



BioGas2020 

# Biogas Livscyklus Perspektivet

Overblik over biogas anvendelse i et miljømæssigt livscyklus perspektiv - brændstofs sammenligning

**Interreg**  
Öresund-Kattegat-Skagerrak  
European Regional Development Fund



**Maj 2017**

**Skrevet af:**

Anders Clausen, NTU ApS, Danmark

**Kontrolleret og godkendt af:**

Kent Bentzen, NTU ApS, Danmark

**Kontakt:**

Kent Bentzen, WP5 leder af Biogas2020



NTU ApS  
Vestre Havnepromenade 5, 4.sal  
Postboks 1111  
DK-9000 Aalborg  
Danmark

Tlf.: +45 99 30 00 04  
E-mail: kb@ntu.eu  
biogas@ntu.eu

**Delfinansieret af:** Interreg ÖKS  
<http://interreg-oks.eu>

**Interreg**  
Öresund-Kattegat-Skagerrak  
European Regional Development Fund



EUROPEAN UNION

---

## Executive Summary

---

The aim of this report is to provide an overview of the future possibilities for biogas production and consumption in a life cycle perspective, and further the environmental assessment of different biogas cases.

The report is intended as a reference work for the transport industry, providing a common understanding of the life cycle assessment perspective possibilities. Along with this an industrial symbioses study for biogas production will be shortly presented and analysed.

This to advance and further increase the use of biogas driven vehicles for the heavy transportation sector.

The hypothesis analysed is:

*“What are the environmental impacts and consequences of using biogas as a transport fuel seen in a life cycle perspective, and compared to other fuel types like natural gas, petrol/diesel and electricity?”*

---

## Indholdsfortegnelse

---

Executive Summary.....	3
Indholdsfortegnelse .....	4
Præambel.....	5
Værdikæden, Ressourceeffektivitet og Industriel Symbiose for Biogas Produktion.....	6
Værdikæden for et Holistisk Transport System.....	6
Ressource Effektivitet .....	7
Industriel Symbiose.....	7
Drivmidler for Transportsektoren.....	8
Livs cyklus perspektivet for Biogas i den grønne omstillings proces .....	9
Livscyklus vurdering (Life Cycle Assessments – LCA) .....	9
Natural gas - Life Cycle Network.....	10
Diesel - Life Cycle Network.....	11
Biogasification of Food Wastes – Life Cycle Network.....	12
Biogasification of Sewage Sludge- Life Cycle Network .....	13
Analyse af forskellige brændstofs typer – Simapro Livscyklus vurderinger (EIA).....	14
Sammenligning af Diesel, Naturgas og Biogas på Eco-Indicator 99 Impact Categories.....	14
Sammenligning af Elektricitets påvirkning af Miljøet –4 forskellige kilder på Single Score(Type) ...	16
Sammenligning af Biogas’ påvirkning af Miljøet - 2 kilder på Single Score(Type) .....	18
Konklusion.....	21
Perspektivering: Hvor vil Biogas2020 projektet tage fat i fremtiden? .....	22
Fremtidige muligheder i netværket Biogas2020 – Industriel symbiose for Biogas produktion .....	22
Barriere til implementering af disse industrielle symbioser (afgifter/skater) .....	23
Hvad skal ændres for at overkomme disse barriere? .....	23
Fremtidige Perspektiver for den Grønne omstilling til Biogas.....	24
Perspektiverings konklusion .....	25
Bibliografi .....	26
Annex .....	27

---

## Præambel

---

Denne rapport fokuserer på biogas og indeholder en oversigt over nye områder hvor biogas kan indgå i værdikæden i et livscyklusmæssigt perspektiv for et transportsystem.

Rapporten vil gennemgå livscyklus beregninger for biogas ift. fossile brændstoffer og få beskrevet og undersøgt, hvilke har den mest miljømæssige anvendelse for transport industrien.

Rapporten er produceret som en del af det Interreg Øresund-Kattegat-Skagerrak finansierede projekt "Biogas2020". Biogas2020 er et treårigt projekt, som gennemføres i perioden august 2015 til juli 2018 med deltagelse af 35 aktører fra både Danmark, Sverige og Norge.

Formålet med rapporten er at afdække nye muligheder og innovative samarbejdspartnere i og omkring biogas produktionen og forbruget på tværs af forsyningskæder og transport industrien i et livscyklus perspektiv.

Rapporten er udarbejdet af den danske projektpartner NTU ApS, der som arbejdspakkeleder af arbejds-pakke 5 "Infrastruktur" har det overordnede ansvar for at fremme udviklingen og brugen af biogas i den tunge transportsektor.

Rapporten er baseret på data indsamlet fra førstehåndskilder og tidligere udarbejdede rapporter samt egne beregninger og analyser i softwaren Simapro 8.3.0.

Tesen der vil blive undersøgt i rapporten er:

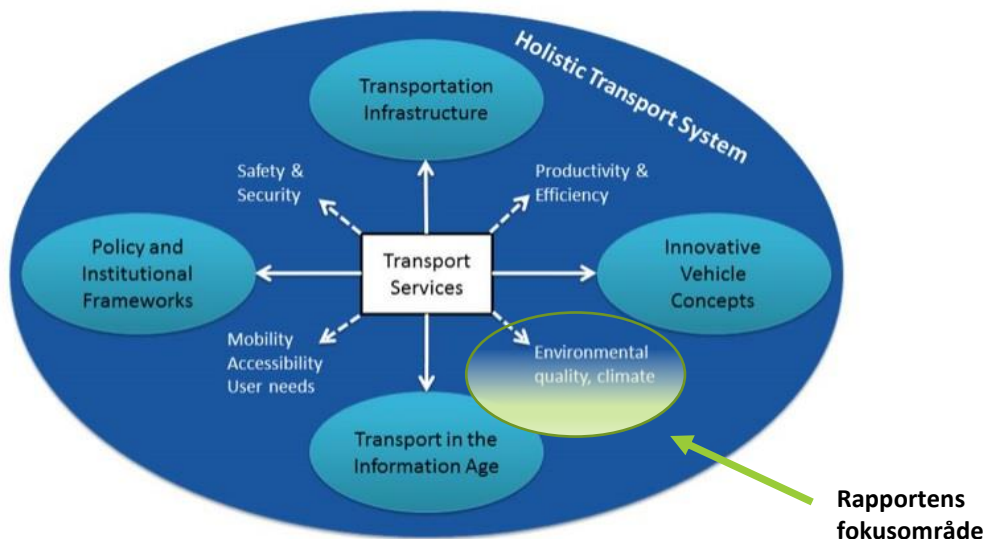
*"Hvilke miljømæssige påvirkninger og konsekvenser er der for produktionen og brugen af biogas, sammenlignet med andre brændstofs typer såsom naturgas, benzin, diesel og elektricitet?"*

### Værdikæden for et Holistisk Transport System

For at forstå den overordnede værdikæde for biogas, er det vigtigt at der først ses på det transportsystem biogassen skal anvendes i. De forskellige faser af livscyklusen for biogas heri består af de fem stadier, som er:

1. Råmaterialeudvinding
2. Produktion
3. Pakning/lager
4. Brugsfasen forbrug
5. Affaldshåndtering

I *figur 1* er der vist en iteration fra Det Kongelige Tekniske Universitet (Kungliga Tekniska Högskolan) i Stockholm, Sverige omkring fire faktorer, der spiller ind i et transportsystems påvirkning af transportservices i værdikæden.



Figur 1: Oversigt over et Holistisk Transport System (HTS, 2015)

Transportplatformen her består af flere typer, i varierende skalaer opsat på en tværvideenskabelig måde: (HTS, 2017)

- Med flere *typer* menes der, trafiksystemer, transportsystemer, logistiksystemer for vand, luft, bane, landevej og motorvej og de sammenhængende logistikvirksomheder, der indgår på tværs af systemerne.
- Med flere *skalaer* menes der, mikro- til makro-skala, f.eks. fra enkelte køretøjer til hele transportsystemer og deres interaktion med samfundet, fra styringsteknologier til langsigtet planlægning og fra by til region og nationale til internationale niveauer.
- Med *tværfaglig/videnskabelig* menes der at integrere forskellige discipliner, fra køretøjsteknologi og infrastruktur til policy formulering og evaluering.

Det ses også af *figur 1* at sikkerhed, mobilitet og tilgængelighed, produktivitet og effektivitet og miljøkvalitet alle spiller en central rolle i opbygningen af dette HTS system. Denne rapportes hovedfokus vil være på det miljømæssige spektrum i kvadrant 4 (Grøn cirkel), da livscyklus perspektivet i sig selv er en miljøvurdering af afledte effekter på baggrund af et transportsystem. Her i denne rapport er der

tale om eksempler med brug af biogas (LBG - flydende biogas, CBG - komprimeret biogas) ift. konventionel diesel.

De fire punkter 1. Transport infrastruktur, 2. Innovative køretøjsteknologier, 3. Transport i informationsalderen og 4. Politik & institutionelle rammer, er alle vigtige for at forstå værdikæden fra biogas produktion til forbrug ved slutbrugeren (vognmænd). Næste sektion søger at afdække begrebet resourceeffektivitet for at forklare grundtanken i industriel symbiose som en del af cirkulær økonomi. Dette gøres for at forstå konteksten som brændstoffets livscyklus indgår i.

### Ressource Effektivitet

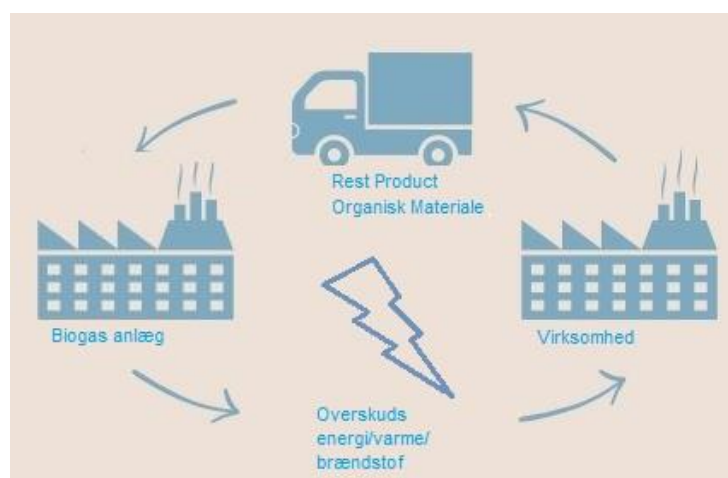
Som nævnt i [Nasa, 2011] er "jordens overfladetemperatur steget drastisk og er på nuværende tidspunkt højere end nogensinde før. Denne særligt drastiske stigning i jordens overfladetemperatur skyldes blandt andet udviklingen af det moderne samfund og den forøgede drivhuseffekt som er opstået i takt med samfundets stigende forbrug af energikrævende teknologier". Her i blandt andet transportsektoren en stor udleder af emissioner, ca. ¼ af Danmarks CO<sub>2</sub> udledning er fra transportsektoren ifølge *Energistyrelsen*. (EU, 2014)

Ressourceeffektivitet er defineret fra EU kommissionen som "at bruge jordens begrænsede ressourcer på en bæredygtig måde, mens man samtidig minimerer indvirkningen på miljøet. Det giver mulighed for at skabe mere med mindre og levere større værdi med mindre input" (EU, 2014)

Alle EU lande, er underlagt at leve op til kravene i EU 2020 planen, for at minimere forbruget af ressourcer. En mulighed herfor er industrielle symbioser, som kan minimere produktionen, udvinding og forbruget af fossile brændstoffer og hjælpe med at skifte over til grønne alternativer såsom biogas og/eller el.

### Industriel Symbiose

En industriel symbiose er et system, ligesom i naturens symbiose, hvor en parts restprodukt er en anden parts input, derved opnås et bæredygtigt alternativ til fremstilling af jomfruelige materialer og/eller brændstoffer. Da biogas i sig selv produceres af restprodukter, såsom husdyrgødning, husholdningsaffald eller spildevand mm., er disse strømme allerede tænkt ind som naturlig del af symbiose produktionen for biogas. Der kan dog spekuleres i andre virksomheders ressourcestrømme også, da der i mange virksomheder er meget at vinde på materiale-, affalds- og energiområdet, er det derfor en god idé at skabe et overblik over ressourcestrømmene ind og ud af virksomhederne (NBE, 2017). I Figur 2 er der vist en illustration for en industriel symbiose med produktion og anvendelse af biogas. Virksomheden til venstre er udskiftet med et biogasanlæg som modtager restprodukter fra virksomheden til højre og levere energi tilbage.



Figur 2: Industrial Symbiose (NBE, 2017)

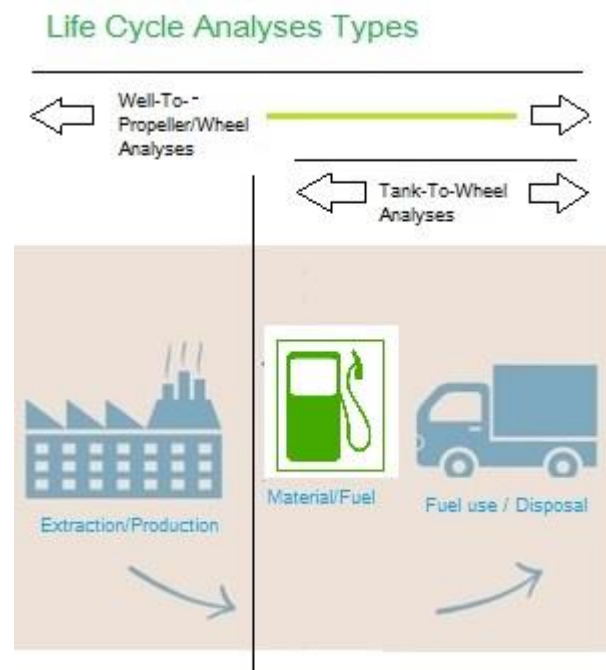
Senere i rapporten vil to industriel symbiose scenarier for biogas' anvendelse af restprodukter blive præsenteret og beskrevet som del af perspektivering.

## Drivmidler for Transportsektoren

De tre typiske drivmidler der kan blive og bliver brugt i transportsektoren er:

- 1) Diesel/Benzin/gasolin
- 2) El
- 3) Naturgas/Biogas

Udover disse fire typiske drivmidler er hydrogen/brint brændselscelle teknologi også i udviklingsfasen. El er knapt så udbredt blandt tungtransport da batterierne til dags dato ikke har nok kapacitet for de store lastbiler som hos små personbiler under 3.500 kg. Der vil i denne rapport blive undersøgt hvad der kræves for at producere de fire drivkilder plus hvad miljøpåvirkning disse har at producere og forbruge. På den måde vises et mere holistisk billede af miljøpåvirkningen helt fra "brønden" Well-to-Wheel analyse og ikke blot Tank-To-Wheel ifølge figur 3. Tank-to-Wheel analyserer faserne 4) Brugsfasen og 5) Affaldshåndtering, hvorimod Well-to-Wheel analyserer både 1) Råmateriale udvinding/extraction, 2) Production/transformering og 3) Pakning/Distribution/Transport af materialet/brændstoffet. Dermed er det vigtigt udover energi effektivitet og virkningsgrad analyseret i tidligere rapport i [Wolsing, 2016] at kigge "længere nede" i brændstof livscyklussen.



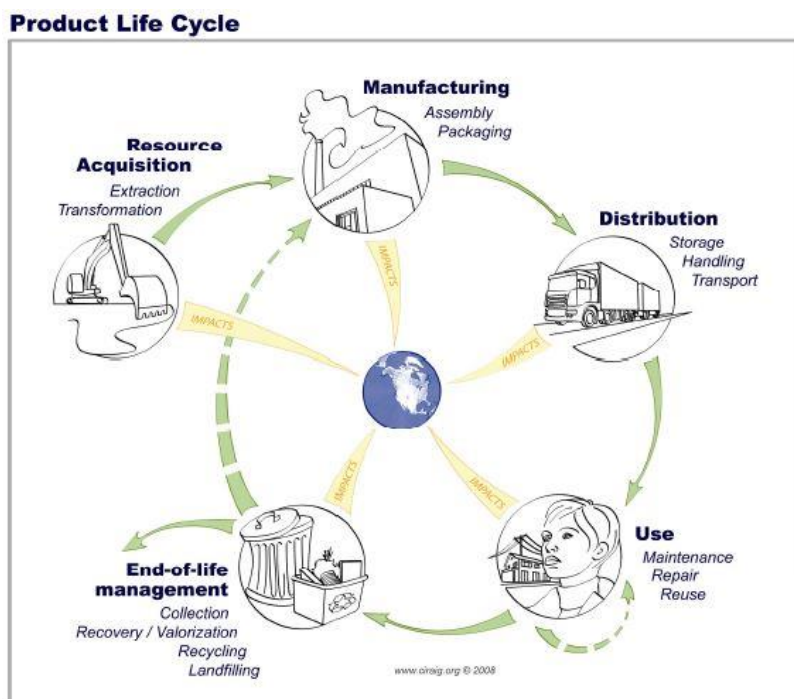
Figur 3: Oversigt over Well-to-Wheel og Tank-to-Wheel Analyser

Næste sektion vil forklare kort om begrebet livscyklusanalyse og hvorfor det er relevant at forstå i biogas sammenhænge, både i produktions forstand og forbrug af biogas forstand.



### Livscyklus vurdering (Life Cycle Assessments – LCA)

En livscyklusanalyse er et billede af, hvordan et materiale, produkt eller i det her tilfælde et brændstof påvirker miljøet i dets fems livscyklusstadier; Udvinning, Produktion, Transport/Lagring/Pakning, Brugs og Affaldshåndterings fasen. Følgende figurer 5 og 6, tager udgangspunkt i fase 1, 2 og 3 (udvinning, produktion og transport af brændstof) vist i et produkt livscyklusdiagram:



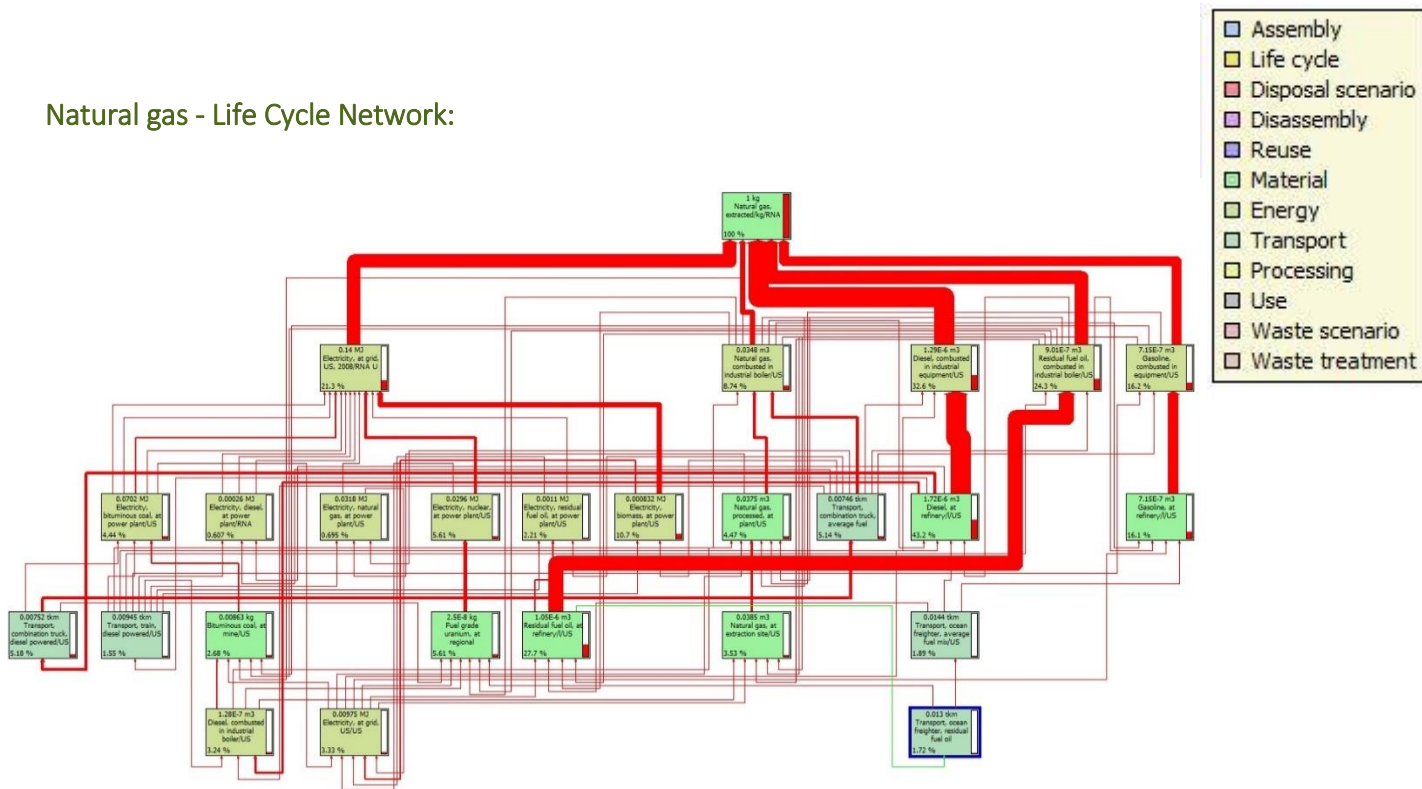
Figur 4: Livscyklus produkt diagram (M. Papadopoulo et. Al, 2009)

Figur 4 viser de forskellige aktiviteter, der foregår i hvert livscyklusstadium, og at der er forskellige huller i forbrugsfasen, her vedligeholdelse, reparation og genbrug/genanvendelse. Biogas udvinning og brændstoffer brugs sammenligning vil være hovedfokus i denne rapport. På de næste 4 sider er vist et Livscyklus netværk for;

- 1) Naturgas (NG) ekstrahering, produktion og transport,
- 2) Konventionel diesel produceret i USA,
- 3) Biogas udvundet og ekstraheret ved hjælp af tilsætning af organiske rest fraktioner (husholdningsaffald)
- 4) Biogas produceret ved hjælp af tilsætning af spildevand fra at renseanlæg.

Disse vil senere blive sammenlignet i en Miljøpåvirkningsvurdering (Environmental Impact Assessment-EIA) alt sammen foretaget og beregning ved hjælp af livscyklus simulations softwaren Simapro. Denne software bruger industri-standarder og gennemsnitsværdier for at udregne miljøpåvirkninger baseret på antagelser og tidligere beregninger.

## Natural gas - Life Cycle Network:



Figur 5: Livscyklus netværks diagram for 1 kg naturgas (NG) udvinding og transport (Clausen, 2017)

Figur 5 (se annex 1 for større udgave) viser netværket for naturgas, en af de tre gas former. Livscyklus netværket for ekstrahering og transport indgår. Man kan se ifølge de røde optegnede streger (vægtede højest) at til at producere 1 kg naturgas bliver der brugt 0,14 MJ (svarende til 21,3 %) elektricitet. Det samlede energiniveau ligger på 0,22 MJ læst af Simapro 8.1.3, hvilket svarer til at halvdelen af energien krævet til ekstrahering af naturgassen ligger i elektriciteten.

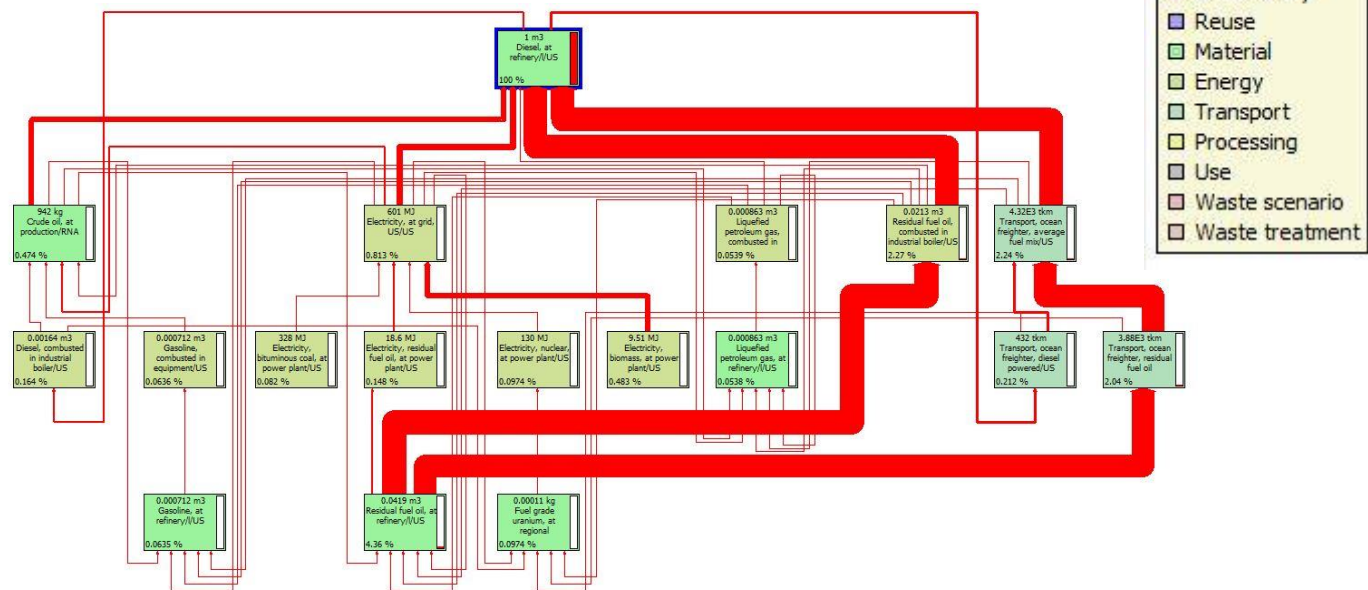
I tabel 1 ses, hvor meget råmateriale der anvendes til at producere 1 kg naturgas. Der er også anvendt diesel og benzin (gasolin) med henholdsvis 32,6 % og 16,2 % med "residual fuel oil" på 24,3%. Det vil sige at der bliver brugt 73,1% brændstof til at ekstrahere 1 kg naturgas i luftformig form, de sidste 6% er naturgas som bliver brændt til produktionen. Der vil altid gå noget naturgas til spilde ved at producere naturgas, men hoveddelen af energien kommer fra elektricitet (21,3%) og fossile brændstoffer (73,1%) til produktion af 1,04 kg naturgas.

Substance	Compartme/	Unit	Total	Natural gas, extracted/kg/RNA	Electricity, at grid, US, 2008/RNA U	Natural gas, combusted in	Diesel, combusted in industrial	Residual fuel oil, combusted in	Gasoline, combusted in
Carbon dioxide, in air	Raw	mg	195	x	167	21.8	2.88	1.94	1.36
Coal, 26.4 MJ per kg	Raw	g	10.6	x	10	0.492	0.0648	0.0436	0.0307
Gas, natural, 46.8 MJ per kg	Raw	kg	1.04	1.04	x	x	x	x	x
Gas, natural/m3	Raw	l	38.5	x	2.75	35.6	0.0668	0.045	0.0317
Oil, crude	Raw	g	3.14	x	0.26	0.272	1.22	0.818	0.576
Uranium oxide, 332 GJ per kg, in ore	Raw	µg	272	x	257	11.7	1.54	1.04	0.73

Tabel 1: Raw Material Use for 1 kg of Natural Gas Production

Førnævnte afsnit dækker udvinding, transport og transformering i livscyklussen af materialet. Der er ikke helt uskadeligt både i emissioner og i produktion at bruge og ekstrahere naturgas. Derfor findes det også at ren biogas både er mere miljøvenligt at ekstrahere/producere/transformere, pga. det bliver lavet af rest produkter fra organisk affald, og kræver elektricitet at producere i biogasanlæg, men knap så meget olie/diesel/benzin som ikke er fossilfrie alternativer.

## Diesel - Life Cycle Network:



Figur 6: Livs cyklus netværks diagram for 1 m<sup>3</sup> Diesel udvinding og transport (Clausen, 2017)

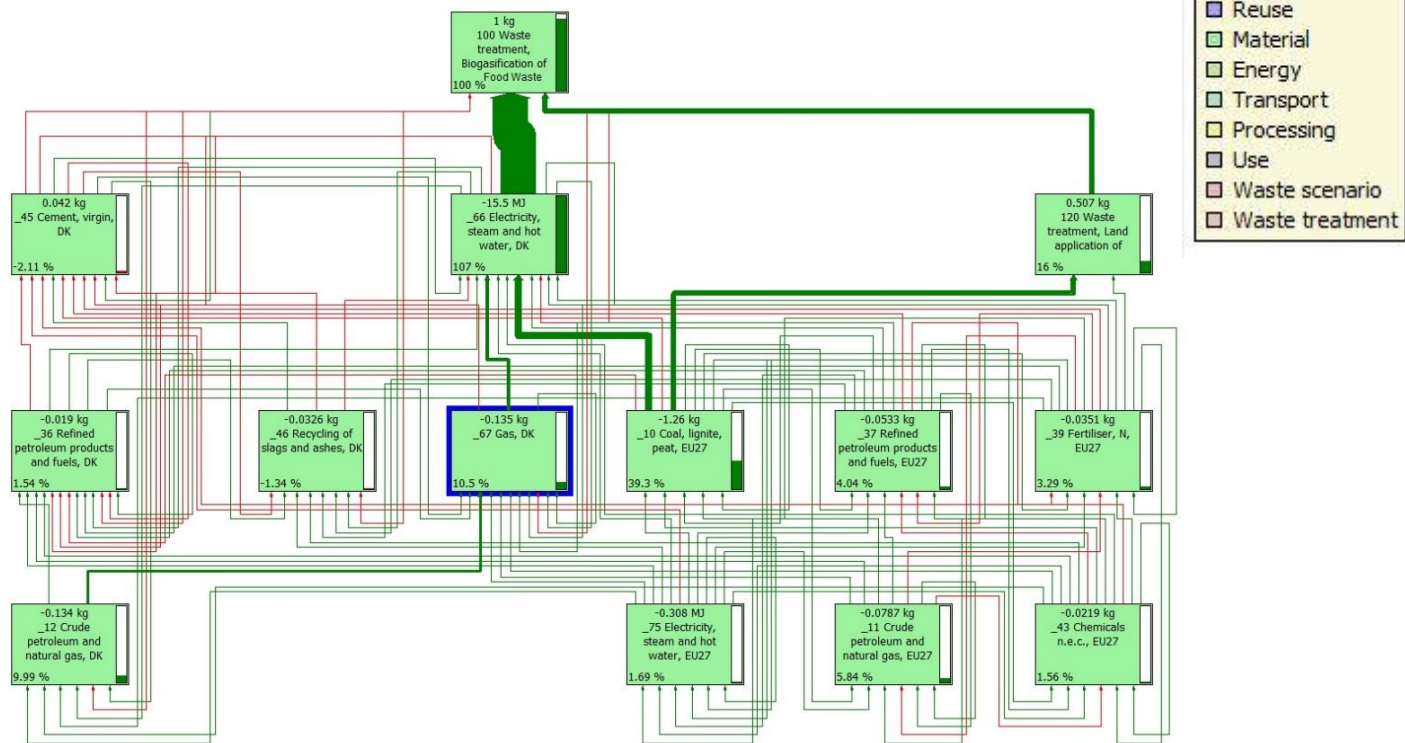
I figur 6 er vist et livscyklusnetværk for et konventionelt brændstof; Diesel. I figur 6 (se annex 2 for større udgave) er de røde optegnede streger mere dominante for "crude oil combustion" (forbrænding af råolie) og transporten af olie tønder transatlantisk på store olietankere. Den miljømæssige indvirkning af 1 m<sup>3</sup> diesels (svarende til 1.000 liter eller 850 kg) udvinding og transport, er derfor anderledes end for 1 kg naturgas som før, da man udvinder og forbruger mere olie heri. Samt at 1/850 del kg naturgas også er mindre, men på relative termer med en faktor på 1.000 liter (1 liter diesel = 0,85 kg), kan diesels produktion sammenlignes efter denne faktor.

Substance	Compartment	Unit	Diesel, at refinery/US
Carbon dioxide, in air	Raw	kg	2.23
Coal, 26.4 MJ per kg	Raw	kg	50.2
Gas, natural/m <sup>3</sup>	Raw	m <sup>3</sup>	51.8
Oil, crude	Raw	kg	942
Uranium oxide, 332 GJ per kg, in ore	Raw	g	1.19

Tabel 2: Raw Material Use for 1m<sup>3</sup> of Diesel Production

Biogas (CBG- komprimeret biogas) er udover naturgas, stadig mere miljøvenligt end traditionel udvinding af naturgas, pga. det indgår i det naturlige kredsløb. Dette øjebliksbillede blev præsenteret for at få en overordnet forståelse for begrebet livscyklusanalyse. Næste sektion vil præsentere to industrielle symbiose scenarier for udvinding ved tilført organiske materialer (husholdningsaffald) og spildevand for biogas (CBG) produktion.

## Biogasification of Food Wastes – Life Cycle Network:



Figur 7: Livs cyklus netværks diagram for 1 kg biogas (CBG) udvinding/transformering for organisk materiale (Clausen, 2017)

Figur 7 (se annex 3 for større udgave) viser at de grønne optegnede streger mere dominante for "elektricitet, damp og varmt vand" tilførsel i biogassens tilfælde. Farven grøn indikerer en positiv miljøpåvirkning, hvorimod den røde farve fra før viste frataget materiale, er den grønne ensbetydende med tilført til naturens kredsløb. Det vil sige at der er sparet -15.5 MJ energi ved at udvinde biogas på denne måde i forhold til naturgas.

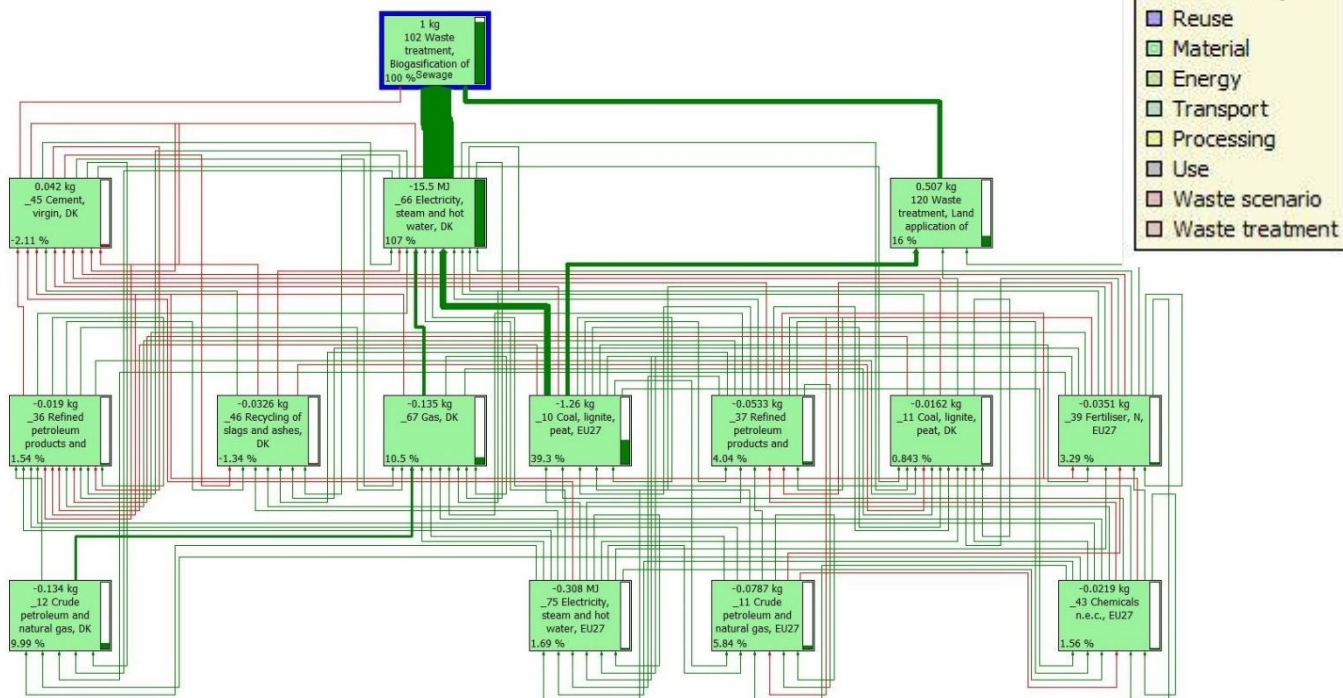
Den miljømæssige indvirkning af 1 kg biogas fra tilførsel af husholdningsaffald, er derfor anderledes end for 1 kg naturgas fra førnævnte eksempel, da der udvindes og forbruges mere olie dertil (se side 10). I tabel 3 vises råmaterialeforbruget for udvinding af 1 kg biogas (den negative værdi er tilbageført ressource, og brugt til selve produktionen). Helt præcist anvendes der -1,26 kg brun kul (lignite coal) og -0,06 kg raffineret petroleum produkter i forhold til naturgas situationen fra før.

Substance	Compartment	Unit	100 Waste treatment, Biogasification of food waste, DK
Aluminium	Raw	mg	-67.9
Carbon dioxide, in air	Raw	g	-13.8
Coal, hard	Raw	kg	-1.28
Copper	Raw	mg	-21.1
Gas, natural, 46.8 MJ per kg	Raw	g	-78.4
Iron	Raw	mg	-665
Lead	Raw	µg	-167
Nickel	Raw	mg	-79.1
Oil, crude	Raw	g	-139
Other minerals, extracted for use	Raw	g	-80.1
Other minerals, related unused extraction	Raw	g	-1.06
Sand and clay	Raw	g	63.3
Zinc	Raw	µg	-514

Tabel 3: Raw Material Use for 1kg of Biogas Food waste treatment production

Der bliver anvendt gylle (fertiliser) til at starte den gasformige proces frem imod udvinding af metan (biogas) og noget cement til selve rådetankens konstruktion, udover disse to materialer er det en win-win situation rent miljømæssigt at bruge husholdningsaffaldet i forhold til situationen fra før med naturgas udvinding.

## Biogasification of Sewage Sludge- Life Cycle Network:



Figur 8: Livs cyklus netværks diagram for 1 kg biogas (CBG) udvinding/transformering for spildevand (Clausen, 2017)

Figur 8 (se annex 4 for større udgave) viser "grønne" tilførte ressourcer til naturen i forhold til diesel og naturgas tilfældene på de to forrige sider. Udover at have alle de positive miljømæssige effekter fra før, er der her også produceret gylle (ved filtrering af spildevandet), og ikke tilført andet til processen udover spildevandet.

Der skal dog investeres i rensningsanlæggenes opsætning, da der kræves specielle filtre for at kunne sortere i det organiske materiale og vand. Det skal sortere fra i to separate sektioner da biomassen ikke må være for fugtig og vandholdigt, da dette vil gå ud over processen for fremstilling af biogas til senere brug som brændstof, og forringe kvaliteten.

"Waste treatment, land application for compost" og "råmateriale cement" til selve rådetanken (anaerobic digestion tank), er stort set de mest krævende råmaterialer tilført processen ved at anvende spildevand i biogas udvinding. Se tabel 4 for råmateriale anvendelses oversigt (negative værdi er tilbageført ressource i kredsløbet).

Substance	/	Compartment	Unit	102 Waste treatment, Biogasification of sewage sludge, DK
Aluminium		Raw	mg	-67.9
Carbon dioxide, in air		Raw	g	-13.8
Coal, hard		Raw	kg	-1.28
Copper		Raw	mg	-21.1
Gas, natural, 46.8 MJ per kg		Raw	g	-78.4
Iron		Raw	g	-0.665
Lead		Raw	µg	-167
Nickel		Raw	mg	-79.1
Oil, crude		Raw	g	-139
Other minerals, extracted for use		Raw	g	-80.1
Other minerals, related unused extraction		Raw	g	-1.06
Sand and clay		Raw	g	63.3
Zinc		Raw	µg	-514

Tabel 4: Raw Material Use for 1kg of Biogas sewage sludge treatment production

Næste sektion vil præsentere Environmental Impact damage Assessments (EIA-skades vurderinger) af fire diesel typer og to naturgas typer med 11 forskellige indikatorer. Udover disse vil 6 former for elproduktion (traditionelle metoder) og til sidst de to førnævnte biogas udvindings metoder også blive analyseret. Dette for at sammenligne hvad der påvirker de forskellige parametre i Eco-Indicator99(miljø) metoden i Simapro livscyklus softwaren mest. Dette gjort for at kunne vurdere brugen af brændstoffet med den mindste udledning og miljø skadende effekt.

### Sammenligning af Diesel, Naturgas og Biogas på Eco-Indicator 99 Impact Categories

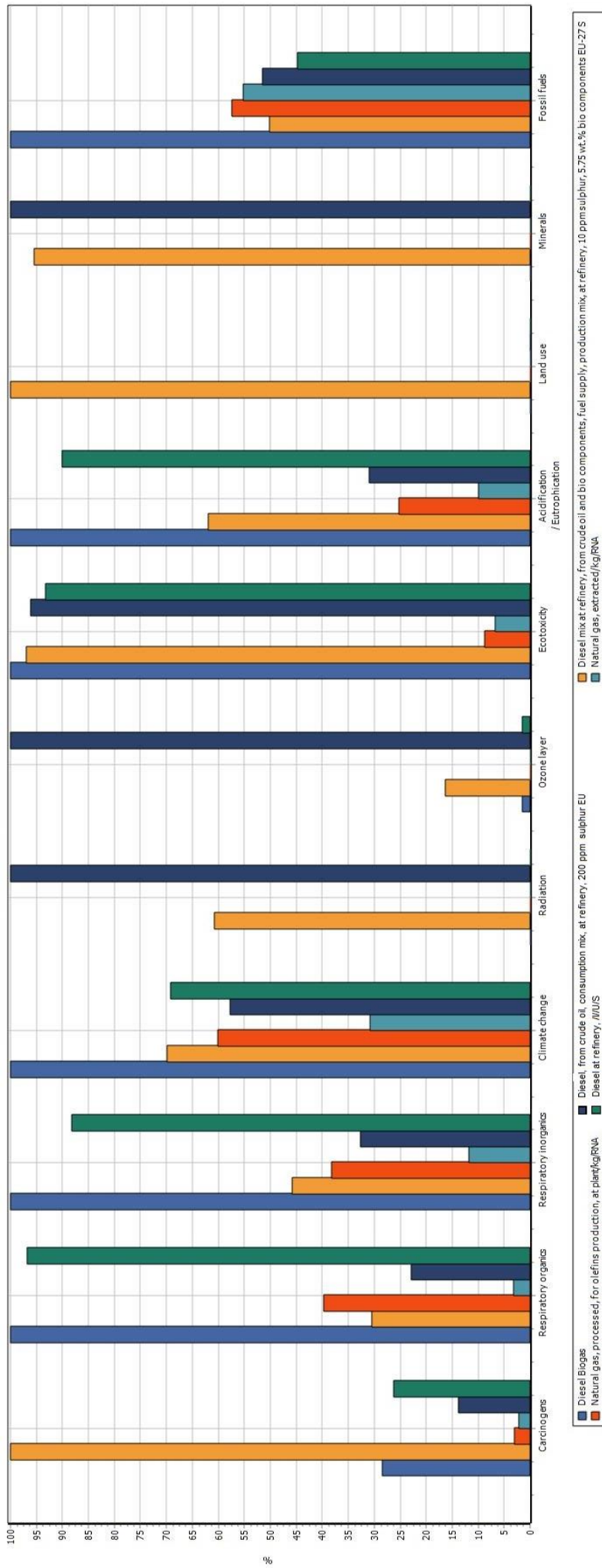
Figur 9 viser en sammenligning af 6 typer brændstof;

- 1) Diesel Biodiesel
- 2) Diesel fra råolie
- 3) Diesel mix fra råolie og bio komponenter
- 4) Diesel fra US produktion
- 5) Naturgas fra Olefine produktion
- 6) Naturgas ekstrahering on site

Det ses af figur 9 at "Diesel mix at refinery, crude oil" har største procentmæssige påvirkning i følgende kategorier: Carcinogens (kræftfremkaldende stoffer), Climate change (klimaforandring), Land Use (arealanvendelse) og Minerals (minerale). Naturgas som en del af Olefine (Petro Chemical) produktion er højt vægtigt i Klimaforandring og Fossile fuels, fordi det allerede er et biprodukt i produktionen i kemiske produktions fabrikker, der producerer oliefiner (mineral) ved dampkrakning af naturgas baserede væsker som ethan og propan (**Wade L.G, 2016**).

Samlet set er naturgas, der bliver ekstraheret on-site, den af de fem brændstoffer, der er vægtet mindst i forbindelse med klimaforandring, åndedrætsbesvær (organisk-mennesker/dyr og uorganisk-planter/bevoksning) samt kræftfremkaldende stoffer (carcinogens). Overordnet er de tre diesel typer mere skadende i forhold til Ozonlaget, Eco-toxicity (Øko-toksicitet), Acidification/Eutrophication (forsuring og/ Eutrofiering).

De næste sektioner vil fremstille mulige fremtidige perspektiver for at opnå mere udbredelse af brugen af biogas til transport, og hvad der senere skal til for at opnå denne grønne omstilling frem mod 2020 (EU) og 2018 i Biogas2020 projektet. De miljømæssige effekter af biogas produktionen fra Well-to-Propeller (Well-to-Wheel her) og ikke blot kun Tank-to-Wheel, med brændstofs forbruget som hoved fokus, bliver også belyst i denne rapport i de næste sektioner.

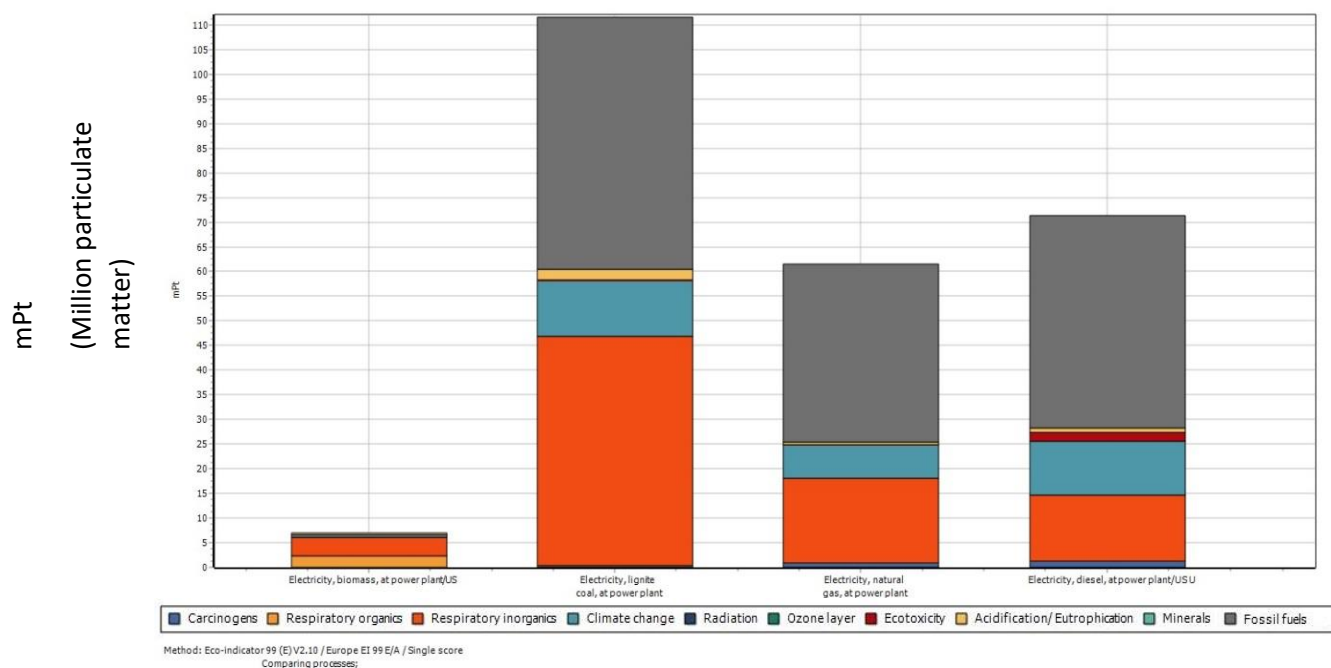


Figur 9: Diesel typer vs. Naturgas typer sammenligning Eco-Indicator 99 (Clausen, 2017)

## Sammenligning af Elproduktions påvirkning af miljøet – 4 kilder på Single Score (Type)

Den følgende figur 10 viser en sammenligning af fire forskellige kilder til produktion af 1 kWh elektricitet, samt deres miljømæssige påvirkning. De fire produktionskilder valgt heri er;

- 1) Biomasse
- 2) Kul
- 3) Naturgas
- 4) Diesel



Figur 10: Sammenligning af fire kilder til at producere 1 kWh Elektricitet Eco-Indikator 99 (Clausen, 2017)

Figur 10 viser at "lignite coal" (brunkul) produktion af 1 kWh elektricitet, er det mest miljøskadelige samtidigt er dette også det mest anvendte middel i kraftvarmeværker. Til sammenligning af de forskellige mængder af hver energikilde, der anvendes til at generere 1 kWh, er vist en estimation baseret på antagelser for disse kraftværker (i U.S.):

Mængde af brændstof brugt til at generere 1 kWh: (EIA, 2017)

- Kul = 0,472 kg (1,04 Pounds)  $\approx$  4.63 joules/meter (force)
- Biogas: 0,167 m<sup>3</sup> (1m<sup>3</sup> af biogas er lig med 0,5-0,6 liter diesel eller ca. 6 kWh)  $\approx$  3.77 joules/cubic meter (force)
- Naturgas= 0,286 m<sup>3</sup> (10,11 Cubic feet)  $\approx$  3.49 joules/cubic meter (force)
- Olie (Petroleum) = 0,265 liter (0,07 Gallons)  $\approx$  3.77 joules/litres (force)

Altså er der også antaget disse mængder til produktion af 1 kWh i miljøvurderingen foretaget af Eco-Indicator 99 metoden i livscyklus software programmet Simapro. Brunkuls (lignite) udvinding i sig selv er dog også skadelig for miljøet, da det mange steder foregår i åbne miner, som f.eks. i Tyskland, hvor store maskiner udgraver kullet fra jorden og slynger materialet op i luften med store gravkøer.

De parametre som er højest for brunkuls anvendelse for elproduktion er her "Respiratoriske uorganiske stoffer" eller "åndedrætsbesvær uorganisk" (Respiratory inorganics), klimaforandringer (Climate change) og fossile brændsels forbrug (fossil fuel use) samt forsuring (Acidification).



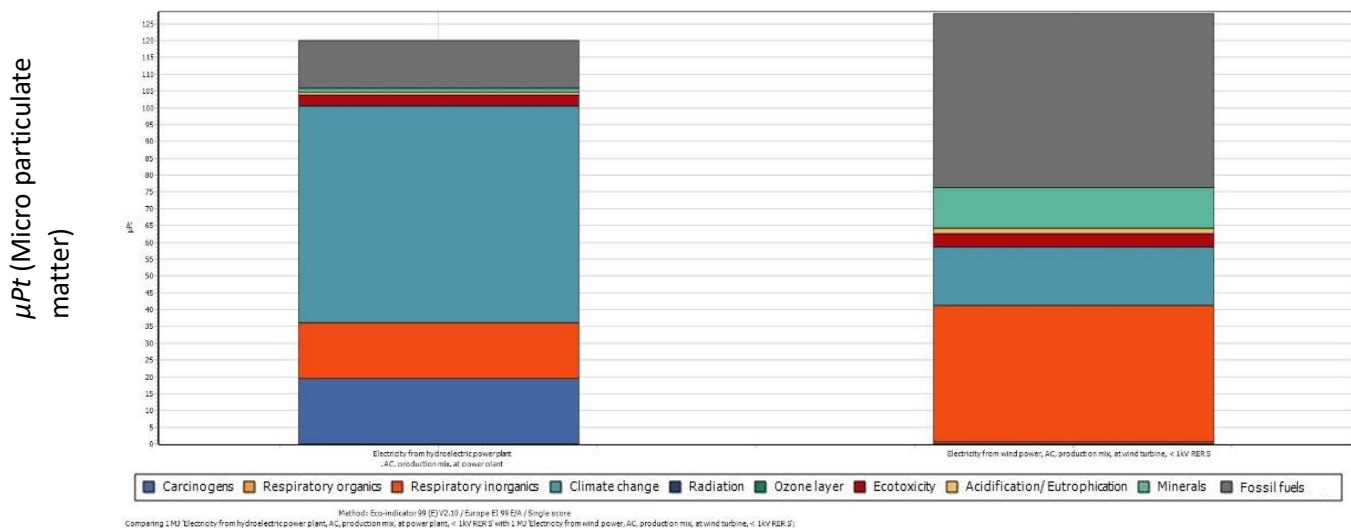
"Dieselolie" brugt til at producere 1 kWh, ses det at udover de tre førnævnte parametre så er der her også kræftfremkaldende (carcinogens) samt højere Økosystem toksicitet (Eco-toxicity) som påvirkninger af miljøet. Den tredje er naturgas som førnævnt i rapporten også ikke var helt uden skadelige virkninger, dog tredje bedst her, hvor klimaforandring, fossilt brændsel og åndedrætsbesvær uorganisk indgår som miljøskadelige faktorer.

I grafen i figur 10 findes det mest bæredygtige alternativ til produktion af 1 kWh at være biomasse (som bruges til biogas produktion).

Man kan diskutere om el eller biogas i sig selv er mest miljøvenligt at bruge som drivmiddel til transport, men denne rapport argumentere for biogas' anvendelse som førstehåndskilde i brug som drivmiddel for tungtransport, i stedet for andenhånds kilde igennem biomassens brug som indgående i produktionen af elektricitet som sidenhen anvendes til opladning af batterierne til el-biler. Idet det ikke kan klarificeres 100% fra hvilken kilde, bæredygtige eller ej, elektriciteten er produceret ud fra da det er et fælles energinet.

To muligheder for el produktion, er ikke belyst endnu, nemlig vandkraft (Hydro Electric Power) og vindkraft (Wind Power) da disse blev beregnet, men har en væsentlig brøkdel mindre påvirkning af miljøet (de to mest bæredygtige el produktions alternativer). Solceller (Photovoltaic Power) er også et bæredygtigt alternativ men meget omkostningsfuld, og knapt så udbredt til el produktion for hoved energi nettet, denne er derfor ikke medtaget i denne rapport. Solceller bruges mere ofte til lokalt produceret el i huse og virksomheder.

Hvor grafen ovenfor var i mPt (millions particulate matter for air, water and soul pollution) er figur 11 vist for produktion af 1 MJ (Mega Joule/1.000.000 joule) elektricitet med produktions kilder som vind og vandkraft i µPt (millionte del (micro) particulate matter), altså meget små mængder forurening i forhold til før, deraf kunne de ikke vises i grafen i figur 10.



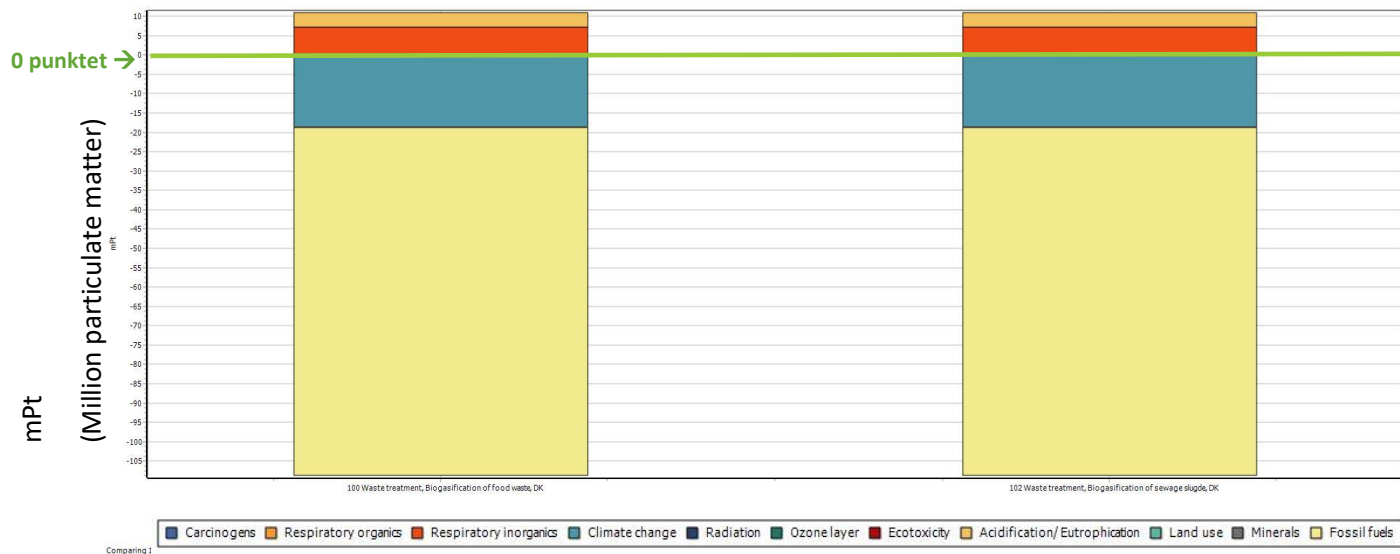
Figur 11: Sammenligning af to kilder til at producere 1 kV i 1MJ Elektricitet Eco-Indikator 99 (Clausen, 2017)

Til sammenligning mellem vandkraft (vist til venstre) og vindkraft (vist til højre) for 1 MJ er vist for vindkraft; "åndedrætsbesvær uorganisk", klimaforandring, fossile brændsel samt mineral, øko-toksicitet og forsurening som parametre. For vandkraft: er det kræftfremkaldende stoffer (carcinogens), "åndedrætsbesvær uorganisk", klimaforandring og dog langt mindre påvirkning af fossile brændsler, øko-toksicitet og mineraler. En helt tredje mulighed er afbrænding af kommunalt affald til produktion af elektricitet og/eller overskudsvarme, men denne blev ikke analyseret, da det ikke ses som en primær energikilde såsom de seks andre nævnte.

Vind og vandkraft er medtaget i denne rapport for at give et holistisk billede af de forskellige alternative kilder til brændstof i elproduktion, og for at vise at der er mange antagelser og forudsætninger for at både el men også for at naturgas og biogas er bæredygtigt i et livscyklusperspektiv. Biomassen i sig selv er dog nedbrydeligt i naturen og vil derfor vægtes som det bedste alternativ i et miljømæssigt perspektiv.

### Sammenligning af Biogas' påvirkning af Miljøet - 2 kilder på Single Score(Type)

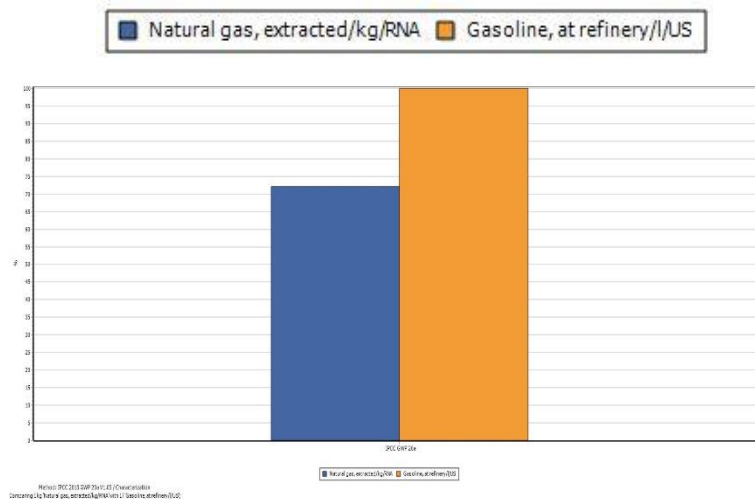
Figur 12 viser en sammenligning af to forskellige kilder, husholdnings affald og spildevand, til produktion af 1 kg komprimeret biogas(CBG). De 2 produktionskilder er organiske restfraktioner (husholdnings affald/food waste) og spildevand fra rensningsanlæg (spildevand/sewage sludge).



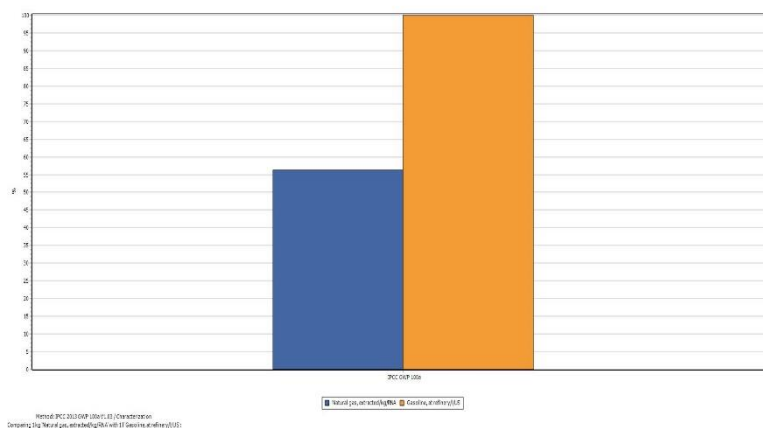
Figur 12: Sammenligning af to kilder til at producere 1 kg Biogas(CBG) Eco-Indicator 99 (Clausen, 2017)

Organisk materiale/husholdnings affald (vist til venstre) og tilført spildevand fra rensningsanlæg (vist til højre) for at udvinde 1 kg Biogas (CBG), ses det af figuren at disse to muligheder har omvendt klimapåvirkning (altså positiv effekt) på parametre såsom; klimaforandring og fossile brændsels mangel. De har samtidigt begge meget lavt udslag på "åndedrætsbesvær uorganisk" og forsurening og/ eutrofiering på blot 5-10 mPt (millions particulate matter for air, water and soul pollution). Disse var for de andre kilder til produktion af el langt højere med en faktor 10 (50-110 mPt -millions particulate matter) i forhold til produktion af biogas.

Disse to typer biogas er derfor klima-neutrale og sågar CO<sub>2</sub> negative i tilfældene her ved at bruge rest og spild produkter/materialer til udvindingen og produktionen af komprimeret biogas (CBG). Slutteligt er det globale opvarmnings potentiale (GWP i CO<sub>2</sub>-equivalent) for henholdsvis 1 liter gasoline(benzin), 1 kg naturgas(ekstraheret) og 1 kg biogas (produceret af husholdnings affald) undersøgt på næste side i figur 13, 14 og 15. Vurderingen er lavet i Simapro 8.3.0 for både kortsigtet miljømæssig påvirkning (20 år til venstre) og langsigtet miljømæssig påvirkning (100 år til højre) ift. IPCC 2013 (International Panel on Climate Change) metoden. Denne metode er velkendt og findes i variationer fra 1996, 2007 og nyeste i 2013 udgaven, hvert udgave opdateret efter de nyeste regler på området.

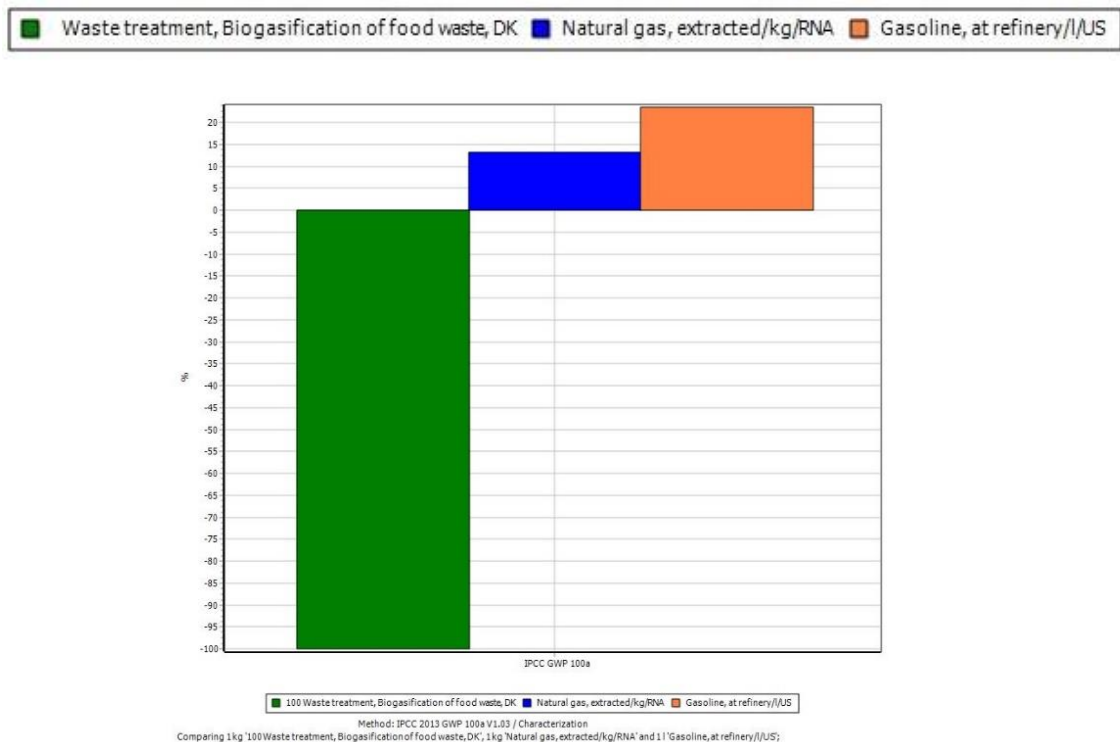


**Figur 13: Sammenligning af to kilders 20-årige GWP-  
Naturgas og Gasoline IPCC 2013 Method**



**Figur 14: Sammenligning af to kilders 100-årige GWP-  
Naturgas og Gasoline IPCC 2013 Method**

Det ses at naturgas (ekstraheret) for 100 års miljøpåvirkning har lavere global opvarmnings potentiale (GWP), det skyldes at gasen også har en hvis henfalds periode, og derfor formindskes mere i atmosfæren over 100 år end 20 år. Det er et fald på 15% fra ca. 70% for den 20-årige effekt til den 100-årige effekt på 55% Global opvarmnings potentiale (GWP). Gasolin (benzin og diesel produceret ved et raffinaderi) har begge den samme miljøpåvirkning for 20 år og 100 år. Det forslås fra IPCC at gå ud fra den 100-årige effekt, mens samtidigt at sammenligne med de kortsigtede konsekvenser. Det samme eller højere drop i procent vil forventes at kunne ses for biogas over en længere årrække, udover at biogas, som vist i figur 12 også har positive påvirkninger på miljøet (alt under nulpunktet: fossile brændsels mangel og landforbrug eks.) I figur 15 ses at biogas produceret fra husholdnings affald har et GWP på -100 %, altså ingen miljø skadende effekt, i forhold til naturgas og gasolin.



**Figur 15: Sammenligning af tre kilders 100-årige GWP- Biogas (organisk produceret), Naturgas og Gasoline IPCC 2013 Method**

Næste sektion, konklusion, opsummerer fire brændstofs typer; 1) Naturgas, 2) Diesel, 3) Biogas og 4) El; hvilken af dem havde den mindste miljømæssige negative effekt ved produktionen i værdi kæden. Da denne rapport er udarbejdet for at give et mere holistisk billede af disse fire brændstofs typer miljømæssige effekt, udover brændstofs forbruget ved selve kørslen.

Der har været meget fokus på selve energiforbruget i afbrænding af brændstoffet i selve motoren (Tank-to-Wheel), og på den konto er el, mest miljø venligt da 0 gram CO<sub>2</sub>/km bliver udledt her. Det er dog en anden historie når vi kigger længere nede i produktions kæden (Well-to-propeller/Wheel), da der udledes CO<sub>2</sub> ved produktionen af selve elektriciteten i kraft varmegærker ved kul, gas og olie afbrænding. Dette blev forsøgt beskrevet i denne rapport, hvilket leder op til svaret på hovedspørgsmålet:

*"Hvilke miljømæssige påvirkninger og konsekvenser er der for produktionen og brugen af biogas sammenlignet med andre brændstofs typer?"*

---

## Konklusion

---

For at svare på problemformuleringen *“Hvilke miljømæssige påvirkninger og konsekvenser er der for produktionen og brugen af biogas, sammenlignet med andre brændstofs typer såsom naturgas, benzin, diesel og elektricitet?”* er hovedkonklusionen at biogas både til direkte forbrænding i et biogas køretøj, og til produktion af elektricitet, er biogas det bedste alternativ til fossilebrændsler set fra et miljømæssigt perspektiv.

Analyserne indikerer at biogas er det mest bæredygtige brændstofs alternativ. De miljømæssige konsekvenser i værdikæden for brugen af biogas er også lavere i biogassens tilfælde. Her ses det at komprimeret biogas (CBG) produceret på spildevand og husholdningsaffald, har et CO<sub>2</sub> negativt regnskab og leder til mindre klimaforandring og forbrug end de andre fossilebrændsler såsom; naturgas, benzin/diesel og elproduktion på kul.

El er mere miljøvenligt ved selve forbruget i motoren, mens de samfundsøkonomiske konsekvenser af el produktion ikke produceret ved vand-, vind- og solenergi var større end for biogas. Naturgas er mere miljøskadelig, mens biogas blev fundet til at være den miljømæssige og samfundsmæssige bedste beslutning for fremtiden.

Den økonomiske faktor ved afgifter bliver omtalt til sidst i rapportens perspektivering, og registreringsafgifter på både el og biogas køretøjer gør dem i starten af et nyt køb til dyrere alternativer. Det betaler sig dog i det lange løb, da prisen forventes at stige på diesel og benzin i fremtiden pga. ressource knaphed. Energiafgiften er derfor ikke favorable i dag for biogas/naturgas tilfælde og derfor favoriserer diesel og benzin mere nu til dags på den konto.

De økonomiske vurderinger er udover afgiften ekstra administration og opsætnings omkostninger af disse fremtidige biogasanlæg, for at modificere dem til at modtage spildevand til rensning og andre organiske rest produkter fra en industriel symbiose. Naturgas havde lavere skadende værdi end diesel, og biogas endnu lavere emissioner end begge, i disse beregninger fra denne rapport.

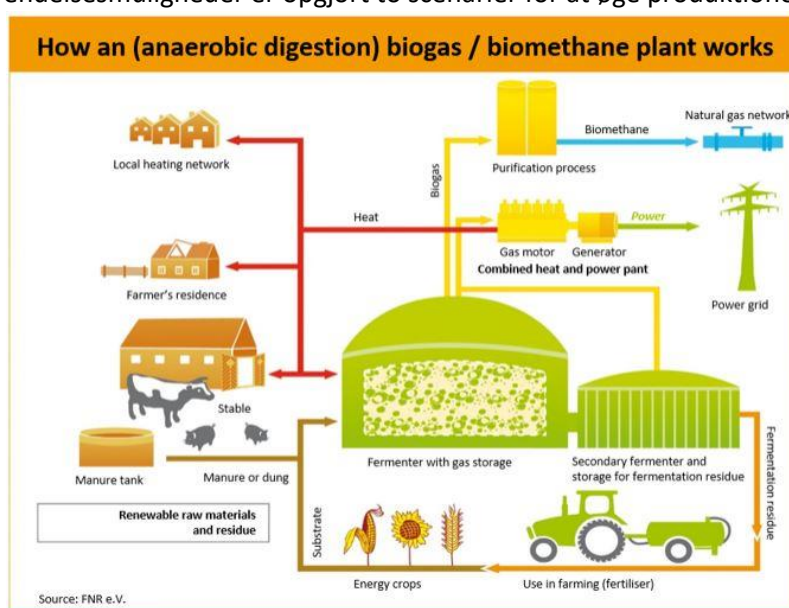
Det skal dog understreges at antagelsen for produktionen af biogas/andre drivmidler er lavet på baggrund af industri gennemsnit, og derfor aldrig kan være 100% nøjagtig. Disse kan sammenlignes pga. det er udarbejdet i industri databasen Eco-Invent fra EU-27 medlemslande, og i de sidste to tilfælde for en dansk industri database for spildevandet og husholdnings affaldet i biogas udvindings scenarierne.

### Fremtidige muligheder i netværket Biogas2020 – Industriel symbiose for Biogas produktion

Som nævnt i den tidligere sektion "Industrial Symbiose" er her beskrevet 2 fremtidige scenarier; Der er flere anvendelses muligheder for overskydende biogas som kan udnyttes på flere forskellige måder, herunder (**Biogascenter, 2014**):

- Til transportformål hvor det kan fortrænge benzin/diesel
- Til procesvarme hvor det kan fortrænge fossile brændsler
- Opgradering til naturgasnettet og eventuel oplagring og brug som balancekraft i det samlede energisystem
- Kraft- og varmeproduktion i en gasmotor

I ovennævnte anvendelsesmuligheder er opgjort to scenarier for at øge produktionen;



Figur 17: Hvordan en rådnetauk (anaerobic digestion) fungerer i princippet (Biogas Germany 2017)

#### "Scenarie 1 – Øget Biogas produktion som følge af tilførte organiske restfraktioner":

Hvor en virksomhed leverer organisk affald med et højt gaspotentiale til et dedikeret biogasanlæg eller en rådnetauk (se figur 17) på et renseanlæg, hvormed gasproduktionen øges. Virksomheden af-tager en delmængde af den øgede produktion, enten i form af biogas eller energi produceret på biogassen som modregning for de tilførte ressourcer. (**Biogascenter, 2014**)

#### "Scenarie 2 - Øget Biogas produktion fra tilført spildevand":

Hvor en virksomhed udleder spildevand med et højt indhold af biologisk omsætteligt materiale. Dette indhold kan føre til forøgede omkostninger på renseanlægget og virksomheden pålægges derfor et særbidrag svarende til den ekstra omkostning for rensning af spildevandet på renseanlægget. Det organisk omsættelige materiale giver imidlertid muligheden for at øge gasproduktionen. (**Biogascenter, 2014**)

Den øgede gasproduktion kan så udnyttes til at nedbringe renseanlæggets behov for tilført energi og dermed reducere omkostningerne for virksomheden. I flere tilfælde, hvis mængderne af biogas er tilstrækkelige, kan biogassen eksporteres eller udnyttes til en energiproduktion, der kan sælges. Dette vil skabe en indtægtskilde, der enten kan modregnes virksomhedens omkostninger til rensning af spildevand eller deles imellem virksomheden og renseanlægget. (**Biogascenter, 2014**)

## Barriere til implementering af disse industrielle symbioser (afgifter/skater)

Ifølge [NTU Political agenda, 2016] er der i dag forskellige barrierer for implementering af biogas, i form af afgifter og skatter og som det kan ses i tabel 5, er "Danmark det eneste europæiske land med højere afgifter på naturgas end på diesel. Ydermere er skatten på naturgas også meget højere end i de andre europæiske lande. En sådan form for beskatning kan derfor formodes at være hindrende for den grønne omstilling – en formodning som kun forstærkes af tabellen, som viser at Danmark ligger i toppen blandt de lande med færrest gasdrevne køretøjer". Biogas er beskattet på samme måde som naturgas. Tabellen vist er 6 år gammel fra 2011, det har ikke været muligt at finde en nyere tabel, men skatterne har givet vist ændret sig lidt siden da. Biogas er dog stadig uden nogen form for afgift i Polen, Tjekkiet, Frankrig og Bulgarien eksempelvis. Den er også meget lav i Italien, hvilket gør at det økonomiske incitament for at skifte til gas er større i disse lande blandt andet.

	Antal NG køretøjer	Antal NG fyldestationer	Energi- og CO2 afgift, EUR/GJ		
			Naturgas	Diesel	Benzin
Danmark	0	1	10,97	10,82	17,54
Finland	970	18	2,51	10,03	19,09
Polen	2.082	47	0,00	9,01	12,84
Spanien	3.051	48	1,15	9,12	12,93
Tjekkiet	3.075	49	0,00	12,35	16,01
Holland	4.300	150	4,66	11,67	21,87
Østrig	5.910	210	1,66	11,71	14,67
Frankrig	13.500	300	0,00	11,80	18,47
Sverige	36.380	165	4,29	13,57	18,16
Bulgarien	61.623	95	0,00	8,66	11,05
Tyskland	94.890	900	3,86	13,38	20,39
Italien	761.340	858	0,08	13,01	18,67
EU minimums satser			2,60	9,09	10,93

Tabel 5: Energi- og CO<sub>2</sub>-afgifter på brændstoffer i Europa (COWI, 2011)

### Hvad skal ændres for at overkomme disse barrierer?

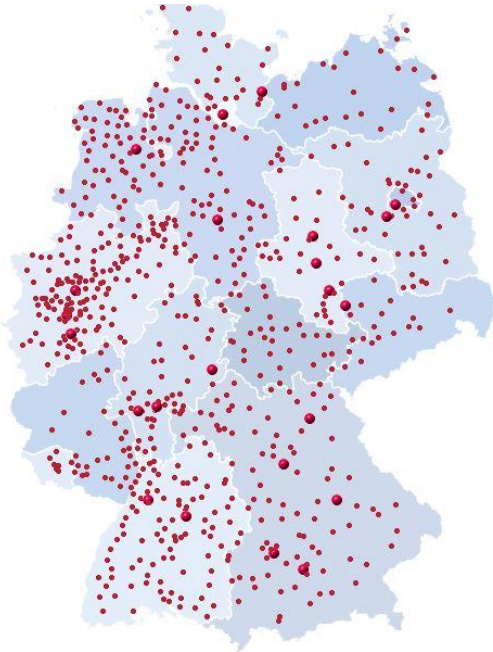
Det første der skal tages op til overvejelse er rimeligheden af disse høje skatter i Danmark på naturgas og biogas området. Der må gøres noget drastisk på området omkring biogas og el beskatningen på policy-delen af det holistiske transportsystem først. At udbrede viden omkring biogas' anvendelighed i et cross-platform perspektiv i biogas i 2020 netværket, vil kunne påvirke politikerne i en positiv retning. Deraf denne rapport og de andre som er lavet hidtil, under arbejds punkt 5.0 transport og infrastruktur hos NTU.

Teknologien er til stede, så en lempelse vil opmuntre til øget interesse og dermed øgede investeringer. Dette vil afhjælpe den stand-still situation der har været i brugen af biogas, selv om der er sket en mindre opblomstring siden 2011 tabellens tal i antallet af biogas tankstationer. (Gas2move, 2017) Problematikken med "hønen og ægget situationen" nævnt i [NTU Political agenda, 2016] omkring manglende infrastruktur pga. igen; manglende slutbrugere der ikke investerer i biogas køretøjer vil herved også kunne blive skubbet i gang.

Der kan og bør gøres langt mere i Danmark, og vi bør sammenligne os med og komme på omgangshøjde med Norge, Sverige og i særdeleshed Tyskland som har investeret langt mere og kommet langt længere siden 2005. Figur 18 og 19 viser Danmarks(Th.) infrastruktur med gas tankstationer (nyeste i

Høje-Tåstrup) og Tysklands(Tv.) langt større infrastruktur med deres "gas tankstalle – gas24.de" netværk. (Gas24, 2017) Tyskland har flere indbyggere end Danmark, så distributionen af gastank pr. indbygger er muligvis mindre stadig. Det skal dog understreges at rækkevidden er langt bedre i Tyskland end Danmark for biogas optanknings muligheder.

Figur 18: Placering af biogas tankstationer Tyskland (Gas24, 2017)



Figur 19: Placering af biogas tankstationer Danmark (Gas2move, 2017)



Til sammenligning ser den Danske infrastruktur for biogastankstationer i 2017 (Gas2move, 2017), langt mindre udbredt til dags dato. Tyskland har som sådan investeret mere siden 2005 i biogas stationer end Danmark, og der er stadig et meget stort potentiale for Danmark at gå frem imod mere grønne alternativer til diesel såsom biogas og el. Som direktør for E.ON "Tore Harritshøj" nævner;

*"Hvis vi vil undgå, at Danmark ender som en diesel- og benzin-ø midt i et elektrisk Europa må vi løse dette problem. Mens Danmark har et mål om at være fossilfri i 2050, så arbejder Sverige henimod en fossilfri transport i 2030, flere europæiske storbyer planlægger at udfase dieselmotorer inden 2025, og Norge har netop rundet de første 100.000 elbiler. Til sammenligning blev der solgt ca. 1.000 elbiler og over 220.000 fossile biler herhjemme i 2016."* (E.ON, 2017)

Danmark kører dermed stadig hovedsageligt på fossile brændstofs køretøjer. Til sammenligning blev der solgt relativt få fossilfrie køretøjer herhjemme faktisk under 10.000 (der findes ca. 7800 elbiler (2015), ca. 370 gasbiler (2016) og ca. 70 brintbiler (2016) jf. [NTU Political agenda, 2016].

### Fremtidige Perspektiver for den Grønne omstilling til Biogas

Andre perspektiver på den grønne omstilling indenfor Biogas2020 projektet, vil variere fra at kigge internt på virksomheder og lave en vurdering af deres rest biprodukter, for at se om det kan anvendes i en industriel symbiose for biogas produktion. Til at kigge mere eksternt i Biogas 2020 netværk vil man skulle få inddraget flere policy-makers i det holistiske transportsystem.

Hvis man undlader at undersøge et link i værdi-kæden, falder det til sidst til jorden pga. muligheder som ikke bliver undersøgt. Eks. var vindmølle teknologien førhen også ny, men man valgte at investere penge i det og derfor er det nu så udbredt. Biogas kræver samme investering. Udvikling på biogas området frem mod 2020, og frem mod 2050 for at opnå et fossilfri transportsystem, kræves for at undgå at hænge fast i fossile brændsler som leder til mere CO2 udledning. Det vil blot påvirke vores klima endnu mere negativt i fremtiden.



### Perspektiverings konklusion

For at svare på under spørgsmålet: **”Hvilke muligheder er der for industrien, i at indgå i et partnerskab med at aflevere rest produkter for biogas produktion?”** blev der til sidst i rapportens perspektivering præsenteret to mulige scenarier for fremtidig biogas produktion. Udover disse to mulige scenarier, kan man også begynde at tænke mere ukonventionelt og bruge madspild som nævnt i en rådnetank og derved også bidrage til biogas produktionen, så Danmarks biogasanlæg kan producere til flere køretøjers kørsel i fremtiden.

For at svare på under spørgsmålet: **”Hvad skal der til få at opnå dette samarbejde?”** som nævnt er afgifter/skatter på biogas en hovedfaktor i biogassens udbredelse og forbrug, da hvis olieprisen er lavere vil det påvirke biogassens salg. Biogas prisen vil udligne sig sammen med olien men de billigste alternativer vinder for det meste. Afgifter udover på selve forbruget er at der i nogle tilfælde af ”over matriklen” beskatning, hvilket vil sige virksomheder skal betale tarif/afgift for at sende deres rest produkter over til en nabo virksomhed eller andre. Alt dette er med til at bremse udbredelsen af industrielle symbioser.

---

## Bibliografi

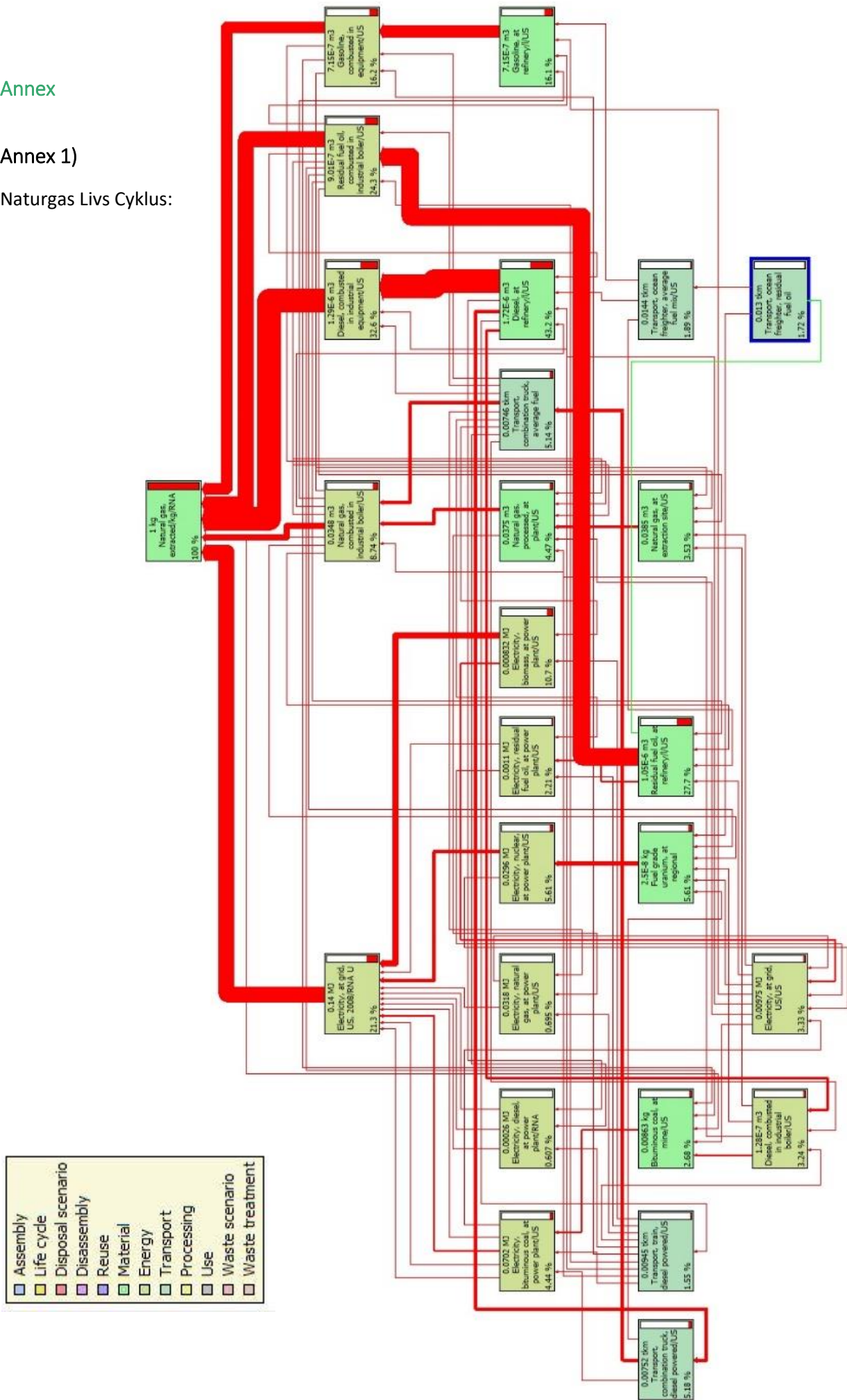
---

- (HTS, 2017) *Holistic Transportation Systems*, KTH, Royal Institute of Technology in Stockholm, Sweden <https://www.kth.se/forskning/2.620/2.14865/transport/research/holistic> - Date accessed: 10/1 2017
- (EU, 2014) *Resource Efficiency, Europe 2020 Strategy*, The European Commission, Brussels, Belgium [http://ec.europa.eu/environment/resource\\_efficiency/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/index_en.htm) – Date accessed: 11/1 2017
- (NBE, 2017) *Industrisymbioser- NBEN Danmark folder* [https://nben.dk/wp-content/uploads/2016/09/Folder\\_industrisymbioser\\_september-2016.pdf](https://nben.dk/wp-content/uploads/2016/09/Folder_industrisymbioser_september-2016.pdf) Date accessed: 11/1 2017
- {NASA, 2011) Januar 13 NASA. Retrieved from Despite Subtle Differences, Global Temperature Records in Close Agreement: <http://www.giss.nasa.gov/research/news/20110113/>
- (COWI, 2011). *Gas til Transportsektoren*. Hentet fra Energinet: <https://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Danske%20dokumenter/Gas/Gas%20til%20transportsektoren%20final.pdf> Date accessed: 12/1 2017
- (Gas24, 2017) Oversigt over tankstationer der levere biogas i Tyskland anno 2017 <http://www.gas24.de/cms/291-0-erdgastankstellen-uebersicht-deutschland.html> Date accessed: 12/1 2017
- (Gas2move, 2017) Oversigt og tankstationer der levere biogas i Danmark anno 2017 <http://www.gas2move.dk/gastankstationer> Date accessed: 12/1 2017
- (E.ON, 2017) Artikel på Altinget.dk " Vi risikerer at ende som en sort benzin-ø i et elektrisk Europa" <http://www.alinget.dk/transport/artikel/eon-direktoer-vi-risikerer-at-ende-som-en-sort-benzin-oe-i-et-elektrisk-europa> Date accessed 12/1 2017
- (Biogas Germany, 2017) *How a biogas anaerobic digestion plant works* - <https://www.cleanenergywire.org/dossiers/bioenergy-germany> - Date accessed: 07/02 2017
- (EIA, 2017) *U.S Energy Information Administration (EIA)-How much coal, natural gas, or petroleum is used to generate a kilowatt-hour* <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=667&t=6> Date accessed: 07/02 2017
- (Wade, L.G, 2016) Wade, L.G. (2006). *Organic Chemistry (6th ed.)*. Pearson Prentice Hall. p. 279 Date accessed: 25/01 2017
- (Biogascenter, 2014) *Symbiosemuligheder for Biogas, Generisk Case, Grøn Industrisymbiose, 2014 (Niras A/S), ved: Nikolaj From, Camilla Tang, Christian Eriksen og Erik C. Wormslev, Linda Høiby (COWI) og Asger Søndberg (GREENET) for Erhvervsstyrelsen og Symbioses Center*
- (M. Papadopoulo et. Al, 2009) "Life Cycle Assessment of the European Natural Gas Chain – A Euro gas – Marcogaz Study" Marion Papadopoulo, Salam Kaddouh, Alessandro Cigni, Dirk Gullentops, Stefania Serina, Juergen Vorgang, Tjerk Veenstra, François Dupin
- (NTU Politcal agenda, 2016) "Politisk Agenda" Overblik over eksisterende europæiske og skandinaviske politiske målsætninger, love og strategier, Natasja Bjerregaard Christensen, Kristoffer Wolsing, NTU, Denmark
- (Wolsing, 2016) "Alternative drivmidler til færgedrift i Danmark" - En vurdering af potentialet for at anvende el, biogas og metanol som drivmiddel på danske passagerfærger, Kristoffer Wolsing, NTU, Denmark
- (Clausen, 2017) *Simapro Network analyses for Crude oil and Natural Gas computed with Simapro 8.3.1 Life cycle assessment software* – Date accessed: 11/01 2017 – 07/02 2017

# Annex

## Annex 1)

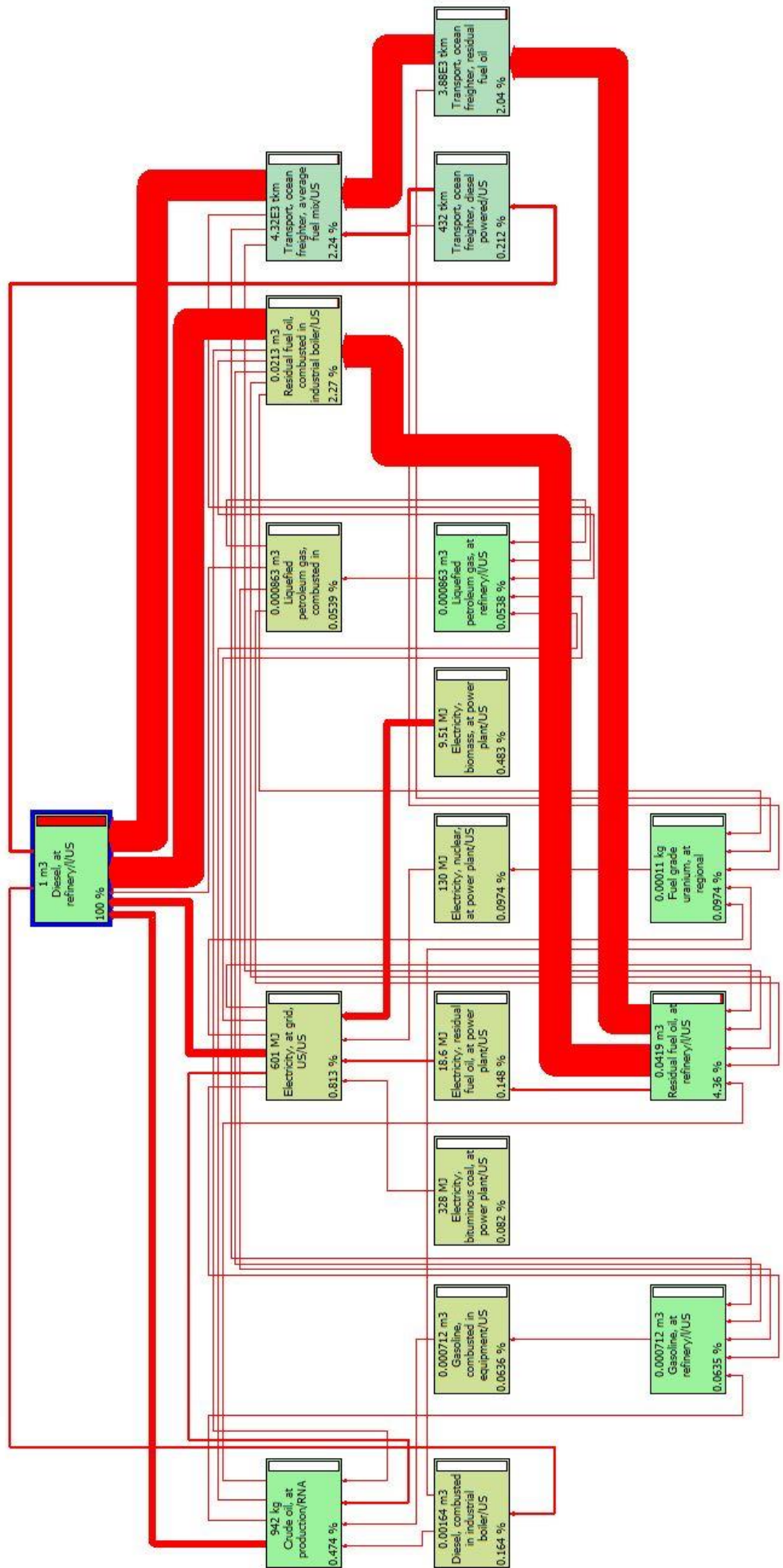
### Naturgas Livs Cyklus:



Annex 2)

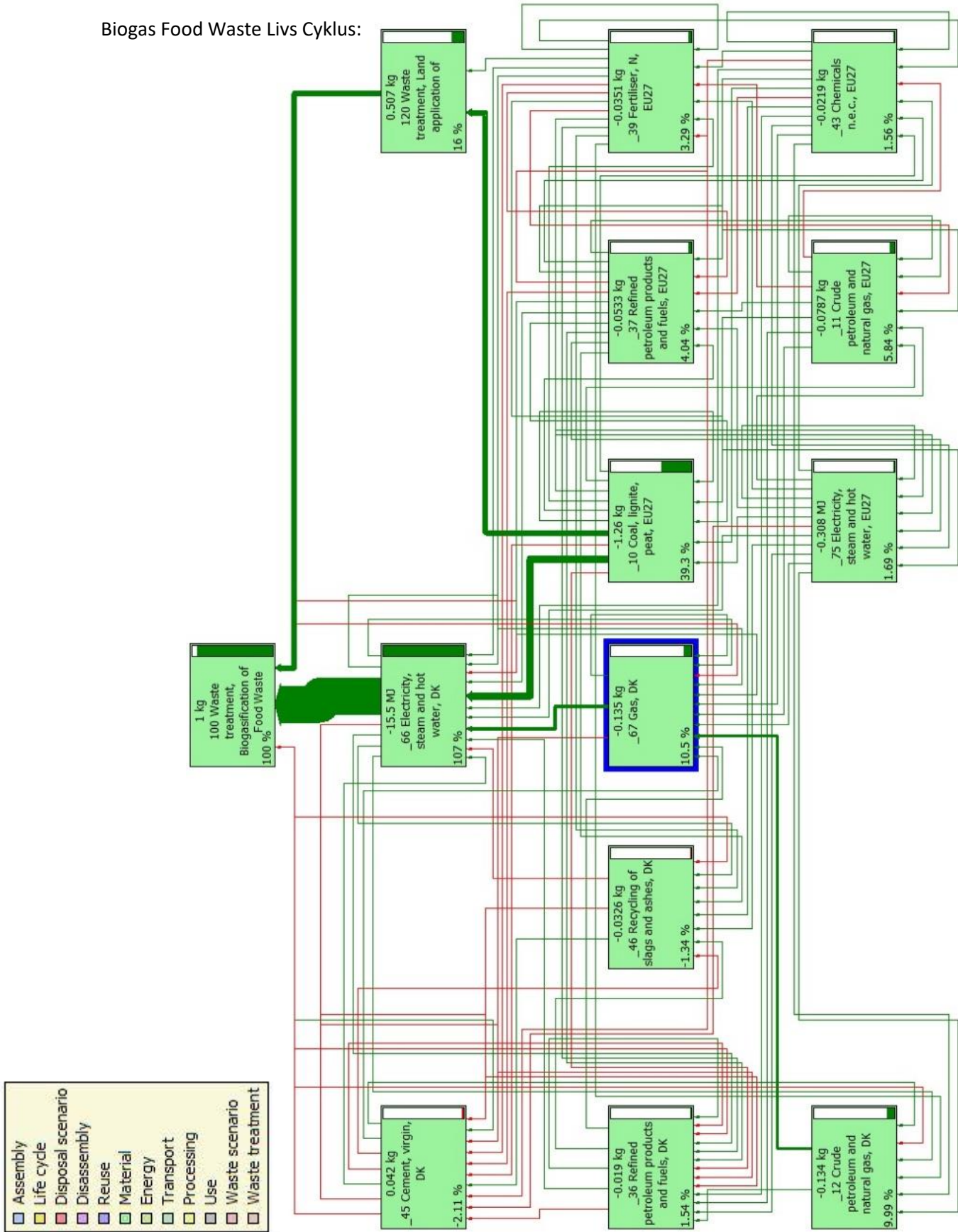
Diesel Livs Cyklus:

- Assembly
- Life cycle
- Disposal scenario
- Disassembly
- Reuse
- Material
- Energy
- Transport
- Processing
- Use
- Waste scenario
- Waste treatment



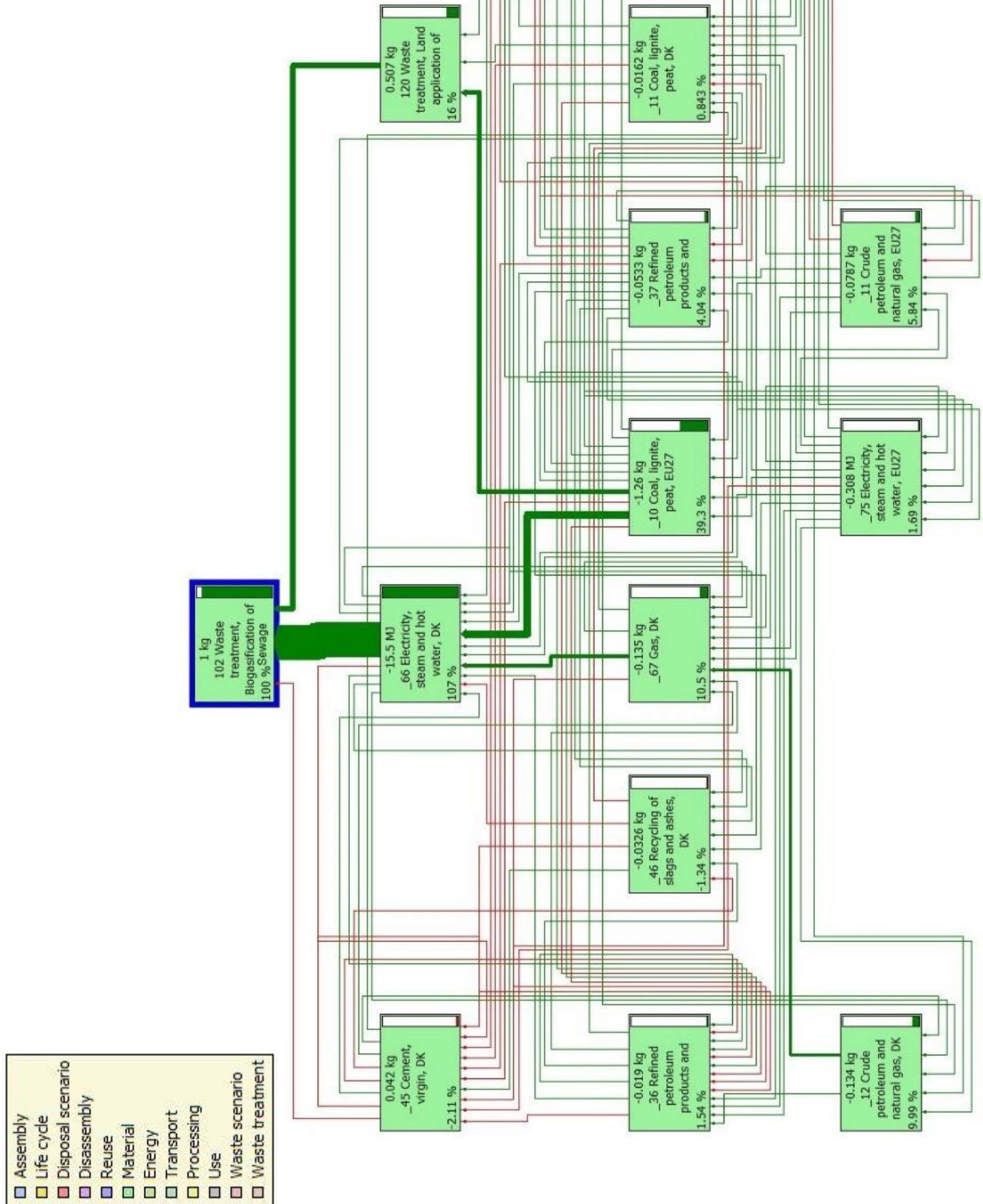
Annex 3)

Biogas Food Waste Livs Cyklus:



Annex 4)

Biogas Sewage Sludge Livs Cyklus:



# BioGas2020

## Om Biogas2020

Biogas2020 er et grænseoverskridende samarbejde for biogas udvikling i Øresund-Kattegat-Skagerrak. Projektet vil samle den aktuelle spredte viden om biogas under en enkelt, stærk, samarbejds-platform. Målet er at skabe synergier og partnerskaber, der udvikler viden om biogas, og skabe grundlaget for bæredygtig produktion og øget efterspørgsel.

Gennem samarbejde har Øresund-Kattegat-Skagerrak-området gode forudsætninger for at nå den kritiske masse, der kræves for at skabe et levedygtigt marked for biogas. Gennem et bredt partnerskab, vil Biogas2020 derfor arbejde med hele værdikæden - fra udvinding til anvendelse.

[www.biogas2020.se](http://www.biogas2020.se)

## Kontakt holdet bag rapporten

### NTU ApS

Arbejdspakke 5 leder – Kent Bentzen

Vestre Havnepromenade 5, 4.sal

Postboks 1111

9000 Aalborg

Danmark

Tlf.: +45 99 30 00 04

E-mail: [kb@ntu.eu](mailto:kb@ntu.eu)

[biogas@ntu.eu](mailto:biogas@ntu.eu)