2002). Centraal staat in deze klassieke locatietheorieën altijd het allocatieprobleem: Hoe kan een onderneming tegen de laagst mogelijke kosten een zo hoog mogelijke productie realiseren, die zo goed mogelijk tegemoet komt aan de behoefte van de consument (Atzema et al., 2002). De ruimtelijke dimensie neemt hierbij een grote rol in. Er wordt namelijk rekening gehouden met regionale verschillen in aan- en afvoer van grondstoffen, transportkosten en eventuele verschillen in arbeidskosten en grondprijzen.

Randvoorwaarden bij klassieke locatietheorieën zijn dat men uit moet gaan van volledige mededinging, en de ondernemer gezien moet worden als een volledig geïnformeerd, rationeel handelend persoon.

Na de Industriële Revolutie stelde Weber zijn klassieke locatietheorie op. Hierbij lag de nadruk op de locatie van industriebedrijven. Aangezien zijn theorie vooral in gaat op transportkosten is een afgeleide hiervan erg goed te gebruiken als model om de optimale plaatsen voor biogas-warmtekrachtkoppelinginstallaties rondom Groningen te onderzoeken. In beide gevallen is er immers sprake van enerzijds een afzetmarkt en anderzijds een vindplaats van grondstoffen. Weber zijn industriële locatietheorie gaat ervan uit dat op basis van minimale transportkosten en verschillen in arbeidskosten en agglomeratievoordelen de ideale vestiging voor een bepaalde industrie gevonden kan worden (Wheeler et al., 1998).

Bij zijn industriële locatietheorie gaat Weber uit van een aantal vooronderstellingen die ook in deze studie van belang zijn:

- ❖ De industriële bedrijven zijn gevestigd in een land met een uniforme topografie, klimaat, technologie en economisch systeem;
  - ❖ Industriële grondstoffen komen niet overal in dezelfde mate voor;
  - ❖ Eindproducten worden aangeboden in één marktplaats;
  - ❖ De transportkosten zijn een afgeleide van de vervoerde gewichten en de transportafstand;
  - ❖ De transportkosten nemen lineair toe met de afstand.
- (Atzema et al., 2002).

Deze vooronderstellingen gelden ook in de hierop volgende toepassing van de theorie.

De belangrijkste factoren om voor een bepaalde vestigingsplaats te kiezen noemt Weber in zijn theorie 'Standortfactoren'. Deze vestigingsplaatsfactoren zijn onderverdeeld in drie groepen, te weten geldigheid, aard en functionaliteit (Atzema et al., 2002).

Omdat een vestigingsplaatsfactor per locatie verschillend is, zullen bedrijven volgens zijn theorie altijd zoeken naar de locatie waar de mix van vestigingsplaatsfactoren voor hen ideaal is. Dit is dus zowel bedrijf- als gebiedsafhankelijk.

In deze studie wordt er gezocht naar de ideale plek voor een mestvergister en warmtekrachtkoppeling, dus naar de locatie waar de mix van vestigingsplaatsfactoren voor een biogas-warmtekrachtkoppeling ideaal is.

### *Toepassing van de theorie*

Weber maakt in zijn theorie in grote lijnen onderscheid tussen 2 verschillende soorten grondstoffen; 'Ubiquitäten' en 'lokalisiertes Material'. Ubiquiteiten zijn grondstoffen die overal voorkomen. Deze spelen dus geen rol in de locatiekeuze van industrieën.

Gelocaliseerde grondstoffen spelen daarentegen wel degelijk een rol in de locatiekeuze van industrieën. Hierbij is het van belang of er tijdens het transport van deze grondstoffen gewichtsverlies op treedt (Atzema et al., 2002).

In deze studie wordt uitgegaan van mest en coproducten als grondstof voor het product biogas. Op zijn beurt wordt biogas dan weer beschouwd als de grondstof voor een warmtekrachtkoppeling, die als product warmte en elektriciteit levert. Uiteindelijk zullen er dus twee afwegingen voor locaties gemaakt moeten worden.

Mest en coproducten kunnen worden beschouwd als gelocaliseerde grondstoffen, waarbij over afstand gewichtsverlies op treedt. Deze grondstoffen worden vergist, en zullen daardoor in gewicht en omvang afnemen. Drijfmest bestaat namelijk voor 90% uit water en slechts uit 10 % droge stof. Transport van deze grondstof naar een vergister is dus erg inefficiënt (Wageningen UR Livestock Research, 2011). Bij gelocaliseerde grondstoffen met gewichtsverlies moet volgens Weber zijn industriële locatietheorie gekozen worden voor de vindplaats van deze grondstoffen als ideale vestigingsplaats voor de industrie. Als er sprake is van meerdere gelocaliseerde grondstoffen met gewichtsverlies kan met toepassing van zijn 'Standortdreieck' de ideale vestigingsplaats gevonden worden. Hierbij wordt met behulp van zogeheten isodapanen bekeken op welke plek de totaalkosten het laagst zijn (Atzema et al., 2002).

Het verkregen biogas is een eindproduct van de mestvergister, maar een grondstof voor de warmtekrachtkoppeling. Bij biogas als grondstof is er sprake van een gelocaliseerde grondstof, waarbij over afstand nauwelijks gewichtsverlies op treedt. Het transport van biogas kost wel energie, maar het grootste deel van het gas kan worden gebruikt in de warmtekrachtkoppeling. Daarom wordt er in deze studie uitgegaan van een gelocaliseerde grondstof, waarbij over afstand geen gewichtsverlies op treedt. Volgens Weber zijn industriële locatietheorie moet dan gekozen worden voor de afzetmarkt als de ideale vestigingsplaats (Wheeler et al., 1998).

In de aangepaste theorie voor deze studie wordt alleen gekeken naar de minimale transportkosten en de agglomeratievoordelen. Arbeidskosten zijn bij een biogas-

warmtekrachtkoppeling niet van toepassing, en zullen dus ook buiten beschouwing gelaten worden.

De minimale transportkosten zijn in dit onderzoek tweeledig: Enerzijds moet het transport van de grondstoffen mest en coproduct tot een minimum beperkt worden, anderzijds moet ook de afstand die de vrijgekomen warmte moet afleggen tot een minimum beperkt worden.

De agglomeratievoordelen worden in dit onderzoek beschouwd als de schaalvoordelen van één centrale mestvergister tegenover meerdere kleine mestvergisters bij de boeren zelf op het erf.

Naast de eerder genoemde vooronderstellingen bij Weber zijn industriële locatietheorie moeten bij deze aangepaste theorie nog twee randvoorwaarden worden toegevoegd:

- ❖ De kosten van de aanleg van een infrastructuur om het biogas van de mestvergister naar de warmtekrachtkoppeling te vervoeren, worden bij deze studie buiten beschouwing gelaten;
- ❖ De kosten van de aanleg van een warmtenet om de vrijgekomen warmte van de warmtekrachtkoppeling te kunnen benutten, worden bij deze studie buiten beschouwing gelaten.

## 4. Methodologie

Om de bijdrage van biogas aan een energieneutrale stad Groningen te kunnen onderzoeken, moet eerst de potentie van biogas onderzocht worden. Wat zijn de mogelijkheden om energie op te wekken uit biogas en wat zijn de pluspunten en minpunten van deze verschillende vormen van utilisatie? Hier is met behulp van wetenschappelijke artikelen, nieuwsberichten en interviews naar gekeken. Als eenmaal duidelijk is wat je met biogas kan, volgt automatisch de vraag wat je er dan vervolgens mee gaat doen. In deze studie is er voor gekozen om het biogas te gebruiken in een warmtekrachtkoppelinginstallatie. Er is een aantal case studies gepubliceerd over voornamelijk Duitse plaatsen waar ze reeds met deze installaties werken. Door deze case studies te bestuderen is empirisch de haalbaarheid van een energie neutrale stad door middel van een biogas-warmtekrachtkoppeling onderzocht.

Het benodigde biogas wordt in deze studie opgewekt uit mestvergisting. Hier is specifiek voor gekozen, omdat door gebruik te maken van mestvergisting je niet alleen duurzame energie op wekt, maar ook de schadelijke stoffen voor het milieu en de leefomgeving uit de mest onttrekt.

De gekozen literatuur over biogas weerspiegelt een zo breed mogelijk beeld. Van overheidsrapporten tot empirische onderzoeken, en van bepleiters tot opposanten van biogas.

Voor een compleet beeld van de huidige situatie is het vraagstuk van twee verschillende kanten benaderd. Met behulp van een diepte-interview met de grootschalige veehouder Roelf Groenveld is er duidelijk geworden wat veehouders kan motiveren om mest te

leveren en bij te dragen aan een duurzame stad. Aan de andere kant is door diepte-interviews met respectievelijk Patrick Cnubben (Biobased Energy) en Ruud Paap (Green Gas) van Stichting Energy Valley inzicht gekregen in de kant van de facilitator van het gehele proces.

De visie van de gemeente Groningen, en daarmee de bewoners van de stad, is meegenomen door het rapport 'Groningen duurzaam warm' (Corzaan & Eillert, 2012) te bestuderen.

Omdat de positionering van een biogas-warmtekrachtkoppeling van essentieel belang is voor de optimale benutting, is er door gebruik van wetenschappelijke boeken over economische geografie inzicht verschaft in de industriële locatietheorie van Weber. Uit deze theorie is een eigen vervoeging gemaakt welke toepasbaar is op het vraagstuk van de positionering van mestvergisters en warmtekrachtkoppelinginstallaties. Deze aangepaste theorie is met behulp van het geografische informatie systeem ArcGis uitgevoerd. Hieruit volgen als resultaat kaarten met potentiële locaties voor mestvergisters en warmtekrachtkoppelinginstallaties.

## 5. Resultaten

Zoals eerder besproken zit er in biogas een enorme potentie. Er zijn verschillende manieren en technieken om het gas op te wekken, en ook zijn er meerdere manieren om het opgewekte gas te gebruiken en het om te vormen tot bruikbare energie in het dagelijkse leven. Elke manier heeft uiteraard zijn eigen voor- en nadelen. Voor de in deze studie gekozen manier, namelijk mestvergisting met een warmtekrachtkoppeling, hangt de haalbaarheid tot significante bijdrage leveren aan de bestaande energievoorziening voornamelijk af van de positionering van zowel de vergister als de warmtekrachtkoppeling (Akbulut, 2012).

Uit de industriële locatietheorie van Weber is af te leiden dat een mestvergister het beste zo dicht mogelijk bij de leveranciers van mest en coproducten moet komen te staan. De warmtekrachtkoppelinginstallatie zou volgens die theorie het beste zo dicht mogelijk bij de afnemers van warmte en elektriciteit moeten staan. Echter zitten er aan deze eenvoudige conclusies nog enkele haken en ogen.

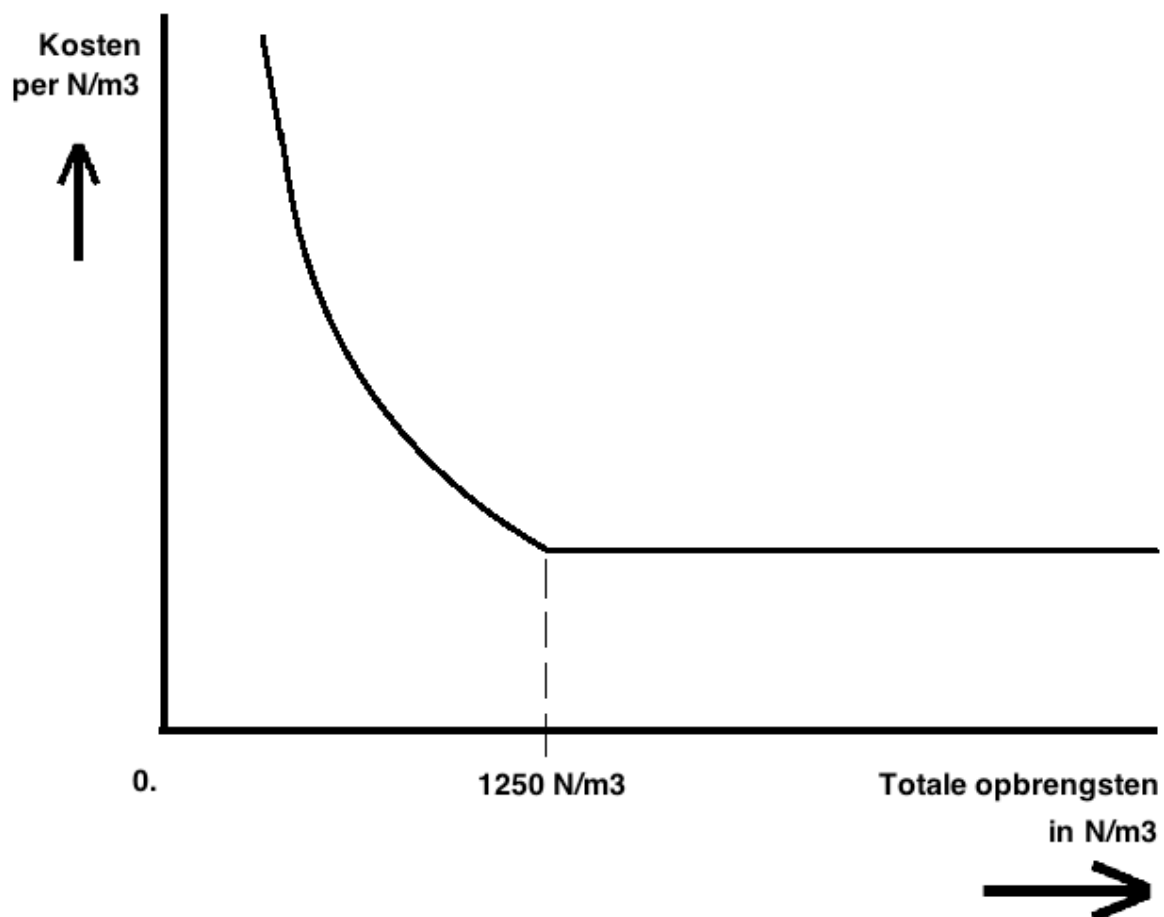
### *Positionering van mestvergisters*

De industriële locatietheorie van Weber zoekt in zijn meest basale vorm naar de vestigingsplaats waarbij de transportkosten minimaal zijn (Atzema et al., 2002). Bij de positionering van mestvergisters zal er dus gekozen moeten worden voor een plek zo dicht mogelijk bij de vindplaats van mest. Mest is immers een 'gelokaliseerde grondstof waarbij gewichtverlies op treedt'. De benodigde coproducten zijn echter ook 'gelokaliseerde grondstoffen waarbij gewichtverlies op treedt'. Dus de ideale plek voor een mestvergister moet gevonden worden met behulp van de door Weber opgestelde 'Standortdreieck'. Hierbij moeten de verschillen in kosten tussen het transport van mest en het transport van coproducten bekeken worden, om zo tot de vestigingsplaats met de laagste totaalkosten te komen. Dit kun je doen met behulp van isodapanen. Maar daarnaast moeten ook de eventueel aanwezige agglomeratievoordelen meegenomen worden. Deze agglomeratievoordelen komen bij mestvergisting vooral tot uiting in

schaalvoordelen. Coproducten kunnen goedkoper ingekocht worden, en een grote mestvergister kan efficiënter werken (Börjesson & Ahlgren, 2012).

Volgens Ruud Paap van Stichting Energy Valley zit er aan de schaalvoordelen van een mestvergister echter een limiet. Na het behalen van een bepaalde hoeveelheid opgewekt biogas, worden de kosten tegenover de opbrengsten indifferent aan elkaar. “Er zijn in beperkte mate grote schaalvoordelen te halen, maar op een gegeven moment loont het niet meer om met vrachtwagens of pijpleidingen mest aan te leveren. Deze knik zit op ongeveer 1250 Nm<sup>3</sup>, wat gemiddeld gelijk staat aan de levering van de mest van vijf boerderijen” (Paap, 2012). In figuur 3 wordt deze knik grafisch weergegeven.

Om maximaal gebruik te kunnen maken van schaalvoordelen zal in deze studie dus een minimum van 5 boerderijen aan 1 mestvergister gekoppeld worden. De exacte hoeveelheid mest die per boerderij aan de mestvergister geleverd moet worden, wordt in dit onderzoek wegens een gebrek aan data buiten beschouwing gelaten. De hoeveelheid mest die per boerderij in de provincie Groningen te leveren is, is voor deze studie namelijk niet beschikbaar. In een eventuele vervolgstudie zou hier wel op in gegaan kunnen worden.



*Figuur 3: Grafische weergave 'kink' in schaalvoordelen mestvergister  
Bron: Ruud Paap*

Met behulp van isokostenlijnen en isodapanen wordt vervolgens de ideale vestigingsplek voor een mestvergister vastgesteld. De isokostenlijnen zijn cirkels rondom boerderijen die de plekken waar de kosten om mest te verkrijgen gelijk zijn, verbinden. Isodapanen zijn overliggende figuren die de plekken waar de totale kosten van de verschillende boerderijen gelijk zijn, verbinden (Atzema et al., 2002). De plek met de laagste totaalkosten is dan de ideale plek om een mestvergister te positioneren.

In deze studie worden de transportkosten van coproducten voor vergisting overal gelijk gesteld. De kosten van coproducten zitten namelijk voor het grootste deel in de grondstoffen zelf, en niet in het transport ervan (Wageningen UR Livestock Research, 2011).

Wel is ook bij de coproducten een schaalvoordeel te behalen. Om mestvergisting economisch haalbaar te maken, moeten volgens zowel Ruud Paap als Patrick Cnubben de coproducten grootschalig ingekocht worden. Daarnaast adviseert de Groningse veehouder Roelf Groenveld met betrekking tot schaalvoordelen om de lijst van coproducten die toegestaan zijn in een vergister uit te breiden. Op dit moment worden namelijk de goedkope organische reststromen grootschalig geëxporteerd naar vergisters in Duitsland en België, terwijl in Nederland de duurdere reststromen kleinschalig geïmporteerd moeten worden (Ypma, 2011).

Aangezien de agglomeratievoordelen uit de industriële locatietheorie van Weber in deze studie al opgenomen zijn in het koppelen van minstens vijf boerderijen aan één mestvergister kunnen de schaalvoordelen van coproducten buiten beschouwing gelaten worden.

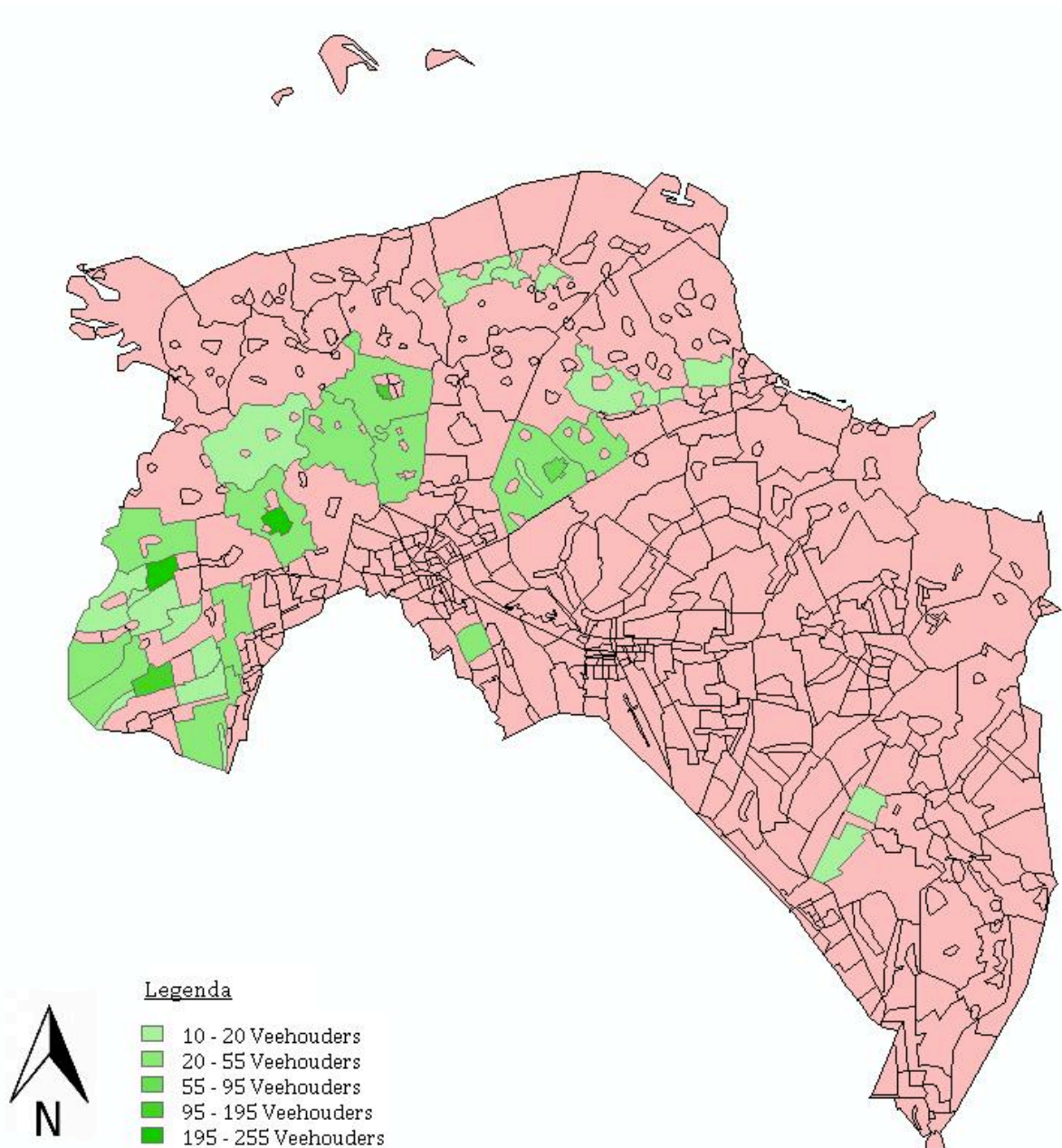
In kaart 1 op de volgende pagina worden de resultaten van een met ArcGis uitgevoerd onderzoek naar de potentiële agglomeratievoordelen weergegeven. Er is hierbij gezocht naar buurten in de provincie Groningen waar voldoende veehouders gesitueerd zijn voor een gezamenlijke mestvergister. De buurten waar een schaalvoordeel met een gemeenschappelijke mestvergister gehaald kan worden, zijn in het groen weergegeven.

Uit kaart 1 is af te lezen dat er rondom Groningen genoeg veehouderijen zitten. Als dit per gemeente bekeken wordt, is te zien dat de grootste kansen in de gemeente Grootegast, gemeente Zuidhorn, gemeente Marum, gemeente Winsum en gemeente Ten Boer liggen. In deze gemeenten bevinden zich namelijk per buurt de meeste veehouderijen en ligt dus de grootste kans op een gezamenlijke mestvergister. De buurten waar schaalvoordelen met een mestvergister te halen zijn die het dichtst bij de stad Groningen liggen, liggen in de gemeenten Haren, Ten Boer, Slochteren, Winsum en Zuidhorn.

Uit een analyse van deze gegevens blijkt dat in de gemeenten Zuidhorn, Winsum en Ten Boer de beste mogelijkheden liggen voor een gezamenlijke mestvergister die de stad Groningen kan gaan voorzien van biogas.

In een vervolgstudie zal aan de hand van isokostenlijnen en isodapanen de ideale positionering voor een mestvergister binnen deze gemeenten gevonden kunnen worden. Hiervoor zijn echter wel de exacte locaties van alle veehouderijen per buurt en

de hoeveelheid mest die ze kunnen leveren aan de mestvergister nodig. Deze gegevens waren bij dit onderzoek niet te verkrijgen, en worden dus aanbevolen om mee te nemen in een vervolgstudie.



*Kaart 1:  
Buurten met mogelijkheden voor gemeenschappelijke mestvergister  
Bron: Eigen simulatie resultaten*

Een belangrijke schakel bij een centraal geplaatste gezamenlijke mestvergister zijn de afnemers van het digestaat. Door de schaalvoordelen wordt op een centraal punt de mest vergist. Het digestaat moet dus ook weer eerlijk verdeeld worden onder de veehouders die de mest leveren. De bereidheid van boeren om mest naar de vergister te brengen, hangt echter nauw samen met de kwaliteit van het digestaat (Groenveld, 2012). "Ik weet precies wat mijn koeien te eten hebben gekregen, en bij een eigen



mestvergister weet ik ook 100% zeker dat de coproducten die ik heb gebruikt geen schadelijke stoffen achterlaten in het digestaat, en dus op mijn land. Als ik mijn mest aan een centraal punt moet gaan leveren, en daarvandaan digestaat krijg die ik op mijn land ga uitrijden, wil ik er zeker van zijn dat er ook in dat digestaat geen schadelijke stoffen zitten”, aldus Roelf Groenveld.

Dit valt gemakkelijk te ondervangen door een hygiënestap in de vergister in te bouwen. Het digestaat wordt daarbij eerst tot ongeveer 70 graden Celsius verwarmd. Onder deze temperatuur worden de meeste bacteriën en pathogenen gedood, en zal de kans dat er schadelijke stoffen in het digestaat overblijven nihil zijn (Wageningen UR Livestock Research, 2011). Een andere manier is door met keurmerken en controles voor de participerende boeren te werken. Deze manier is wel energiezuiniger, maar ook minder betrouwbaar.

### *Positionering van warmtekrachtkoppelingsinstallaties*

De warmtekrachtkoppeling krijgt het biogas aangeleverd, en zet dit om in warmte en elektriciteit. Bij een gemiddelde warmtekrachtkoppelingsinstallatie is 70% van de vrijgekomen energie warmte, en slechts 30% elektriciteit (Paap, 2012). Dit is volgens Ferry van Kann (2012) echter zelfs een voordeel, aangezien warmte belangrijker is dan stroom. Maar om een warmtekrachtkoppeling haalbaar te maken, is het gebruik van die vrijgekomen warmte dus wel noodzakelijk. Daarom moet een warmtekrachtkoppelingsinstallatie zo dicht mogelijk bij de afnemers van warmte geplaatst worden. Als je de warmtekrachtkoppelingsinstallaties zo positioneert dat de vrijgekomen warmte nuttig gebruikt kan worden, oftewel op de plek waar veel warmtevraag is, dan is er technisch een significante bijdrage aan een energieneutrale stad in 2035 mogelijk (Paap, 2012).

Uit berekeningen van meerdere auteurs is gebleken dat de afzet van warmte kritisch is voor de technische haalbaarheid van biogas-warmtekrachtkoppeling (Akbulut, 2012; Sorda et al., 2011). Transport van warmte is kostbaar, zeker als de warmte over een grote afstand getransporteerd moet worden. Een afstand van enkele kilometers kan al resulteren in te hoge kosten en een onrendabel project (Sorda et al., 2011).

Bij het identificeren van kansrijke locaties voor een warmtekrachtkoppeling in de regio is het dus van belang dat er grote, en stabiele warmtegebruikers in de directe nabijheid zijn (Reuerman & Roelofs, 2009).

Bij het identificeren van locaties met grote stabiele warmtegebruikers onderscheiden Reuerman en Roelofs (2009) de volgende mogelijkheden:

- Grote zwembaden in de regio: Met name binnenbaden hebben een grote en stabiele warmtevraag, en zijn dus ideale locaties voor toepassing van de warmte;
- Grootschalige bedrijventerreinen: Bedrijven en industrieën hebben doorgaans een grote warmtevraag. Op bedrijventerreinen liggen bedrijven en industrieën geclusterd, waardoor ze makkelijker van warmte voorzien kunnen worden. De geschiktheid hangt hierbij wel af van een aantal aspecten. Zo is de aanwezigheid van een warmtenet of de plannen voor de aanleg van zo'n warmtenet essentieel. De kosten van de aanleg zijn namelijk – behoudens speciale gevallen – doorgaans te hoog om meegenomen te worden in de exploitatie van een warmtekrachtkoppeling. Daarnaast kan de warmtevraag van de aanwezige bedrijven sterk variëren. Deze warmtevraag kan seizoensgebonden fluctueren,

maar bijvoorbeeld ook per etmaal. Bijvoorbeeld als 's nachts een fabriek niet draait, dan is er ook geen vraag naar warmte.

Aan de andere kant kunnen industrieën ook gezien worden als aanbieders van warmte. Veel industrieën hebben een hoge restwarmte, waar vaak nog niks mee gedaan wordt. Als er een warmtenet aangelegd wordt voor een warmtekrachtkoppeling, dan kan de restwarmte van deze industrieën daar ook op aangesloten worden.

- Nieuwe woonwijken bieden ook mogelijkheden voor warmtekrachtkoppelingssystemen. Hierbij is het essentieel dat er een warmtenet wordt aangelegd. Zonder warmtenet zijn er geen mogelijkheden om de warmte af te kunnen zetten.

In deze studie worden, zoals eerder al genoemd, bepaalde randvoorwaarden gesteld. De aanwezigheid van een warmtenet of de kosten van de aanleg daarvan, worden buiten beschouwing gelaten. In een vervolgstudie kan hier wel naar gekeken worden, maar voor dit onderzoek is het niet van belang. Er moet namelijk gekeken worden naar wat de technisch potentiële haalbaarheid van biogas-warmtekrachtkoppeling is, en niet naar de financiële haalbaarheid ervan. Bovendien heeft de gemeente Groningen in hun beleid al plannen opgesteld om een warmtenet onder de stad aan te leggen (Gemeente Groningen, 2012).

Daarnaast wordt er ook niet gekeken naar eventueel opgelegde bestemmingsplannen voor bepaalde locaties. De warmtekrachtkoppeling zal hypothetisch dus overal geplaatst kunnen worden.

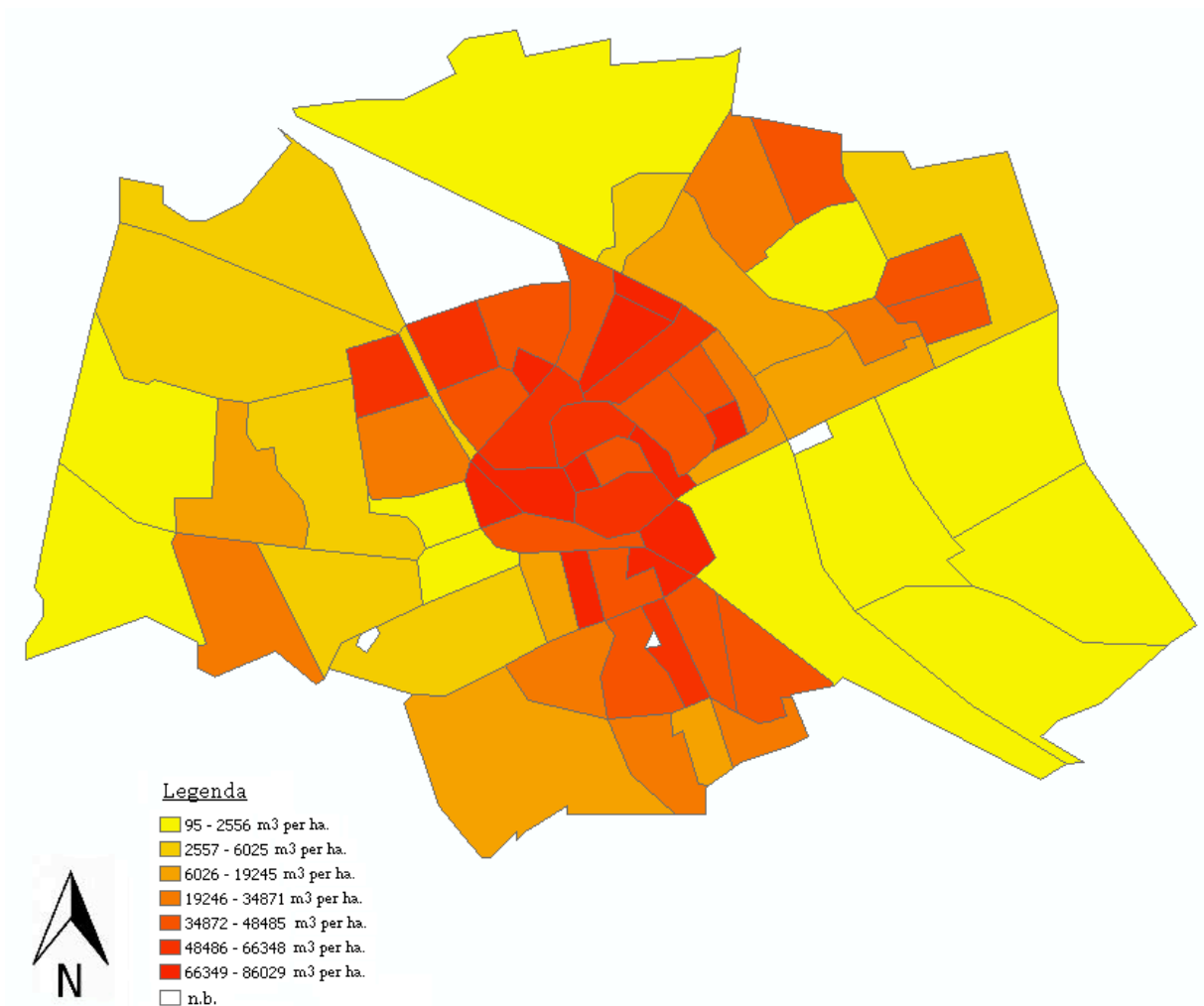
Met deze randvoorwaarden in het achterhoofd bevindt de ideale positie voor een warmtekrachtkoppeling zich op de plek waar de warmtevraag van de omgeving het hoogst is.

Aangezien de warmtevraag van Groningen niet openbaar beschikbaar is, is er gekeken naar het gemiddelde gasverbruik per buurt van de gemeente Groningen.

Het gasgebruik is een goede graadmeter voor de warmtevraag aangezien meer dan 70% wordt gebruikt voor ruimteverwarming (Menkveld, 2009). Daarnaast wordt gas ook gebruikt voor het opwarmen van water. Een warmtenet aangesloten op een warmtekrachtkoppeling zal huishoudens echter ook kunnen voorzien van warm water. Al met al wordt ongeveer 96% van het binnenkomende gas bij huishoudens gebruikt voor verwarming van de ruimte of water (Menkveld, 2009). Een kanttekening die gesteld moet worden is dat een bepaalde hoeveelheid gas niet gelijk staat aan een bepaalde warmte. Deze hangt natuurlijk af van onder andere de aangebrachte isolatie of het gebruik van HR-ketels.

Desalniettemin is, zoals eerder gesteld, de vraag naar gas globaal gezien evenredig aan de vraag naar warmte. Daarom wordt in deze studie er van uit gegaan dat de vraag naar gas gelijk is aan de vraag naar warmte.

In kaart 2 wordt het gasgebruik, en dus de vraag naar warmte, per buurt in- en rondom de stad Groningen met behulp van het computer programma ArcGis weergegeven.



*Kaart 2:  
Gasverbruik per hectare per buurt in de gemeente Groningen  
Bron: Eigen simulatie resultaten*

De data voor het gasgebruik per buurt in de gemeente Groningen zijn als volgt berekend: Het gemiddelde gasverbruik per woning per buurt is vermenigvuldigd met het aantal woningen per buurt. Deze uitkomst is gedeeld door de oppervlakte land die er per buurt beschikbaar is.

Uit kaart 2 is af te lezen dat de vraag naar warmte vooral in en rondom de binnenstad erg groot is. In tegenstelling tot wat Reumerman en Roelofs (2009) beweren, ligt in Groningen de grootste vraag naar warmte dus niet op de industriegebieden, maar juist in de woonwijken. Dit kan verklaard worden doordat er in relatie tot zijn bevolkingsdichtheid er rondom Groningen relatief weinig grootschalige industrieën gesitueerd zijn.

Naast de binnenstad komen heel duidelijk de buurten Paddepoel en Vinkhuizen aan de westkant en de buurten Beijum en Leeuwenborg aan de oostkant van Groningen naar voren. Deze buurten staan bekend om hun flatgebouwen en hoge bevolkingsdichtheid.

Dat juist in deze wijken de vraag naar warmte erg hoog is, mag dus niet als verassing gelden.

Dichter rond de binnenstad heeft de Schilderswijk ten westen van het centrum nog een grote vraag naar warmte. Deze wijk omvat de Schildersbuurt en Kostverloren. Ten oosten van het centrum valt voornamelijk de Korrewegwijk nog op door zijn grote vraag naar warmte. De Korrewegwijk omvat de Indische buurt en de Korrewegbuurt.

Echter is het plaatsen van een warmtekrachtkoppeling in de binnenstad om meerdere redenen niet haalbaar. Financieel en juridisch zal het sowieso niet haalbaar zijn, maar ook technisch is dit een zeer ongunstige positionering. Voornamelijk de omzetting naar elektriciteit, en de aanvoer van deze elektriciteit aan een hoogspanningsnetwerk is niet wenselijk midden in een woonwijk. Daarnaast zal ook het formaat van zo'n installatie en het bijbehorende geproduceerde geluid tot sociaal onwenselijke situaties leiden. Beter is het om de warmtekrachtkoppeling aan de rand van een woonwijk, of op een industrieterrein te plaatsen (GasTerra, 2008).

De ideale positionering van een warmtekrachtkoppeling is dus op een industrieterrein, zo dicht mogelijk in de buurt van wijken die de grootste warmte vragen. Dit is ook een voordelige keuze, aangezien een groot deel van de bestaande gasinfrastructuur in de stad Groningen hierbij niet meteen aangepast dient te worden. Bovendien kunnen de industrieën dan gelijk aangesloten worden op het warmtenet van de warmtekrachtkoppeling, waar zij hun restwarmte aan kunnen leveren.

Om de technisch potentiële haalbaarheid te vergroten, moet echter ook de afstand tussen de warmtekrachtkoppeling en de mestvergister, die het biogas opwekt, zo laag mogelijk gehouden worden.

#### *Koppeling mestvergisters met warmtekrachtkoppelinginstallaties*

Kijkend naar deze studie zijn er voor de stad Groningen twee regio's die aan elkaar gekoppeld moeten worden:

Een gezamenlijke mestvergister in de gemeente Zuidhorn kan aan de westkant van Groningen een warmtekrachtkoppeling voorzien van biogas. Deze warmtekrachtkoppelinginstallatie moet dan gepositioneerd worden op het industrieterrein Westpoort. Vanaf deze warmtekrachtkoppeling kunnen via een warmtenet Paddepoel, Vinkhuizen en de Schilderswijk voorzien worden van warmte. Aan de noordoostkant van de stad Groningen kan een warmtekrachtkoppelinginstallatie op het industrieterrein Noorderhoogebrug de wijken Beijum, Leeuwenborg en Korrewegwijk van warmte voorzien. Deze warmtekrachtkoppeling moet dan aangesloten worden op een gezamenlijke mestvergister in de gemeente Ten Boer of de gemeente Slochteren.

Op deze manier zal het technisch potentieel van een biogas-warmtekrachtkoppeling optimaal gebruikt kunnen worden in en rondom de stad Groningen.

## 6. Conclusies

### *Rol van biogas-warmtekrachtkoppeling in energieneutrale stad*

Biogas-warmtekrachtkoppeling heeft genoeg potentie om bij te dragen aan een energieneutrale stad Groningen in 2035. Echter zal met de huidige techniek biogas-warmtekrachtkoppeling in zijn eentje deze doelstelling niet kunnen realiseren. “Je kan er een heel eind mee komen, maar ook groen gas zal nodig blijven”, aldus Ruud Paap (2012). Door de hoge kosten van de aanleg van een warmtenet zal een biogas-warmtekrachtkoppeling op korte termijn namelijk niet het bestaande energienetwerk over kunnen nemen. Echter moet bij de aanleg van een warmtenet onder de stad Groningen gelijk gekeken worden naar andere duurzame energiebronnen, zoals geothermie en restwarmte van industrieën, die ook gebruik kunnen maken van dit warmtenet (Cozaan & Eillert, 2012).

Met een combinatie van deze energieneutrale alternatieven voor energieopwekking is de mogelijkheid om een energieneutrale stad Groningen te realiseren binnen handbereik. De bijdrage die biogas-warmtekrachtkoppeling hieraan kan leveren, is in deze studie aangetoond.

De inwoners van de stad Groningen zijn ook in hoge mate bereid om over te schakelen op duurzame alternatieven (Cozaan & Eillert, 2012). De combinatie van verschillende duurzame energieën zal er dan ook voor zorgen dat de gemeente Groningen zijn doelstelling kan halen. Dit vergt echter veel investeringen van de kant van de gemeente Groningen. De technische haalbaarheid is aangetoond, maar aan de financiële haalbaarheid zitten nog haken en ogen.

De rendabiliteit van een biogas-warmtekrachtkoppeling hangt volledig af van de kosten om biogas op te wekken, en de hoeveelheid warmte die benut kan worden (Sorda et al., 2011). Om optimaal gebruik te kunnen maken van beide variabelen is de positionering van zowel de mestvergister als de warmtekrachtkoppelingsinstallatie van cruciaal belang (Akbulut, 2012).

Uit deze studie komen, onder de gestelde randvoorwaarden, twee technisch optimale positioneringen voor een biogas-warmtekrachtkoppeling naar voren, te weten een mestvergister in Zuidhorn met een warmtekrachtkoppeling in Westpoort en een mestvergister in Ten Boer met een warmtekrachtkoppeling in Noorderhoogbrug.

Als er eenmaal een warmtenet onder de binnenstad van Groningen ligt, kunnen deze warmtekrachtkoppelingen vanaf oost en west Groningen een groot deel van de stad duurzaam voorzien van warmte. Daarnaast zullen deze warmtekrachtkoppelingen ook elektriciteit leveren aan het hoogspanningsnetwerk. Deze duurzaam opgewekte elektriciteit zal ook een aandeel hebben in het behalen van de doelstelling van de gemeente Groningen om in 2035 energieneutraal te zijn.

Het advies aan de gemeente Groningen luidt dan ook om vervolgonderzoek te doen in biogas-warmtekrachtkoppeling. Naast de milieuvoordelen door de vergisting van anders schadelijke mest, levert deze bron ook nog warmte en elektriciteit. Deze win-win situatie moet verder ontwikkeld worden, want hierin ligt voor nu de toekomst in duurzame energie.

## Literatuurlijst

- Agentschap NL (2012). *Biogas-warmtekrachtkoppeling (WKK) voor een wijk*, Den Haag: Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en innovatie.
- Akbulut, A. (2012). Techno-economic analysis of electricity and heat generation from farm-scale biogas plant: Çiçekdaglı case study. *Energy*, 44, pp. 381-390.
- Atzema, O., Lambooy, J., Rietbergen, T. van, Wever, E. (2002). *Ruimtelijke economische dynamiek*. Tweede druk. Bussum: Coutinho.
- Börjesson, M., Ahlgren, E. O. (2012). Cost-effective biogas utilisation - A modelling assessment of gas infrastructural options in a regional energy system, *Energy*, xxx, pp. 1-15.
- Corzaan, P., Eillert, M. (2012). *Groningen duurzaam warm – Visie en strategie voor ontwikkeling en gebruik van duurzame warmte en koude in de stad Groningen*. Groningen: Gemeente Groningen.
- Energiewijzer (2012). *Kolencentrale*. Geraadpleegd op 03-12-2012 via <http://energiewijzer.nl/energiebegrippen/kolencentrale/>. Energiewijzer.nl.
- Fibronot (2012). *Mestvergister*. Geraadpleegd op 21-11-2012 via [http://fibronot.nl/page\\_id177-mestvergister/](http://fibronot.nl/page_id177-mestvergister/). Fibronot.nl
- GasTerra (2008). *Warmte en Kracht – WarmteKrachtKoppeling: een overzicht en leidraad*. Driebergen: GasTerra / Castel International Publishers.
- Kemp, R. (2010). The Dutch energy transition approach. *International Economics and Economic Policy*, 7, pp. 291-316.
- Kern, F., Smith, A. (2008). Restructuring energy systems for sustainability? Energy transition policy in the Netherlands. *Energy Policy*, 36, pp. 4093-4103.
- Meijer, M., Adriaens, F., Linden, O. van der, Schik, W. (2011). A next step for sustainable urban design in the Netherlands, *Cities*, 28, pp. 536-544.
- Menkveld, M. (2009). *Kengetallen warmtevraag Groningen*. Rapport 1. Petten: Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN).
- Paepe, L. de (2009). Boer stookt woonwijk warm met koeienmest, *Trouw*, 09-02-2009.
- Reumerman, P.J., Roelofs, S. (2009). *Inventarisatie biomassa regio Stedendriehoek*. Projectnummer 1544. Enschede: Biomass Technology Group (BTG).
- Sorda, G., Sunak, Y., & Madlener, R. (2011). *A Spatial MAS Simulation to Evaluate the Promotion of Electricity from Agricultural Biogas Plants in Germany*. Rapport 1. Aachen: Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN).

- Vlist, M.J. van der (1998). Land use planning in the Netherlands; finding a balance between rural development and protection of the environment, *Landscape and Urban Planning*, 41, pp. 135-144.

- Veerman, E. (2011). *De grote dooi*. Geraadpleegd op 07-12-2012 via <http://www.wetenschap24.nl/nieuws/artikelen/2011/november/De-grote-dooi.html> Wetenschap24; Noorderlicht.

- Wageningen UR Livestock Research (2011). *Kansen en bedreigingen voor mestvergisting en groengasproductie in de Gelderse landbouw*. Rapport 505. Wageningen: Wageningen UR Livestock Research.

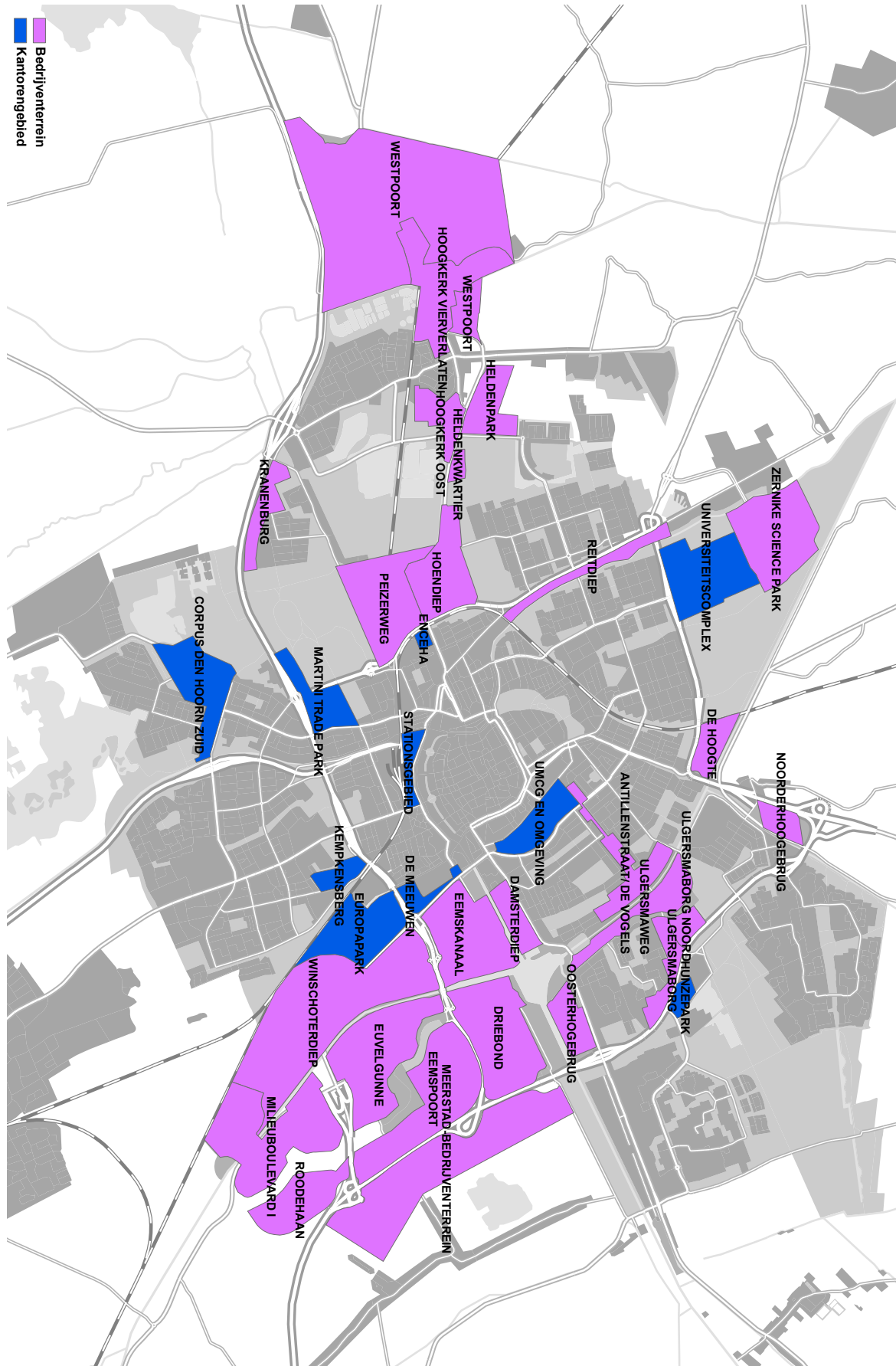
- Wheeler, J.O., Muller, P.O., Thrall, G.I., Fik, T.J. (1998). *Economic Geography*. Derde druk. New York: John Wiley & Sons Inc.

- Ypma, T. (2011). Boeren met biomassa beter af in het buitenland. *Boerderij*, 96(15), pp. 16-17.

# Bijlagen

## Bijlage 1: Bedrijven- en industrieterreinen rondom de stad Groningen

Bron: Gemeente Groningen





## ***Bijlage 2: Technisch rapport gevolgde stappen ArcGis***

### **Basis data:**

- Buurten Groningen 2009, CBS.
- Data 'Overzichten energiecijfers op wijk- en buurt niveau 2009.'  
(<https://data.overheid.nl/data/dataset/overzichten-energiecijfers-op-wijk-en-buurniveau>)

Join tabel → 'Buurten Groningen 2009' met 'Overzichten energiecijfers op wijk- en buurt niveau 2009'

### **Kaart 1:**

Select buurt by attributes: Aantal agrarische bedrijven > 10, AND percentage agrarische bedrijven veeteelt > 80%

Selection: Create layer of selected attributes → Export data to new layer

Layer properties → graduated colors → value: 'Agrarische bedrijven selection'

### **Kaart 2:**

Select by attributes: Gemeente naam = 'Groningen'

Selection: Create layer of selected attributes → Export data to new layer: 'Gemeente Groningen'

Gemiddeld gasverbruik per woningen wordt weergegeven in attribute tabel in de vorm 'string'. Om deze getallen door ArcGis als nummers te laten beschouwen moet 'String' omgezet worden naar 'Long Integer':

Attribute tabel → Add field → 'Gem. Gasverbruik per woning per buurt' → Field calculator → 'Gem. Gasverbruik per woning per buurt' = val ( [P\_Gas\_Tot] ) → Number → Calculate

Nu moet het gemiddelde gasverbruik per woning (per buurt) vermenigvuldigd worden met het aantal woningen per buurt. Dit geeft het absolute gasverbruik per buurt weer. Dit moet weer gedeeld worden door de oppervlakte land per buurt om zo het gasverbruik per hectare per buurt te krijgen:

Attribute tabel → Add field → 'ALL\_Gas\_per\_ha' → Field calculator → 'ALL\_Gas\_per\_ha = 'Gem. Gasverbruik per woning per buurt' \* 'WONINGEN' / OPP\_Land

Layer properties → graduated colors → value: 'ALL\_Gas\_per\_ha'