



# **Bæredygtig Varmeudnyttelse fra Biogasanlæg i Europa**

*En håndbog*

**BIOGASHEAT**

- Forfatter: Dominik Rutz
- Medforfattere: Rita Mergner, Rainer Janssen
- Anmeldere: Ilze Dzene, Claudio Rochas, Stefan Amann, Christof Amann, Jadranka Maras Abramovic, Christopher Gallasch, Laura Bailón Allegue, Jørgen Hinge, Frederico De Filippi
- Redaktør: Dominik Rutz
- Oversat af: Iben Høgh-Pedersen og Jørgen Hinge
- ISBN: 978-87-93037-00-7
- Oversættelser: Denne håndbogs originalsprog er engelsk, men den er også tilgængelig på følgende sprog: Kroatisk, Tjekkisk, Engelsk, Tysk, Italiensk, Lettisk, Polsk og Rumænsk
- Udgivet af: © 2012 by WIP Renewable Energies, München, Tyskland (Engelsk version) og © 2013 by Teknologisk Institut, Danmark (Dansk version)
- Kontakt: WIP Renewable Energies, Sylvensteinstr. 2, 81369 Munich, Germany  
Dominik.Rutz@wip-munich.de, Tel.: +49 89 720 12 739  
www.wip-munich.de
- Hjemmeside: www.biogasheat.org
- Ophavsret: Alle rettigheder er forbeholdt forfatterne. Ingen dele af denne bog må kopieres, for på nogen måde at kunne anvendes til kommercielle formål, uden skriftlig tilladelse fra udgiveren. Forfatterne garanterer ikke for korrektheden og/eller fuldstændigheden af information og data inkluderet eller beskrevet i denne håndbog.
- Ansvarsfraskrivelse: Forfatterne til denne håndbog bærer alene det fulde ansvar for indholdet. Indholdet giver ikke nødvendigvis udtryk for den Europæiske Unions meninger og holdninger, ligesom hverken EACI eller EU kommissionen er ansvarlige for enhver brug, der måtte blive gjort af oplysningerne heri.

## ***Anerkendelser***

Denne håndbog er udarbejdet i forbindelse med projektet "BiogasHeat" (BiogasVarme) (IEE/11/025), som er støttet af EU kommissionen via Intelligent Energi til Europa (IEE) programmet, der bliver styret af Forvaltningsorganet for Konkurrenceevne og Innovation (EACI). Forfatterne til denne håndbog vil gerne takke EU kommissionen for at støtte BiogasVarme projektet, ligesom de gerne vil takke anmelderne og partnerne i projektet for deres bidrag til håndbogen.

For udarbejdelse af illustrationer og grafer vil forfatterne gerne takke følgende virksomheder: AgroEnergien (Burkhard Meiners), GE Energy (Roland Jenewein), LaTherm GmbH (Michael Schönberg), SCHNELL Motoren AG (Susanne Kerezsy), STELA Laxhuber GmbH (Nadine Sahlmann), Thermaflex Isolierprodukte GmbH (Jana Tanneberg-Kranz), TransHeat GmbH (Ronald Strasser), Tranter Solarice GmbH (Wolfgang Stürzebecher) og Verdesis Services UK LTD (Nick Sheldon).

## BiogasVarme projektet

BiogasVarme projektet omhandler problemet med udnyttelse af varme fra biogasanlæg effektivt både på europæisk, nationalt og projekt niveau. Derfor er der udviklet og anvendt et sæt politikker, god praksis anbefalinger, feltundersøgelser og metoder til projektimplementering. De specifikke mål med projektet er: (1) at støtte den økonomiske og vedvarende udnyttelse af varme fra både eksisterende og fremtidige biogasanlæg, som pt. går tabt, (2) at øge kapabiliteten i flere udvalgte lande (Østrig, Kroatien, Tjekkiet, Danmark, Tyskland, Italien, Letland, Polen og Rumænien) ved at anvende specifikke metoder, herunder analyse af tekniske muligheder, bæredygtighedsstudier, entreprenørmæssige udviklinger af forretningsstrategier og feltundersøgelser omhandlende nøgleudfordringerne; og (3) at øge kapaciteten via uddannelse, kompetenceudvikling og videnoverførsel.

BiogasVarme startede i april 2012 og løber over 3 år. Projektet bliver støttet af Intelligent Energi til Europa Programmet under den Europæiske Union (kontrakt nr. IEE/11/025).

### Projekt Sammensætning og Nationale Kontakter:



**Ekodoma**, Latvia (Project coordinator)  
Ilze Dzene [ilze@ekodoma.lv]



**WIP Renewable Energies**, Germany  
Dominik Rutz [Dominik.Rutz@wip-munich.de]  
Rita Mergner [Rita.Mergner@wip-munich.de]



**Energy Institute Hrvoje Požar**, Croatia  
Biljana Kulišić [bkulisc@eihp.hr]  
Jadranka Maras Abramović [jmaras@eihp.hr]



**Energy Efficiency Center SEVEN**, Czech Republic  
Tomáš Voříšek [tomas.vorisek@svn.cz]



**Sogesca Srl**, Italy  
Federico De Filippi [f.defilippi@sogesca.it]  
Marco Devetta [m.devetta@sogesca.it]



**Polish Biogas Association**, Poland  
Michał Surowiec [michal.surowiec@pba.org.pl]



**e7 Energie Markt Analyse GmbH**, Austria  
Christof Amann [christof.amann@e-sieben.at]  
Stefan Amann [stefan.amann@e-sieben.at]



**Danish Technological Institute**, Denmark  
Laura Bailón Allegue [lbae@teknologisk.dk]  
Jørgen Hinge [jhi@teknologisk.dk]



**SC Mangus Sol Srl**, Romania  
Mihai Adamescu [office@mangus.ro]



**Euroheat&Power**, Belgium  
Christopher Gallasch [Christopher.Gallasch@euroheat.org]

# Indhold

<b>Anerkendelser .....</b>	<b>2</b>
<b>Biogas Varme projektet .....</b>	<b>3</b>
<b>Forord .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Introduktion .....</b>	<b>7</b>
1.1 Biogas produktion .....	7
1.2 Biogasanlægs-koncepter .....	9
1.3 Koncepter for at bruge biogas til energilagring .....	10
1.4 Udfordringer i forbindelse med anvendelse af varmen .....	13
<b>2 Grundlæggende info om varmeudnyttelse.....</b>	<b>14</b>
2.1 Biogas forbrænding .....	14
2.2 Tal og omregningsenheder for/af varme .....	15
2.3 Varmekvalitet .....	15
2.4 Varmemængde og behov .....	16
2.5 Varmebehov for biogas rådnetanke.....	17
2.6 Karakteristika for biogas forbrændings motorer .....	19
2.6.1 Gas-Otto motorer .....	20
2.6.2 Gas-Pilot Indsprøjtningmotorer .....	20
2.7 Koncepter for kraftvarmeværker på biogasanlæg .....	22
<b>3 Muligheder for anvendelse af varme fra biogasanlæg .....</b>	<b>23</b>
3.1 Opvarmning.....	24
3.1.1 Fjernvarme.....	24
3.1.2 Stalde.....	30
3.1.3 Drivhuse.....	31
3.1.4 Akvakultur .....	33
3.1.5 Varmetransport i containere .....	35
3.1.6 Opvarmning med andre formål.....	38
3.2 Tørring .....	38
3.2.1 Ferment og spildevandsslam.....	42
3.2.2 Stammer, træflis og -piller .....	43
3.2.3 Landbrugsprodukter .....	45
3.3 Køling.....	46
3.3.1 Overblik over kølere .....	46
3.3.2 Fjernkøling .....	48
3.3.3 Anvendelse af køling.....	50
3.4 Yderligere el-produktion .....	50

---

3.4.1	CRC systemer.....	51
3.4.2	ORC systemer.....	52
3.4.3	Kalina cyklus.....	55
3.4.4	Stirling motor.....	56
3.4.5	Udstødnings gas turbine (/Turbolader).....	57
<b>4</b>	<b>Innovative koncepter til effektiv biogas omdannelse.....</b>	<b>58</b>
4.1	Biogas rørledninger og satellit kraftvarmeværker .....	58
4.2	Opgradering af biogas og tilførsel af biometan til naturgas-nettet.....	60
4.3	Biometan transport i containere.....	62
4.4	Anvendelse af biometan til transport .....	63
4.5	Biogas til belastningsstyring og til nettenes stabilitet .....	63
4.6	Biometan og Strøm-til-Gas .....	64
<b>5</b>	<b>Retningslinjer for varmeanvendelsesmuligheder .....</b>	<b>66</b>
<b>6</b>	<b>Konklusioner .....</b>	<b>68</b>
	<b>Ordliste og Forkortelser.....</b>	<b>69</b>
	<b>Generelle omregningsenheder .....</b>	<b>77</b>
	<b>Referencer .....</b>	<b>79</b>

## Forord

I Europa såvel som i resten af verden vokser produktionen og anvendelsen af biogas markant som følge af den voksende efterspørgsel på vedvarende energi, som alternativ til fossile brændstoffer. De fleste landbrugs- og industrielle biogasanlæg i Europa anvender biogas til produktion af elektricitet i CHP anlæg (Kombineret Varme og Strøm = kraftvarmeværk). I mange tilfælde bliver varmen fra CHP enheder dog ikke brugt, men går til spilde. Dette er et resultat af, at de fleste støtteordningers store fokus på elektricitetsproduktion forsømmer den effektive udnyttelse af varmen.

Ineffektiviteten i energiudnyttelsen er en flaskehals i den nuværende biogasproduktion, og det forårsager både makro- og mikroøkonomiske tab, samt giver udfordringer i forbindelse med den stigende konkurrence på arealudnyttelse. BiogasVarme projektet behandler problemet med, hvordan varmen fra biogasanlæg på europæisk, nationalt og på projekt-plan effektivt kan udnyttes (Dzene et al. 2012). Derfor er der udviklet og anvendt et sæt politikker, god praksis anbefalinger, feltundersøgelser og metoder til projekttimplementering. BiogasVarme projektet (IEE/11/025) støttes af EU-Kommissionen gennem programmet Intelligent Energi i Europa (IEE), der styres af Forvaltningsorganet for Konkurrenceevne og Innovation (EACI).

Et væsentligt produkt af BiogasVarme projektet er denne håndbog "Bæredygtig Varmeudnyttelse fra Biogasanlæg i Europa", som er blevet udarbejdet med henblik på at give et overblik over forskellige muligheder for udnyttelsen af varme fra biogasanlægs kraftvarmeenheder. Håndbogen henvender sig til nuværende og fremtidige biogasanlægsoperatører, samt andre interesserede parter, såsom politiske beslutningstagere, investorer og studerende, der arbejder med biogas. Den giver generelle oplysninger om karakteristiske egenskaber for varme produceret i biogasanlæg, og fokuserer også på generelle tekniske løsninger til en effektiv udnyttelse af varmen.

Som supplement til håndbogen, præsenterer rapporten "Good Practice Examples for Efficient Use of Heat from Biogas Plants" (Ramanauskaite et al. 2012) udvalgte begreber og eksempler på eksisterende biogasanlæg, der allerede anvender spildvarme. Derudover er information om økonomi og omkostninger også tilgængelige i andre rapporter skrevet i forbindelse med BiogasVarme projektet, og derfor ikke medtaget i denne håndbog. Alle rapporter er tilgængelige på BiogasVarmes hjemmeside ([www.biogasheat.org](http://www.biogasheat.org)).

Forskellige kilder og referencer er blevet anvendt under udarbejdelsen af denne håndbog. Der er hovedsageligt anvendt tysk litteratur, da Tyskland i øjeblikket har den mest avancerede biogas-sektor i Europa. Forfatterne har forsøgt at generalisere fakta og figurer, så de kan bruges i hele Europa, men der er dog stadig nogle af dem, der er lands- eller regionsspecifikke.

Endvidere er der brugt standardiserede enheder og forkortelser, der almindeligvis anvendes i Europa. Oplysninger om konverteringsenheder gives i slutningen af håndbogen.

Eftersom partnerlandene i BiogasVarme projektet er Østrig, Kroatien, Tjekkiet, Danmark, Tyskland, Italien, Letland, Polen og Rumænien er denne håndbog blevet oversat af BiogasVarme-partnerne til landenes respektive sprog.

# 1 Introduktion

Antallet af biogas anlæg i verden er steget drastisk over de seneste få år. Mange lande har udviklet moderne biogasteknologier og konkurrenceprægede nationale biogasmarkeder gennem årtier med intensiv research og teknisk udvikling (al Seadi et al. 2008). Dette er kun opnået med markant politisk og offentlig opbakning. I dag bidrager energi fra biogas til national energisikkerhed og nedsættelse af drivhusgasudledningen i mange lande. Den europæiske biogassektor står bag tusinder af biogas installationer. Lande som Tyskland, Østrig, Danmark, Sverige, Tjekkiet, Italien og Holland er blandt de tekniske forgangsmænd med flest moderne biogasanlæg. Fokus på de fleste anlæg er at maksimere det elektriske output fra biogassen i kraftvarmeværker. I mange tilfælde bliver varmen fra kraftvarmeværkerne enten kun delvist eller slet ikke brugt. Denne ineffektivitet i energiudnyttelse er en flaskehals i den nuværende biogasproduktion, hvilket forårsager både mikro- og makroøkonomiske tab og giver udfordringer i forhold til at opnå den bedste konkurrenceevne på arealudnyttelse.

## 1.1 Biogas produktion

Biogas produceres ved anaerob nedbrydning (AN). AN er en biokemisk proces, hvor mange forskellige typer af mikroorganismer (bakterier) nedbryder komplekst organisk materiale (biomasse) til mindre molekyler uden brug af ilt. Den anaerobe nedbrydningsproces er velkendt i mange naturlige miljøer, som f.eks. havnebassiner, mave- tarmsystemet hos drøvtyggere eller i tørvemoser. Det organiske materiale, der tilføres et biogasanlæg kaldes råmateriale og bliver nedbrudt under anaerobe forhold for derved at blive til de to hovedprodukter, som er biogas og ferment (eller afgasset biomasse). På de fleste biogasanlæg blandes forskellige råmaterialer for at opnå en stabil proces og derved optimere biogasproduktionen. Dette kaldes co-nedbrydning. Velegnede råmaterialer for AN tæller en lang række materialer, fortrinsvist materialer der består af letnedbrydeligt stof. Det gælder bl.a. fedtstoffer, olie, sukre og stivelse. Også cellulose er letnedbrydeligt, hvorimod lignin, som er en stor del af træ, er svært at nedbryde ved anaerobe processer.

Typiske råmaterialer til biogas anlæg stammer fra planter eller dyr.

- Gødning/afføring fra husdyr (gylle, slam, gødning)
- Rest- og biprodukter fra landbruget
- Organisk affald fra fødevareindustrien og landbruget
- Organisk affald fra biomasse-industrien (f.eks. pap og papir, farmaceutiske produkter / lægemidler)
- Den organiske del af kommunalt affald i fast form
- Madaffald fra catering-firmaer
- Spildevandsslam fra rensningsanlæg
- Dedikerede energiafgrøder (f.eks. majs, sukkerroer, græs)

Typen af råmateriale påvirker den anaerobe nedbrydningsproces og sammensætningen af den dannede biogas. Biogas består hovedsageligt af metan (CH<sub>4</sub>, 40-80%), carbondioxid (CO<sub>2</sub>, 15-45%) og mindre mængder hydrogensulfid (H<sub>2</sub>S), ammoniak (NH<sub>3</sub>), nitrogen (N<sub>2</sub>) og andre forbindelser. Derudover er biogas normalt mættet med vanddamp (H<sub>2</sub>O).

Det ønskede produkt er en energirig metangas, eftersom den via et kraftvarmeværk kan konverteres til elektrisk energi og varme. For det anvendte råmateriale er metan-udbyttet et af de vigtigste karakteristika i forbindelse med den anaerobe nedbrydningsproces. Udbyttet for udvalgte råmaterialer er vist i Tabel 1. Om et biogasanlæg er profitabelt afhænger i høj grad af både typen og metan-udbyttet af råmateriale.



Udover typen af råmateriale, spiller faktorer som reaktordesign, proces-temperatur, opholdstidstid og den organiske belastning ind i forhold til den endelige sammensætning af biogassen.

**Tabel 1: Metan udbytte af udvalgte FEEEDS (Data fra BMU 2012)**

Råmateriale	CH <sub>4</sub> udbytte [m <sup>3</sup> /t friskt råmateriale]	Råmateriale	CH <sub>4</sub> udbytte [m <sup>3</sup> /t friskt råmateriale]
Stegeolie og fedtstoffer	562	Kartoffel skræl	66
Glycerin	421	Filterkager fra sukkerproduktion	64
Kasein	392	Sukkerroeskræl	64
Laktose	378	Bælgplanter (helsæd) (hele afgrøder)	63
Skummet mælk, tør	363	Kornprodukter - spildprodukt	61
Bage-affald	344	Kartoffelrester fra stivelsesproduktion	61
Majskerner	324	Medicinske- og krydderiplanter - spildprodukt (ubrugelige)	58
Korn-kerner	320	Madrester	57
Rapsfrø-kager	317	Afskårne blomster - spildprodukt (ubrugelige)	55
Hvede, lavt sukker, tørt	298	Foderroer	52
Rapsfrø-mel	274	Små roestykker (fra sukkerproduktion)	50
Kornaffald	272	Sukkerroe-blade med dele af sukkerroer	46
Klid	270	Osteløbe-valle	44
Gammelt brød	254	Flydende fedtstoffer	43
Affald fra korn-behandling	254	Grønt afklip fra private/ offentlige haver og parkers vedligeholdelse	43
Majskolbe blanding (CCM)	242	Græs fra vejsiders vedligehold	43
Kerne rester/støv	172	Sur valle	42
Melasse fra sukkerroe produktion	166	Grønsager - spildprodukt (ubrugelige)	40
Kolber, avner, majskerner	148	Foder-roe-blade	38
Majskolber / helsæd	106	Skummet mælk, frisk	33
Korn helsæd	103	Maveindhold	33
Græs og græsafpuds	100	Frisk kærnemælk	32
Kartofler	92	Kartoffelaffald	30
Kartofler - spildprodukt (ubrugelige)	92	Maver (grise)	27
Kvark	92	Affald fra grønsagsforarbejdning	26
Laktose melasse	91	Vinasse undtagen fra alkoholproduktion	22
Dyreblod	83	Frisk sur valle	20
Flotationsslam	81	Korn vinasse fra alkohol produktion	18
Sorghum helsæd (hele afgrøden)	80	Kartoffel vinasse undtagen fra alkoholproduktion	18
Sudan-græs	80	Frisk sød valle	18
Rajgræs	79	Valle	18
Sukkerroer	75	Kartoffel vinasse fra alkohol-produktion	17
Foder-rug helsæd	72	Fedt fra fedtfang mv.	15

Råmateriale	CH <sub>4</sub> udbytte [m <sup>3</sup> /t friskt råmateriale]	Råmateriale	CH <sub>4</sub> udbytte [m <sup>3</sup> /t friskt råmateriale]
Mælk	70	Vand fra kartoffelmels produktion	11
Laktose melasse, lavt proteinindhold	69	Kartoffel-spildevand fra stivelsesproduktion	11
Solsikke helsæd	67	Vand fra kartoffelfor-arbejdning i stivelsesproduktion	3
Kartofler (moste, medium stivelsesindhold)	66	-	-

Sammensætningen af biogassen er en vigtig faktor, der påvirker forbrændingen af biogassen i kraftvarmeværket, og derved kompositionen og temperaturen af de udledte gasser. Dette påvirker både kvantiteten og kvaliteten af varme, som kan anvendes i varme-konceptet.

Derudover karakteriseres et biogasanlægs koncept ved det temperaturniveau hvor nedbrydelsen finder sted. Anlægget opvarmes for det meste med en lille del af den dannede varme fra kraftvarmeværket, for at bakterierne kan nedbryde materialet så hurtigt som muligt. De nedbrydende bakterier er typisk kategoriseret efter følgende temperaturniveauer:

- **Psykrofile:** under 25°C
- **Mesofile:** 25°C – 45°C
- **Termofile:** 45°C – 70°C

Derfor anvender biogasanlæg med flere rådnetanke i serie ofte forskellige temperaturniveauer i rådnetankene. Rådnetankens temperatur har direkte indflydelse på varme-konceptet, eftersom jo varmere rådnetanken er, jo mindre varme er der til rådighed til andre anvendelser. På den anden side forøges biogasudbyttet ved højere temperaturer, dog op til et vist maksimum. Den optimale temperatur skal altså defineres. Udvælgelsen af temperatur-niveauet sker på baggrund af det anvendte råmateriale, anlægskonstruktionen, ønsket opholdstid, nedbrydningshastighed, og varme-konceptet. Den vigtigste faktor for biogasanlæggets operatør for valg af temperaturniveau er som regel de anaerobe processers stabilitet.

## 1.2 Biogasanlægs-koncepter

Energiudbyttet og dermed den varmemængde der produceres fra et biogasanlæg påvirkes af det overordnede koncept for biogasanlægget. Anlægskonceptet har indflydelse på de forskellige muligheder for udnyttelse af spildvarme fra kraftvarmeværker. Biogasanlægskoncepter kan karakteriseres ved følgende aspekter.

- **Hovedformål:** Energiproduktion (el, varme), affaldsbehandling, biometan tilførsel til naturgasnettet, energilagring, belastningsstyring, næringsstof produktion og opgradering
- **Anlægsstørrelse:** Gennemsnitlig installeret elektrisk kapacitet i anlæg i Europa er ca. 400 til 500 kW<sub>el</sub>, men størrelserne spænder fra 1-2 kW for brug af husholdningsaffald (som anvendes i mange udviklingslande) til multi-megawatt biogasanlæg.
- **Teknologi:** Tør/våd nedbrydelse, batch/kontinuert nedbrydelse
- **Forretningsmodel:** Landbrugs-, industrielle, husholdnings-, spildevandsrensings-, og affaldsbehandlings-biogasanlæg
- **Råvare type:** Dedikerede energiafgrøder, landbrugsaffald og restprodukter, madspild, industriaffald, spildevandsslam

**Hovedformålet** med biogasanlæg i Europa er i øjeblikket produktionen af vedvarende energi og mere specifikt til produktion af elektricitet. Dette skyldes at el-produktionen (elektrisk FIT/feed-in tarif) er det vigtigste fokus for de fleste offentlige støtteordninger for biogasanlæg, som også ofte forsømmer en effektiv udnyttelse af varme. Det er primært disse biogasanlæg BiogasVarme projektet henvender sig til (Dzene et al. 2012). Med henblik på at øge effektiviteten og bæredygtigheden af disse biogasanlæg bør det store mål være en maksimering af energiforbruget. Derfor skal politikker og lovgivning tilpasses til at kunne maksimere effektiviteten, men samtidig skal den økonomiske gennemførlighed af projektet sikres. Energieffektivisering af biogasanlæg kan opnås ved forskellige metoder, såsom anvendelse af spildvarme fra kraftvarmeverker i et dedikeret varmekoncept, eller gennem en opgradering af biogas til biometan (naturgaskvalitet på >95% metan) - som kan tilføres naturgasnettet. Fordelen ved denne tilførsel er, at biometan kan forbrændes lokalt, der hvor varmebehovet forekommer. Men denne teknologi er stadig relativt dyr og normalt kun rentabel i stor målestok. Incitament og egnet lovgivning mangler ofte. Desuden er anlæggene nødt til at være placeret tæt på naturgasnettet. Et andet vigtigt mål for biogasanlæg er deres evne til at stabilisere el-nettet ved at lagre energi og dermed bidrage til en aktiv belastningskontrol i et intelligent el-net, hvilket uddybes senere i håndbogen. Hovedformålet med biogasanlæg, der behandler affald, er normalt bæredygtig affaldshåndtering (Rutz et al 2011; Rutz et al 2012). Ofte kommer en stor del af indtægten for disse anlæg fra gebyrer for modtagelse af affald, og kun i mindre grad salg af energi (el og/eller varme). I den indledende fase for adskillige årtier siden var et af hovedformålene med udvikling af biogas i Tyskland genbrug og opgradering af landbrugsprodukters næringsstoffer i økologisk jordbrug.

Den gennemsnitlige **anlægsstørrelse** af et typisk biogasanlæg i Tyskland og i de fleste andre europæiske lande er cirka 450 kW<sub>el</sub>. Men anlægsstørrelserne spænder fra 1-2 kW biogasanlæg der anvender husholdningsaffald (3-4 m<sup>3</sup> rådnetanke), og ofte anvendes i mange udviklingslande, til avancerede multi-megawatt biogasanlæg. Størrelsen af anlægget påvirker mængden og tilgængeligheden af varmeproduktionen. I et biogasanlæg, der har et motorbaseret kraftvarmeverk, kan effektivitet nå op på 90%. Heraf producerer det omkring 35% el og 65% varme.

Generelt set er der behov for varme til opvarmning af rådnetanke på alle moderne biogasanlæg i Europa. **Teknologien** har indflydelse på den nødvendige mængde varme, da temperaturniveau og isolering er forskellige. Normalt kræves kontinuerlig varmforsyning for alle biogasanlæg, både dem med kontinuerlige reaktorer og dem med batch-reaktorer, og både dem med tør nedbrydning og for dem med våd nedbrydning. Varmetilførslen påvirkes kraftigt af omgivelsernes sæson-mæssige temperaturudsving. God isolering af rådnetankene er derfor en forudsætning for en effektiv og stabil proces.

Den typiske drift af biogasanlæg er integreret i eksisterende virksomheder, såsom landbrug, industrivirksomheder og affaldsbehandlings virksomheder. **Typen af virksomhed** påvirker biogasanlæggenes mål, samt de potentielle muligheder for varmeudnyttelse. I landbrugets biogasanlæg anvendes varmen ofte til opvarmning af stalde, tørring af træflis, opvarmning af huse og køling af mælk. I affaldsbehandlingsanlæg kan varmen bruges til sanitet, hygiejnisering og til rengøringsformål. En typisk anvendelse af varme i industrielle anlæg er som procesvarme, men dette er begrænset af varmens kvalitet, idet der ofte kræves højere temperaturer (damp) end der umiddelbart kan hentes fra biogas kraftvarme.

Som det allerede blev beskrevet i kapitel 1.1, påvirker **typen af råmateriale** sammensætningen af biogassen og dermed mængden og kvaliteten af den tilgængelige varme.

### 1.3 Koncepter for at bruge biogas til energilagring

Biogas kan omdannes til **varme, mekanisk energi og elektromagnetisk energi** (lys). Det kan derudover anvendes som en **kemisk forbindelse**. Der findes mange forskellige

muligheder for anvendelse af biogas, lige fra meget små applikationer til teknisk sofistikerede installationer.

- **Belysning:** i gas-lamper/pærer
- **Opvarmning:** i biogas- brændere, kedler og gaskomfurer/ovne
- **Tørring:** som en speciel form for varme anvendt i tørrere, bånd-tørrere, "feed-and-turn" tørrere så vel som i sorptive termiske lagringssystemer
- **Køling:** i absorptions køleanlæg
- **Elektricitet:** i gas motorer (Pilot indsprøjtningmotorer, Gas-Otto Engines), brændselsceller, mikro-gasturbiner, Rankine Cykler (CRC, ORC), Kalina Cykler, Stirling motorer og udstødnings gasturbiner
- **Transport:** som biometan i køretøjer der kører på komprimeret naturgas
- **Energilagring:** i dedikerede biogas lagringssystemer (lavt og højt tryk, flydende) eller som biometan i naturgasnettet for at afbalancere el- og varmebelastninger
- **Naturgas erstatning:** opgradering til biometan efterfulgt af tilførsel til naturgasnettet



Figur 1: Biogasbrænder i Østrig (Kilde: Rutz)



Figur 2: En af de simpleste anvendelser af biogas: Biogas komfur til madlavning i Mali (Kilde: Rutz)

Flere simple teknologier tillader enkel anvendelse af biogas i **gaskomfurer** til madlavning (Figur 2) eller i **gaspærer** til lys. Dette bliver ofte brugt i biogasanlæg i husholdningsstørrelse i udviklingslande. Disse teknologier diskuteres ikke yderligere i denne håndbog.

I nogle tilfælde installeres **gasbrændere og -kedler** (Figur 1, Figur 16) for udelukkende at producere varme. Disse gasbrændere kan f.eks. anvendes til opvarmning af rådnetanke på anlæg til biogas-opgradering, som sender den opgraderede biometan ud på naturgasnettet eller levere det til gas-tankstationer til brug i køretøjer. For opgraderingsanlæg kan såkaldte lav-brændværdis gasbrændere (LCV) (Figur 4), som brænder en blanding af udstødningsgassen fra opgraderingsprocessen og biogas, for at producere varme til opvarmning af rådnetanken, anvendes. Disse brændere er i stand til at brænde gasser med meget lavt metanindhold; 5 til 30 vol. % metan. Gasbrændere og -kedler kan anvendes som back-up-systemer til opgraderings-anlæg.

Den primære anvendelse af biogas i de fleste europæiske biogasanlæg er **kraftvarmeproduktion**. Før forbrænding bliver den producerede biogas tørret og i mange tilfælde renses, da de fleste gasmotorer har maksimumsgrænser for indholdet af svovlbrinte,

halogenerede carbonhydrider og siloxaner. Et motorbaseret kraftvarmeværk har en effektivitet på op til 90% og producerer heraf omkring 35% elektricitet og 65% varme. I de fleste anlæg bruges en mindre fraktion af den genererede varme (20-40%) til rådnetankens opvarmningssystem, men størstedelen (60-80%) betragtes som "overskuds"-varme, og anvendes ofte ikke til yderligere processer. Denne varme kunne bruges til **ekstra el-produktion** i f.eks. Stirling motorer, Organiske Rankin Cyklusser (ORC), og Clausius-Rankin-Cyklusser (CRC), eller til andre formål såsom opvarmning, tørring og afkøling. Disse muligheder vil blive uddybet yderligere i denne håndbog.

Kraftvarmeværker omfatter normalt forbrændingsmotorer, såsom Gas-Otto og Gas-Pilot Indsprøjtningmotorer. Gas-Pilot indsprøjtningmotorer har normalt brug for 2-5% diesel eller olie til antændelse ud over biogas, hvorimod Gas-Otto-motorer kan køre udelukkende på biogas. Flere oplysninger om forbrændingsmotorer kan findes i kapitel 2.7.

Også **brændselsceller** (Figur 3) og **mikro-gasturbiner** kan producere kraftvarme. Men det er stadig kun nicheanvendelser og dermed ikke det vigtigste fokus i denne håndbog. Brugen af biometan i køretøjer til **transport** er en anden mulighed for at bruge biogas. I dette tilfælde skal biogassen være rensat og opgraderet til naturgaskvalitet, og den skal komprimeres. Som nævnt tidligere i denne håndbog, sker biogas opgradering ved hjælp af relativt dyr teknologi, og er derfor i øjeblikket kun anvendeligt på større anlæg. Selv om energieffektiviteten af biometan anvendt i køretøjer generelt er meget lav (lige så lav som for almindelige brændstoffer brugt i køretøjer), er denne mulighed lovende, da alternativerne til brændstoffer i transportsektoren er begrænsede.



Figur 3: Molten Karbonat Brændselscelle (MCFC) til biogas i Leonberg, Tyskland (Kilde: Rutz)



Figur 4: Lav brændværdi (LCV) brænder til opvarmning af rådnetanken på et biogas opgraderingsanlæg i Aiterhofen, Tyskland (Kilde: Rutz)

Ud over de forskellige teknologier til anvendelse af biogas, er et vigtigt aspekt og en fordel i forhold til andre vedvarende energikilder den gode **lagringsholdbarhed af biogas** og biometan. Ved at være en naturgas erstatning, kan det derved bidrage til at øge el-nettets stabilitet og bruges som et belastningshåndteringsværktøj. Endelig er en anden potentiel anvendelse af biogas at bruge det som en kemisk forbindelse i bioraffinaderier, hvilket dog ikke behandles i denne håndbog.

#### 1.4 Udfordringer i forbindelse med anvendelse af varmen

Brugen af varme fra biogasanlæg står over for forskellige udfordringer, alt efter anlæggenes egenskaber. Ofte er biogasanlæg beliggende i afsides områder uden varmebehov. Endvidere er mængden og kvaliteten af den producerede varme ofte ikke tilstrækkeligt til større industrier. Derfor skal der identificeres nicher, hvor varmen kan nyttiggøres på den mest effektive og udbytterige måde. Den følgende liste viser vigtige udfordringer, som er typiske for biogasanlæg.

- **Sæsonudsving:** Der skal bruges mindre varmen til opvarmning af rådnetankene om sommeren. Endvidere er visse varmeapplikationer, fx af bygninger, kun nødvendige om vinteren. Der er således ofte et varmeoverskud om sommeren.
- **Afsides beliggenhed:** Især landbrugets biogasanlæg ligger ofte i afsidesliggende landdistrikter, hvor varmemeforbrugere (f.eks. små industrier, offentlige bygninger) ikke findes.
- **Varme kvalitet og kvantitet:** Den installerede kapacitet af typiske landbrugs biogasanlæg i Europa er omkring 500 kWth, hvilket er for lille til anvendelse af varme af større industrier. Nogle brancher kræver højere temperaturer end dem, der umiddelbart kan leveres af et biogasanlæg.
- **Økonomiske risici:** Operatører af biogasanlæg, som er afhængige af eksterne varme forbrugere, kan blive mødt af økonomiske risici ved ændringer i behov. Langsigtede kontrakter kan hjælpe til at afdække denne risiko.
- **Høje omkostninger:** Forskellige muligheder for anvendelse af overskudsvarmen kræver yderligere udstyr med høje investeringsomkostninger, f.eks. installation af ORC moduler eller implementering af mikro-fjernvarmenet.
- **Offentlighedens accept og støtte:** etablering af nye mikro-fjernvarmenet er kun muligt, hvis varmebehovet er sikret, hvilket betyder, at nok kunder er villige til at blive tilsluttet. Desuden er der behov for accept fra lokale myndigheder til opførelsen af mikro-fjernvarmenet.
- **Prisen på fossile brændstoffer:** For at kunne bruge overskudsvarme fra biogasanlæg, skal priserne være konkurrencedygtige i forhold til fossile brændstoffer og andre vedvarende energikilder.

## 2 Grundlæggende info om varmeudnyttelse

Varme er i **termodynamikken** defineret som den energi, der overføres fra et system til et andet ved termisk samspil. Det er en proces i modsætning til en stilstand såsom temperatur eller volumen.

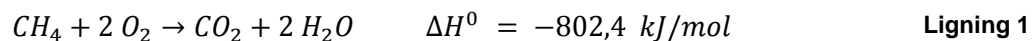
Den beskriver omdannelsen i et system fra en ligevægtstilstand til en anden ligevægtstilstand. Derved er systemet kendetegnet ved dedikerede systemgrænser. Varme strømmer altid spontant fra et høj- til et lav-temperatursystem. Udtrykket "varme" udtrykkes ofte også som "varmestrøm" og "varmeoverførsel". Varmeoverførsel kan ske ved ledning, stråling, konvektion, masseoverførsel og ved kemiske reaktioner.

Det er nødvendigt at skelne mellem **fri varme** og **latent varme**. Fri varme kan måles direkte ved at måle på temperaturændringen, mens latent varme er den varme, der frigives eller absorberes af et stof eller et termodynamisk system under forskellige processer, der forekommer uden temperaturændringer. Et typisk eksempel på latent varme er en tilstandsændring af et stof, som f.eks. faseovergangen fra is (fast fase) til vand (flydende fase).

Overføres dette til varmen fra et kraftvarmeværk på et biogasanlæg, kan varmen karakteriseres f.eks. ved en vis mængde vand (eller et andet stof) med høj temperatur. Denne varme kan anvendes på forskellige måder, mens temperaturen af vandet sænkes til et lavere niveau.

### 2.1 Biogas forbrænding

Forbrændingsvarmen ( $\Delta H^0$ ) (Ligning 1) er den energi der frigives som varme når et stof (biogas eller biometan) gennemgår en fuldstændig forbrænding med ilt og under standard forhold. Den kemiske formel viser at metan reagerer med ilt og danner kuldioxid, vand og varme.



I denne forbrændingsreaktion frigives -802,4 kJ/mol hvis det er ren metan der forbrændes. Dette svarer til ca. 35,89 MJ/Nm<sup>3</sup> (H<sub>i</sub>) eller omkring 10 kWh. Eftersom biogas og biometan ikke består af ren metan (men 40-80% for biogas og ca. 95% for biometan) er energiindholdet lavere. Mængden af energi der frigives under forbrændingsprocessen bliver også kaldt **brændværdien**.

I anvendte forbrændingsystemer er brændstofferne ofte karakteriseret ved nedre og øvre brændværdier, der afhænger af den kemiske sammensætning af brændstoffet.

**Den nedre brændværdi** (LHV) antager at energien til fordampning af vandindholdet i brændslet ikke kan anvendes, og er således ikke inkluderet i tallet. Den nedre brændværdi kan bestemmes ved at subtrahere fordampningsvarmen i vanddamp fra den øvre brændværdi. I beregningerne antages det, at vandkomponenten i en forbrændingsproces er på dampform ved afslutningen af forbrændingen, i modsætning til ved den øvre brændværdi, hvor det antages at alt vand i en forbrændingsproces er på flydende form efter en forbrændingsproces. Den nedre brændværdi af biogas afhænger af metanindholdet og af gaskvaliteten. Den ligger i intervallet mellem 21,5-23,5 MJ, eller 5,5-6,0 kWh/Nm<sup>3</sup>.

**Den øvre brændværdi** (HHV) er det samlede energiindhold i brændstoffet. Den bestemmes ved at bringe alle forbrændings-produkterne tilbage til den oprindelige præ-forbrændingstemperatur (ofte 25°C), og især kondensere alt produceret damp. Den øvre brændværdi antager, at alt vand er på flydende form ved afslutningen af forbrændingen.

For naturgas overstiger den øvre brændværdi den nedre brændværdi med omkring 11%.

## 2.2 Tal og omregningsenheder for/af varme

Det matematiske symbol for varme er **Q** og SI-enheden er **joule (J)**. Mange gange anvendes også enhederne Britisk Termisk Enhed (BTU), ton olie ækvivalent (toe), og kalorier indenfor det ingeniørfaglige område. Det matematiske symbol for varmeoverførselsraten (kapaciteten) er **Q̇** og standardenheden er **watt (W)**, der er defineret som joule pr. sekund. Watt er også den hyppigst anvendte enhed i biogassektoren.

- $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1/3.600 \text{ Wh}$
- $1 \text{ Wh} = 3.600 \text{ Ws} = 3.600 \text{ J}$
- $1 \text{ toe} = 11.630 \text{ kWh} = 41,87 \text{ GJ}$
- $1 \text{ BTU} = 1.055 \text{ J}$

Den samlede kapacitet af et biogasanlæg udtrykkes normalt i **kW** eller MW (kilo eller Mega Watt), mens den elektriske kapacitet udtrykkes ved **kW<sub>el</sub>** og den termiske kapacitet ved **kW<sub>th</sub>**. Den producerede energi udtrykkes i **kWh** eller MWh (kilo eller Mega Watt i timen). Det faktiske energi-output fra et biogasanlæg udtrykkes normalt som kWh/år (kilo watt-timer om året). Dette er baseret på antallet af timer på et regulært år (yr), nemlig **8.760 timer**. For at vurdere størrelsen af typiske biogasanlæg bruges normalt SI-præfikserne kilo ( $10^3$ ), mega ( $10^6$ ) og giga ( $10^9$ ).

Varme kan enten måles med et **kalorimeter** eller **beregnes** ud fra andre faktorer, såsom volumen, masse, temperatur og varmekapacitet. Til varme anvendt af energisystemer, som bolig-opvarmning, bruges normalt en **varmemåler**. Det er et apparat, som måler den termiske energi fra en kilde (f.eks. et biogasanlægs kraftvarmeværk) ved at måle strømningshastigheden af varmeoverførselsvæsken (f.eks. vand), og ændringen af dets temperatur ( $\Delta T$ ) mellem frem- og returløb.

En vigtig faktor for kraftvarmeværker er strøm/varme-forholdet, som er forholdet mellem elektrisk energi og effektiv termisk energi (direktiv 2004/8/EF). Et højt tal karakteriserer en høj elektrisk effekt. For typiske kraftvarmeværker ligger tallene mellem 0,4 og 0,9.

Nedenstående tal er nyttige i forhold til energiberegning og målinger på biogasanlæg:

- Energiindhold i 1 kg biometan: 50 MJ
- Energiindhold i 1 Nm<sup>3</sup> biometan: 35,5 MJ eller omkring 9,97 kWh
- Indhold af biometan i 1 Nm<sup>3</sup> biogas: 0,45-0,75 Nm<sup>3</sup>
- Energiindhold i 1 Nm<sup>3</sup> biogas: 5-7,5 kWh
- El-produktion/Elektrisk output af/fra 1 Nm<sup>3</sup> biogas: 1,5-3 kWh<sub>el</sub>
- Densitet af 1 Nm<sup>3</sup> biometan: 0,72 kg / Nm<sup>3</sup>

En anden faktor, der er nyttig i forbindelse med beregning af energiindholdet i biogas, er at energien svarende til 1 m<sup>3</sup> biogas er omkring 0,6 L fyringsolie. Yderligere oplysninger om konverterings-enheder kan findes i kapitlet "Generelle omregningsenheder" i slutningen af denne håndbog.

## 2.3 Varmekvalitet

Udover mængden af energi (kvantiteten), er energitypens særlige kendetegn (kvaliteten) vigtige når der udvikles koncepter til anvendelse af energi. En vigtig parameter, som karakteriserer kvaliteten af energien, er evnen til at omdannes fra en energiform til en anden energiform. Generelt anses el for at være af højere kvalitet end varme, eftersom el nemt kan



transporteres og anvendes til forskellige formål, som produktion af mekanisk energi eller varme, elektromagnetisme, osv.

I termodynamik bruges ofte udtrykket **exergi**. Det beskriver den maksimale del af energien i et system, der kan konverteres til nyttigt arbejde, hvis systemet er i ligevægt med omgivelserne.

Endvidere karakteriseres varme efter temperaturniveau og mængde. Til udvikling af spildvarme-koncepter er temperaturen og mængden af varme vigtig, da varmemeforbrugeren altid kræver et vist minimumsniveau af begge dele. Temperaturen af spildvarmekilden skal altid være højere end temperaturen af kølelegemet. Størrelsen af temperaturforskellen mellem varmekilden og kølelegemet er en afgørende faktor i forhold til kvaliteten af spildvarmen. Generelt kan det siges, at jo højere temperaturen og mængden af energi (entropi) er, jo højere er kvaliteten. Med højere spildvarmetemperaturer eksisterer der flere muligheder for dets anvendelse. Eksempler på minimumstemperaturer for forskellige anvendelser kan ses herunder:

- **Varmvandsforsyningen:** 50-80°C
- **Boligopvarmning:** 50-80°C
- **Rankin cyklusser (ORC, CRC):** 60-565°C
- **Tørring af landbrugsprodukter:** 60-150°C

Disse eksempler er alle typiske anvendelser af spildvarme fra biogasanlæg. Da temperaturen af udstødningsgassen fra kraftvarmeverkerne i biogasanlæggene typisk er omkring 450-520°C, er anvendelsesmulighederne for spildvarmen fra biogasanlæggene begrænsede. Temperaturerne fra motorkøling og smøremidlets cyklus er endnu lavere, som beskrevet i kapitel 2.6. For brancher, der kræver høje temperaturer og store mængder energi, er spildvarme som regel ikke nok og temperaturerne er for lave.

## 2.4 Varmemængde og behov

I dag varierer den elektriske kapacitet af biogasanlæg fra 50 kW<sub>el</sub> op til 30 MW<sub>el</sub>. For typiske landbrugs biogasanlæg i Europa med kraftvarmeverker ligger kapaciteten i området omkring 500 kW<sub>el</sub>, mens der produceres ca. 550-600 kW<sub>th</sub> spildvarme. Heraf vil cirka 500 kW<sub>th</sub> være tilgængelig for kommerciel varmeudnyttelse. Det kræver nemlig omkring 25% af den producerede varme at opvarme rådnetankene under de centraleuropæiske klimatiske betingelser (Figur 6). Antages der at være 8.000 driftstimer pr. år, vil den samlede producerede energi fra et 500 kW<sub>th</sub> biogasanlæg være 4.000 MWh<sub>th</sub>.

En af de enkleste og hyppigst benyttede anvendelser af overskudsvarme/spildvarme er til opvarmning og vandopvarmning (DHW) i almindelige husholdninger. Følgende eksempel viser det gennemsnitlige nettoenergiforbrug pr. person i Tyskland (baseret på beregninger fra Paeger 2012):

- Nettoenergiforbrug til opvarmning og varmt brugsvand pr. person i husholdninger: 20,2 kWh/dag eller 7.373 kWh/år
- Nettoenergiforbrug til opvarmning pr. person i husholdninger: 17 kWh/dag eller 6.205 kWh/år
- Nettoenergiforbrug til opvarmning pr. person i husholdninger (pr. m<sup>2</sup> boligareal): 155 kWh/år/m<sup>2</sup>
- Nettoenergiforbrug til varmt brugsvand pr. person i husholdninger: 3,2 kWh/dag eller 1.168 kWh/år

I betragtning af nettoenergiforbruget til opvarmning og varmt vand pr. person på 7.373 kWh/år, vil energiproduktionen på 4.000 MWh<sub>th</sub> på et 500 kW<sub>th</sub> biogasanlæg være tilstrækkelig til at dække det årlige energibehov for 543 personer. Dette er naturligvis kun et

groft skøn baseret på gennemsnitlige tal. Andre faktorer som sæsonvarierende varmebehov på grund af forskellige vinter/sommer klimaforhold, skal også tages i betragtning. Disse sæsonudsving i varmebehovet er en stor udfordring for spildvarme-koncepter til boligopvarmning.

## 2.5 Varmebehov for biogas rådnetaanke

Som beskrevet i tidligere afsnit skal rådnetaanke opvarmes for at sikre en stabil og effektiv proces. Almindelige rådnestankstemperaturer varierer fra 38°C til 44°C i typiske mesofile biogasanlæg alt afhængigt af råmaterialet og den samlede proces. Rådnestanke kan opvarmes på forskellige måder, fx ved at opvarme rør langs fermenternes vægge eller ved at pumpe fermentet gennem en varmeveksler.

For varme-koncepter, er rådnestankenes varmebehov vigtigt, da det har betydning for den mængde varme der er disponibel til andre formål. Rådnestankens varmebehov påvirkes af den omgivende temperatur og således af de klimatiske forhold. I affaldsbehandlingsanlæg kan der endvidere være behov for varme til hygiejnisering af råmaterialet.

Ved vurdering af varmebehovet i et biogasanlæg skal behovet i opstartsfasen holdes adskilt fra varmebehovet ved kontinuerlig drift. Varmebehovet i opstartsfasen ( $Q_{start}$ ) er vist i Ligning 2 og påvirkes af råmaterialets karakteristika; varmekapacitet ( $c$ ), mængden af råmaterialet ( $m$ ) og forskellen i råmaterialet temperatur ( $\Delta T$ ). Også i opstartsfasen går en del varme tabt gennem rådnestankens overflader.

$$Q_{start} = (c \times m \times \Delta T \times t) + Q_{tabt} \quad \text{Ligning 2}$$

$Q_{start}$	Varme krævet for at starte AN processen [kWh]
$c$	Varmekapaciteten af råmaterialet [J/kg K]
$m$	Masse [t]
$\Delta T$	Ændringen i temperatur af råmaterialet før og efter tilførsel til rådnestank [K]
$t$	Tid (timer)
$Q_{tabt}$	Varmetab gennem rådnestankens overflader [kWh]

Efter opstartsfasen begynder den kontinuerlige drift. Varmebehovet ( $Q_{operation}$ ) er almindeligvis summen af den varme der tabes gennem rådnestankens vægge ( $Q_{tabt}$ ) og varmetabet når fermentet forlader rådnestanken ( $Q_{ferment}$ ).

For at mindske rådnestankenes varmebehov er det nødvendigt med god isolering (Figur 7). Væggene i rådnestanken er almindeligvis isoleret med hårde skumpaneler. Varmetabet bestemmes ud fra overfladeareal, varmeoverføringskoefficienten og temperaturændringen (Ligning 3 Ligning 4). Et forenklet billede af en isoleret rådnestanksvæg og dens temperaturprofil er vist i Figur 5. Ligeledes bør gulvet i tanken være isoleret.

Lukningen af rådnestanken er ofte ikke isoleret. Hvis rådnestanken lukkes med et dæksel, kan dette også isoleres. Det samlede varmetab ( $Q_{operation}$ ) er summen af tabene fra de forskellige overflader i rådnestanken og fermentet output (Ligning 4). For at kunne beregne isoleringstab skal varmeoverføringskoefficienten bestemmes (Ligning 5).

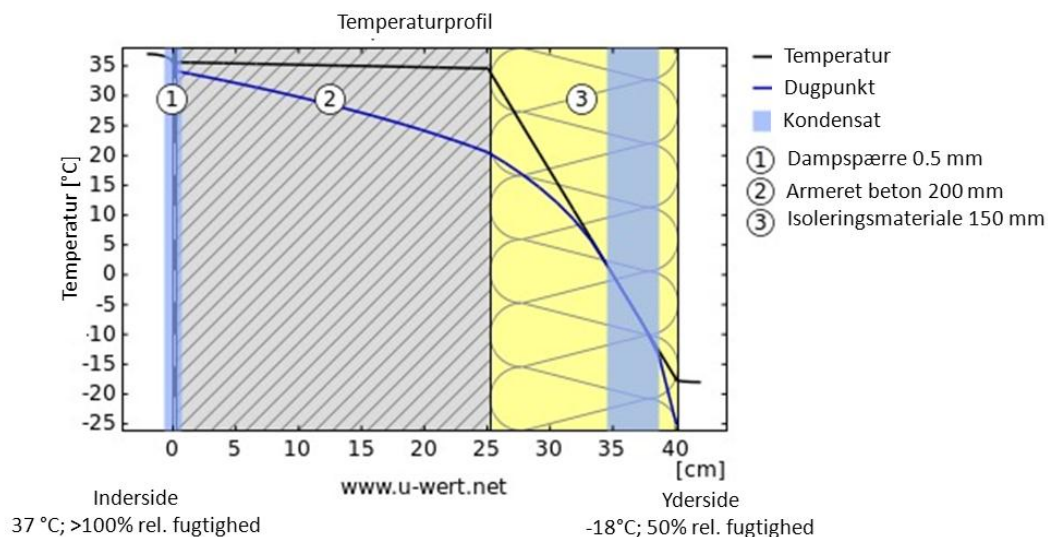
For at øge den producerede varmemængde, kan der installeres varmegenvindingssystemer, som også anvender varmen fra fermentet der forlader rådnestanken. De to mest effektive foranstaltninger til at mindske varmetabet er isolering af alle rådnestankens overflader (herunder gulv, vægge og dækslet) og varmegenvinding fra fermentet.

$$Q_{tabt} = A \times U \times \Delta T \times t \quad \text{Ligning 3}$$

$$Q_{operation} = Q_{tabt-vægge} + Q_{tabt-gulv} + Q_{tabt-låg} + Q_{ferment} \quad \text{Ligning 4}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \frac{1}{h_a}} \quad \text{Ligning 5}$$

- $Q_{tabt}$  Varme tabt gennem rådnetankens overflader (opdelt i tab fra vægge, gulv og låg) [kWh]
- $Q_{operation}$  Varme tabt gennem rådnetankens overflade og ferment output [kWh]
- $Q_{ferment}$  Varmetab fra ferment output [kWh]
- $A$  Varmetransporterende overfladeareal [m<sup>2</sup>]
- $U$  Varmeoverførselskoefficient [W/m<sup>2</sup>K]
- $\Delta T$  Temperaturændring (indvendig-udvendig) [K]
- $t$  Tid (timer)
- $h_i$  Konvektionskoefficienten indeni reaktoren (W/m<sup>2</sup>K)
- $h_a$  Konvektionskoefficienten udenfor rådnetanken (W/m<sup>2</sup>K)
- $d_1$  Tykkelse af lag 1
- $d_2$  Tykkelse af lag 2
- $k_1$  Termisk ledningsevne af første lag (W/mK)
- $k_2$  Termisk ledningsevne af andet lag (W/mK)

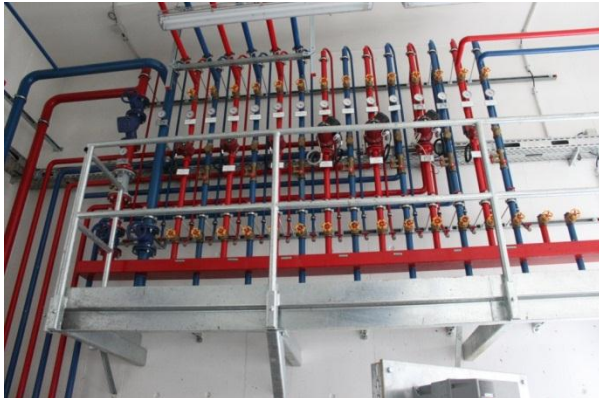


Figur 5: Skematisk graf der viser reaktorens væg sammen med en temperaturprofil af en kold vinter (-18°C) (Kilde: egne data; tilpasset med [www.u-wert.net](http://www.u-wert.net))

Da opvarmningen af rådnetanken er påvirket af mange faktorer, herunder også klimatiske detaljer, er det vanskeligt at beregne nøjagtige tal for varmebehovet.

For en grov estimering af den varme der er nødvendig for opvarmning af rådnetanken, kan følgende tommelfingerregler ofte anvendes:

- I et kraftvarmeværk produceres omkring 35% el og 65% varme
- Opvarmning af rådnetanke kræver cirka 25% af varmekapaciteten fra kraftvarmeværket
- Strøm/varme-forholdet fra biogasanlægs kraftvarmeværker (forholdet mellem elektrisk energi og effektiv termisk energi) er sædvanligvis mellem 0,4 og 0,9 og ofte omkring 0,85



Figur 6: Varmefordelingssystem på et biogasanlæg med reaktorvarme i Aiterhofen, Tyskland (Kilde: Rutz)



Figur 7: Isolering (orange paneler) af rådnetanke i Reichenkirchen, Tyskland (Kilde: Rutz)

## 2.6 Karakteristika for biogas forbrændings motorer

For biogas i Europa er den almindeligst anvendelse til el-produktionen i interne forbrændingsmotorer, også kaldet gasmotorer. Siden der i disse motorer altid er en varmeproduktion forbundet med energi-omdanning, er alle gasmotorer her defineret som kraftvarmeværker, også selvom varmen ikke anvendes.

Der eksisterer flere forskellige gasmotorer, og disse kategoriseres typisk i Gas-Otto motorer og Gas-Pilot indsprøjtningmotorer. Nærmere oplysninger om disse typer motorer kan findes i de efterfølgende kapitler og i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** er vist en oversigt over nogle karakteristika. Alle biogas motorer skal kunne håndtere udfordringen med varierende gaskvalitet. Endvidere er metanindholdet relativt lavt, og når niveauer helt nede under 45% af det samlede gasvolumen. Kapaciteten af gasmotorer kan ligge mellem 10 kW<sub>el</sub> og 5 MW<sub>el</sub>. Flere producenter tilbyder gasmotorer til anvendelse på biogasanlæg, som for eksempel Schnell, 2G, Rolls-Royce, Kawasaki, MTU, GE Energy (Jenbacher), Caterpillar, Perkins, MWM, Cummins, Wärtsilä, Dresser-Waukesha, Guascor eller MAN.

I en gasmotor omdannes energien til brugbar og ikke-brugbar energi. Følgende tal viser, at i alt omkring 90% af energien kan anvendes (gennemsnitstal):

- 10% tab
- 35% mekanisk energi (elektricitet)
- 55% brugbar varme

Fra den samlede producerede varme, kan følgende varmekategorier karakteriseres. Den største andel af tilgængelig varme kommer fra udstødningsgasser og fra motorens kølecyklus.

- 1-3% smøringscyklus (motor smøringsolie): 80 - 90°C
- 3-5% strålingstab
- 30-40% motorkøling (kølevand): 80 - 90°C
- 50-60% udstødningsgas: 460 - 550°C

Varmetilgængeligheden fra motorens **kølings og smørings cyklus** er sædvanligvis konstant og under 100°C. Denne varme bruges normalt til opvarmning af **vand** til forskellige formål. På grund af sin relativt lave temperatur er det ikke nødvendigt med særlige krav til vandrørens modstandsdygtighed over for højere tryk.

Varmetilgængeligheden fra **udstødningsgassen** påvirkes af hastigheden af fouling (deponering af urenheder på overfladen) i varmeveksleren. I udstødningsgassen kan der måles temperaturer op til 550°C. Sådanne høje temperaturer kræver højtryksrør pga. dampformation. Derfor anvendes ofte **termiske olier**, som forbliver flydende ved høje temperaturer. Men på grund af termiske oliers lavere termiske ledningsevne, er større varmevekslere generelt nødvendige. Reduktionen af udstødningsgassens temperatur kan føre til dannelse af kondensat i udstødningsgassen/systemet, hvilket igen kan føre til korrosion. Derfor skal specifikationerne fra motorfabrikanterne nøje iagttages.

Den **nominelle effekt** af et kraftvarmeværk er en specifikation defineret af fabrikanten, og er den maksimale effekt udstyret må bruges med. Denne grænse er normalt sat lavere end det niveau, hvor enheden vil blive beskadiget, for at have en sikkerhedsmargin. Det er imidlertid også muligt at den maksimale effekt vil falde med ældningen af kraftvarmeværket. Derved er den reelle **el-kapacitet** normalt forskellig fra den nominelle effekt oplyst af fabrikanten.

### 2.6.1 Gas-Otto motorer

Gas-Otto motorer (Figur 8) er motorer specielt designet til anvendelse af gasser. De er baseret på Otto-princippet og drives normalt med høje luftoverskud for at minimere udslippet af kulilte.

Den elektriske kapacitet for Gas-Otto motorer spænder normalt mellem 100 kW<sub>el</sub> og 1 MW<sub>el</sub> og motorerne kan bruges til biogas med metanindhold højere end 45%. Den elektriske virkningsgrad er mellem 34 og 40%, og den gennemsnitlige levetid for Gas-Otto motorer er ca. 60.000 timer. Efter en ordentlig gennemgang af alle 60.000 timer kan levetiden forlænges. Levetiden afhænger som regel meget af driftsegenskaber og vedligeholdelsesintervaller.

### 2.6.2 Gas-Pilot Indsprøjtningmotorer

Gas-Pilot indsprøjtningmotorer (også kaldet Pilot indsprøjtningmotor eller dual-fuel (dobbelt brændstofmotorer)) (Figur 9) er baseret på dieselmotor princippet. Som Gas-Otto motorer, bliver også Gas-Pilot indsprøjtningmotorer drevet med store luftoverskud. For at drive dem, er det nødvendigt med op til 10% antændingsdiesel eller -olie. Denne injiceres direkte ind i forbrændingskammeret, mens biogas tilføres sammen med luften. Generelt kan motorerne også køre kun med diesel eller kun med olie. I nogle lande, som Tyskland, det er et krav at der bruges enten biodiesel eller vegetabilsk olie som antændingsbrændstof, for at få feed-in tariffer. Anvendelsen af fossile antændingsbrændstoffer er ikke støtteberettiget i forhold til at få feed-in tariffer.

Typisk brug af Gas-Pilot indsprøjtningmotorer omfatter installerede kapaciteter på op til 250 kW<sub>el</sub>. Den elektriske virkningsgrad svinger mellem 30% og 40%, og den gennemsnitlige levetid for en Gas-Pilot indsprøjtningmotorer er omkring 35.000 timer, hvorefter motoren normalt skal udskiftes, da det ofte er billigere end et hovedeftersyn.

Tabel 2: Udvalgte egenskaber for Gas-Otto motorer og Gas-Pilot Indsprøjtningmotorer (tilpasset fra FNR 2010)

	Gas-Otto motorer	Gas-Pilot Indsprøjtningmotorer
<b>Installeret elektrisk kapacitet</b>	Kan være højere end 1 MW, Kapaciteter på <100 kW ses sjældent	< 340 kW
<b>Metanindhold</b>	> 45 %	Også anvendelig til biogas med meget lavt CH <sub>4</sub> indhold
<b>Elektrisk effektivitet</b>	34-42%	30-44%
<b>Levetid</b>	60.000 timer	35.000 timer
<b>Tilsætnings brændstof</b>	ingen	1-5% antændelses olie
<b>Anvendelighed</b>	helst på større biogasanlæg	helst på mindre biogasanlæg
<b>Fordele</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ specialdesignet til gasser</li> <li>+ gode værdier for emissioner fra udstødningsgassen</li> <li>+ lave vedligeholdsgudgifter</li> <li>+ den totale effektivitet er højere end for Gas-Pilot indsprøjtningmotorer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ lavere investeringsomkostninger</li> <li>+ højere elektrisk effektivitet end Gas-Otto motorer</li> <li>+ lavere krav til gaskvaliteten</li> </ul>
<b>Ulemper</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- investeringsomkostningerne er en anelse højere end for Gas-Pilot indsprøjtningmotorer</li> <li>- generelt højere omkostninger som følge af et lavere produktions antal af motorer</li> <li>- mindre elektrisk effektivitet end Gas-Pilot indsprøjtningmotorer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kræver mere vedligehold</li> <li>- den total effektivitet er lavere end for Gas-Otto motorer</li> <li>- der kræves tilsætnings brændstof (olie)</li> <li>- højere værdier for emissioner fra udstødningsgassen (NO<sub>x</sub>)</li> </ul>



Figur 8: Gas-Otto motor på et biogasanlæg i Tyskland (Kilde: Rutz)



Figur 9: Dobbeltbrændstof motor (Gas-Pilot Indsprøjtningmotor) med en kapacitet på 235 kW<sub>el</sub> og med integreret turbolader med 30 kW<sub>el</sub> kapacitet (Kilde: Schnell Motoren AG)

## 2.7 Koncepter for kraftvarmeværker på biogasanlæg

De fleste biogasanlægs operatører forsøger at maksimere den operative levetid på deres kraftvarmeværker. Drift ved fuld belastning i mere end 8.000 timer om året er mulig, men en lille smule mindre er det normale. Grunden til at man vil maksimere den operationelle varighed er, at de fleste støttesystemer, såsom feed-in tariffer, normalt giver incitament til at øge mængden af produceret elektricitet.

I andre koncepter, og hvis egnede støtteordninger indføres, vil biogasanlæggenes kraftvarmeværker også kunne operere på et el- eller varmebehovsstyret grundlag. I et system, der er domineret af **el-forbruget**, kan strømmen fra et biogasanlægs kraftvarmeværk bruges til **belastningsstyring**.

I et system, der er domineret af **varmebehovet**, vil varmen fra et biogasanlægs kraftvarmeværk tilpasses til det faktiske varmebehov. Sådanne systemer er imidlertid ikke almindelige, da de ikke understøttes af incitamenter. Desuden er varmedrevne biogasanlæg stillet overfor flere udfordringer, herunder f.eks. sæsonudsving i varmebehovet til boligopvarmning.

En generel begrænsning i behovsdrevet el- og varmeproduktion er den gode, men begrænsede, lagerkapacitet af biogas. I tilfælde af tilførsel af opgraderet biogas (biometan) til naturgasnettet, er opbevaringsproblemet på biogasanlæg løst, da naturgasnettet har en meget stor lagerkapacitet.

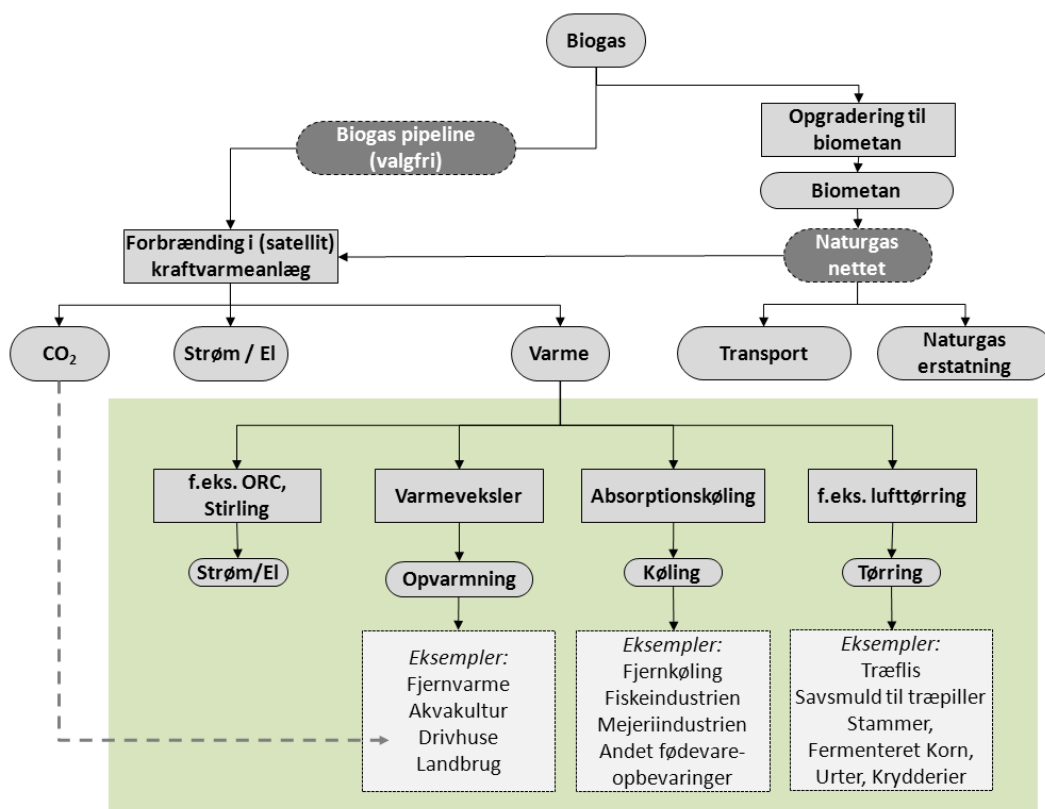
For at opsummere, så prøver de fleste biogasanlægs kraftvarmeværker at maksimere el-produktionen. For andre kraftvarmeanlæg, f.eks. små-skala anlæg i husholdninger, der kører på naturgas eller biometan, bliver kraftvarmeværket normalt drevet af varmebehovet.

### 3 Muligheder for anvendelse af varme fra biogasanlæg

Brugen af overskudsvarme fra kraftvarmeverker er en afgørende faktor for de økonomiske og miljømæssige resultater for biogasanlæg. Det skal være økonomisk og teknisk favorabelt. Hvis anvendelsen af et fornuftigt varmekoncept ikke er muligt, må andre løsninger tages i betragtning, det kunne f.eks. være opgradering og tilførsel af biometan til naturgasnet eller installation af biogasrørledninger. I mange tilfælde er det bedre at opgive planerne om et biogas projekt, hvis der ikke kan udvikles et acceptabelt koncept for varmeanvendelsen.

Varmekoncepter kan udvikles for de fleste biogasanlæg, hvis de er planlagt godt og nok tid i forvejen. Jo mere fleksible rammebetingelserne er, jo flere muligheder for anvendelse af spildvarme er der til rådighed. Disse rammebetingelser omfatter f.eks. placeringen af anlægget, potentielt interesserede varmemeforbrugere, juridiske spørgsmål, likviditet, osv.

Det vigtigste produkt for et biogasanlæg er strøm, som normalt tilføres el-nettet. Som Figur 10 viser, kan der i meget få tilfælde f.eks. bruges CO<sub>2</sub> til at forbedre plantevækst i væksthuse, til algeproduktion eller i Strøm-til-Gas anlæg (kapitel 4.6). Den største udfordring er en bæredygtig udnyttelse af varmen. Varmen kan generelt anvendes direkte til opvarmning, men også til ekstra el-produktion, køling, eller til tørring. Disse muligheder beskrives i de følgende kapitler.



Figur 10: Forsimplet flowdiagram over anvendelsen af biogas



### 3.1 Opvarmning

Den direkte anvendelse af varme i forskellige applikationer, er blandt de mest effektive løsninger for en bæredygtig udnyttelse af spildvarme. Derved kan fossile brændsler normalt erstattes og udledningen af drivhusgasser kan reduceres betydeligt. Den enkleste måde at bruge varmen er f.eks. til opvarmning af bygninger og til varmtvandsforsyning til anlæggets operatør, især hvis det er en landbrugsbedrift. En del overvejelser tyder på at andre varmekoncepter er nødvendige. Disse overvejelser indbefatter for eksempel mængden af energi. Den producerede varme i mellemstore landbrugs-biogasanlæg er ofte større end varmebehovet på gården. Desuden kan biogasanlæg være for langt væk fra bygningerne og dermed skabe behov for at bruge andre varmekoncepter end direkte opvarmning. Endelig er mængden og kvaliteten af varmebehovet og udbuddet påvirket af sæsonmæssige eller daglige variationer.

For planlægningen af varmeanlæg, skal **karakteristika for varmebehovet** vurderes så detaljeret som muligt, og følgende egenskaber skal fastlægges:

- Samlet varmebehov
- Årligt varmebehov
- Spidsbelastningsvarmebehov
- Sæsonvariation i varmebehov

Afhængig af størrelsen på varmesystemet kan forskellige metoder anvendes til at bestemme de karakteristiske træk for varmeforbrugerne.

- Kontrol af forbrugernes seneste fakturaer for opvarmning
- Målinger
- Beregninger

Nærmere oplysninger om planlægningen af varmeanlæg er beskrevet i kapitel **Fejl! envisningskilde ikke fundet.**, da de fleste biogasanlæg med et koncept til direkte anvendelse af varme omfatter forskellige størrelser fjernvarmesystemer.

#### 3.1.1 Fjernvarme

Den direkte anvendelse af varme i fjernvarmeanlæg (DH) er den enkleste måde at øge værdien af spildvarme. Omfanget af fjernvarmesystemet kan variere fra meget **små systemer**, hvor kun få husstande er tilsluttet (mikro-fjernvarmenet) (Figur 12), til **store systemer**, hvor hele byer er forbundet. Varme fra biogasanlæg kan bruges som leverandør til både små og store systemer.

Større fjernvarmesystemer defineres som systemer til distribution af varme genereret ét centralt sted, f.eks. på et biogasanlæg, til bolig- og erhvervsejendommers varmebehov, såsom rumopvarmning og varmt brugsvand. I større systemer er det også muligt at forbinde flere varmegeneratorer i det samme system. Varmen fordeles til forbrugerne via et netværk af rør og er direkte eller indirekte forbundet gennem varmevekslere (Figur 11, Figur 15). Fjernvarmeanlæg består af forsynings- og returledninger, der skaber en lukket opvarmningscyklus. De transporterer varmt vand eller damp til forbrugerne og koldt vand tilbage til varmegeneratorerne. På grund af lavere temperaturer af den varme der er produceret i biogasanlæg, anvendes som regel kun varmt vand og ingen damp. Rørene skal være godt isoleret og installeret under jorden. Der findes dog også systemer med rør over jorden. Diametrene på rørene påvirkes af størrelsen af systemet og mængden af transporteret vand. Ekstraudstyr kan omfatte varmevekslere og tilslutningsudstyr, varmelagersystemer og varmemålere.

Alt efter systemtypen modtager den endelige forbruger sædvanligvis varme gennem en varmeveksler (Figur 11). Der findes dog også systemer, hvori opvarmningscyklussen er

direkte forbundet til forbrugerens opvarmningscyklus. Dette reducerer varmetabet med ca. 5% pr. varmeveksler, men har brug for et mere sofistikeret system og mere vedligeholdelse eftersom fejl kan påvirke hele systemet.

Selvom moderne fjernvarmesystemer er meget effektive, er **varmetab** uundgåelige. Tab bør holdes så lave som muligt, men beregninger skal altid indeholde en afvejning mellem tab og omkostninger for at undgå tab. De følgende parametre har indflydelse på varmetab i et fjernvarmesystem:

- Længde af rørsystemet
- Isolering af rør (Figur 13)
- Type af jord
- Tykkelse af jorden over rørene (Figur 12, Figur 14)
- Volumen, flow og temperatur
- Forventet temperaturforskul til sidste varmeveksler
- Antal af varmevekslere, der er forbundet i serie

Der er forskellige måder at udtrykke tabene i et fjernvarmesystem (Wiese 2007):

- Forskel i temperatur ved begyndelsen og enden af systemet
- Relative tal eller procenter af varmetab
- Absolut varmetab i kW

Normalt oplyser **varmerørs**-producenter procenter for varmetab på deres produkter. Men til planlægning fjernvarmenet anbefales det at anvende absolutte tal, da dette også kan afspejle varmetabene ved forskellige varmebelastninger.

Ecoheat4cities projektet ([www.ecoheat4cities.eu](http://www.ecoheat4cities.eu)) har udviklet en frivillig mærkning til måling og formidling af resultaterne for fjernvarmesystemer, herunder vedvarende energi, ressource-effektivitet (primær energi faktor) og CO<sub>2</sub>-effektivitet/emissioner. Det vil således gøre det muligt for aktører fra hele Europa at se og vise, hvordan fjernvarme og fjernkøling kan bidrage til at nå de relevante energimål og lette vurderingen af DHC (fjernvarme og -køling) som en konkurrence- og levedygtig løsning på opvarmnings- og kølemarked i Europa.

**Typiske forbrugere** af spildvarme fra biogasanlæg er industrielle og kommercielle foretagender, offentlige organer og private forbrugere. Forbrugere med et sædvanligt højt og vedvarende behov for varme hele året omfatter bl.a. store kødproducenter, akvakulturer, vaskerier, fritidscentre, hospitaler, svømmehaller og kurbade. Behovet er normalt mindre stabilt blandt hoteller, kantiner, spisekamre, skoler og private boliger.

Installationen af et fjernvarmesystem til spildvarme fra biogasanlæg er forbundet med betydelige **installationsomkostninger**. Jo større afstanden mellem biogasanlægget og varmeforbrugeren er, jo højere er omkostningerne. I de fleste projekter er afstandene holdt **mindre end 4 km**. På grund af de høje installationsomkostninger og den store nødvendige indsats for at få sat et fjernvarmesystem op, bør der skrives **langsigtede kontrakter** mellem leverandør og forbruger. Tre forskellige koncepter kan anvendes til fjernvarmesystemer i biogasanlæg, nemlig levering af basis varme, fuld varmforsyning og salg til varmeværker.



Figur 11: Tilslutningsudstyr (inklusiv en varmeveksler) hos en slut-forbruger tilsluttet fjernvarmesystemet i Achental, Tyskland (Kilde: Rutz)



Figur 12: Installation af en varmerørledning til en gårds bygninger (Kilde: Thermaflex Isolierprodukte GmbH)

### **Basis varmforsyning**

I dette koncept leverer biogasanlæggets operatør kun den tilgængelige del af varmen fra biogasanlægget til varmekonbrugeren. Operatøren kan ikke garantere fuld varmforsyning. Det er derfor nødvendigt at varmekonbrugeren også er udstyret med yderligere kedler, som kan tændes hvis biogasanlæggets operatør ikke kan levere tilstrækkelig varme. Dette sker hovedsageligt i spidsbelastningsperioder eller perioder hvor biogasanlægget ikke kører (f.eks. ved systemnedbrud eller vedligeholdelse). I det grundlæggende varmforsyningssystem er risikoen for biogasanlæggets operatør reduceret til et minimum. Men biogasanlæggets operatør modtager typisk ikke rimelige priser for denne varme. Varmeforbrugeren har generelt gavn af meget lave varmepriser, men er nødt til at betale for installation og vedligeholdelse af ekstra kedler.

### **Fuld varmforsyning**

I dette koncept bliver hele varmebehovet dækket af biogasanlæggets operatør. Dette omfatter også levering i spidsbelastningsperioder, f.eks. i kolde vintre, samt levering i tilfælde af systemvedligeholdelse eller sammenbrud. I mange kontrakter i Tyskland er varmforsyningen garanteret for temperaturer på ned til  $-15^{\circ}\text{C}$ . I dette system har biogasanlæggets operatør højere investeringsomkostninger, da spidsbelastnings- eller akutvarmelegemer skal være installeret. For at sikre dette er tilslutning til naturgasnettet gavnligt, da naturgas også kan brændes i biogasanlægs kraftvarmeværker og brændere. I dette koncept er risikoen for anlæggets operatør højere, da han skal garantere fortsat varmforsyning, som det er aftalt i de underskrevne varmekontrakter. Eftersom forbrugeren har fuldt outsourcet varmforsyningen til biogasanlæggets operatør, kan der kræves højere varmepriser.

### **Salg til lokale fjernvarmeværker.**

Og til slut er det muligt at biogasanlæggets operatør sælger al varmen til det lokale fjernvarme selskab eller til en dedikeret varmeservice virksomhed, også kaldet EnergiServiceVirksomhed (ESCO). DH selskab eller ESCo plejer at købe al varmen fra anlæggets operatør og garantere fuld varmforsyning til varmekonbrugeren. Derfor er DH selskaber eller ESCo'er nødt til at operere med spidsbelastnings- og nødkedler. Disse kan køre på de traditionelle brændstoffer, såsom naturgas, fossil olie eller på biobrændsel, som biogas fra andre anlægsoperatører, flis, biodiesel eller planteolie.



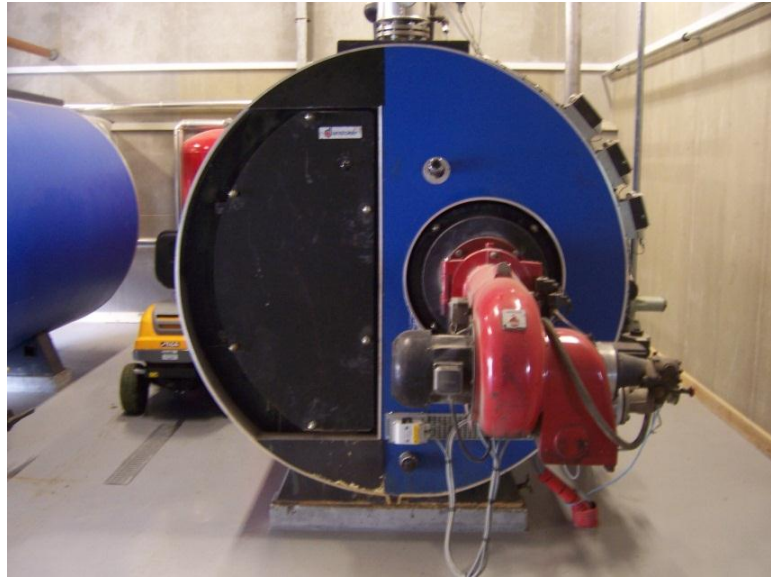
Figur 13: Isolerede rør til fjernvarme i Tyskland (Kilde: Rutz)



Figur 14: Opførelse af et fjernvarmesystem i Tyskland (Kilde: Rutz)



Figur 15: Spiral varmeveksler i Danmark (Kilde: Rutz)



Figur 16: Biogaskedel med en kapacitet på 1.500 kW i Danmark (Kilde: Rutz)

### Planlægning af et fjernvarmesystem

For planlægning af et fjernvarmenet er det vigtigt at overveje, at der almindeligvis er adskillige **interessenter** der skal inddrages. Disse kan omfatte biogasanlægs operatører, varmemeforbrugere, grundejere på transmissionsruten, kommunen, varmeservicevirksomheder, DH selskaber, planlæggere, implementeringsvirksomheder og beboere i området. Deres deltagelse bør allerede være forudset ved begyndelsen af planlægningsprocessen. Især stor-skala DH koncepter er komplekse.

For at realisere fjernvarmekoncepter for spildvarme fra biogasanlæg, skal projektet være teknisk og økonomisk gennemførligt. Dette kan vurderes ved undersøgelse af **forbrugsmønstre og data** fra eksisterende varmemeforbrugere. Derved kan årstidens og dagligdagens forbrugsmønstre og spidsbelastninger vurderes (Schröder 2007). Desuden er det vigtigt at overveje den fremtidige udvikling, såsom planlagte renoveringer af bygninger.

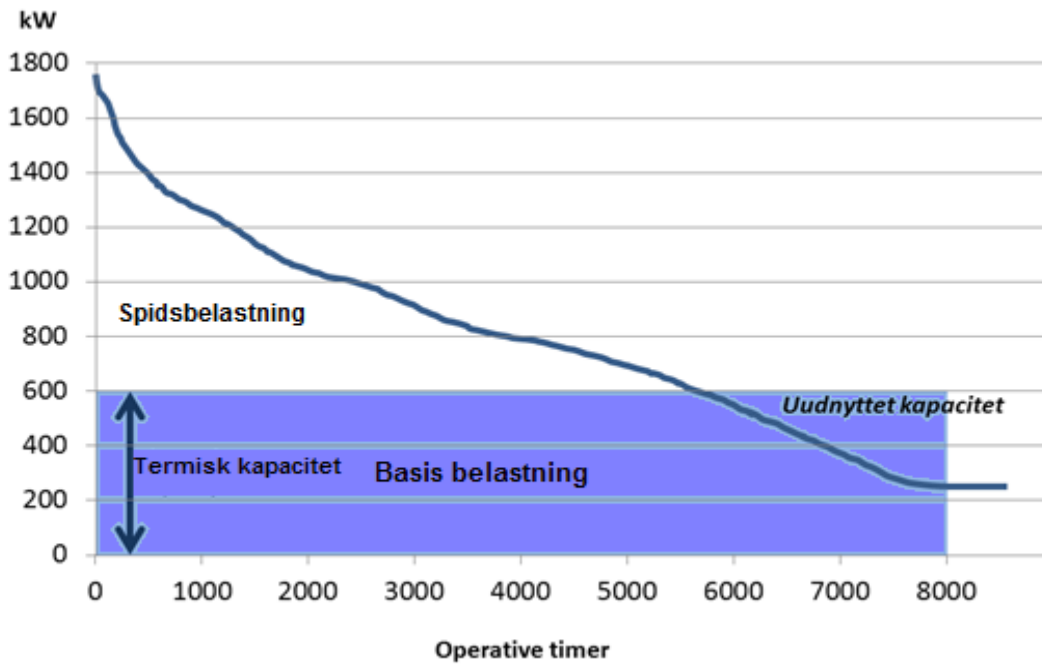
Den enkleste måde at estimere forbruget er ved at **kontrollere de sidste fakturaer** forbrugerne har fået for opvarmning. Det anbefales at kontrollere fakturaer fra flere år. Denne metode egner sig især, hvis kun få forbrugere vil blive forbundet, og hvis varmebehovet ligger langt under biogasanlæggets kapacitet.

En anden metode til vurdering af varmebehovet er ved **målinger**. Disse kan omfatte time, daglige eller månedlige målinger. I eksisterende større anlæg bliver varmesystemer undertiden allerede overvåget, således at disse data også kan anvendes. Detaljerede målinger er nødvendige hvis det fulde varmebehov skal dækkes, eller hvis det samlede varmebehov er tæt på den tilgængelige varmemeforsyning af biogasanlægget.

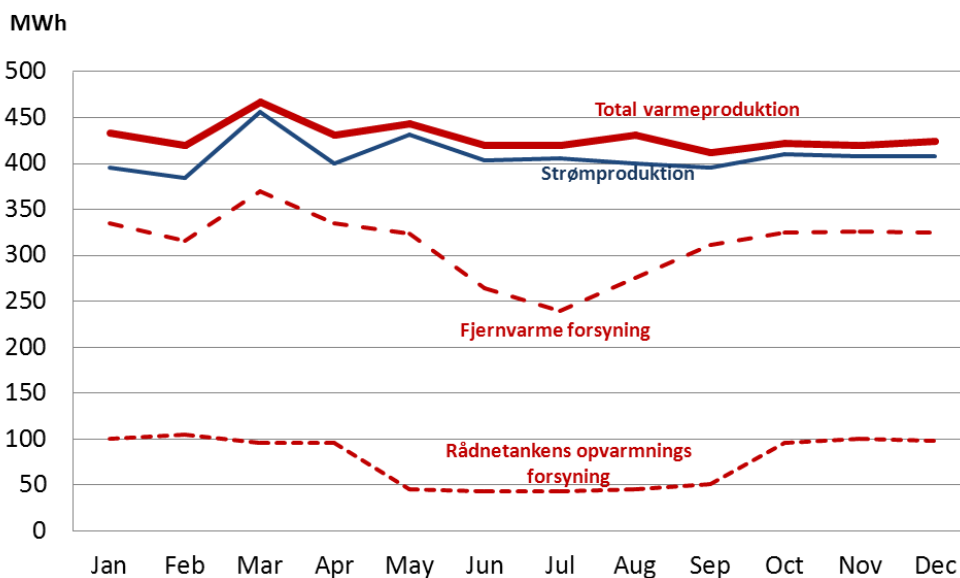
Ved brug af målte data kan belastningskurver og belastningsvarighedskurver tegnes. En varme **belastningskurve** er en graf, der viser det faktiske varmemeforbrug over tid, typisk et år (8.760 timer). Den giver oplysninger om det samlede varmebehov, spidsbelastninger, og tids-relaterede egenskaber/ karakteristikker.

En varme **varighedskurve** ligner en belastningskurve, men behovsdata er ordnet i faldende størrelsesorden, snarere end kronologisk. Figur 17 viser et eksempel på en varme belastningsvarighedskurve for et medium-størrelses varmesystem. Det fremgår endvidere hvor meget varme, der kan frembringes som grundlæggende belastning fra et biogasanlæg med 600 kW<sub>th</sub> kapacitet og ca. 7.200 driftstimer. Derved vil varmetilførslen af

spidsbelastningen skulle komme fra et andet system. Hvis den fulde varmforsyning skulle dækkes af biogasanlægget, skulle kapaciteten være omkring 1.800 kW<sub>th</sub> i dette eksempel.



Figur 17: Eksempel på belastningsvarighedskurve af et opvarmningssystem med en kapacitet som et 600 kW kraftvarmeværk



Figur 18: Eksempel på varmforsyningskurver over et år for et 600 kW<sub>th</sub> biogasanlæg i det centrale Europa

Endelig kan **beregninger** af varmebehov foretages. For varmebehov i bygninger omfatter beregninger typisk data vedrørende det opvarmede boligareal, status på isolering, antal tilsluttede personer der benytter varmt vand, samt lokale klimatiske parametre.

Udover forbrugsmønstre og data skal **varmetilførslen fra kraftvarmeværket** også planlægges omhyggeligt. Derfor er de tekniske data fra kraftvarmeproducenterne vigtige, navnlig data på den samlede varmekapacitet. Men virkeligheden viser at disse data normalt er omkring 3% lavere end angivet (Gaderer et al. 2007). Endvidere må varmebehovet til opvarmning af rådnetanken, som varierer på forskellige årstider, betragtes. Figur 18 viser et eksempel på en **varmeforsyningskurve** for et biogas-kraftvarmeværk. I dette eksempel findes der en stor varmeforsyning om vinteren og en overskudsproduktion af varme om sommeren.

Varmeproduktionen samt varmebehovet er stærkt påvirket af de **klimatiske rammebetingelser**. Derfor skal især de **koldeste temperaturer på beliggenheden** betragtes, eftersom de påvirker mængden og varigheden af spidsbelastningen samt den maksimale kapacitet af det installerede varmesystem. Klimadata fås ofte fra offentlige meteorologiske institutioner. De klimatiske data bruges sammen med data for til de tilsluttede bygninger (bygningstype og form, niveau af isolering, størrelse af vinduesoverflader, og formålet med bygningen) til at beregne det nøjagtige varmebehov og sæsonbestemte specifikationer for et fjernvarmesystem.

Afhængigt af systemkravene kan to forskellige **varmelagringsystemer** indgå i et fjernvarmesystem. **Buffertanke** anvendes til udligning af daglige og kortvarige variationer i varmebehovet. Ifølge et eksempel af Gaderer et al. (2007) tillader brugen af en buffertank i Tyskland levering til omkring 20 parcelhuse med et 150 kW<sub>el</sub> biogasanlæg og 57 parcelhuse med et 500 kW<sub>el</sub> biogasanlæg. De øvrige lagringsystemer er **sæsonbestemte lagersystemer**, der tillader lagring spildvarme produceret om sommeren til forbrug om vinteren. I dette tilfælde viste Gaderer et al (2007) at omkring 48 parcelhuse kan forsynes af et 150 kW<sub>el</sub> biogasanlæg og 135 parcelhuse af et 500 kW<sub>el</sub> biogasanlæg. Sæsonbestemte-lagringsystemer er sædvanligvis nedgravede varmelagre, der lagrer termisk energi i jorden. I disse systemer udveksles varmen via U-rør eller gennem et åbent rørsystem.

### 3.1.2 Stalde

Svine- og fjerkræbedrifter producerer kød hele året, også om vinteren. For at sikre kontinuerlig produktion og for at øge produktionen bliver staldene ofte opvarmet, især om vinteren. Sammenkædning af biogasanlæg og svine- og fjerkræbedrifter tillader brugen af gødning og strøelse (ofte halm) som råmateriale i biogasanlægget, og anvendelse af spildvarme til at akklimatisere staldene. Disse synergier kan bruges i store landbrugsbedrifter med dyr. Men det kan også gavne mindre og økologiske jordbrug.

#### **Svinebedrifter**

Grise bliver typisk avlet under forskellige betingelser i henhold til deres alder. Præcis opvarmning kan bidrage betydeligt til at forbedre vilkårene og dermed produktiviteten i landbruget. Grise kræver varme og tørre stalde, der beskytter dem mod kolde vintre. I henhold til svinenes alder er de følgende temperaturniveauer egnede til svineavl:

- 1. uge: 32°C
- 2.-4. uge: 28°C
- 4.-8. uge: 22-27°C
- Opfedning: 20°C

Især unge svin (smågrise) har behov for højere temperaturer. Forskellige opvarmningssystemer er tilgængelige, såsom zone varmeapparater eller gulvvarme. Varmebehovet pr. gris er omkring 16 kWh pr. måned under sydtyske klimatiske forhold (Schulz et al. 2007).

### Fjerkræbedrifter

Fjerkræavl er avl af tamfugle, såsom kyllinger, kalkuner, ænder og gæs med henblik på at få kød eller æg til mad.

Kyllinger er det mest avlede fjerkræ. Der findes mange forskellige systemer til avl, hvor avl i indendørs haller er en af de mest anvendte former. Kylling til kødproduktion, såkaldte slagtekyllinger, avles på gulvet i store stalde. Disse stalde er udstyret med fodringsanlæg, ventilationssystemer og varmeapparater. Typiske temperaturer i stalde til slagtekyllingeavl, i forhold til kyllingernes forskellige aldre, er opsummeret i Tabel 3. Der skelnes mellem centralvarmeanlæg, der opvarmer hele stalden, og strålevarmeanlæg, som kun opvarmer dele af stalden (områder under varmelegemerne) og som sædvanligvis drives med elektricitet.

Tabel 3: Optimale temperaturer for stalde til kyllingeavl (Berk 2008)

Alder (dage)	Centralt opvarmningssystem til hele stalden [°C]	Stråleopvarmning [°C]
1-2	36-34	32-31
3-4	32-31	30
5-7	30-29	29-28
8-14	29-27	28-26
15-21	26-25	25
22-28	24-23	24
29-35	22-20	22-20
36-42	21-19	21-19
>43	20-18	20-18

#### 3.1.3 Drivhuse

Drivhuse (Figur 19) har ofte brug for meget energi for at skabe de bedste vækstbetingelser for dyrkning. Varmeudgifter er som regel blandt de højeste driftsomkostninger i drivhuse. Selv i de kolde årstider er temperaturer på 20-25°C ofte nødvendige. Således kan anvendelsen af spildvarme fra biogasanlæg udgøre en god og billig varmekilde. Forudsætning herfor er dog at drivhuset befinder sig i nærheden af biogasanlægget.

Det mest passende varmesystem i drivhuse er vand-varmekredse (Figur 20), da de kan justeres nøjagtigt, og da luftcirkulation kan reduceres, hvorimod luftvarmere har flere ulemper.

En vigtig faktor for afgørelsen af, om et drivhus er en egnet varmekredse af spildvarme, er varmebehovet. Gabloffsky (2007) nævner at det årlige brændstofbehov til opvarmning af drivhuse til 20°C i Tyskland kan nå op på omkring 600 kWh/m<sup>2</sup>. Bedre isolering af drivhuse er udviklet, men brugen er begrænset på grund af den kendsgerning, at også nok lys skal trænge gennem den transparente overdækning. Ligning 6 kan anvendes til bestemmelse af varmebehovet (BDEW 2009):



$$\dot{Q} = A \times u' \times (t_i - t_a)$$

Ligning 6

$\dot{Q}$	Varmebehov [W]
$A$	Overflade af den gennemsigtige overdækning [ $m^2$ ] (også gulvareal i [ $m^2$ ] x 1,4)
$u'$	Varmebehovskoefficient [ $W/m^2 K$ ]
$t_i$	Indre drivhus temperatur [ $^{\circ}C$ ]
$t_a$	Minimum omgivelsestemperature på placeringen [ $^{\circ}C$ ]

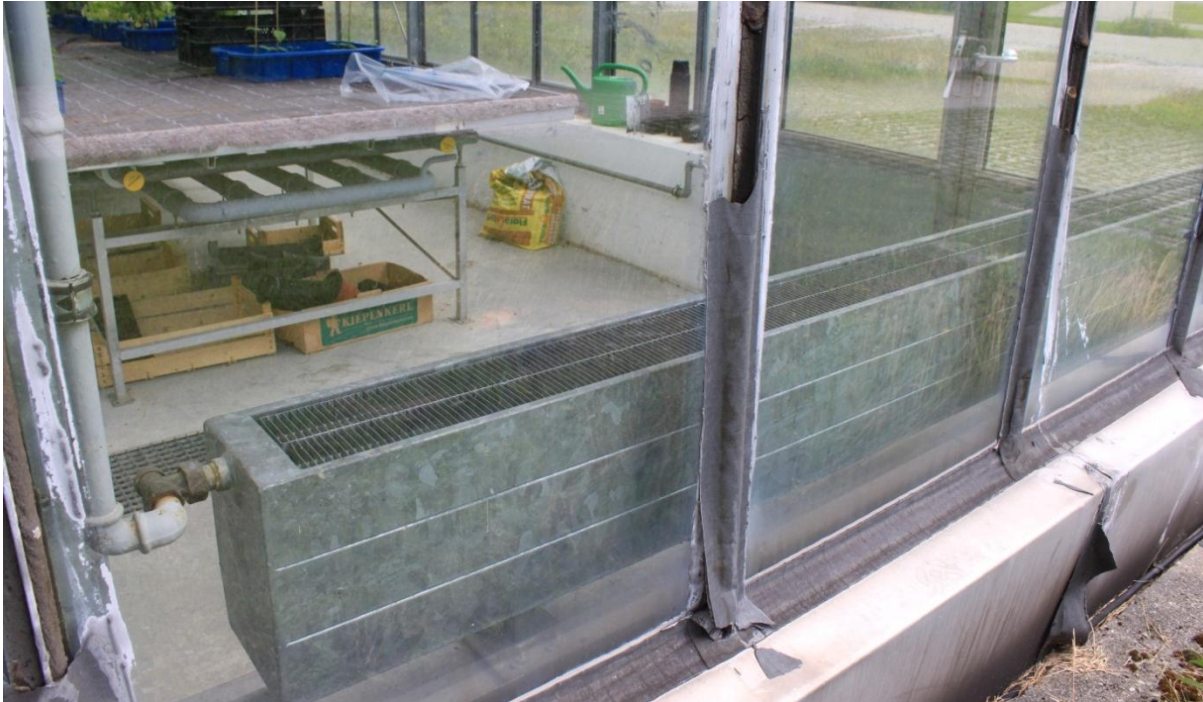
Varmebehovskoefficienten  $u'$  er en værdi for varmebehovet for forskellige drivhustyper og rangerer fra 4,6 for drivhuse med termoruder og med et blandet varmesystem til 10 for simple drivhuse med folie og varmerør hævet over jorden.

Det skal tages i betragtning, at det højeste varmebehov for drivhuse forekommer i den kolde årstid, nemlig om vinteren, såvel som i det sene efterår og det tidlige forår. Også den tilgængelige varme fra biogasanlægget er mindre i den kolde årstid, idet der kræves mere energi til opvarmning af rådnetankene. Varmelagringsfaciliteter kan udligne variationer, men er generelt meget omkostningskrævende. For den nøjagtige planlægning af varmebehovet i et drivhus, er detaljerede beregninger nødvendige.

Endelig skal også brugen af  $CO_2$  fra udstødningsskassen af kraftvarmeanlægget overvejes, da  $CO_2$  forbedrer planternes vækst.



Figur 19: Akklimatiserede glasdrivhuse i Tyskland (Kilde: Rutz)



Figur 20: Radiator-opvarmere i et glashus i Tyskland (Kilde: Rutz)

### 3.1.4 Akvakultur

Der er mange muligheder for integrerede akvakultur-systemer. Et eksempel herpå er et Integreret Fiske Opdræts- & Vandingsanlæg (IFFI), hvor et dambrug sat ind mellem vandkilde og den vandede mark, og dermed giver næringsstoffer til området. I eksemplet med det Aquaponics koncept er det målet at udvikle en bæredygtig øko-teknologi til at integrere og kombinere akvakultur og havebrug med minimerede emissioner og optimering af genanvendelige vandstrømme. Akronymet Aquaponics består af ordene akvakultur (fisk) og hydroponics (grøntsager). Der findes mange andre lignende koncepter.

Generelt kan win-win situationer opstå, hvis biogasanlæg og akvakulturer kædes sammen. I nogle systemer kan fermentet anvendes som gødning for akvakulturen. I andre systemer kan affaldet fra akvakulturen anvendes som råmateriale i biogasanlægget.

Over de seneste år er der blevet udviklet et nyt koncept, som har fået stigende interesse i Europa, nemlig brugen af overskudsvarme fra biogasanlæg til opvarmning af akvakulturer. Fisk og rejer fra havet eller andre vandområder er generelt mere og mere sjældne. Således avles de i stigende grad kunstigt og ofte med store miljøpåvirkninger. Opvarmede akvakulturer er stadig sjældne i Europa på grund af de høje energiomkostninger. Brugen af spildvarme fra biogasanlæg giver opdrætterne nye muligheder for at producere yderligere produkter af høj kvalitet. Akvakultur kan være en interessant ny indtægtskilde, som også giver mulighed for dyrkning af tropiske arter under europæiske klimaer.

Flere projekter i Centraleuropa er for nylig startet op og virker lovende. Imidlertid er sådanne projekter forbundet med store risici, og en forudsætning (for succes) er en stor interesse fra de erhvervsdrivende inden for akvakultur. Følgende aspekter er vigtige for planlægningen af akvakulturprojekter:

- Tilslutning til (flere) vand- og spildevandslinjer
- De erhvervsdrivendes kendskab til akvakultur
- Operatørens kendskab til på fiskeslagtning og markedsføring
- Tilgængeligheden af et (lokal) marked for produkterne

- Pris og mængde af produkterne
- Juridiske rammebetingelser
- Investeringsomkostninger
- Tilgængelighed og egnethed af teknologier

Opvarmede akvakulturer kan være landbaserede klækningsanlæg, men i stigende grad implementeres **lukket-system akvakulturer**, også kaldet **lukket-sløjfe kredsløb dambrug** eller recirkulerende akvakultursystemer. Der findes systemer til både ferskvands- og saltvandsfisk og -rejearter, samt til arter fra tempererede og tropiske klimaer. Lukket-system akvakulturer i Europa er normalt sat op i haller, især hvis der holdes tropiske arter, kræver der en betydelig opvarmningsindsats. Systemet består sædvanligvis af flere damme, der kan være fremstillet af beton eller kunststof. Der findes forskellige tilgange til cirkulation af vandet, som kan undergå en rensningsproces enten i et centralt anlæg eller separat for hver dam.

Til dyrkning af arterne skal de **ideelle vækstbetingelser** skabes. Disse betingelser er påvirket af følgende parametre: fodring, vandkvalitet, generelle hygiejniske forhold, ventilation, vandtemperatur og antallet af fisk pr. volumen. Et af de mest afgørende parametre er renlighed og hygiejniske forhold for at kunne undgå sygdomme og patogener og dermed undgå behovet for medicinske applikationer. På grund af mikroorganiske filtersystemer, kan der ikke tilføres antibiotiske lægemidler, da disse ville ødelægge eller påvirke mikroorganismene i filtersystemet negativt. Adskillige parametre kan overvåges og styres automatisk for at sikre en kontinuerlig proces.

En anden vigtig parameter er **energiforbruget**, hvoraf ca. en tredjedel af den tilførte energi er nødvendig som el og omkring to tredjedele som varme (Schulz et al. 2007). Varme er nødvendig for at opvarme vandet og akklimatisere (varme og køle) hallerne. Temperaturer til opvarmning af dammene varierer afhængigt af reje- og fiskearterne. Ideelle vandtemperaturer varierer mellem 20°C og 32°C. For eksempel dyrkes en afrikansk tandmalle (*Clarias gariepinus*) i et projekt i Tyskland (Landgenossenschaft Pröttlin) ved 27°C. I et andet projekt i Tyskland ([www.garnelenhof.de](http://www.garnelenhof.de)) dyrkes hvide tiger rejer (*Peneaus vanamei*) ved optimale temperaturer på 30°C. Tabel 4 viser ideelle vandtemperaturer for forskellige arter.

Eksempler på teknologiske virksomheder der er involveret i kombinerede biogas-akvakultur projekter er PAL Anlagenbau GmbH ([www.pal-anlagenbau.de](http://www.pal-anlagenbau.de)), F&M Anlagenbau GbR ([www.fm-aqua.de](http://www.fm-aqua.de)) og International Fish Farming Technology (<http://p113585.typo3server.info>).

Den nødvendige plads til lukket-systems-akvakulturer afhænger af de arter der holdes, men svinger mellem 6 og 10 m<sup>2</sup> pr. ton af den årlige produktion (Schulz et al. 2007). Ofte kan eksisterende gamle landbrugshaller anvendes til etablering af akvakulturer. For et typisk anlæg, der producerer 100 t/år, er det nødvendigt med en fuldtidsansat medarbejder (ibid.). Medarbejderen skal have en bred viden indenfor akvakulturer og om processen. De typiske investeringsomkostninger for et lukket-systems-akvakultur med en kapacitet på 100 t/år, er omkring en million euro, men afhænger meget af størrelse, art, proces, osv. (ibid.).

Bortset fra varmebehovet til opvarmning af vand og akklimatisering af hallerne, skal varmen også bruges i de efterfølgende procestrin, såsom slagteprocessen. Varmt vand er nødvendigt til rengøring af udstyret og for at sikre hygiejniske forhold. Varme kan endvidere omdannes og bruges til afkøling af fisken.

Tabel 4: Vandtemperaturer der er nødvendige for forskellige fiske og rejearter

Artens navn	Latinsk navn	Temperatur [°C]	Type
Europæisk ål	<i>Anguilla anguilla</i>	23-25	Ferskvandsfisk
Afrikansk tandmalle	<i>Clarias gariepinus</i>	27	Ferskvandsfisk
Stor ferskvandsreje	<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	26-32	Ferskvandsreje
Sort tigerreje	<i>Penaeus monodon</i>	24-34	Saltvandsreje
Hvid tigerreje	<i>Peneaus vanamei</i>	30	Saltvandsreje
Sandart	<i>Sander lucioperca</i>	22-25	Ferskvandsfisk
Pighvar	<i>Scophthalmus maximus</i>	16-20	Saltvandsfisk
Europæisk malle	<i>Silurus glanis</i>	24	Ferskvandsfisk
Tilapia	<i>Tilapia sp.</i>	24-26	Ferskvandsfisk

### 3.1.5 Varmetransport i containere

I flere tilfælde er det ikke muligt at installere fjernvarme, enten da afstandene er for store, på grund af juridiske bestemmelser eller andre rammevilkår. I disse tilfælde kan varmetransport via opbevaringssystemer i containere overvejes. Det skal dog bemærkes, at denne teknik endnu ikke er bredt anvendt. Kun få producenter tilbyder i øjeblikket varmelagringsystemer i containere.

Ideen er at lagre varmen fra biogasanlægget i mobile containere, som regel i standardiserede ikke-isolerede 20 fods containere (6,10m x 2,44m). Beholderne behøver ikke at være isolerede, da energien lagres kemisk og ikke ved forøget temperatur som i andre lagringssystemer. Når beholderen er fyldt, kan den transporteres med lastbiler til varmeforbrugeren. Transportafstande kan være mellem 1 og 30 km for et 500 kW<sub>el</sub> biogasanlæg (Gaderer 2007). Ifølge Kraleman (2007) må afstanden ikke være større end 20 km, hvis den højeste mulige belastning er 4.000 timer.

Udfordringen er opbevaringsteknologien inden i beholderen. Her findes der to primære teknologier til varmelagring:

- Latent varme lagersystemer
- Termodynamiske lagersystemer

I **latent varme lagersystemer** lagres varmen ved hjælp af smeltevarmen af et stof, der kaldes faseændringsmaterialet (PCM). Under lastningsfasen ændrer PCM fase fra fast til flydende, mens temperaturen ikke ændres (isotermisk faseændring). Hvis processen vendes kan varmen bruges igen. De tilgængelige og ønskede temperaturniveauer påvirker valget af PCM, der er kendetegnet ved dets smeltetemperatur.

I latente varmelagringsystemer til biogasanlæg kan PCM for eksempel være, opløst **natriumacetat** (trihydrat), som er et ufarligt salt. Opløst natriumacetat har et smeltepunkt på 58°C. Varme- eller lastningscyklusser er adskilt fra PCM, så termisk energi skal overføres i oplagringsmaterialet. Under lastningsprocessen bør en temperaturforskel på mindst 10°C være tilgængelig, således at 68°C er nødvendig ved varmekilden til varmelagring i opløst

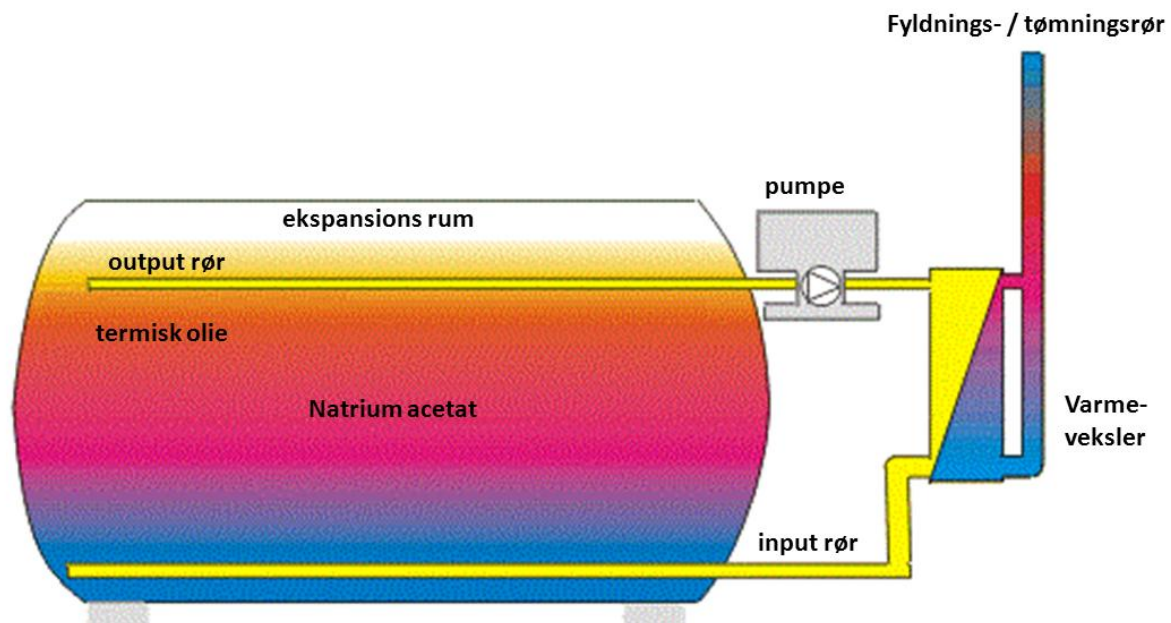
natriumacetat systemer. Den lave smeltetemperatur tillader kun brugen af dette system til anvendelser, der kræver lave temperaturer på omkring 48°C. Således er anvendelsesmulighederne for dette system altså begrænsede.

En 20 fod og omkring 26 t container har en varmelagringssevne på omkring 2,5 MWh, hvilket svarer til omkring 250 L fyringsolie (Schulz et al. 2007). Lastkapaciteten er omkring 250 kW ved temperaturer på 70/90°C, og lastningstiden er omkring 10 timer (ibid.). Forbrugskapaciteten er ca. 125 kW ved temperaturer på 48/38°C, og forbrugstiden er omkring 20 timer (ibid.).

En anden egnet PCM er opløst **bariumhydroxid** (octahydrat) med et smeltepunkt på 78°C. På grund af sine farlige egenskaber er der dog behov for særlige sikkerhedskrav.

Omkostningseffektive lagersystemer kræver høje interne varme-fluxer, der primært afhænger af varmeledningsevnen af det lagrede materiale. Ikke-metalliske lagringsmaterialer viser normalt lave varmeledningsevner, hvor især den faste fase opfører sig som en termisk isolator. Stigningen i den effektive varmeledningsevne på lagringsmaterialet er afgørende for udviklingen af omkostningseffektive systemer til lagring (DLR 2012)

Teknologiudbydere omfatter i øjeblikket selskaberne LaTherm ([www.latherm.de](http://www.latherm.de)) (Figur 23) eller Transheat ([www.transheat.de](http://www.transheat.de)). Transheat tilbyder en beholder (Figur 22, Figur 21), hvori varmen overføres af en varmeveksler til en termisk olie. Denne olie pumpes ind i tanken, hvor den blandes med natriumacetat for derved at overføre og lagre varme ved smeltning af saltet.



Figur 21: Tegning af latent varmelagringsystem (tilpasset fra TransHeat GmbH)



Figur 22: Togvogn med et latentvarmelagringsystem (Kilde: TransHeat GmbH)



Figur 23: Trailer med en container og et latent varmelagringsystem (Kilde: LaTherm GmbH)

I **termodynamiske lagersystemer** (sorption termisk lagring) anvendes zeolitter. Zeolitter er mikro-porøse aluminiumsilikat mineraler der almindeligvis anvendes som kommercielle adsorbenter. På grund af sin porøse struktur har zeolitter et meget stort overfladeareal. Et enkelt gram zeolit-piller/pulver har et overfladeareal på op til 1.000 m<sup>2</sup> (Fraunhofer 2012). Når vanddamp passerer zeolitmaterialet adsorberes dampen og varme afgives. Derfor er disse systemer ikke kun egnet til varmelagring, men også samtidig til tørringsformål. Systemet fyldes igen med tør og varm luft.

Ifølge Fraunhofer (2012) kan systemet gemme tre til fire gange den mængde varme, der kan gemmes af vand. Og det kræver kun opbevaringsbeholdere på omkring en fjerdedel størrelse af vandtankene. Endvidere kan varmen lagres i en lang periode. Energital forekommer kun under fyldning og tømning af beholderen, og ikke under selve opbevaringen, eftersom energien er kemisk bundet.

Ikke desto mindre er dette system endnu ikke kommercielt tilgængeligt. Forskere fra Fraunhofer Institute i Tyskland er ved at udvikle applikationer på et demonstrationsanlæg med et 750L lagervolumen.

I almindelighed må det tages i betragtning, at et sofistikeret logistisk system skal implementeres for at opnå en kontinuerlig varmetilførsel. Nok opbevaringsbeholdere skal være tilgængelige og lastnings og af-lastningstider skal være overvejet. Det mindste antal beholdere kan ved beregnes ved den følgende formel (Schulz et al 2007.):

$$N = n_L + n_C = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_L} + \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_C} \quad \text{Ligning 7}$$

N	Minimum total antal containere
n <sub>L</sub>	Minimum antal containere på lastningsstedet
n <sub>C</sub>	Minimum antal containere hos forbrugeren
Q̇	Total nødvendig termisk kapacitet [kW]
Q̇ <sub>L</sub>	Lastningskapacitet af en container [kW]
Q̇ <sub>C</sub>	Forbrugskapacitet af en container [kW]

Belastningens varighed er sædvanligvis større end genlastningens varighed for varmemeforbruget. Endvidere er det vigtigt at sikre en god adgang til veje, der tillader transport af 26t beholdere samt tilstrækkelig plads i tilslutningspunkterne. Inddragelsen af en ekstern logistikvirksomhed kan lige så godt tages i betragtning.

Som det allerede er blevet nævnt, er systemer til varmetransport i containere endnu ikke implementeret i stor skala. For at sætte nye projekter op, skal følgende faktorer tages i betragtning:

- Ansøgning kan kun anbefales hvis ingen andre løsninger for direkte varmebrug (installation af varme eller gasrør) kan anvendes
- Maksimale transportafstande på 30 km
- Generel risiko på grund af manglende langsigtet erfaring med disse systemer
- Mindst nødvendig varmekapacitet på 250 kW
- Minimum varmebehov på 125 kW
- Afhængig af systemet kan kun lave temperaturniveauer blive tilbudt (f.eks. 48 eller 78°C)
- Egnede vejadgang og nok plads til beholderne er nødvendig
- Konflikter med naboer på grund af øget trafik skal undgås
- Antallet af lastning cyklusser er teoretisk set ubegrænset, men ingen langsigtet erfaring eksisterer

### 3.1.6 Opvarmning med andre formål

Der er mange andre muligheder for at bruge varme enten direkte eller indirekte, til afkølings- eller til tørringsfaciliteter. Eksempler er:

- **Medicin produktion:** varme til tørring og ekstraktionsprocesser fra urter
- **Vaskerier:** varmt vand til vask af tekstiler
- **Mejerier:** opvarmning og køling af mælkeprodukter
- **Mikroalge produktion:** opvarmning og køling af reaktorer og CO<sub>2</sub> tilførsel
- **Fødevarerindustrien:** varmt vand og damp til forarbejdning, rengøring og hygiejnisering
- **Affaldshåndtering:** hygiejnisering af affald til råmateriale

## 3.2 Tørring

Ud over den direkte anvendelse af varme til at øge temperaturniveauer til forskellige formål, kan spildvarme fra biogasanlæg også anvendes til tørring af flere materialer. De vigtigste for biogasanlæg er tørring af ferment, spildevandsslam, fast biomasse (træflis, savsmuld, stammer) og landbrugsprodukter. Tørringsprocessen af materialer bliver generelt påvirket af følgende egenskaber:

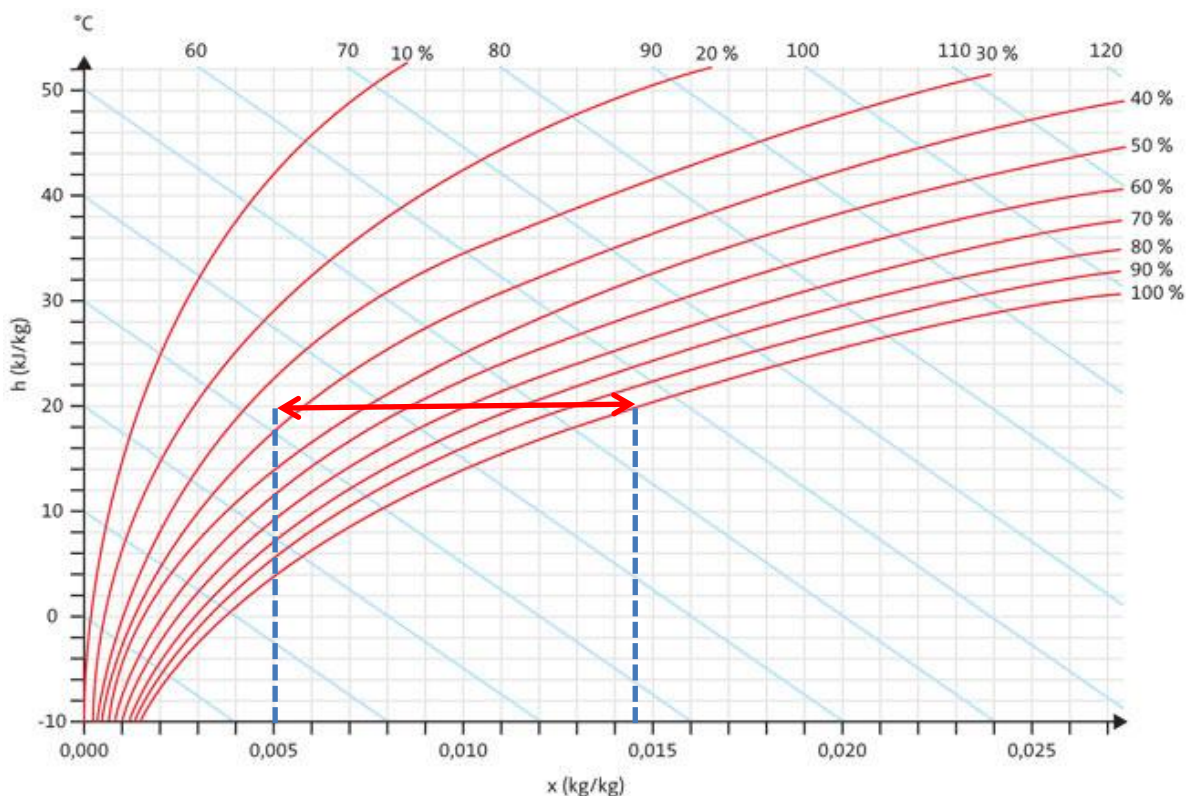
- Temperatur
- Varmemængde
- Luftfugtighed
- Materialets fugt- og vandindhold
- Procestid

- Ventilationshastighed
- Type og form af materiale

Den anvendte **temperatur** afhænger af det materiale, der skal tørres, og det formål, materialet skal bruges til. Træprodukter kan tørres ved højere temperaturer, mens fødevarer skal tørres ved lavere temperaturer og såsæd (der skal være i stand til at spire igen) ved laveste temperaturer.

Ud over temperaturen er **luftfugtigheden** også en vigtig faktor, der påvirker tørreprocessen. Ved stigende temperaturer kan det maksimale dampindhold i luften blive højere. Når den relative fugtighed er 100%, er luften mættet med vand. For at estimere og planlægge en tørringsproces, anvender man ofte HX diagrammer (Figur 24). De viser det absolutte vandindhold i fugtig luft ( $x$ ), relativ fugtighed (%), temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ), og enthalpi ( $h$ ). Med disse diagrammer kan den maksimale mængde vand, luften kan optage fra det tørrede materiale, estimeres. I eksemplet (tilpasset fra Kirchmeyr & Anzengruber 2008) i Figur 24 er det groft vist, hvor meget yderligere vand (damp) der kan optages, hvis temperaturen er  $20^{\circ}\text{C}$  og hvis den relative fugtighed af den tilførte luft er 10%. Det er omkring  $0,0094 \text{ kg vand pr. kg luft}$  ( $0,005 \text{ kg/kg}$  minus  $0,0144 \text{ kg/kg}$ ). For at få præcise tal skal der anvendes beregningsværktøjer.

Diagrammet viser desuden at luftfugtighedsniveauet i den tilførte luft bliver mindre vigtig og endda ubetydelig for tørreprocessen, jo højere temperaturniveauet er.



Figur 24: H-X diagram (ved 1.013 mbar) af Mollier (Kilde: tilpasset fra Grundfos 2012)



Tabel 5: Vandindhold i luft ved forskellige temperaturniveauer (Kirchmeyr & Anzengruber 2008)

Temperatur i °C	Maksimal vandlagring i luft ved 35% relativ fugtighed [g/kg]	Maksimal vandlagring i luft ved 100% relativ fugtighed [g/kg]	Yderligere vandoptag i luft [g/kg]
20	5,0	14,4	9,4
30	9,1	36,1	16,4
40	15,9	45,4	26,9
50	39,6	113,1	73,5

**Vandindholdet og fugtigheden** af biomassen (træ, urtelignende planter) er to vigtige faktorer, der karakteriserer det vand materialet indeholder. De kan beregnes med Ligning 8 til Ligning 12.

$$m_w = m_m - m_d \quad \text{Ligning 8}$$

$$w = \frac{m_w}{m_m} \times 100 \quad \text{Ligning 9}$$

$$u = \frac{m_w}{m_d} \times 100 \quad \text{Ligning 10}$$

$$u = \frac{w}{100 - w} \quad \text{Ligning 11}$$

$$Hu_w = \frac{[Hu_a \times (100 - w)] - (2,44 \times w)}{100} \quad \text{Ligning 12}$$

- $m_w$  Masse af vand i materialet [kg]
- $m_m$  Masse af fugtigt materiale [kg]
- $m_d$  Masse af tørt materiale [kg]
- $w$  Vandindhold [%]
- $u$  Materialets fugtighed [%]
- $Hu_w$  Energiværdi [MJ/kg] af materialet ved vandindhold  $w$
- $Hu_a$  Energiværdi [MJ/kg] af tørt materiale i vandfri tilstand
- 2,44 Fordampningsenergi [MJ/kg] af vand ved 25°C

Vandindholdet  $w$  og fugtigheden  $u$  er relateret til hinanden og kan let omdannes (Ligning 11). Altså er vandindholdet på 50% ækvivalent med fugtighed på 100%. Fugtigheden kan være over 100%. Det typiske vandindhold i frisk træ er omkring 45-60%.

En anden vigtig faktor i tørringsprocessen er den nødvendige **tid**, der skal bruges for at tørre materialet, samt det **sæsonmæssige tidspunkt** for det tørrede materiale. Det sæsonmæssige tidspunkt for visse materialer er vist i Tabel 6. Denne tabel indeholder også maksimale tørringstemperaturer.

Tabel 6: Tidspunkt og temperaturer for tørring af forskellige materialer

Materiale	Tørringssæson	Maksimalt tørrings-temperatur [°C]
Træflis og stammer fra skov skovbrug	Vinter	55-150
Træflis og stammer fra landskabspleje	Hele året	55-150
Træflis fra korttids rotations plantager	Vinter	55-150
Korn	Juli – August	30-65
Medicinske planter og krydderier	Juni – Oktober	25-50
Ferment og spildevandsslam	Hele året	55-95

Der findes mange forskellige **tørringsteknologier**. Teknologier egnet til de relativt lave temperaturer på spildvarme fra biogasanlæg omfatter charge tørrere, bånd-tørrere og feed-and-turn tørrere (Tabel 7).

Tabel 7: Tørringsteknologier og deres primære egenskaber

Tørre-type	Tørrings materialer	Karakteristika
<b>Charge tørrere</b>	Korn, majs, frø og andre bulk materialer	Varm luft passerer materialet i horisontale eller vertikale beholdere, enten i siloer, lastbiler eller containere. Det er en af de simpleste tørringsmetoder, da materialet faktisk ikke flyttes. Det er også meget billigt og anvendeligt for anlæg med mindre kapacitet: gårde med op til 100ha dyrkede kornmarker eller anlæg med varmetilgængelighed på op til 500 kW <sub>th</sub> .
<b>Bælte-tørrere</b>	Bulk varer, såsom ferment (adskilt), træflis, korn, majs, majsensilage	Varm luft tørrer materialet, som langsomt transporteres fremad på et bælte. Som følge af større investeringsomkostninger er denne metode generelt mest anvendelig for anlæg med en varmetilgængelighed på mere end 500 kW <sub>th</sub> .
<b>Feed-and-turn tørrere</b>	Olieplanter, urter, græs, piller, granulat, træflis, rester fra presning	Varm luft blæses gennem en dobbelt bund (net bund) og gennem produktet. Roterende enheder som f.eks. blade blandere og transport af produktet.
<b>Tromle tørrere</b>	Bulk materiale fra landbrug og landskabspleje	Materialet passerer gennem en horisontal tromle. Eftersom der kræves høje temperaturer (1.000°C) er den tørrer ikke en mulighed for biogasanlæg.

### 3.2.1 Ferment og spildevandsslam

Ferment er resterne fra den anaerobe nedbrydelse i rådnetankene og spildevandsslam kommer fra vandrensingsanlæg. Afhængigt af deres egenskaber og sammensætning, kan de anvendes uden yderligere behandling, f.eks. som gødning. Opbevaring, transport, håndtering og anvendelse af ferment medfører betydelige omkostninger, sammenlignet med dens gødningsværdi, dette skyldes det store volumen og det lave tørstofindhold.

Sådan omkostningerne for **ferment** stiger betydeligt i lande, der har områder med intensiv dyreproduktion, såsom Danmark, Tyskland, Italien og Frankrig, og hvor strenge nationale miljøregler begrænser mængden af næringsstoffer, der må anvendes pr. enhed landbrugsjord (Al Seadi et al. 2013). Disse regler gør det nødvendigt at transportere og omfordele næringsstofferne væk fra de intensivt anvendte landbrugsområder. For at reducere transportomkostningerne, kan fermentet behandles yderligere.

Det første trin i et behandlingssystem kan være faststof/væske-separation, hvor det flydende ferment adskilles i fast materiale med højt tørstofindhold og væske med lavt tørstofindhold. Denne adskillelse sker ofte mekanisk med f.eks. skruerpresse separatorer eller dekantercentrifuger. Den tørre fase af fermentet kan komposteres eller tørres yderligere.

Tørring af fermentet kan gøres med **sol-tørre** i drivhuse eller med spildvarme fra biogasanlæg. De to systemer kan også kombineres (hybrid tørring). I en **båndtørrer** (Figur 25) bliver fermentet kontinuerligt og jævnt transporteret gennem et indførseskammer og ind på et perforeret bånd. Båndet bærer produktet gennem tørringsområdet. I dette område strømmer varm luft eller udstødningsgas igennem eller hen over det våde ferment og tørrer det. Det tørrede materiale kan anvendes i til havearbejde og i gartnersektoren enten direkte eller i pelleteret form. Materialet kan også anvendes på planteskoler eller til særlige dyrkningssystemer, såsom til produktion af svampe. De lokale forhold og markeder påvirker salgbarheden af kompost eller tørret ferment. Kvalitetsstandarder og lovgivning om gødning og kompostprodukter skal naturligvis tages i betragtning. Især for affaldsbehandlings biogasanlæg kan koncentrationer af tungmetaller være en barriere for salg af ferment-produkter. Dette kan påvirke mulighederne, hvis produkterne enten skal bruges på marker til fødevarerproduktion eller til non-food produktionsområder, såsom haver, parker osv. Disse lokale rammebetingelser påvirker indtægterne for anlæggets operatør.

Yderligere behandling er ofte et obligatorisk krav for anvendelse af **spildevandsslam**, da flere (såsom de tyske) regler ikke tillader aflevering af spildevandsslam uden yderligere behandling på lossepladser. Derfor er enten direkte anvendelse som gødning (der også er reguleret på grund af forureninger) eller tørring med tilstødende forbrænding nødvendig. Tørringsmetoder er generelt de samme som for tørring af ferment. Tørret spildevandsslam kan forbrændes i forbrændingsanlæg.

Generelt er varmebehovet for tørring af fermentet eller spildevandsslammet kontinuert med små sæsonmæssige variationer på grund af lavere omgivelsestemperaturer. Hvis systemerne er store nok, kan materialet tørres af den tilgængelige varme. Denne metode er en effektiv måde at anvende store mængder af spildvarmen.

Anvendelsen af varme til tørring af ferment og tilstødende pelleteringen overvejes i øjeblikket til flere biogasanlægskoncepter. Ferment-piller kan bruges til el-produktion i større forbrændingsanlæg. Denne procedure er dog i modstrid med tanken om at lave lukkede næringsstofkredsløb, og med udskiftningen af kunstgødning med organisk gødning. Derfor kan forfatterne ikke anbefale denne fremgangsmåde.



Figur 25: Bæltetørrer til ferment-tørring foran et biogasanlæg (Kilde: STELA Laxhuber GmbH)

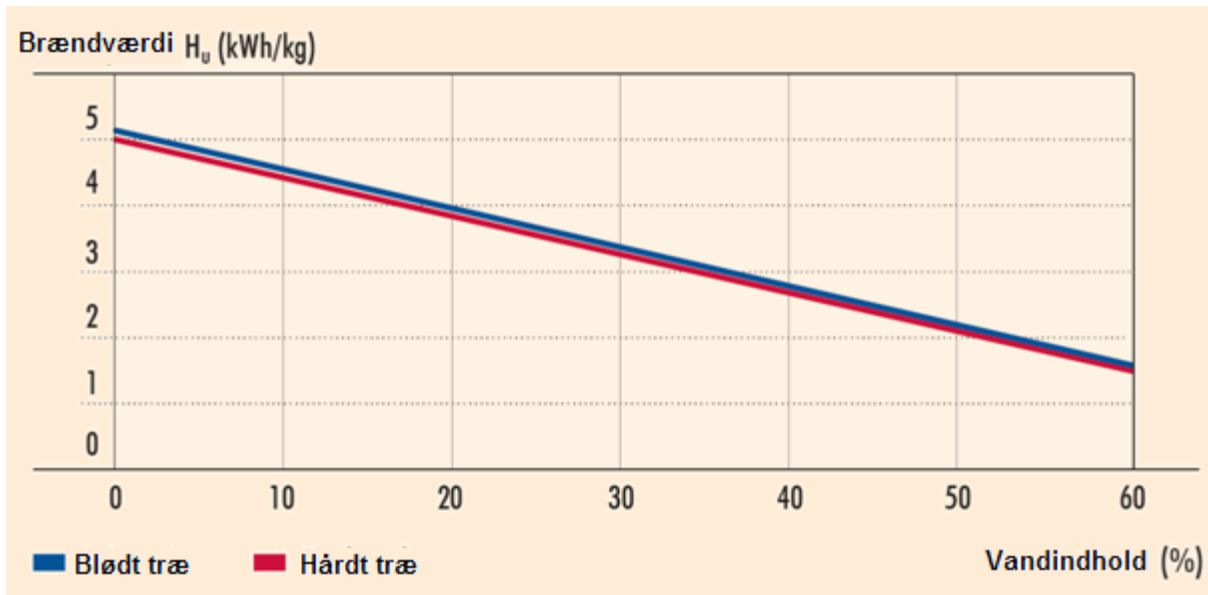
### 3.2.2 Stammer, træflis og -piller

Efterspørgslen efter fast biomasse og især efter træprodukter er steget støt på grund af dets øgede anvendelse til opvarmning. Nyskåret træ indeholder store mængder af vand; 50-65%. Dette vand er kemisk og fysisk bundet i træet.

Alt afhængig af den endelige anvendelse skal træ opfylde ofte visse minimumsstandarder for maksimalt vandindhold. Især til mindre forbrændingsenheder skal træet være rimelig tørt på grund af følgende årsager (Rutz et al. 2006; Hiegl et al. 2011):

- Jo højere vandindhold, jo mindre energieffektiv er forbrændingen, da en del af energien går "tabt" til fordampning. Den nedre brændværdi er højere, hvis træet er tørt.
- Lagerholdbarheden er bedre hvis vandindholdet i træet er under 25%, da levebetingelserne for mikroorganismer (svampe og bakterier) er sværere under tørre forhold.
- Væksten af mikroorganismer fører til tab af materiale, hvilket reducerer energiindholdet.
- Frigivne svampesporer (i træflis) kan medføre sundhedsmæssige risici.
- Yderligere forarbejdning af visse produkter kræver et minimalt fugtindhold. For eksempel har savsmuld fra frisk træ behov for tørring før den kan pelleteres.
- Der opnås logistiske fordele ved fjerntransport, da vægt og volumen reduceres.

Forholdet mellem brændværdien af træ og vandindholdet er vist i Figur 26. Jo højere vandindholdet er, jo lavere er brændværdien.



Figur 26: Brændværdi af træ relativt til vandindholdet (Kilde: FNR 2012)

Forskellige metoder kan anvendes på tørt træ. Den enkleste metode til tørring er at oplagre træet udenfor i 1-3 år afhængigt af tykkelsen og typen af træet. Men på grund af den stigende efterspørgsel på træ og nye produktionsmetoder (hurtigt voksende trælige afgrøder), er tid ved at blive en begrænsende faktor, og omkostninger til langtidslagre en vigtig faktor. Derfor bliver kunstig tørring endnu mere vigtig.

**Stammer** kan fås fra skovbrug, dedikerede træplantager eller fra landskabsplejende foranstaltninger. Vandindholdet i stammer skal reduceres til niveauer under 20%. Europæiske standarder klassificerer stammer i 4 fugt-kategorier (M20, M30, M40, M65), hvor tallene udtrykker den maksimale grænse for vandindhold. Kunstig tørring kræver, at energiomkostningerne er lave. Træ fra skovbrug og dedikerede plantager høstes normalt om vinteren, når vandindholdet i træet er naturligt reduceret, og når jorden er frosset for at modvirke strukturskader på jorden. Således er behovet for spildvarme til tørring af stammer generelt højere om vinteren. Om vinteren er spildvarmen fra biogasanlæg imidlertid generelt lavere. Derfor kan nyfældet træ som alternativ gemmes og tørres, når der er overskudsvarme til rådighed, hvilket ofte er om sommeren. Stammer fra landskabspleje høstes hele året. Således er der behov for en kontinuerlig tørring af træ fra landskabspleje. Træ der er fældet om sommeren er meget fugtig. Stammer tørres typisk i et tørrekammer (charge tørrer), hvor der blæses varm luft igennem.

**Træflis** kan fås fra de samme produktionssystemer som stammer, men kræver tungt maskineri og fremstilles således normalt kun i større skalaer end stammer. Vandindholdet af træflis bør reduceres til niveauer under 20%. Europæiske standarder klassificerer flis i 5 fugt-kategorier (M20, M30, M40, M55, M65). På grund af den lille partikelstørrelse er træflis følsom over for mikroorganismer, hvis vandindholdet er for højt. Øget mikroorganismeaktivitet fører til øgede temperaturer i materialet, som faktisk tidligere har medført selvantændelse på træflislagre. Træflis bliver typisk tørret i charge tørrere, kan der være containere (Figur 27, Figur 28) eller lagerfaciliteter, hvor igennem den varme luft blæses. Feed-and-turn tørreanlæg kan også anvendes.



**Figur 27: Container og opvarmningsrør til tørring af træflis på et biogasanlæg i München, Tyskland (Kilde: Rutz)**



**Figur 28: Container til tørring af træflis i München, Tyskland (Kilde: Rutz)**

**Piller** laves ved presning af savsmuld til små og standardiserede træpiller, som passer til brug i kedler, der spænder fra husholdningens størrelse til industriel størrelse. På grund af deres høje energitæthed og homogenitet, kan piller let handles og anvendes i automatiske fyringsanlæg. Savsmuldet skal tørres til vandindhold under 10%. Europæiske standarder klassificerer piller i 3 vandindholds-kategorier (W10, W20, W30). Spildvarmen fra biogasanlæg kan anvendes til at tørre savsmuld, idet varmebehovet er kontinuerligt gennem hele året.

### 3.2.3 Landbrugsprodukter

For at øge holdbarheden af mange landbrugsprodukter (korn, urter, krydderier, medicinske planter og hø) skal de tørres for at opfylde visse krav til vandindhold. Vandindholdet i disse produkter påvirkes af årstiden, hvor det høstes, og vejret under høsten, såvel som af almindelige klimaforhold og formålet med produktet. I flere tilfælde er kunstig tørring efter høsten nødvendig og dermed skabes der muligheder for anvendelse af varme fra biogasanlæg. Varmebehovet til tørring af disse produkter er sæsonbetonet og det er primært om sommeren. Om sommeren er der ofte et varmeoverskud fra biogasanlæg, som ideelt kunne anvendes til disse tørringsprocesser.

Blandt de hyppigste anvendelser af tørring i landbruget er tørring af korn, især i sæsoner med længere regnperioder. Det maksimale vandindhold for god kornopbevaring er 14,5%. På grund af begrænsninger i tørreanlæg bliver korn ofte opbevaret ved 7°C indtil de er tørret. For at lette formalingen øges fugtigheden sædvanligvis til ca. 16-17% efter opbevaring. For at fastholde næringsstoffer eller spireevne af frøene bør tørretemperaturerne ikke være højere end vist i Tabel 8. De maksimale tørretemperaturer falder ved øget fugtighed. Tørringsteknologier for korn omfatter normalt portionstørring og gennemløbstørring

Tabel 8: Maksimale temperaturer (i °C) ved tørring af korn (Strehler 1993 in Karalus 2007)

Fugt [%]	Hvede [°C]	Rug, havre, byg [°C]	Såsåed, maltbyg [°C]
16	55	65	49
18	49	59	43
20	43	53	38
22	37	47	34
24	35	40	30

Medicinske planter, urter, og krydderplanter er endnu mere følsomme over for temperaturer end korn, og tørres normalt i en bæltetørrer. Disse produkter tørres normalt til under 9% fugt. Eksempler på disse planter er pebermynte, kamille, dild, persille og purløg.

### 3.3 Køling

Spildvarme fra biogasanlæg kan også bruges til at skabe kølekapacitet. Der findes to hovedprincipper for køleanordninger, nemlig absorption og damp-kompressions kølere.

#### 3.3.1 Overblik over kølere

**Damp-kompressions kølelegemer** er de mest udbredte systemer til aircondition samt til nedkøling i private og kommercielle køleskabe. Kernen i dette system er en kompressor, der drives med elektricitet.

I modsætning til drift hovedsagelig med el i damp-kompression kølere, bruger **absorptionskøleanlæg** hovedsagelig en varmekilde som vigtigste energikilde til køleprocessen. Absorptionskøleanlæg er et alternativ til almindelige kompressor-kølere, hvor elektricitet er upålidelig, dyr eller utilgængelig, hvor støj fra kompressoren er problematisk, eller hvor overskudsvarme er tilgængelig som det er tilfældet med biogasanlæg. Generelt er absorptionskøleanlæg karakteriseret ved følgende væsentlige fordele sammenlignet med damp-kompressionskølere (Skagestad & Mildenstein n.d.):

- Lavere elektriske krav for at drive køleren
- Lavere lyd- og vibrationsniveauer under drift
- Evne til at udnytte varme-genvinding og omdanne det til køleenergi
- Kølemiddel-løsninger udgør typisk ikke en trussel for ozonnedbrydning i atmosfæren

Både absorption- og kompressor-køleanlæg bruger en kølevæske, sædvanligvis med et meget lavt kogepunkt (ofte mindre end -18°C). I begge typer udvindes varme fra et system og den kølende effekt skabes, når kølevæsken fordamper. Den væsentligste forskel mellem de to systemer, er den måde kølemidlet ændres fra gasfase og tilbage til væskefase, således at cyklussen kan gentages. Kompressionskølere ændrer gas tilbage til væske ved at øge trykniveauet gennem en (elektrisk drevet) kompressor. En absorptionskøler ændrer gassen tilbage til væske ved absorption af kølemidlet i en anden væske og tilstedende adsorption med varme. Den anden forskel på de to typer er det anvendte kølemiddel. Kompressionskølere bruger typisk hydrochlorofluorocarboner (HCFC) eller hydrofluorocarboner (HFC'er), mens absorptionskøleanlæg typisk bruger ammoniak eller lithiumbromid (LiBr).

Generelt kategoriseres absorptionskøleanlæg som direkte eller indirekte fyrede, og som single, dobbelt eller tredobbelt effekt. For at bruge overskudsvarme fra biogasanlæg er det kun indirekte fyrede kølere der er relevante, selvom også direkte fyrede kølere rent teoretisk kunne bruges ved direkte forbrænding af biogas. Absorption- og kompressions-køleanlæg kan også kombineres (kaskade eller hybrid køling).

Opdelingen i single-effekt, dobbelt-effekt og triple-effekt absorptionskøleanlæg er baseret på antallet af varmekilder (niveauer). **Single-effekt absorptionskøleanlæg** har kun et varmeniveau for kølemidlet (svag opløsning). **Dobbelt-effekt absorptionskøleanlæg** har to faser af damp-generering til at adskille kølemidlet fra absorbenten. Derfor har dobbelt-effekt køleaggregater to kondensatorer og to generatorer. Varmeoverføringen sker ved en højere temperaturer i forhold til single-effekt cyklussen. Dobbelt-effekt køleanlæg er mere effektive, men også dyrere (New Buildings Institute 1998). **Triple-effekt absorptionskøleanlæg** er endnu mere avancerede end dobbelt-effekt køleanlæg. Triple-effekt absorptionskøleanlæg er under udvikling, som det næste skridt i udviklingen af absorptionsteknologier (New Buildings Institute 1998).

Anvendelsen af absorptionskøleanlæg afhænger af spildvarmens temperatur, det anvendte kølemiddel og transportmedium, samt af den ønskede køletemperatur. LiBr/H<sub>2</sub>O absorptionskøleanlæg er i stand til at køle ned til 6°C og NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O absorptionskøleanlæg fra 0°C ned til -60°C.

For at kunne sammenligne kølere anvendes den **energieffektive ratio** (EER), der er lig koefficienten for ydeevne (COP) for varmepumper. Det er forholdet mellem kølekapaciteten ( $\dot{Q}_C$ ) og varmetilførsels kapaciteten ( $\dot{Q}_H$ ). Derved er at kapaciteten af pumpen (PP) ubetydelig. EER af det faktiske absorptionskøleanlæg er normalt mindre end 1. Typiske EER for kommercielt tilgængelige køleanlæg spænder fra 0,65 til 0,8 for single-effekt enheder og fra 0,9 til 1,2 for dobbelt-effekt enheder (Skagestad & Mildenstein n.d.).

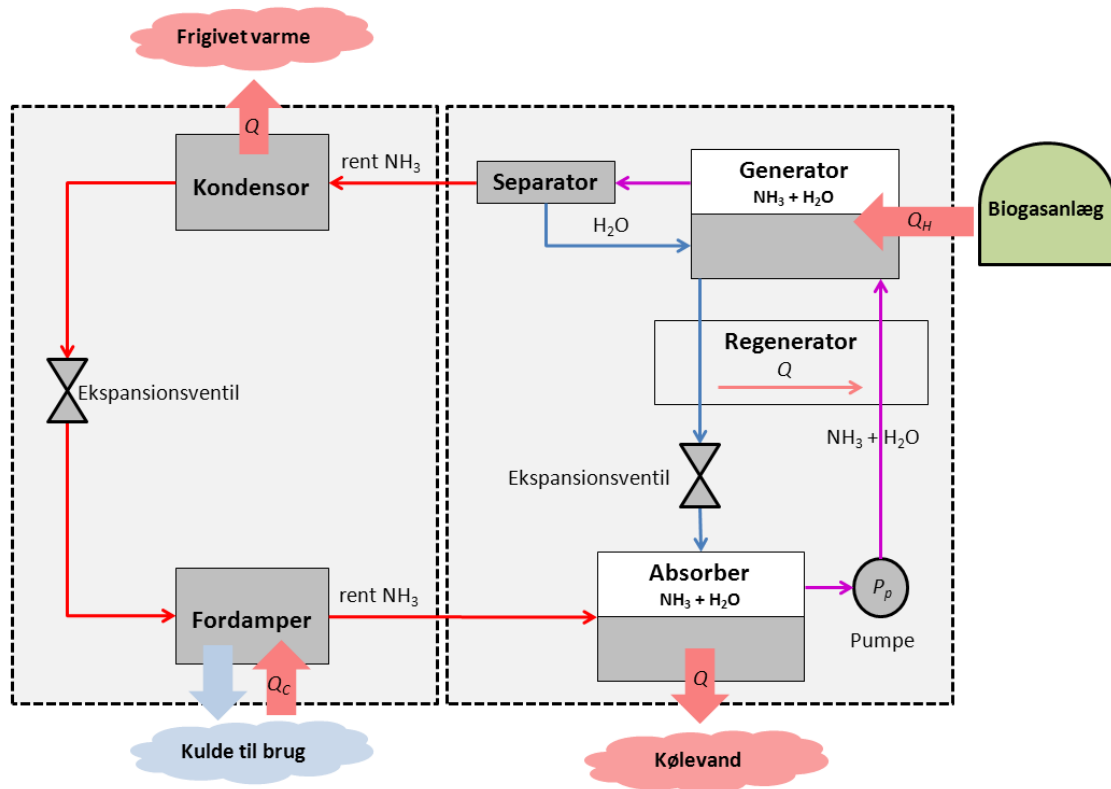
$$EER = \frac{\text{Kølekapacitet}}{\text{Input kapacitet}} = \frac{\dot{Q}_C}{\dot{Q}_H - P_P} \approx \frac{\dot{Q}_C}{\dot{Q}_H} \quad \text{Ligning 13}$$

EER	Energieffektivitets ratio
$\dot{Q}_C$	Kølekapacitet [kW]
$\dot{Q}_H$	Varme-input kapacitet [kW]
$P_P$	Kapacitet af pumpen [kW]

Den generelle proces for en typisk **ammoniak-vand absorptionskøler** er vist i Figur 29. I denne proces anvendes ammoniak (NH<sub>3</sub>) som kølemiddel og vand (H<sub>2</sub>O) som transportmedium (absorberende). I **fordamperen** er det kølemidlet, ren ammoniak i flydende tilstand, der giver den kølende virkning. Det absorberer varme fra objektet, der skal afkøles, og bliver fordampet. Herfra pumpes ammoniakdampe til absorbereren. I **absorbereren** er der allerede en svag opløsning af ammoniak-vand til stede. Vandet, der anvendes som transportmedie i opløsningen, er umættet, og det har kapacitet til at absorbere mere ammoniakgas. Idet ammoniak fra fordamperen kommer ind i absorbereren, absorberes det let af vand, og den stærke opløsning af ammoniak-vand dannes. Under processen med absorption frigøres varme, som kan reducere ammoniaks absorptionskapacitet af vand; og derved afkøles absorbereren af kølevandet. På grund af absorption af ammoniak dannes en stærk opløsning af ammoniak-vand i absorbereren. Denne opløsning pumpes af **pumpen** ved højt tryk til **generatoren**, hvor det opvarmes vha. spildvarme fra **biogasanlægget** mens ammoniak fordampes. Ammoniakdamp forlader generatoren, men nogle vandpartikler kan også blive revet med ammoniak-kølemiddelet på grund af den stærke affinitet for vand til ammoniak. Derfor passerer det gennem **separatoren**, svarende til en destillationskolonne.



Vand løber tilbage gennem regeneratoren og ekspansionsventilen til generatoren. Den svage ammoniak/vandopløsning løber tilbage fra generatoren til absorberen. Ren ammoniakdamp kommer ind i kondensatoren ved højere tryk, hvor det afkøles af vand. Det ændrer fase til flydende form og passerer derefter gennem ekspansionsventilen, hvor dens temperatur og tryk falder pludseligt. Endelig kommer ammoniak ind i fordamperen igen, hvor det giver køleeffekten. Derved er cyklussen fuldendt.



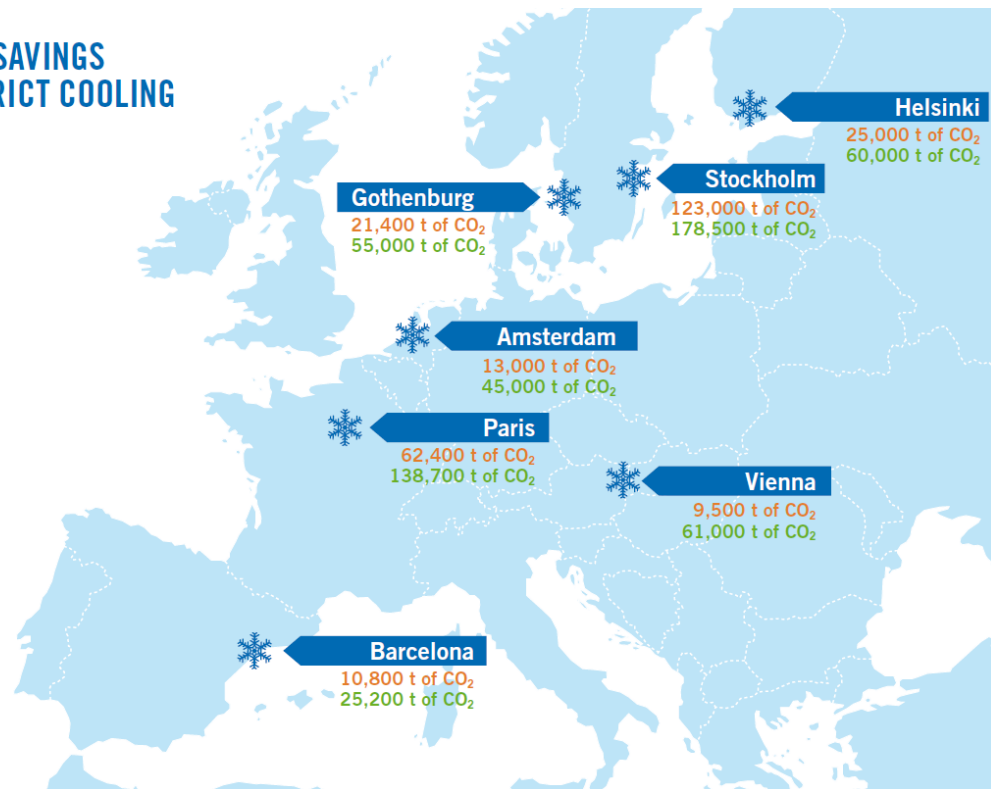
Figur 29: Et typisk ammoniak-vand absorptions køleskabs processer

### 3.3.2 Fjernkøling

Fjernkøling minder om fjernvarme, men fordeler bare afkølet vand i stedet for varme. Selv om behovet for afkøling stiger støt, på grund af højere komfortstandarder og højere temperaturer i forbindelse med klimaændringer, anvendes fjernkøling ikke i så stort omfang som fjernvarme. Flere europæiske byer har indført fjernkølesystemer for at mindske drivhusgasemissionerne (Figur 30).

## ANNUAL CO<sub>2</sub> SAVINGS DUE TO DISTRICT COOLING

– in 2010  
– in 2020



Figur 30: Årlige CO<sub>2</sub> besparelser i udvalgte europæiske byer som følge af fjernkøling (Kilde: Euroheat & Power)

Kilden til nedkøling kan komme fra absorptionskøleanlæg, damp-kompressionskølere og andre kilder såsom omgivelsernes afkøling eller fra dybe søer, floder, grundvandsmagasiner og oceaner. Forskellige kølesystemer kan også kombineres. En generel fordel ved at bruge overskudsvarme fra biogasanlæg til drift af absorptionskøleanlæg er de høje sæsonudsving i varme om sommeren, kombineret med det store behov for køling om sommeren. Afhængig af kontrakter med forbrugerne kan afkølet vand stilles til rådighed i både grund- og spidsbelastningsperioder. På grund af de højere investeringsomkostninger på absorptionskøleanlæg kan yderligere damp-kompressionsanlæg bruges ved spidsbelastning for at sikre maksimal forsyning.

Udformningen af fjernkølingsanlæg styres af følgende centrale faktorer:

- Forskellen i temperatur mellem forsynings- og returløb
- Flow hastighed
- Netværkets tryk og trykforskel mellem forsynings- og returløb

En vellykket implementering af fjernvarme- og kølesystemer er i vid udstrækning afhængig af systemets evne til at opnå høje **temperaturforskelle** ( $\Delta T$ ) mellem forsynings og returvand (Skagestad & Mildenstein n.d.).  $\Delta T$ 'en er typisk begrænset til 8-11°C. Systemerne justerer normalt temperaturen af den afkølede vandforsyning ud fra den udendørs omgivelsestemperatur. Fjernkølingssystemer kan opdeles i tre undergrupper baseret på forsynings temperaturer (ibid.):

- Konventionelle temperaturer for afkølet vand: 4°C til 7°C
- Isvandssystemer: +1°C
- Sjapis systemer: -1°C

På grund af små temperaturgradienter mellem røret og den omgivende jord, er det ikke nødvendigt at isolere rørene. Distributionsnettets underjordiske kølerør er normalt begravet i

dybder på omkring 60 cm. I meget varme klimaer og ved overjordiske rør er der behov for isolering.

Den maksimalt tilladte **strømningshastighed** er afhængig af begrænsninger i trykfald og kritiske systemforstyrrelser forårsaget af transiente fænomener. Generelt bør hastigheder højere end 2,5 - 3,0 m/s undgås, medmindre systemet er specielt konstrueret og beskyttet for at muliggøre højere strømnings-hastigheder (ibid.).

### 3.3.3 Anvendelse af køling

Til etablering af større fjernkølingssystemer er spildvarmen fra biogasanlæg normalt for lille. Men afkølet vand fra biogas spildvarme kan integreres i eksisterende fjernkølingssystemer.

Dedikerede fjernkølingssystemer (mikro-fjern-kølingssystemer) kan være sat op i en meget mindre skala for at bruge overskudsvarme fra biogasanlæg, der kun forbinder én eller få forbrugere. Derved er fordelene, at den største mængde spildvarme fra biogasanlæg er tilgængelig om sommeren, når der også er et stort behov for køling. Men køling med spildvarme fra biogasanlæg er stadig en niche applikation og ikke bredt implementeret. Eksempler på afkøling med spildvarme fra biogas omfatter:

- Akklimatisering af offentlige og private **bygninger**
- Akklimatisering af lagerbygninger til **fødevarer**: korn, grøntsager, frugt, kød
- Akklimatisering af **stalde**: svineavl
- Akklimatisering af **server-rum** til databehandling
- **Fiskeindustri**: køling af lagerhaller og forarbejdning af is
- **Mælkeindustri**: køling af mælk på bedriften, køling under industriel forarbejdning af mælk og mejeriprodukter
- **Lille industri**: proceskøling af værktøjer til polymer-behandling

En særlig anvendelse af køling er til fremstilling af is. Derved kan opbevaring af is midlertidigt afbalancere varmeproduktion og -behov. Endvidere kan isen, ligesom ved varmetransport i containere, også nemt transporteres til forbrugerne, hvorved kravet om rør i kølesystemer reduceres. Dette er dog ikke ret almindeligt for spildvarme koncepterne i biogasanlæg.

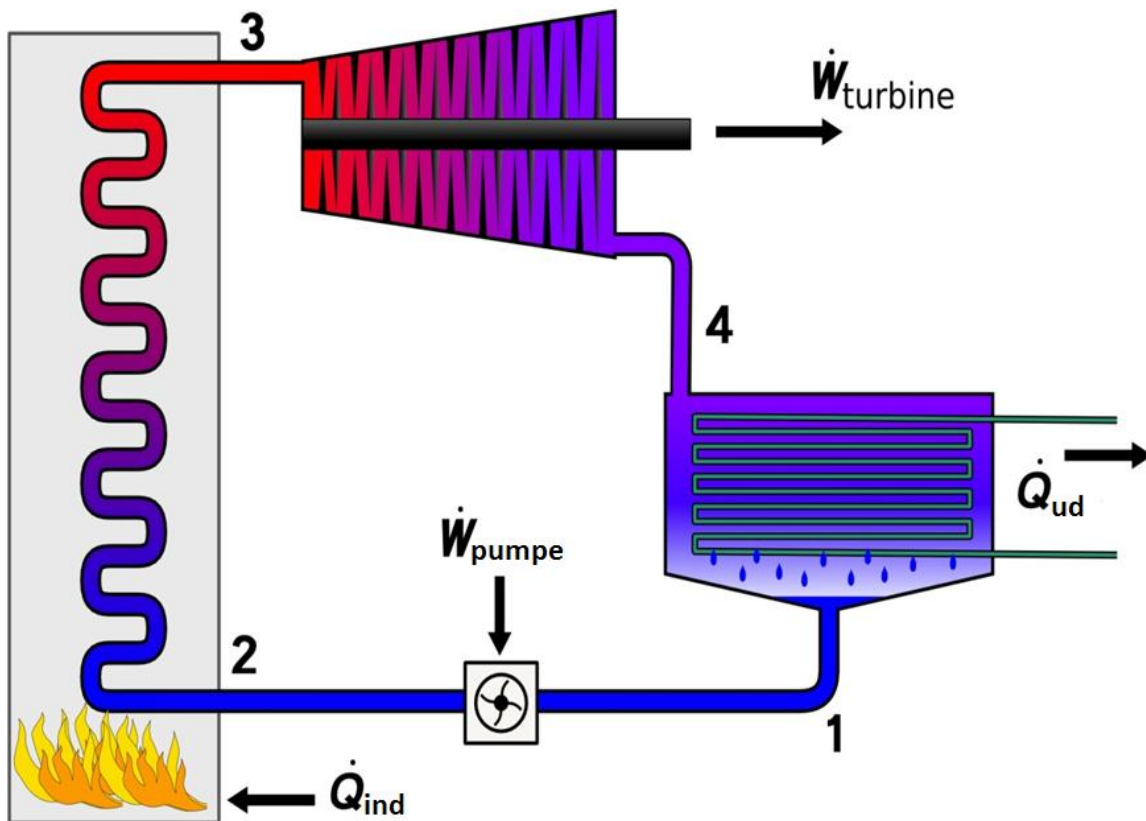
## 3.4 Yderligere el-produktion

Som det allerede er blevet beskrevet i de foregående kapitler, er elektricitet en type energi med meget høj kvalitet, da det let kan omdannes til andre energiformer. Spildvarme fra biogasanlæg med temperaturer fra 80°C til 550°C er meget mindre værdifulde, da det er meget vanskeligere at konvertere den til andre energiformer. Der findes dog tekniske løsninger til at konvertere spildvarme til ekstra el i termodynamiske cyklusser og derved at få indtægter fra høje elpriser.

Generelt består en **termodynamisk cyklus** af en række af termodynamiske processer, der overfører varme og arbejde, mens tryk, temperatur og andre tilstandsvariable varieres. To primære klasser af termodynamiske cyklusser er kraft-cyklusser og varmepumpe-cyklusser. Kraft-cyklusser er cyklusser som omdanner et varme-input til et mekanisk-arbejde-output, mens varmepumpe-cyklusser overfører varme fra lav til høj temperatur ved hjælp af mekanisk-arbejde-input. I de følgende kapitler beskrives nogle kraft-cyklusser, der kan bruges til spildvarme fra biogasanlæg.

### 3.4.1 CRC systemer

Varme kan omdannes til mekanisk energi og efterfølgende til elektricitet ved Rankin cyklusser (også kaldet Clausius Rankin Cyklusser, CRC). I en lukket sløjfe bliver vand normalt opvarmet, inddampet og ledt gennem en turbine, der driver en generator for fremstilling af elektricitet. Denne cyklus bruges i de fleste traditionelle og nye kraftværker, herunder i solvarme, biomasse, kul og atomkraftværker.



Figur 31: Rankin Cyklus udformning (Kilde: Engelsk Wikipedia bruger: Andrew.Ainsworth)

Der er fire stadier i en Rankin cyklus, de er vist med tal i Figur 31:

- 1-2: Den arbejdende væske pumpes fra lavt til højere tryk. Da væsken er flydende på dette tidspunkt kræver pumpen lidt tilført energi.
- 2-3: Væsken kommer under højt tryk ind i en kedel, hvor den ved konstant tryk opvarmes af spildvarme fra biogasanlægget for at blive en tør og mættet damp.
- 3-4: Den tørre mættede damp udvider sig gennem en turbine, der genererer strøm. Dette reducerer temperaturen og trykket af dampen, og en vis kondensering kan forekomme.
- 4-1: Den våde damp kommer derefter ind i en kondensator, hvor den kondenserer ved konstant temperatur og bliver til en mættet væske.
- Cyklussen er afsluttet og starter igen med fase 1-2.

Effektiviteten af processen beregnes med Ligning 14.

$$\eta_{term} = \frac{P_{turbine} - P_{pumpe}}{\dot{Q}_{ind}} \approx \frac{P_{turbine}}{\dot{Q}_{ind}}$$

Ligning 14

$\eta_{term}$	Termodynamisk effektivitet af processen
$\dot{Q}_{ind}$	Varmens strømnings hastighed til eller fra systemet
P	Mekanisk effekt forbrugt eller tilført systemet

### 3.4.2 ORC systemer

Som en særlig form for Rankin-cyklus, anvender Organiske Rankin Cyklusser (ORC) (Figur 32, Figur 33) en organisk væske i stedet for vand og damp (Figur 34). Dette gør det muligt at anvende varmekilder med lavere temperatur, såsom spildvarme fra biogasanlæg med temperaturer på 70-90°C. Dette skyldes de organiske væskers lavere kogepunkt i forhold til vands kogepunkt på 100°C. Bortset fra denne forskel er arbejdsprincippet for ORC det samme som for en Rankin-cyklus. Den arbejdende væske pumpes til en kedel, hvor det fordampes, ledes gennem en turbine og endelig igen kondenseres.

Valget af den arbejdende væske er af afgørende betydning i lav-temperatur Rankin Cyklusser. Altså er varmeoverførselens effektivitet en vigtig parameter. Det påvirker væskens termodynamiske karakteristika og dermed driftsbetingelserne. Kølemidler og kulbrinter er to almindeligt anvendte væsker. Nogle væsker er præsenteret i Tabel 9 og af disse væsker kan nogle blandes for at øge effektiviteten. Væskerne er endvidere kendetegnet ved de følgende parametre:

- Isentropisk mætnings dampkurve
- Fryse- og kogepunkt
- Maksimal tolerant temperatur
- Latent varme og densitet
- Ozon-nedbrydningspotentialet (ODP) og global opvarmning (GWP)
- Korrosionspotentiale, brandfarlighed og giftighed
- Tilgængelighed og pris

Det anslås at der ud fra spildvarmen fra et kraftvarmeværk på 1 MW<sub>el</sub> kan fremstilles cirka 7-10% ekstra strøm (70-100 kW<sub>el</sub>) (FNR 2010). Den samlede elektriske effektivitet af et biogasanlæg kan derved stige til omkring 45%. Yderligere kan spildvarmen fra ORC-processen teoretisk anvendes til opvarmning, men det bliver ofte bare frigivet til atmosfæren.

Figur 35 viser et eksempel på et ORC-modul til et biogasanlæg. I dette eksempel kan en enhed generere op til 125 kW elektricitet ud fra en varmekilde på omkring 980 kW<sub>th</sub>. Det laveste varmeniveau er 121°C, hvor størstedelen stammer fra varmegenvinding fra udstødningsgasserne og en mindre del stammer fra forvarmning af væsken fra motorens kølecyklus.

Tabel 9: Karakteristika for udvalgte væsker til termodynamiske processer

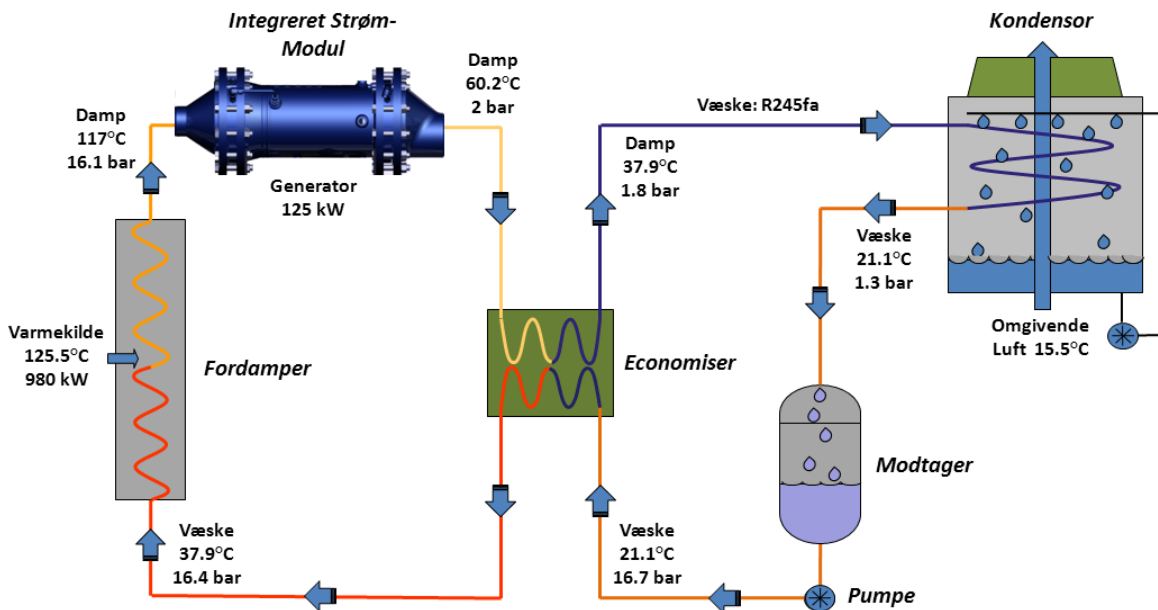
Væske	Kritisk punkt [°C]	Kritisk punkt [MPa]	Kogepunkts temperatur [°C] (ved 1atm)	Nedbrydnings temperatur [°C]
Vand	374,00	22,06	100,00	-
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	132,30	11,33	-33,30	477,00
n-Butan C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	152,20	3,80	-0,40	-
n-Pentan C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	196,80	3,37	36,20	-
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	289,20	4,90	80,00	327,00
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	5.645,00	4,10	110,60	-
R134a (HFC-134a)	101,20	4,06	-25,00	177,00
C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	343,20	3,50	138,00	-
R12	112,00	4,13	-29,80	177,00
HFC-245fa	157,70	3,64	15,40	247,00
HFC-245ca	178,60	3,86	25,20	
R11 (CFC-11)	198,00	4,41	23,20	147,00
HFE-245fa	171,00	3,73	-273,00	-
HFC-236fa	130,80	3,18	-1,00	-
R123	183,90	3,70	28,00	-
CFC-114	145,90	3,26	3,70	-
R113	214,30	3,41	47,40	177,00
n-Perfluoro-Pentan C <sub>5</sub> F <sub>12</sub>	147,60	2,05	29,40	-



Figur 32: ORC system (bruger R245fa) på et biogasanlæg i Dublovice, Tjekkiet (Kilde: GE Energy)



Figur 33: ORC system (bruger R245fa) (forreste container) og biogas motorer (bagerste container) på en losseplads i Warrington, U.K. (Kilde: Verdesis Services UK Limited)



Figur 34: Skema over en 125 kW "Clean Cycle" ORC Modul fra GE Energy (tilpasset fra GE Energy)



Figur 35: “Clean Cycle” ORC Modul fra GE Energy (Kilde: GE Energy)

### 3.4.3 Kalina cyklus

Som et alternativ til ORC-processer kan en Kalina proces også bruges til at producere elektricitet ud fra spildvarme fra biogasanlæg. Eksempler på Kalina cyklusser til biogasanlæg er dog meget sjældne.

I modsætning til ORC-processen anvendes her en flydende blanding af ammoniak og vand. Da ammoniak og vand har forskellige kogepunkter, sker fordampningsprocessen over en række af temperaturer ligesom destillationsprocesser. Derved kan mere varme blive udtrukket fra kilden end hvis der kun er en arbejdende væske. Ved passende valg af forholdet mellem bestanddelene i opløsningen, kan kogepunktet for den arbejdende opløsning justeres efter varmetilførselens temperatur. Vand og ammoniak er den mest anvendte kombination, men andre kombinationer er også mulige.

Sammenlignet med ORC-processen kan følgende fordele ved Kalina processen nævnes:

- Ammoniak og vand er billigere væsker end organiske væsker til ORC-processer.
- Tilpasning til forskellige temperaturniveauer er mulig.
- Energieffektiviteten er højere end for ORC-enheder.

Sammenlignet med ORC-processen kan følgende ulemper ved Kalina processen nævnes:

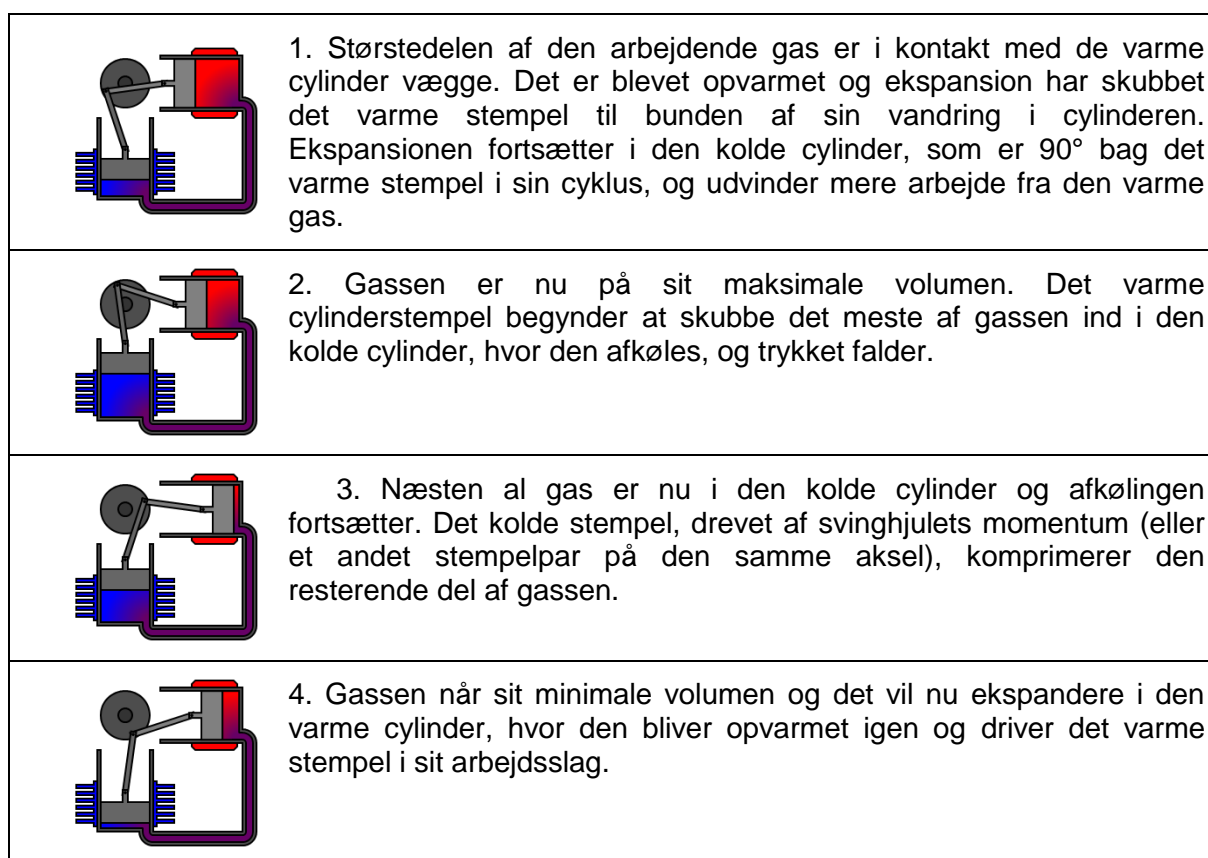
- Erfaring med små Kalina cyklus moduler på biogasanlæg er meget begrænset.
- Ammoniak har et højt korrosionspotentiale, der medfører mere slitage og kræver specialudstyr.
- De samlede investeringsomkostninger er højere end for ORC enheder.
- Ammoniak er giftige og lugtende, og udslip til omgivelserne skal undgås.
- Ammoniak er brandfarlig og eksplosiv.



### 3.4.4 Stirling motor

En Stirling motor fungerer ved cyklisk kompression og ekspansion af luft eller anden gas ved forskellige temperaturniveauer ved hjælp af en ekstern varmekilde, såsom spildvarme fra biogasanlæg. I Stirling-motoren omdannes varmeenergi til mekanisk arbejde, mens en generator kan drives til frembringelse af yderligere elektricitet. Det grundlæggende princip i motoren er en cyklus, hvor kølig gas komprimeres, opvarmes, udvides, og til sidst afkøles før cyklussen gentages. Altså er systemet lukket, og ingen gas tilsættes eller frigives fra motoren, og det er derfor også klassificeret som en ekstern forbrændingsmotor. Varmen overføres gennem en varmeveksler på den motor, der opvarmer gassen i motoren.

Der findes forskellige typer af Stirling-motorer, såsom en to stempel alfa type og en forskydnings type, kendt som beta- og gamma-typer. For at forstå princippet bag en Stirling motor viser Figur 36 de 4 faser i en a-type motor. En alfa Stirling indeholder to kraft-stempler i separate cylindre, en varm og en kold. Den varme cylinder findes inden i varmeveksleren med høj temperatur og den kolde cylinder findes inden i varmeveksleren med lav temperatur. Denne type motor har et højt effekt/volumen-forhold, men har tekniske problemer på grund af den normalt høje temperatur på det varme stempel og holdbarheden af dens forseglinger. I praksis bærer dette stempel normalt et stort isolerende hovedet for at bevæge pakninger væk fra den varme zone på bekostning af yderligere "dead space" (Wikipedia)



Figur 36: Grundlæggende principper for en alfa Stirling motor (Kilde: Wheeler R. (Zephyris) på Wikipedia 2007)

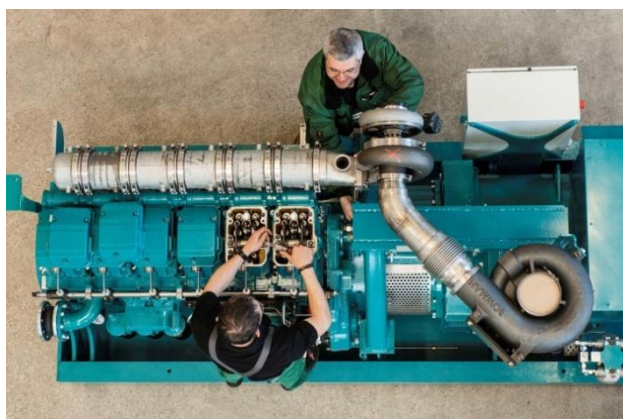
Generelt har Stirling-motorer en meget lavere effektivitet end forbrændingsmotorer og bliver derfor kun anvendt i niche-applikationer. Anvendelsen af spildvarme fra biogasanlæg er meget begrænset på grund af de lave spildvarme temperaturer. Motoren fungerer nemlig bedre ved høje temperaturer (over 900°C).

I øjeblikket er Stirling-motorer kun kommercielt tilgængelige med små kapaciteter på omkring 40 kW<sub>el</sub>. Derudover er investeringsomkostningerne stadig meget høje. Yderligere udfordringer omfatter korrosion og fouling ved varmeveksleren, da udstødningsgassen indeholder svovldioxid (SO<sub>2</sub>).

### 3.4.5 Udstødnings gas turbine (Turbolader)

En anden mulighed for at øge den samlede elektriske effekt af et biogasanlæg er at inkludere en turbolader i udstødningsgasstrømmen efter gasmotoren. Udfordringen er at undgå korrosion af turbinen, da udstødningsgassen har ætsende egenskaber. Indtil videre tilbyder kun få producenter systemer med udstødningsgas turbiner.

Figur 9 viser en dobbelt-brændstof motor med en integreret turbolader. En højt-ydende gasturbine er integreret i udstødningsgas-systemet SCHNELL dobbelt-brændstof kraftvarmeværk. Eksisterende termisk energi omdannes til elektrisk energi ved hjælp af denne turbine og den koblede, hurtigt-drejende turbo-generator. Ved brug af en inverter kan 30 kW ekstra strøm opnås. Ifølge SCHNELL er resultatet en 20% øget energieffektivitet sammenlignet med konventionelle kraftvarmeværker med Gas-Otto-motorer.



**Figur 37: Dobbeltbrændstof motor (Gas-Pilot Injection motor) med kapacitet på 235 kW<sub>el</sub> med en integreret udstødningsgas turbine med en kapacitet på 30 kW<sub>el</sub> (Kilde: Schnell Motoren AG)**



**Figur 38: Udstødningsgas turbine med en kapacitet på 30 kW<sub>el</sub> (Kilde: Schnell Motoren AG)**

## 4 Innovative koncepter til effektiv biogas omdannelse

Som allerede vist i de foregående kapitler, finders der mange forskellige muligheder for anvendelse af biogas. Den mest almindelige anvendelse i dag er forbrændingen af biogas i kraftvarmeværker til el- og varmeproduktion. Dette foregår normalt på selve biogasanlægget.

Men i et omskifteligt energiforsyningssystem, der bevæger sig fra fossile brændstoffer til en større integration af vedvarende energi, er nye koncepter for anvendelse af biogas til forskellige formål ved at blive undersøgt, indført og anvendt. Selv om disse koncepter ikke er direkte omfattet af håndbogen, som jo fokuserer på anvendelse af spildvarme fra biogasanlæg, er de kort beskrevet for at vise hele spektret af biogassens anvendelsesmuligheder. Afhængigt af de fremtidige energisystemer kan biogasanlæg få en ny og endnu vigtigere rolle. Derved kan brugen af biogas i konventionelle kraftvarmeværker for maksimal el-produktion falde, mens brugen af nye biogas koncepter kan få større betydning.

### 4.1 Biogas rørledninger og satellit kraftvarmeværker

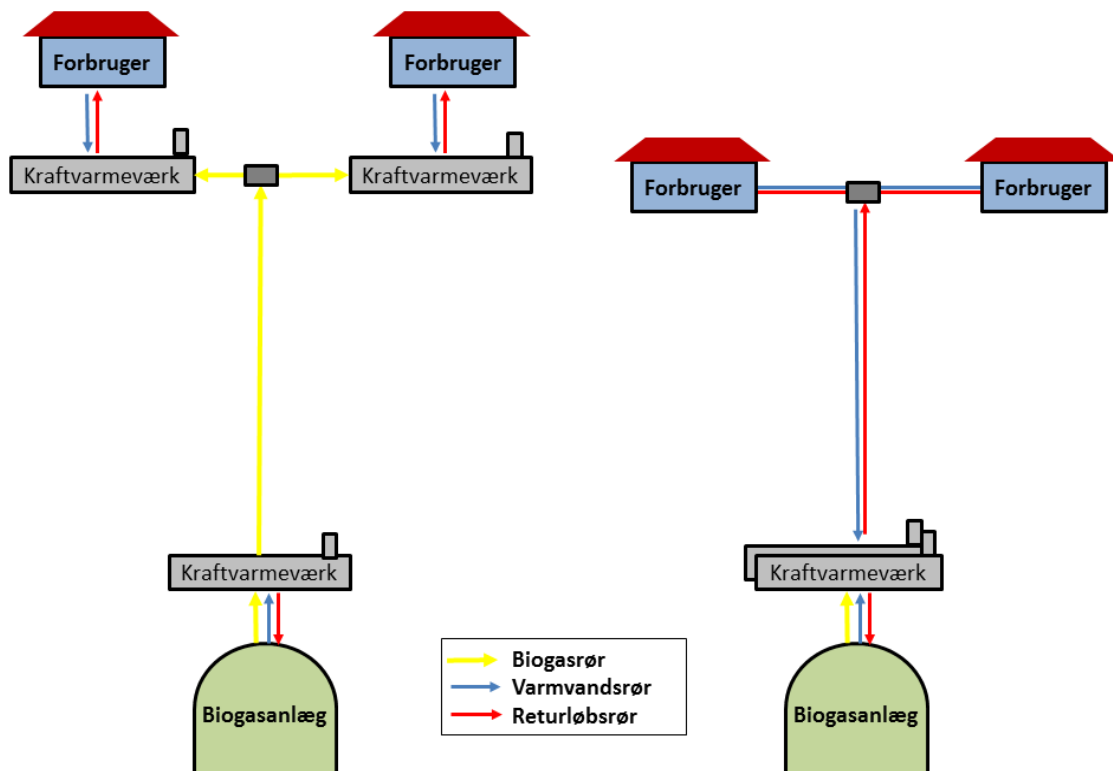
En metode, der effektivt udnytter energiindholdet af biogas, er at transportere biogas via gasrørledninger (biogas mikro-net) til såkaldte **satellit kraftvarmeværker**, som er placeret tæt på varmekonsumenterne (Figur 40, Figur 39). Et stigende antal projekter opfører sådanne systemer med ét eller flere kraftvarmeværker. Disse projekter implementeres normalt på biogasanlæg, som ikke har en større mængde varmekonsumenter i nærheden af anlægget. For fuldt udbytte af varmen, bliver biogassen transporteret via dedikerede biogas rørledninger til forbrugerne. Det er et godt alternativ til etableringen af små fjernvarmesystemer, hvor rørledningerne transporterer det opvarmede vand til forbrugerne.

I Tabel 10 er der foretaget en generel sammenligning af biogas- og varme-rørledninger. Udvalget af systemet er påvirket af mange lokale faktorer og omfatter tekniske, økonomiske og juridiske spørgsmål. Generelt klarer biogas-rørledninger og biogas mikro-net sig bedre end små fjernvarmenet proportionalt med dimension af nettene. Et varmedistributionssystem er også nødvendigt for et biogas mikro-net, men energitab er meget mindre, da det er i nærheden af satellit kraftvarmeværket.

En forudsætning for transport af biogas i rørledninger til satellit kraftvarmeanlæg er god tørring af gassen. Hvis gassen er for våd, kondenserer vand i rørledningerne og fører til korrosion og blokering. Endvidere skal gassen være afsvovlet for at undgå korrosion i rørledningerne.



Figur 39: Start af biogasrør til et satellit-kraftvarmeværk for byen Trebon, Tjekkiet (Kilde: D. Rutz)



Figur 40: Biogas rør-net til satellit kraftvarmeværker (venstre) og små fjernvarme opvarmningssystemer (højre)

Tabel 10: Sammenligning af forskellige karakteristika af biogas og varme rør-net

Karakteristika	Biogas rørledninger	Varme rørledninger
<b>Placering af kraftvarmeværker</b>	Typisk et kraftvarmeværk på biogasanlægget (til opvarmning af rådnnetanken) og adskillige satellit kraftvarmeværker for enden af biogas rørledningerne	Et eller flere kraftvarmeværker placeret på biogasanlægget
<b>Transporteret medie</b>	Biogas	Varmt vand
<b>Kompressor/pumpe</b>	Gas kompressor	Vandcirkulerings pumpe
<b>Antal røret/ledninger</b>	Kun én rørledning behøves	Forsyning og returløbs rør kræves for at få en lukket vandkredsløb
<b>Rørledning</b>	Gas rørledning; modstandsdygtig overfor korrosion; antikorrosiv behandlet stål eller syntetiske rør	Isolerede fjernvarmerør; består typisk af syntetisk materiale
<b>Tab</b>	Lave gastab	Varmetab afhænger af isolering, men tab i energiindhold er generelt højere end gastab
<b>Forberedende</b>	Gas tørring, afsvovling (<10ppm), tryk øgning	Vand opvarmning
<b>Juridiske rammebetingelser</b>	Juridiske bestemmelser er ofte ikke klare og klassifikation af biogas rørledninger ikke defineret; Kræver højere sikkerhedskrav	Normalt godkendt system
<b>Omkostninger</b>	Omkostninger til gaskompressorer er meget højere end til vandcirkulationspumper	Installationsomkostningerne for opvarmningsrør er typisk højere
<b>Udbredelse af implementering</b>	Der findes kun få eksempler i enkelte lande	Små fjernvarmesystemer anvendes i vid udstrækning
<b>Generel anvendelighed</b>	Bedre til længere afstande	Bedre til mindre afstande

#### 4.2 Opgradering af biogas og tilførsel af biometan til naturgas-nettet

En anden mulighed for effektivt at udnytte biogas er ved opgradering af biogas til biometan-kvalitet og efterfølgende tilførsel af biometan til naturgasnettet. I opgraderingsprocessen bliver biogassen i første trin renses for urenheder, såsom hydrogensulfid, vand, nitrogen, ammoniak, siloxaner, partikler og ilt. Fjernelsen af disse stoffer og det nødvendige niveau af renhed afhænger af det andet trin, hvor CO<sub>2</sub> fjernes, og metanindholdet øges fra 45-70% CH<sub>4</sub> til >95% CH<sub>4</sub>. Herved øges energitætheden. Kernen i hele processen er opgraderingsteknologien, som kan inddeles i fire kategorier.

- **Adsorptions teknologier:** tryk svingende adsorption (PSA)
- **Absorptions teknologier:** vandskrubning, organisk fysisk skrubning, kemisk skrubning

- **Membranteknologier:** højtryk membranseparation, lavtryk membranseparation
- **Kryogene opgraderingsteknologier**

Den mest fremherskende metode er vandskrubning hvor højtryks gas strømmer ind i en kolonne, hvor kuldioxid og andre sporstoffer fjernes ved at vand strømmer i modstrøm med gassen.

Efter opgraderingen bliver biometanen konditioneret (finjustering af gassammensætningen og brændværdien), odoriseret og sat under tryk med henblik på at blive tilført naturgasnettet.

Over de seneste år er antallet af biogasopgraderingsanlæg steget støt. I Tyskland er der i øjeblikket omkring 100 opgraderingsanlæg i drift. Også i andre lande som Sverige, Schweiz og Østrig bliver opgraderingsanlæg installeret. Den største fordel er, at når biometan er tilført naturgasnettet, kan det let opbevares og forbruges ethvert sted med adgang til naturgasnettet. Derved kan det fulde energiindhold anvendes, idet biogas f.eks. kan forbruges på steder med varmemeforbrugere. De væsentligste ulemper ved opgraderingsanlæg kan opsummeres som følger:

- Højere investeringsomkostninger gælder for hele processen
- Det er i øjeblikket kun egnet til større anlæg på grund af høje omkostninger
- Energi er nødvendig for opgraderingsprocessen
- Rammevilkår er i mange lande ikke velegnede

Konceptet med at bruge affaldsmaterialer til biogasproduktion med tilstødende opgradering til biometan, også kaldet Affald-til-Biometan (WTB), fremmes af UrbanBiogas projektet (Byaffald til biometan net-tilførsel og transport i byområder) i 5 europæiske byer (Rutz m.fl. 2011; Rutz m.fl. 2012). I mange europæiske regioner er affaldshåndtering stadig et stort problem, og kun få anlæg bruger organisk affald til biometan produktion.



**Figur 41:** Tryk Udsvings Absorptions (PSA) teknologi i Aiterhofen, Tyskland (Kilde: Rutz)



**Figur 42:** Vandskrubnings opgraderingsanlæg hos Swedish Biogas International i Linköping, Sverige (Kilde: Rutz)

### 4.3 Biometan transport i containere

På steder uden naturgasnet eller uden adgang til naturgasnettet, kan biometan også opbevares i containere og derefter transporteres til placeringen af forbruget. Derfor sættes biometanen under tryk og pumpes som såkaldt Bio-CNG (komprimeret naturgas) eller CBG (komprimeret biometan gas) ind i containere (Figur 43). Denne fremgangsmåde anvendes ofte i Sverige, som har et meget lille naturgasnet. Her bliver containere med Bio-CNG hentet af lastbiler og bragt til tankstationer, da det meste biometan i Sverige bruges til transport.

Biometan kan også gøres flydende ved afkøling til cirka  $-162^{\circ}\text{C}$ . Dette kan gøres med flydende nitrogen. Den flydende biometan, også kaldet Bio-LNG (flydende naturgas) eller LBG (flydende biometan gas), bliver derefter lagret i kølecontainere, som kan transporteres til forbrugerne. Den største fordel er den højere energitæthed, som er omkring 5 gange højere end for Bio-CNG, hvilket betyder at fjerntransport i containere bliver mere effektiv. Imidlertid kræves der en betydelig mængde energi til at gøre gassen flydende. Denne proces er i øjeblikket kun implementeret i testfaciliteter (Figur 44) og kan i fremtiden kun anvendes til niche applikationer, såsom i skibs- og luftfart. De væsentligste ulemper omfatter høje omkostninger, store energitab, og sikkerhedsrisici.



Figur 43: Containere til transport af CBG fra biogasanlægget i Borås, Sverige (Kilde: Rutz)



Figur 44: Svensk Biogas Internationals biogasanlæg, der producerer LBG i Linköping, Sverige (Kilde: Rutz)

#### 4.4 Anvendelse af biometan til transport

Biometan opfattes i stigende grad som et bæredygtigt alternativ til andre brændstoffer i transportsektoren. I mange lande bruger infrastrukturen allerede CNG i transportsektoren og der findes et godt netværk af CNG-tankstationer.

Når biometan tilføres naturgasnettet kan det også bruges til transport med den samme infrastruktur som for CNG køretøjer (Rutz & Janssen 2008). Alligevel er dedikerede CBG tankstationer stadig sjældne. Normalt tilbydes blandede CNG/CBG brændstoffer. I nogle tilfælde tilbydes ren CBG, nogle gange endda direkte på det sted, hvor biogasanlægget ligger. Forløbere for brugen af CBG i Europa er Sverige og Schweiz.

En stor udfordring i at bruge CBG (såvel som CNG), er opbevaring af biometan i køretøjet og den begrænsede maksimale køreafstand på en tank brændstof. Ofte anvendes dobbelt brændstofs-systemer til metan og til benzin/ethanol eller diesel. Mange lette og tunge køretøjer er konverterede køretøjer, som har fået eftermonteret en komprimeret gas tank i bagagerummet, og et gasforsyningssystem ud over det fossile brændstofs-system (Al Seadi et al. 2008).

Der er også et stigende antal dedikerede biometan køretøjer, som er optimeret i forhold til effektivitet og en bedre placering af gastanke uden at miste bagagerumsplads. Biogassen opbevares ved 200 til 250 bar i trykbeholdere fremstillet af stål eller aluminiums kompositmaterialer (ibid.).



Figur 45: Svensk Biogas' biometan tankstation i Linköping, Sverige (Kilde: Rutz)



Figur 46: En lastbils tank til CBG, Sverige (Kilde: Rutz)

#### 4.5 Biogas til belastningsstyring og til nettens stabilitet

En nøgleudfordring for fremtidens energisystemer og især fremtidige el-systemer er integrationen af mange forskellige mindre og decentrale energisystemer i det samlede energisystem. Med de stigende mængder vindkraft og solenergi, der tilføres el-nettet, skal der findes nye og intelligente styringssystemer for at holde el-nettet stabilt. En vigtig rolle i stabiliseringen af det fremtidige el-net vil være energilagringssystemer samt systemer, der hurtigt kan reagere på skiftende belastninger i systemet. Sådanne systemer kaldes for **smart-net**.

Naturgas, biogas og biometan er energibærere, der let kan gemmes i forskellige størrelser; fra små gaslagre, der er en del af ethvert biogasanlæg, til store lagre som naturgasnettet i



sig selv. Endvidere kan el fra gasgeneratorer (turbiner, motorer) tændes og slukkes inden for en meget kort tidshorizont. Således er disse systemer meget velegnede til stabilisering af nettet og til at balancere belastninger.

El fra biogas- og biometan-kraftvarmeværker kan bidrage til at stabilisere nettet. Med hensyn til den praktiske anvendelse betyder det, at et biogasanlægs operatør ville kunne justere driften af kraftvarmeværket i forhold til behovet for elektricitet på nettet. Det kunne ske ved at tænde og slukke for kraftvarmeværket. Biogasanlæggets operatør har derfor brug for at modtage et signal fra el-nettets operatør eller el-forhandleren. Med disse signaler, kan driften af kraftvarmeværket justeres automatisk.

Men formålet med biogasanlægs operatører er normalt at maksimere el-produktionen, især når de nyder godt af en fast feed-in tarif for hver kWh der tilføres el-nettet. Hvis biogasanlæggets operatør ville blive inddraget i at stabilisere el-nettet, kunne kraftvarmeværkerne slukkes regelmæssigt. For denne ekstra service og for de tabte indtægter fra feed-in tarif, ville biogasanlæggets operatør skulle kompenseres. Desuden skal anlæggets operatør også kompenseres for investering i yderligere biogas lagerkapacitet.

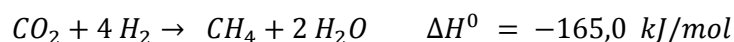
Bortset fra yderligere lagerkapacitet til biogas, kan biogasanlæggets operatør selv justere den anaerobe nedbrydningsproces ved at justere tilførslen af råmateriale til rådnetanken. Eftersom reaktionen i AN processen er inert og skal have tid til at reagere, må oplysninger om det forventede el-produktions behov vurderes og sendes til anlæggets operatør.

Adskillige forsknings- og demonstrationsprojekter har allerede implementeret sådanne intelligente systemer, og bevist deres levedygtighed (E-Energi, AlpEnergy).

#### 4.6 Biometan og Strøm-til-Gas

I **Strøm-til-Gas** konceptet (Figur 47) omdannes overskud af elektricitet til **syntetisk metan**. Med et stigende antal af vind- og solcelle anlæg produceres der oftere overskydende elektricitet. Det sker på tidspunkter, hvor der genereres mere vedvarende elektricitet end der kan anvendes eller transporteres på tværs af el-nettet. En mulighed for at løse problemet, så el-nettet holdes stabilt, er at nedrosle disse vind- og solenergianlæg. En anden mulighed er at bruge dette overskud af elektricitet til at fremstille syntetisk metan.

Overskydende el spalter vand ved **elektrolyse** til ilt og hydrogen. Hydrogen og CO<sub>2</sub> tilførslen (f.eks. fra et biogasopgraderingsanlæg) bliver i en Sabatier proces (Ligning 15) omdannet til metan. Denne metan tilføres naturgasnettet og fungerer som naturgas erstatning.



Ligning 15

Fremgangsmåden kan enten kombineres med et biogas opgraderingsanlæg, som leverer CO<sub>2</sub> til systemet, eller med et almindeligt biogasanlæg, der leverer konventionel biogas, som også indeholder store mængder af CO<sub>2</sub>, til systemet.

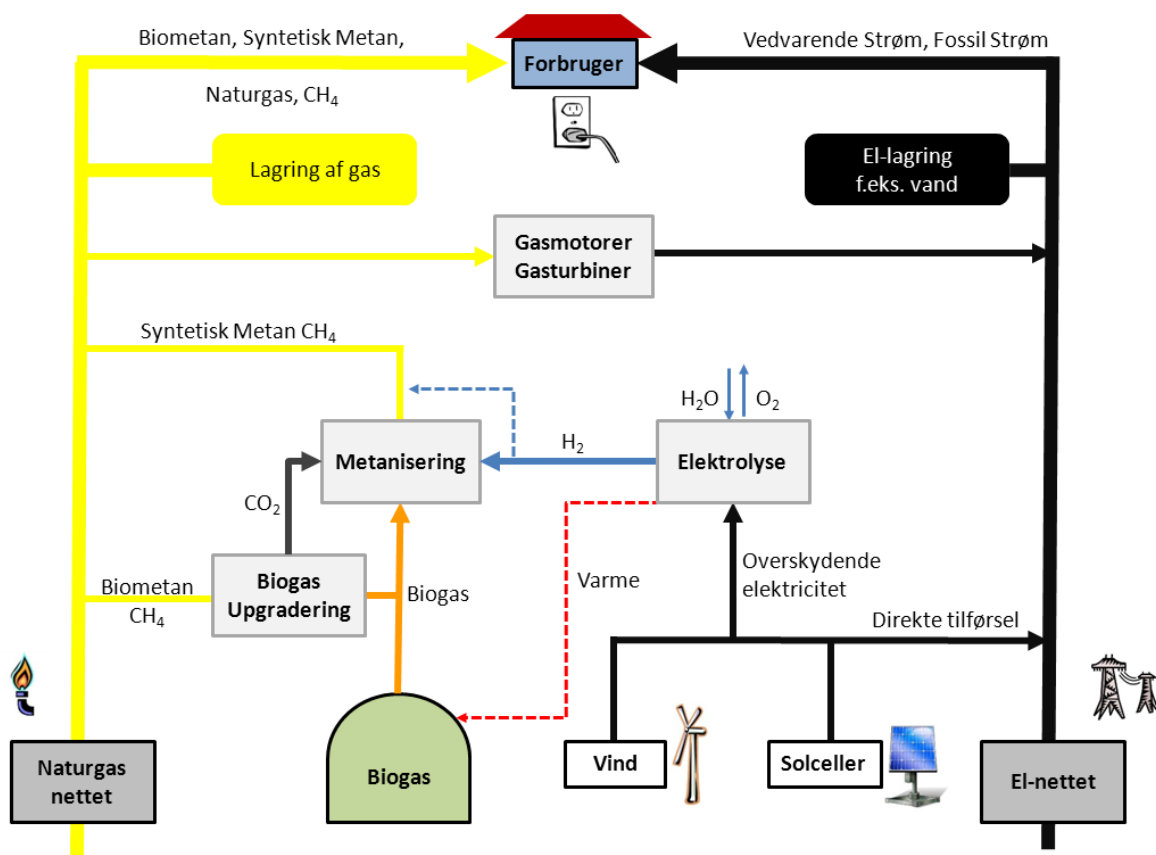
Lagerkapaciteten i naturgasnettet, hvor det syntetiske metan tilføres, er meget stort. Strøm-til-gas-systemet er et alternativ til vandkraft lagringssystemer i områder, hvor der ikke kan sættes vandkraft infrastruktur op. Det er også et alternativ til andre lagringssystemer, såsom batterier, svinghjul trykluft, osv. En forudsætning for systemet er tilgængeligheden af en vandkilde samt en CO<sub>2</sub>-kilde. Den producerede ilt er et biprodukt, der også kan kommerialiseres.

Ifølge Worldwatch Institute (2012) er en væsentlig ulempe ved denne tilgang det betydelige energitab involveret. Omdannelse af elektricitet til metan sker kun med en effektivitet på op til 60%. Hvis metanen senere anvendes i et naturgaskraftværk til produktion af elektricitet, falder effektiviteten til 36%. På den anden side har hydrostatisk energilagring en effektivitet

på 70 til 80%. Fra et miljømæssigt synspunkt er det dog helt sikkert bedre at bruge denne teknologi, end at "tabe" elektricitet hvis vind- og solcelle generatorerne skal være slukkede.

Det nordlige Tyskland har stor vindenergi kapacitet og den sydlige del har en høj efterspørgsel efter elektricitet. Her kunne Gas-til-Strøm systemer være en foranstaltning til at stabilisere el-nettet. Flere forsknings- og demonstrationsfaciliteter bliver i øjeblikket sat op, hvilket også fremgår af følgende liste (Dena 2012).

- Enertrag-Hybridkraftwerk, Prenzlau
- E.ON-Pilotanlage, Falkenhagen
- SolarFuel-Alpha-Anlage, Stuttgart
- 250-kW-Power-to-Gas-Pilotanlage, Stuttgart
- Audi-e-gas-Anlage, Werlte
- Demonstrations- und Innovationsprojekt RH2, Werder/Kessin/Altentreptow



Figur 47: Strøm-til-Gas konceptet

## 5 Retningslinjer for varmeanvendelsesmuligheder

Som det er vist i denne håndbog, findes der mange forskellige muligheder for en effektiv udnyttelse af biogas. Formålet med dem alle er at maksimere energianvendelsen fra biogas omdannelse.

For et biogasanlægs operatør er hovedformålet at maksimere indtægterne fra biogasproduktionen og samtidig opfylde lovkravene. Derfor giver dette kapitel råd om, hvordan anlæggets operatør vælger den bedste varmeanvendelsesmulighed, i forhold til forskellige rammebetingelser.

Den mest effektive og rentable udnyttelse af biogas er ved **omdannelse til el og varme i et effektivt og moderne kraftvarmeværk, placeret direkte ved siden af biogasanlægget**. Herved kan varmen anvendes til forskellige formål. Dog forekommer den situation, hvor el-produktion samt varme -udbud og -efterspørgsel samtidigt kan maksimeres, sjældent i den virkelige verden.

Et meget godt alternativ til den samtidige maksimering af el- og varmeforbrug er tilførsel af opgraderet biogas til naturgasnettet. Derved kan biometan anvendes i satellit kraftvarmeværker på steder med simultant høje el- og varmebehov. Men investeringsomkostningerne for opgraderingsanlæg er meget høje og normalt gennemføres opgraderingsprojekter i forbindelse med større projekter.

I den indledende planlægningsfase af projekter vedr. varmegenvinding fra biogasanlæg, skal følgende fire **vigtige spørgsmål** overvejes, før projektet startes med en grundig undersøgelse:

- Kan varmen fra kraftvarmeværket **bruges på eget anlæg** (f.eks. rådnetanks-opvarmning, opvarmning af egne huse og stalde, køling og tørring af landbrugsprodukter, ferment og kloakslams tørring, hygiejniserings osv.)? Hvor meget varme kan anvendes til egne formål?
- Er der en **ekstern potentiel varmeforbruger i nærheden af anlægget**? Hvor pålideligt er varmebehovet? Hvor langt er varmeforbrugeren væk fra biogasanlægget? Er varmebehovet kontinuerligt eller sæsonbestemt? Hvilken type og varighed af kontrakter kan laves med varmeforbrugeren?
- Hvis der ikke kan findes varmeforbrugere, **er det da muligt at "skabe" en nyt varmeforbruger** tæt på anlægget (f.eks. tørringsfaciliteter, drivhuse, akvakultur)?
- Hvis der ikke kan findes varmeforbrugere, **vil et biogas opgraderingsanlæg være muligt**? Er anlægget stort nok? Hvor langt er naturgasnettet væk? Er der juridisk støtte til biometan produktion?

Ud over disse spørgsmål, omfatter følgende checkliste vigtige aspekter, som bør overvejes i en mere detaljeret planlægningsproces:

*Hvad er det **vigtigste mål** med biogasanlægget?*

- Nuværende situation på anlægget (eksisterende eller planlagte anlæg)
- Maksimering af el- og varmeproduktion (og indtægter fra FIT, feed-in tariff)
- Maksimering af varme-outputet
- Bidrag til belastningsstyring med ekstra gasopbevaring og kraftvarmekapacitet

*Hvad er de **juridiske muligheder og begrænsninger**?*

- Gældende love om vedvarende el-produktion fra biogas

- Specifikke juridiske aspekter vedrørende varmeforbrug, effektivitet, anlægsstørrelse, osv. (f.eks. 60% varmeforbrugsmandat i Tyskland)
- Specifikke juridiske aspekter vedrørende ekstra gasopbevarings kapacitet
- Specifikke juridiske aspekter om bidraget til el-nettets stabilitet
- Specifikke juridiske aspekter vedrørende jordklassificering og beskyttelse (f.eks. beskyttede områder)
- Specifikke juridiske aspekter vedrørende sikkerhed
- Godkendelsesprocedurer

*Hvad er de **placerings-specifikke** begrænsninger?*

- Tilgængelig plads til ekstra installationer
- Ejerskabsforhold for de berørte interessenter (f.eks. rørledninger der passerer gennem forskellige ejendomme)
- Jordklassificering og beskyttelse (f.eks. beskyttede områder)

*Hvilke **tekniske aspekter** skal tages i betragtning?*

- Yderligere opbevaringskapacitet til biogas
- Yderligere kraftvarme kapacitet til at dække el-spidsbelastninger
- Yderligere gasbrændere/kedler til varme spidsbelastninger
- Levetid på udstyr
- Vedligeholdelseskrav
- Modenhed og pålidelighed af teknologi
- Teknisk overvågning

*Hvilke **finansielle aspekter** er knyttet til projektet?*

- Pris for elektricitet
- Pris for opvarmning og køling
- Pris for andre services som f.eks. tørring
- Pris på akvakultur produkter
- Investerings omkostninger til udstyr og installationer/montage
- Omkostninger til kapital (renter)
- Forholdet mellem egenkapital og gæld
- Udgifter til nyt udstyr
- Udgifter til udskiftning af udstyr
- Udgifter til drift og vedligehold
- Udgifter til yderligere arbejdskraft
- Tilgængelige offentlige støtteordninger

*Hvad er **operatørens kapacitet**?*

- Operatørens ekspertise og kvalifikationer
- Kvalificeret personale
- Ekstra arbejdstid

Hvilke **aftaleforhold med (virksomhed) partnere** er relevant?

- El-forsyning kontrakter
- Varme-forsynings kontrakter
- Varighed af kontrakter
- Garanteret eller ikke-garanteret forsyning
- Pålidelighed af fabrikanter
- Eksisterende erfaringer med forretningspartnere
- Accept fra naboer
- Private eller offentlige partnere
- Investorer

## 6 Konklusioner

Endelig kan det konkluderes, at de mest almindelige varmekoncepter for **landbrugets biogasanlæg** i dag omfatter den direkte anvendelse af varme til egne formål (huse, stalde) og til tørring af fast biomasse. Derved overstiger varmeproduktionen ofte varmebehovet, især om sommeren, og en stor del af varmen går stadig til spilde. Nogle anlæg bruger varme til tørring af korn og til små fjernvarmeforsyninger. Anvendelsen af varme til drivhuses akklimatisering, til køling og til akvakulturer fortsat niche applikationer.

De mest almindelige koncepter for anvendelse af varme fra **affalds-biogasanlæg** er til egne formål, såsom hygiejnisering og sanitet. Nogle anlæg leverer også varme til fjernvarmesystemer. Endvidere bruger nogle anlæg varmen til tørring af ferment. Det samme gælder for rensningsanlæg med spildevandsslam som råmateriale.

I Sverige, som et særligt tilfælde, er opgradering af biogas til biometan og tilstødende distribution til biometan tankstationer mest udbredt.

I Tyskland er etableringen af opgraderingsanlæg til tilførsel af biometan til naturgasnettet stigende. Ud af cirka 7.500 installerede biogasanlæg, er cirka 100 af dem i dag opgraderingsanlæg. Det offentlige plan er at øge dette antal betydeligt.

Begrænsede ressourcers tilgængelighed, konkurrence på arealanvendelse, samt øget konkurrence på affaldsmaterialer er alt sammen med til at øge presset på biogasanlæg. Det vil derfor blive mere og mere vigtigt at maksimere den anvendelige energiproduktion fra biogas. Det betyder at set-up forsvarlige og effektive varmekoncepter for almindelige biogasanlæg med kraftvarmeværker. Uden et sundt varmekoncept risikerer fremtidens biogasanlæg at miste deres økonomiske muligheder og miljømæssige resultater.

Målet med at opnå et maksimeret energi-output gælder også for biogas opgraderingsanlæg.

Brugen af biometan i transportmidler spiller en særlig rolle: i øjeblikket er transportsektoren stærkt afhængig af kulbaserede brændstoffer til transport. Anvendelse af ikke-kulbaserede brændstoffer (brint, elektricitet) spiller kun en mindre rolle i det nuværende transportsystem. Da biometan også er et carbon-baseret brændstof, kunne det bidrage væsentligt til det fremtidige energi-blanding i transportsektoren. Dette er vigtigt, da alternativerne til kulbaserede brændstoffer til transport er meget begrænsede. Derved kunne den generelt lavere energieffektivitet af køretøjers forbrændingsmotorer accepteres.

## Ordliste og Forkortelser

Denne ord- og forkortelsesliste beskriver og definerer forskellige specifikke eller almindelige/fælles udtryk, termer/begreber og ord, der er brugt/anvendt i denne håndbog. Et vigtigt mål med denne liste er at lette oversættelser af håndbogen til nationale sprog. Flere udtryk er tilpasset fra Wikipedia.

**Absorption:** er opslugning eller optagelse af vand, luftarter eller andre stoffer ved aktive eller passive mekanismer. Absorption er en proces hvor atomer, molekyler eller ioner kommer ind i en bulk-fase (gas, væske eller fast stof). Det er en anden proces end adsorption, da molekyler, der absorberes, optages af volumenet, ikke af overfladen (som det er tilfældet ved adsorption).

**Adsorption:** adhæsionen af atomer, ioner eller molekyler fra en gas, væske eller et opløst fast stof til en fast overflade.

**Affaldsbiogasanlæg:** Biogasanlæg der burger industrielt eller kommunalt organisk affald som råmateriale.

**Akvakultur:** Akvakultur, også kendt som aquafarming, er opdræt af vandlevende organismer, såsom fisk, krebsdyr, bløddyr og vandplanter. Akvakultur omfatter kultivering af populationer i ferskvand, brakvand og saltvand under styrede betingelser - og er i kontrast med kommercielt fiskeri, som fanger vilde havdyr. Havbrug refererer til akvakultur i havmiljø – og dambrug til akvakultur i vandbeholdere (f.eks. damme eller akvarier).

**Akvaponics:** kunstigt ord bestående af ordene akvakultur (fisk) og hydroponics (grønsager).

**Ammoniak:** En gasforbindelse bestående af hydrogen og nitrogen,  $\text{NH}_3$ , med en stærk lugt og smag.

**AN:** se Anaerob Nedbrydelse

**Anaerob nedbrydelse:** Også kaldet rådning eller fermentering: En mikrobiologisk proces der nedbryder organisk stof, i fuldstændigt fravær af ilt, ved hjælp af den fælles virkning af en bred vifte af mikroorganismer. Anaerob nedbrydning (AN) har to vigtige slutprodukter: biogas (en gas bestående af en blanding af metan, kuldioxid og andre gasser og sporstoffer) og ferment (det nedbrudte substrat). AN processen er almindelig i mange naturlige miljøer, og den anvendes i dag til at producere biogas i lufttætte reaktorer, almindeligvis kaldet rådnetanke.

**Bariumhydroxid:** et kemisk stof med formlen  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ . Det er en af de hyppigst forekommende barium-forbindelser. Det hvide granulære monohydrat er den almindelige kommercielle form.

**Belastningskurve:** En belastningskurve er en graf der viser det faktiske varme eller elektricitet forbrug over en tidsperiode, normalt 1 år (8.760 timer).

**Belastningsvarigheds kurve:** En belastningsvarigheds kurve er magen til en belastningskurve, bortset fra at dataene er ordnet efter faldende værdi i stedet for kronologisk.

**Bio-CNG:** se Komprimeret Biometan Gas.

**Biogas:** Gas der stammer fra anaerob nedbrydelse og hovedsageligt består af metan og kuldioxid, men også af hydrogensulfid, vand og mindre mængder/dele af andre forbindelser.

**BiogasVarme:** Projekt (Udvikling af vedvarende varme-markeder for biogasanlæg i Europa) støttet af Intelligent Energi til Europa Programmet under Europa Kommissionen, hvori denne håndbog er blevet til.

**Bio-LNG:** se Flydende Biometan Gas.

**Biometan:** Biogas opgraderet til naturgas kvalitet med et CH<sub>4</sub> indhold >95%.

**Brændselscelle:** En enhed der omdanner energien fra et brændstof direkte til elektricitet og varme uden forbrænding.

**Brændværdi:** mængden af varme, der frigøres under forbrændingen af en specificeret mængde af et brændstof (biogas, biometan).

**CBG:** se Komprimeret Biometan Gas.

**CH<sub>4</sub>:** se Metan.

**CHP:** Kombineret varme og strøm: (kraftvarmeværk): Den samtidige produktion af elektricitet og anvendelig termisk energi fra en energikilde. Overskudsvarme fra en industriel proces kan bruges til at drive en elektrisk generator. Overskudsvarme fra et elektricitets genererende anlæg kan bruges til industrielle processer eller SPACE- og vandopvarmnings formål (topping cyklus).

**Clausius-Rankin-Cyklus (CRC):** Termodynamisk lukke cyklus hvori vand normalt opvarmes, fordampes og sendes gennem en turbine der driver en generator til elektricitets produktion.

**CNG:** se Komprimeret Naturgas.

**CO<sub>2</sub>:** se Kuldioxid.

**Co-generation:** se kombineret varme og strøm produktion (CHP).

**COP:** se Koefficient for ydeevne.

**CRC:** se Clausius-Rankin-Cyklus.

**Damp:** Damp er et stof i gasfasen ved en temperatur under dets kritiske punkt. Det betyder at dampen kan kondenseres til en væske eller et faststof ved at øge dens tryk uden at reducere temperaturen. For eksempel har vand en kritisk temperatur på 374°C (647 K), hvilket er den højeste temperatur, hvor flydende vand kan eksistere. I atmosfæren ved almindelige temperaturer vil vand på gasform (kendt som vanddamp) kondensere til væske, hvis dets partialtryk øges tilstrækkeligt. En damp kan eksistere samtidig med en væske (eller den fast form).

**DH:** Fjernvarme.

**DHC:** Fjernvarme og -køling.

**DHW:** Varmvandsforsyning til privatboliger.

**Dobbelt brændstof motor:** se Gas-Pilot Indsprøjtningmotorer.

**Drivhusgas (GHG):** Gasser der fanger varmen fra solen i Jordens atmosfære og giver drivhuseffekten. De to dominerende drivhusgasser er vanddamp og kuldioxid. Andre drivhusgasser er metan, ozon, chlorofluorocarboner og lattergas.

**EER:** se Energieffektivitets Ratio.

**Elektrolyse:** Elektrolyse er en metode til direkte at bruge elektrisk strøm til at drive en ellers ikke-spontan kemisk reaktion. I øvrigt kan elektrolyse splitte vand til dens to elementer, hydrogen og ilt.

**Energieffektivitets Ratio (EER):** forholdet mellem det kolde output og det elektriske input fra en specifik kilde.

**EnergiServiceVirksomhed (ESCo, ESCO):** En EnergiServiceVirksomhed er en kommerciel virksomhed, der leverer en bred vifte af omfattende energi-løsninger, herunder design og implementering af energibesparende projekter, energibesparelser, outsourcing af energiinfrastruktur, el-produktion og energiforsyning, samt risikostyring.

**Enthalpi:** en termodynamisk tilstandsfunktion med symbolet H. For et system med volumen V og indre energi U gælder, at  $H = U + pV$ , hvor p er trykket. Enthalpi benyttes med fordel

i situationer, hvor trykket holdes konstant, f.eks. ved kemiske processer eller ved faseomdannelser. Stoffers varmekapacitet  $C_p$  ved fastholdt tryk er således forholdet  $\Delta H/\Delta T$ , idet  $\Delta H$  er en lille forøgelse af systemets enthalpi hørende til den lille forøgelse  $\Delta T$  af systemets absolutte temperatur  $T$  (Wikipedia).

**Entropi:** Entropi er et mål for hvor jævnt energi fordeles i et system. I et fysisk system, giver entropi et mål for den mængde energi, som ikke kan anvendes til at udføre arbejde.

**ESCo:** se EnergiServiceVirksomhed.

**Exergi:** I termodynamik er exergien af et system det maksimalt mulige nyttige arbejde i en proces, der bringer systemet til ligevægt med et varmereservoir. Når omgivelserne er reservoiret, vil exergi potentialet i et system forårsage en ændring, da den opnår ligevægt med sine omgivelser. Exergi er den energi, der er tilgængelig til anvendelse. Efter at systemet og omgivelserne har nået ligevægt, er exergien nul. Bestemmelse af exergi er også det første mål for termodynamik.

**Faseændrings materiale:** PCM er et stof med høj smeltevarme, der (smelter og størkner ved en bestemt temperature) er i stand til at lagre og frigive store mængder energi. Varme absorberes eller frigives når materialet ændres fra fast til flydende form og omvendt.

**Feed-in:** Feed-in af elektricitet til et almindeligt el-net; den ækvivalente af tilførsel af biometan til naturgasnettet.

**Ferment:** Det behandlede/nedbrudte fra AN processen. (Syn. AN rester, forrådnede biomasse, afgasset slam)

**Fjerkræ:** er en kategori af tamfugle, der holdes af mennesker med henblik på at indsamle deres æg eller slå dem ihjel for deres kød og/eller fjer.

**Fjernkøling:** Fjernkøling er et system til distribution af afkølet vand eller vand/is blandinger fra et centralt sted til bolig- og erhvervsejendommers køling som f.eks. aircondition.

**Fjernvarme:** Fjernvarme er et system til distribution af varme (som varmt vand eller damp) genereret et centralt sted for at dække bolig- og erhvervsejendommers varmebehov til opvarmning af rum og vand.

**Flydende Biometan Gas:** biometan der er flydende fordi det er blevet kølet ned til under kogepunktet på ca.  $-160^{\circ}\text{C}$ .

**Flydende naturgas:** naturgas der er kølet ned til under kogepunktet på ca.  $-160^{\circ}\text{C}$ .

**Flydende petroleum gas:** LPG er en fossil baseret propan-butan blanding og bliver også kaldt GPL eller LP gas.

**Fossilt brændstof:** Fossile brændstoffer er blevet dannet i millioner af år ved naturlige processer, som anaerob nedbrydelse af døde organismer.

**Fugtighed:** Forholdet mellem massen af vandindholdet i et materiale (biomasse) og massen af det tørre materiale selv.

**Følbar energi:** se Følbar varme.

**Følbar varme:** Følbar varme er varme udvundet fra et termodynamisk system, der har ændring af temperaturen som eneste virkning.

**Gas turbine (Syn. forbrændingsturbine):** En turbine der omdanner energien af varme komprimerede gasser (fremstillet ved afbrænding af brændsel i komprimeret luft) til mekanisk energi. Det anvendte brændstof er normalt naturgas eller brændselsolie.

**Gas-Otto motor:** Motor specielt designet til at anvende gasser. De drives ved Otto princippet.

**Gas-Pilot Indsprøjtningmotor:** Gas-Pilot Indsprøjtningmotor (også kaldet Pilot Indsprøjtningmotor eller dobbeltbrændstofmotor) er baseret på dieselmotor princippet.



**Generator:** En enhed der kan omdanne mekanisk energi til elektrisk energi. I absorptionskølere er generatoren det apparat hvori kølemidlet og transportmidlet separeres med varme-input.

**Global Opvarmningspotentiale:** GWP er et relativt mål for, hvor meget varme en drivhusgas fanger i atmosfæren. Det sammenligner den mængde varme en bestemt masse af den pågældende gas fanger med den mængde varme en tilsvarende masse af kuldioxid fanger. GWP beregnes over et bestemt tidsinterval, almindeligvis 20, 100 eller 500 år. GWP er udtrykt som en faktor af kuldioxid, hvor GWP er standardiseret til 1. For eksempel er den 20-årige GWP for metan 72, hvilket betyder at hvis den samme mængde metan og carbondioxid blev tilført atmosfæren, vil metanen fange 72 gange mere varme end carbondioxidet i løbet af de næste 20 år.

**GWP:** se Global Opvarmnings Potentiale.

**H<sub>2</sub>:** se Hydrogen.

**H<sub>2</sub>O:** se Vand.

**H<sub>2</sub>S:** se Hydrogensulfid.

**Hydrogen:** H<sub>2</sub> er det letteste element og dens monatomiske form (H<sub>1</sub>) er det mest hyppige kemiske stof, udgørende groft sagt 75% af universets masse. Ved standard temperatur og tryk, er hydrogen en farveløs, lugtfri, smagsløs, ugiftig, ikke-metallisk, meget brændbar diatomisk gas med den molekylære formel H<sub>2</sub>. Hydrogen som enkeltatom forekommer kun sjældent på Jorden.

**Hydrogensulfid:** H<sub>2</sub>S er en gennemsigtig, meget giftig, brændbar gas med en karakteristisk lugt af rådne æg. Opstår ofte ved nedbrydelse af organisk stof uden tilstedeværelse af ilt (anaerob nedbrydelse).

**Hygiejnisering:** Hygiejnisering er en termisk og/eller tryk forbehandlingsmetode til råmaterialet (affald) for at reducere mængden af patogene mikroorganismer i materialet.

**h-x diagram:** Mollier-h-x-Diagrammet gør det muligt at definere ændrede egenskaber af fugtig luft ved opvarmning, køling, befugtning og tørring.

**ibid.:** (ibidem) er det begreb der anvendes til at give en citation eller reference for en kilde, der netop var citeret.

**Installeret kapacitet:** Den installerede kapacitet er den totale elektriske eller termiske kapacitet for den energi-genererende enhed.

**Joule (J):** Metrisk enhed for energi, ækvivalent til arbejdet udført af en kraft på én Newton over en distance på én meter. 1 joule (J) = 0,239 kalorier; 1 calorie (kal.) = 4,187 J.

**Kalina proces:** Kalina processen eller cyklussen er en termodynamisk proces til omdannelse af termisk energi til brugbar mekanisk kraft. Den anvender en opløsning af to væsker med forskellige kogepunkter til dens arbejde væske.

**Kapacitet:** Den maksimale mængde strøm en maskine eller et system kan producere eller sikkert lede (det maksimale øjeblikkelige output af en ressource under særlige betingelser). Kapaciteten af generende udstyr bliver ofte udtrykt i kilowatt eller megawatt.

**Kilowatt (kW):** Et mål for elektrisk strøm eller varme kapacitet svarende til 1.000 Watt.

**Kilowatt-time (kWh):** Den mest anvendte enhed for energi. 1 kWh (kilowatt-time) er effekten 1 kW udført i 3600 sekunder (1 time).

**Koefficient for ydeevne (COP):** Koefficienten for ydeevne eller COP (nogle gange CP), af en varmepumpe er forholdet mellem ændringen i varme ved "output" (varme-reservoir af interesse) og det tilførte arbejde. COP blev lavet for at kunne sammenligne varmepumper i forhold til deres energieffektivitet.

**Komprimeret biometangas:** CBG laves ved at komprimere biometan. Da det har samme egenskaber som CNG, kan en beskrivelse findes under "Komprimeret naturgas".

**Komprimeret naturgas:** CNG laves ved at komprimere naturgas, til mindre end 1% af det volumen det optager ved standard atmosfærisk tryk. Det lagres og distribueres i containere og tanke ved tryk på 20-248 bar (2.900–3.600 psi).

**Kondenserende kedler:** Kondenserende kedler er vandvarmere med høje effektiviteter (typisk højere end 90%), hvilket opnås ved at bruge spildvarme i røggasserne til at forvarme koldt vand der kommer ind i kedlen. De kan være drevet med gas eller olie og de kaldes kondenserende kedler fordi vanddampen, der produceres ved forbrænding, kondenseres til vand, som derefter forlader systemet via et afløb.

**Kuldioxid:** CO<sub>2</sub> er en naturligt forekommende kemisk forbindelse, der består af 2 oxygen atomer kovalent bundet til ét karbonatom. Det er en gas ved standard temperatur og tryk og den findes i jordens atmosfære i denne form med en sporgas koncentration på 0,039% af volumen.

**kW<sub>el</sub>:** elektrisk strøm (kapacitet).

**kWh:** se Kilowatt-time.

**kW<sub>th</sub>:** termisk (varme) kapacitet.

**Køling:** Køling er transport af termisk energi ved termisk stråling, varmekonduktion eller konvektion og derved ændre temperaturen af det målrettede system fra højere til lavere temperaturniveauer.

**Latent varme:** Latent varme er varme der frigives eller absorbers af et legeme eller termodynamisk system under en proces uden temperaturændring. Et typisk eksempel er en faseændring, hvilket kunne være smeltning af is eller kogning af vand. Modsætningen til latent varme er følbare varme eller processer, der medfører temperaturændringer.

**Lav brændværdi brænder:** En LCV brænder forbrænder lavenergi gas (brændværdier under 8.5 MJ/Nm<sup>3</sup>).

**LBG:** Flydende Biometan Gas.

**LNG:** se Flydende Naturgas.

**LPG:** se Flydende Petroleum Gas.

**m<sup>3</sup>:** En kubikmeter er volumen af 1x1x1 m. Én kubikmeter vand vejer omkring 1ton.

**Mesofil proces:** AN processer med temperaturer på 25°C – 45°C.

**Metan:** CH<sub>4</sub> er en brændbar, eksplosiv, gennemsigtig, lugtfri, smagsløs gas, der er mildt opløselig i vand og opløselig i alkohol og æter; koger ved – 161,6°C og fryser ved – 182,5°C. Det dannes i moser og sumpe ved nedbrydelse af organisk materiale, og det har en stor underjordisk eksplosionsrisiko. Metan er en af de mest bidragende (op til 97%) i forbindelse med naturgas, og det bruges som en kilde til petro-kemikalier og som brændstof. Det er en brændbar gas under normale forhold og er en relativt potent drivhusgas.

**Mikro-gas turbine:** Lille forbrændingsturbin med et output på 25 til 500 kW. Mikroturbiner består af en kompressor, brændkammer, turbine, alternator, rekuperator og generator. I forhold til andre teknologier til mindre el-produktioner, giver mikro-turbiner en række fordele, herunder: et lille antal bevægelige dele, kompakt størrelse, let i vægt, større effektivitet, færre emissioner, lavere el-udgifter, potentiale for billig masseproduktion, og muligheder for at udnytte affaldsbrændsel.

**Mini-net:** Et integreret lokalt generations, transmissions og distributionssystem (til elektricitet eller varme) der forsyner flere forbrugere.

**mol:** mol er en SI-enhed anvendt i kemi til at udtrykke mængder af kemiske stoffer, defineret som en stofmængde der indeholder lige så mange elementære dele (f.eks. atomer, molekyler, ioner, elektroner) som der er atomer i 12gram ren carbon.

**Natrium acetat:** Kemisk forbindelse med formlen  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , også forkortet NaOAc, også natrium ethanoat, er natrium salt af eddikesyre. Denne farveløse salt anvendes bredt.

**Naturgas:** Naturgas er en fossil hydrocarbon gasblanding, der primært består af metan, men med andre hydrocarboner, kuldioxid, nitrogen and hydrogensulfid.

**Nedbrydelse:** se Anaerob Nedbrydelse.

**Net-tilførsel:** Tilførsel af biometan til naturgasnettet; Det tilsvarende i elektricitetssektoren er Feed-In.

**$\text{NH}_3$ :** se Ammoniak.

**$\text{Nm}^3$ :** I lande der anvender SI enhedssystemet, bruges termen "normal kubik meter" ( $\text{Nm}^3$ ) ofte til at betegne gasvolumener ved normale eller standardiserede betingelser. Der findes ikke noget universalt accepteret sæt af normale eller standardiserede betingelser. I Tyskland er  $\text{Nm}^3$  volumen af en gas ved følgende betingelser: 1,01325 bar, fugtighed på 0% (tør gas),  $0^\circ\text{C}$  (DIN) eller  $15^\circ\text{C}$  (ISO).

**$\text{O}_2$ :** se Oxygen.

**ODP:** se Ozon Nedbrydnings Potentiale.

**Olie ækvivalent:** Ton olie ækvivalent (toe) er en energienhed: mængden af energi der frigives ved afbrænding af et ton råolie, ca. 42GJ.

**ORC:** Organisk Rankin Cyklus

**Organisk Rankin Cyklus:** ORC-processen er opkaldt efter dens anvendelse af et organisk, fluid med høj molekylær masse, med en væske-damp faseændring eller kogepunkt, der forekommer ved en lavere temperatur end vand-damp faseændringen. Væsken giver Rankin cyklussen mulighed for at bruge varme fra lavere temperaturkilder såsom fra biogasanlæg.

**Overskudsvarme:** Se spildvarme.

**Oxygen:** Ved standard temperatur og tryk, to atomer binder til hinanden og danner di-oxygen, en meget svag blå, lugtfri, smagsløs diatomisk gas med formlen  $\text{O}_2$ . Denne forbindelse er en vigtig del af atmosfæren og nødvendig for at opretholde liv på jorden.

**Ozon nedbrydnings potential:** ODP for en kemisk forbindelse er den relative ødelæggelse det kan have på ozonlaget, hvor trichlorofluorometan (R-11 or CFC-11) har en fast ODP på 1,0. Chlorodifluorometan (R-22) har en ODP på 0,055. CFC 11 eller R-11 har det højeste potentiale blandt hydrocarboner fordi der er tre chlor atomer i molekylet. ODP bliver ofte nævnt sammen med et stofs Global Opvarmnings Potentiale (GWP) som et mål for hvor skadeligt for miljøet det er. GWP er et stofs potentielle bidrag til global opvarmning.

**PCM:** se Faseændrings materiale.

**Pilot Indsprøjtningmotor:** se Gas-Pilot Indsprøjtningmotor.

**Procesvarme:** Varme brugt i forskellige interne eller eksterne processer (f.eks. til rådnetanks opvarmning).

**PSA:** se Tryk Svingende Adsorption.

**Psykrofil proces:** AN processer med temperaturer under  $25^\circ\text{C}$ .

**Rankin cyklusser:** se Clausius Rankin Cyklus.

- Rådnetank:** (nogle gange også kaldet en fermentor) lukket tank, ofte udformet som enten en vertikal eller horisontal cylinder, eller som en garage (til tør nedbrydelse) hvori den anaerobe nedbrydelse foregår.
- Råmateriale:** Alle materialer der kan bruges i en proces, hvor det omdannes til en anden form eller til et produkt.
- Satellit CHP:** Et kombineret kraftvarmeværk der ikke er placeret på biogasanlægget, men et andet sted. Det er tilsluttet biogasanlægget via rørledninger.
- SI:** Det internationale system for enheder (forkortet SI fra fransk: *Système international d'unités*) er den moderne form for det metriske system og er generelt et system af måleenheder baseret på syv basisenheder og bekvemmeligheden ved tallet ti.
- Smart net:** Et smart-net er et el-net der bruger informations teknologier og andre teknologier for at tilpasse behov og forsyning på den mest effektive måde. Intelligente net (smart-net) er foranstaltninger til at forbedre energieffektiviteten og med stigningen i brug af vedvarende energi, vil det blive mere vigtigt at stabilisere nettet.
- Spildevandsslam:** Den resterende våde, faste slam fra et spildevands rensningsanlæg efter rensning.
- Spildvarme:** Varme fra alle processer, f.eks. fra et CHP-værk, som frigives til atmosfæren i stedet for at blive brugt. Det benævnes også overskudsvarme, eftersom "varme" som en form for energi, ikke kan forsvinde (spildt) ifølge loven om bevaring af energi.
- Stirling motor:** En Stirling motor er en forbrændingsmotor, der fungerer ved cyklisk kompression og ekspansion af luft eller en anden gas (arbejdsfluidet) ved forskellige temperaturniveauer, således at der er en netto omdannelse af varmeenergi til mekanisk arbejde.
- Strøm:** Mængden af arbejde udført eller energi transporteret pr. tidsenhed (definition i fysik) såvel som elektricitet fra nettet (definition i energisektoren).
- Strøm-til-Gas:** Proces til syntetisk metan produktion ved at elektrolysere vand med oversydende elektricitet.
- Syntetisk Metan:** Metan produceret i Strøm-til-Gas processer.
- Temperature differentiale ( $\Delta T$ ):** difference mellem to temperaturniveauer, som altid er positivt.
- Termodynamik:** Termodynamik er den gren af naturvidenskaben der beskæftiger sig med varme og dens relation til andre former for energi og arbejde. Det handler især om ændringer i temperatur, entropi, volumen og tryk, der beskriver de gennemsnitlige egenskaber for materielle legemer og stråling, og forklarer, hvordan de hænger sammen, og ved hvilke love, de ændrer sig med tiden.
- Termofil proces:** AN proces med temperaturer mellem 45°C – 70°C.
- Tryk Svingende Adsorption:** Metode til opgradering af biogas til biometan kvalitet.
- Turbine:** En maskine til omdannelse af energi i damp eller høj-temperatur gas til mekanisk energi. I en turbine passerer en højtryksstrøm af damp eller gas gennem adskillige rækker af radiale blade fastgjort til en central aksel.
- Turbolader:** Gasturbine der bruger en del af udstødningsgassen til yderligere strøm produktion.
- Tønne olie ækvivalent (boe):** Den mængde energi en tønde råolie indeholder, f.eks. ca. 1,6 GJ, svarer til 1.700 kWh. En "tønne petroleum" er et væskemål der svarer til 42 U.S. gallons (35 Imperial gallons eller 159 liter); omkring 7,2 tønder er ækvivalent med et ton olie (metrisk).

**Udstødningsgas:** Gas, som frigives efter forbrændingen fra en forbrændingsenhed (brænder, motor) Den indeholder hovedsageligt CO<sub>2</sub>, men også andre forbindelser.

**Vand:** H<sub>2</sub>O indeholder et oxygen og to hydrogen atomer og er flydende ved standard betingelser, men findes i både fast form (is) og gasfase (vanddamp). Vand dækker 70,9% af jordens overflade og vital for alle kendte former for liv.

**Vanddamp:** Vanddamp er vand i gasfasen. Se damp.

**Vandindhold:** Forholdet mellem massen af vand i et materiale (biomasse) og massen af det fugtige/våde materiale i sig selv.

**Varme:** Varme er energi overført fra et system til et andet ved termisk interaktion. I modsætning til arbejde, er varme altid ledsaget af en overførsel af entropi. Varmestrøm fra en høj til en lav temperatur legeme sker spontant. Denne strøm af energi kan udnyttes og delvist konverteres til nyttigt arbejde ved hjælp af en forbrændingsmotor. Termodynamikkens anden lov forbyder varmemstrøm fra et lav til et høj temperatur legeme, men ved hjælp af en varmepumpes eksterne arbejde kan energi transporteres fra lav til høj temperatur. I dagligdags sprog har varme en mangfoldighed af betydninger, herunder temperatur. I fysik er "varme" pr. definition en overførsel af energi og er altid forbundet med en proces af en slags. "Varme" anvendes i flæng med "varmestrøm" og "varmeoverførsel". Varmeoverførsel kan ske på forskellige måder: ved ledning, stråling, konvektion, netto massetransport, friktion eller viskositet, og ved kemisk fortynding.

**Varmeoverførselseffektivitet:** forholdet mellem nyttevarme og den faktiske varme, der produceres i forbrændingen enheden.

**Varmeveksler:** Apparat bygget til effektiv varmeoverførsel fra en væske til en anden, hvor væskeerne enten er adskilt af en fast væg, således at de aldrig blandes, eller væskeerne er i direkte kontakt.

**Watt (W):** En standard måleenhed (SI System) for hastigheden hvormed energi forbruges af et udstyr eller hastigheden hvormed energi flyttes fra et sted til et andet. Det er også en standard måleenhed for elektrisk kraft. Betegnelsen kW står for kilowatt eller 1.000 watt. Betegnelsen MW står for megawatt eller 1.000.000 watt.

**År:** Et kalenderår er en estimering af Jordens orbitals periode i en given kalender. Et kalenderår i den Gregorianske kalender (såvel som i den Julianske kalender) har enten 365 (alemindelige år) eller 366 (skudår) dage. Driftstimerne på et år for biogasrelateret udstyre er normalt 8.760 timer.

**Zeolit:** Mikro-porøse, aluminiumsilikat mineraler normalt anvendt som kommercielle adsorbenter.

**ΔT:** se temperatur difference.

## Generelle omregningsenheder

Tabel 11: Præfikser for energienheder

Præfik	Forkortelse	Faktor	Kvantitet/talnavn
Deca	Da	10	Ti
Hekto	H	10 <sup>2</sup>	Hundrede
Kilo	K	10 <sup>3</sup>	Tusind
Mega	M	10 <sup>6</sup>	Million
Giga	G	10 <sup>9</sup>	Milliard
Tera	T	10 <sup>12</sup>	Billion
Peta	P	10 <sup>15</sup>	Billiard
Exa	E	10 <sup>18</sup>	Trillion

Tabel 12: Omregning af energienheder (kilo joule, kilo calorie, kilowatttime, ton kul ækvivalent, kubikmeter naturgas, ton olie ækvivalent, tønde, British Termisk Enhed (toe))

	kJ	kcal	kWh	TCE	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	toe	tønde
1 kJ	1	0,2388	0,000278	3,4·10 <sup>-8</sup>	0,000032	2,4·10 <sup>-8</sup>	1,76·10 <sup>-7</sup>
1 kcal	4,1868	1	0,001163	14,3·10 <sup>-8</sup>	0,00013	1·10 <sup>-7</sup>	7,35·10 <sup>-7</sup>
1 kWh	3,600	860	1	0,000123	0,113	0,000086	0,000063
1 TCE	29.308.000	7.000.000	8.140	1	924	0,70	52
1 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	31.736	7.580	8,816	0,001082	1	0,000758	0,0056
1 toe	41.868.000	10.000.000	11.630	1,428	1.319	1	7,4
1 tønde	5.694,048	1.360,000	1.582	0,19421	179,42	0,136	1
1 BTU	1,055						

**Tabel 13: Omregning af strøm/el enheder (kilo kalorier pr. sekund, kilowatt, hestekræfter, Pferdestärke= heste kraft)**

	kcal/s	kW	hp	PS
<b>1 kcal/s</b>	1	4,1868	5,614	5,692
<b>1 kW</b>	0,238846	1	1,34102	1,35962
<b>1 hp</b>	0,17811	0,745700	1	1,01387
<b>1 PS</b>	0,1757	0,735499	0,98632	1

**Tabel 14: Omregning af temperaturenheder**

	Unit	Celsius	Kelvin	Fahrenheit
<b>Celsius</b>	°C	-	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 1,8$
<b>Kelvin</b>	K	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$	-	$\text{K} = (^{\circ}\text{F} + 459,67) \times 1,8$
<b>Fahrenheit</b>	°F	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1,8 + 32$	$^{\circ}\text{F} = \text{K} \times 1,8 - 459,67$	-

**Tabel 15: Omregning af trykenheder (pascal, bar, teknisk atmosfære, standard atmosfære, torr, pund pr. kvadrat inch)**

	Pa	bar	at	atm	Torr	psi
<b>1 Pa</b>		0,00001	0,000010197	$9,8692 \times 10^{-6}$	0,0075006	0,0001450377
<b>1 bar</b>	100.000		1,0197	0,98692	750,06	14,50377
<b>1 at</b>	98.066,5	0,980665		0,9678411	735,5592	14,22334
<b>1 atm</b>	101.325	1,01325	1,0332		760	14,69595
<b>1 Torr</b>	133,3224	0,001333224	0,001359551	0,001315789		0,01933678
<b>1 psi</b>	6894,8	0,068948	0,0703069	0,068046	51,71493	

## Referencer

- AlpEnergy (2012) <http://www.alpenergy.net>
- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Janssen, R. (2008). Biogas Handbook. Esbjerg, Denmark: University of Southern Denmark.
- Al Seadi T., Drosig b., Fuchs W., Rutz D., Janssen R. (2013, in print) Digestate quality and utilization. – In: Wellinger A., Murphy J., Baxter D. (eds.) The biogas handbook: Science, production and applications. - Woodhead Publishing Series in Energy No. 52
- BDEW (2009) Erdgas in Gärtnereien. - BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.; Berlin, Germany; <http://www.www.hortigate.de/Apps/WebObjects/Hortigate.woa/vb/bericht?nr=39553>
- Berk J. (2008) Haltung von Jungmasthühnchen (Broiler, Masthähnchen). – DLG Merkblatt 347; Frankfurt am Main, Germany; [http://statictypo3.dlg.org/fileadmin/downloads/merkblaetter/dlg-merkblatt\\_347.pdf](http://statictypo3.dlg.org/fileadmin/downloads/merkblaetter/dlg-merkblatt_347.pdf)
- BMU (2012) Biomass Ordinance (BiomasseV) (as amended as of 1 January 2012); Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety; Germany; [http://www.bmu.de/english/renewable\\_energy/downloads/doc/5433.php](http://www.bmu.de/english/renewable_energy/downloads/doc/5433.php)
- Dena (2012) [www.powertogas.info](http://www.powertogas.info) Deutsche Energie Agentur – German Energy Agency [20.07.2012]
- DIRECTIVE 2004/8/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 February 2004 on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending Directive 92/42/EEC
- DLR (2012) [http://www.dlr.de/tt/desktopdefault.aspx/tabid-2872/4415\\_read-6487/](http://www.dlr.de/tt/desktopdefault.aspx/tabid-2872/4415_read-6487/) [10.07.2012]
- Dzene I., Rochas C., Rutz D., Janssen R., Ramanauskaite R., Kulisic B., Maras Abramovic J., Malek B., Devetta M., Surowiec M., Amann C., Leutgoeb K., Hinge J., Ofiteru A., Adamescu M., Fevrier N., Froning S. (2012) Development of Sustainable Heat Markets for Biogas Plants. - Proceedings of the 20th European Biomass Conference and Exhibition
- E-Energy (2012) <http://www.e-energy.de/>
- Euroheat & Power: District Cooling The sustainable response to Europe's rising cooling demands. – Brochure; [http://www.euroheat.org/Files/Filer/documents/District%20Heating/Cooling\\_Brochure.PDF](http://www.euroheat.org/Files/Filer/documents/District%20Heating/Cooling_Brochure.PDF) [10.07.2012]
- FNR (2010) Leitfaden Biogas: Von der Gewinnung zur Nutzung. - 5., vollständig überarbeitete Auflage, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR); Gülzow, Germany; [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_208-leitfaden\\_biogas\\_2010\\_neu.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_208-leitfaden_biogas_2010_neu.pdf) [10.07.2012]
- FNR (2012) Bioenergy in Germany: Facts and Figures. – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR); Gülzow, Germany; [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_484-basisdaten\\_engl\\_web\\_neu.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_484-basisdaten_engl_web_neu.pdf) [10.07.2012]
- Fraunhofer (2012) <http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2012/june/compact-and-flexible-thermal-storage.html> [10.07.2012]
- Gaderer M., Lautenbach M., Fischer T. (2007) Wärmenutzung in kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen. – Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU), Augsburg, Germany; [http://www.lfu.bayern.de/energie/biogas/doc/machbarkeitsstudie\\_abwaermenutzung.pdf](http://www.lfu.bayern.de/energie/biogas/doc/machbarkeitsstudie_abwaermenutzung.pdf) [10.07.2012]
- Grundfos (2012) <http://www.grundfos.com/service-support/encyclopedia-search/dew-point.html> [10.07.2012]



- Hiegl W., Rutz D., Janssen R. (2011) Information Material Biomass Systems. – Training Handbook for Sanitary and Heating Installers; WIP Renewable Energies, Munich, Germany; Academy for In-Service Teacher Training and Staff Development (ALP), Dillingen a.d. Donau, Germany; Report of the IEE Project Install+RES
- Karalus W. (2007) Ernte und Lagerung von Getreide. - Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft; Dresden, Germany; [http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/GetreideimOeL\\_ErnteLager\\_2\\_Kennwortschutz.pdf](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/GetreideimOeL_ErnteLager_2_Kennwortschutz.pdf)
- Kirchmeyr F., Anzengruber G. (2008) Leitfaden zur Wärmenutzung bei Biogasanlagen. – ARGE Kompost und Biogas Österreich; Linz, Austria
- Kralemann M. (2007) Einleitung: Wärmenutzung in Biogasanlagen. - In: Schröder D. Wärmenetze an Biogasanlagen Ein Leitfaden. – Fachkongress am 20 November 2007, Hitzacker; Region Aktiv Wendland/Elbtal; [http://www.projekt-bioenergie.com/wcms/ftp//p/projekt-bioenergie.com/uploads/leitfaden\\_biogaswrmenetze\\_11071.pdf](http://www.projekt-bioenergie.com/wcms/ftp//p/projekt-bioenergie.com/uploads/leitfaden_biogaswrmenetze_11071.pdf) [10.07.2012]
- New Buildings Institute (1998) Guideline: Absorption Chillers. - New Buildings Institute; Fair Oaks; Canada; <http://www.stanford.edu/group/narratives/classes/08-09/CEE215/ReferenceLibrary/Chillers/AbsorptionChillerGuideline.pdf> [10.07.2012]
- Paeger J. (2012) <http://www.oekosystem-erde.de/html/energie.html>
- Ramanauskaite R., Rutz D., Bailon L., Dzene I., Vorisek T., De Filippi F., Amann S., Amann C., (2012): Good Practice Examples for Efficient Heat Use from Biogas Plants. - WIP Renewable Energies; Munich, Germany; Report elaborated in the framework of the BiogasHeat project (Contract Number: IEE/11/025)
- Rutz D., Janssen R. (2008) Biofuel Technology Handbook. - 2nd version; BIOFUEL MARKETPLACE Project funded by the European Commission (EIE/05/022); WIP Renewable Energies, Germany; 152p.
- Rutz D., Janssen R., Letsch H. (2006) Installateurs-Handbuch Biomasseheizanlagen. - EU-IEE EARTH Project; 241p. [www.earth-net.info](http://www.earth-net.info)
- Rutz D., Janssen R., Hoffstede U., Beil M., Hahn H., Kulisic b., Jurić Z., Kruhek M., Ribic B., Haider p., Gostomska A., Nogueira M.A., Martins A.S., Martins M., do Céu Albuquerque M., Dzene I., Niklass M., Gubernatorova I., Schinnerl D., Ruszel m., Pawlak P. (2011) Organic Waste for Biogas Production in Urban Areas. - Proceedings of the 19th European Biomass Conference and Exhibition; pp. 2125-2131; ISBN 978-88-89407-55-7; DOI: 10.5071/19thEUBCE2011-VP3.4.27
- Rutz D., Janssen R., Ramanauskaite R., Hoffstede U., Hahn H., Kulisic B., Bosnjak R., Kruhek M., Ribic B., Surowiec T., Surowiec M., Nogueira M.A., Martins A.S., Duarte D., do Céu Albuquerque M., Martins M., Dzene I., Niklass M., Pubule J., Schinnerl D., Kalandyk k., Zapora D. (2012) The use of Bio-Waste for biomethane Production in European Cities. - Proceedings of the 20th European Biomass Conference and Exhibition; pp. 1481 – 1490; ISBN 978-88-89407-54-7; DOI: 10.5071/20thEUBCE2012-3CO.2.2
- Schröder D. (2007) Konzeption eines Wärmenetzes: Von „Wärmeabfall“ zum wirtschaftlichen Nutzungskonzept. – In: Schröder D. Wärmenetze an Biogasanlagen Ein Leitfaden. – Fachkongress am 20 November 2007, Hitzacker; Region Aktiv Wendland/Elbtal; [http://www.projekt-bioenergie.com/wcms/ftp//p/projekt-bioenergie.com/uploads/leitfaden\\_biogaswrmenetze\\_11071.pdf](http://www.projekt-bioenergie.com/wcms/ftp//p/projekt-bioenergie.com/uploads/leitfaden_biogaswrmenetze_11071.pdf) [10.07.2012]
- Schulz W., Heitmann S., Hartmann D., Manske S., Erjawetz S.P., Risse S., Rübiger N., Schlüter M., Jahn K., Ehlers B., Havran T., Schnober M., Leitfaden Verwendung von Wärmeüberschüssen bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen. – Bremer Energie Institut; Bremen, Germany

- 
- Skagestad B., Mildenstein P. (no date) District Heating and Cooling Connection Handbook. – International Energy Agency (IEA) District Heating and Cooling. [http://dedc.dk/sites/default/files/programme\\_of\\_research\\_development\\_and\\_demonstration\\_on\\_district\\_heating\\_and\\_cooling.pdf](http://dedc.dk/sites/default/files/programme_of_research_development_and_demonstration_on_district_heating_and_cooling.pdf) [10.07.2012]
- Wiese G. (2007) Wärmeverluste: Vorsicht mit pauschalen Angaben! – In: Schröder D. Wärmenetze an Biogasanlagen Ein Leitfaden. – Fachkongress am 20 November 2007, Hitzacker; Region Aktiv Wendland/Elbtal; [http://www.projekt-bioenergie.com/wcms/ftp/p/projekt-bioenergie.com/uploads/leitfaden\\_biogaswrmenetze\\_11071.pdf](http://www.projekt-bioenergie.com/wcms/ftp/p/projekt-bioenergie.com/uploads/leitfaden_biogaswrmenetze_11071.pdf) [10.07.2012]
- Worldwatch Institute (2012) <http://blogs.worldwatch.org/revolt/is-%E2%80%9Crenewable-methane%E2%80%9D-energy-storage-an-efficient-enough-option/> [17.07.2012]

