



ALTERNATIVE DRIVMIDLER TIL RENOVATIONSBILER

ANALYSE AF DRIFT AF DAGRENOVATIONSBILER PÅ
DIESEL, BIODIESEL, BIOETHANOL, BIOGAS OG EL



INDHOLDSFORTEGNELSE		SIDE
1	INDLEDNING	5
2	KONKLUSION	7
2.1	Tilgængelighed	7
2.2	Miljøforhold og Økonomi	9
2.2.1	Resultat af analysen af miljøforhold og økonomi	9
2.2.2	Afstands begrænsning	14
3	RESUME AF LITTERATURSTUDIE	15
4	TEKNOLOGIBESKRIVELSE OG VURDERING	16
4.1	Euro-standard	16
4.2	Komprimeret gas	17
4.2.1	Tilgængelighed af komprimeret gas	17
4.2.2	Sammensætning og kvalitet af komprimeret gas	19
4.2.3	Distribution af komprimeret gas	21
4.2.4	Lagring af komprimeret gas ved forbrugsstedet	21
4.2.5	Påfyldningsteknologi for komprimeret gas	22
4.2.6	Teknologi for drift på komprimeret gas	22
4.2.7	Sikkerhed og miljø i relation til komprimeret gas	23
4.3	Bioethanol	23
4.3.1	Tilgængelighed af bioethanol på markedet	23
4.3.2	Sammensætning og kvalitet af bioethanol	24
4.3.3	Distribution af bioethanol	25
4.3.4	Lagring af bioethanol på forbrugsstedet	25
4.3.5	Påfyldningsteknologi for bioethanol	25
4.3.6	Teknologi for drift på bioethanol	25
4.3.7	Sikkerhed og miljø i relation til brug af bioethanol	26
4.4	Biodiesel	26
4.4.1	Tilgængelighed af biodiesel på markedet	27
4.4.2	Sammensætning og kvalitet af biodiesel	28
4.4.3	Distribution af biodiesel	28
4.4.4	Lagring af biodiesel	28
4.4.5	Påfyldningsteknologi for biodiesel	28
4.4.6	Teknologi for anvendelse af biodiesel	29
4.4.7	Sikkerhed og miljø i relation til anvendelse af biodiesel	29
4.5	Eldrifft	29
4.5.1	Produktion, distribution og lagring af el	30
4.5.2	Påfyldningsteknologi for el	30
4.5.3	Teknologi for anvendelse af el	31
4.5.4	Sikkerhed og miljø i relation til anvendelse af el	31
4.6	Konklusion af drivmidlernes tilgængelighed	32

5	ØKONOMISK – MILJØMÆSSIG VURDERING AF ALTERNATIVE DRIVMIDLER	33
5.1	Analysemodel og scenariebeskrivelse	33
5.2	Energiforbrug	34
5.2.1	Scenarie I	34
5.2.2	Scenarie II	36
5.2.3	Scenarie III	37
5.3	Miljøpåvirkninger	38
5.3.1	Støj	38
5.3.2	Klimapåvirkning, CO ₂ -emissioner	39
5.4	Afstands begrænsning	43
5.5	Økonomi	45
5.5.1	Scenarie I	51
5.5.2	Scenarie II	53
5.5.3	Scenarie III	54

BILAGS RAPPORT

- Bilag 1: litteraturstudie
- Bilag 2: data grundlag for beregning
- Bilag 3: lovgivning for motorbrændstoffer

FORKORTELSER OG TEKNISKE BETEGNELSER

I dette afsnit vil forkortelser og tekniske betegnelser, der anvendes i forbindelse med bio-brændstof og eldrift, blive forklaret.

EEV	Enhanced Environmentally friendly Vehicles
FFV	Flexible Fuel Vehicle, kører på en blanding af to typer brændstof
EURO X	EURO I – VI, standard for køretøjets partikeludledninger
Brændværdi	Energiindholdet i en gas, væske eller faststof angives typisk i MJ/kg
HHV	Den øvre brændværdi
LHV	Den nedre brændværdi
PJ	Peta Joule
MJ	Mega Joule
Nm ³	Normal kubikmeter, angivet ved et tryk på 1.013 bar og 0°C
kWh	Kilowatt timer
CNG	Komprimeret Naturgas (Compressed Natural Gas)
CBG	Komprimeret Biogas (Compressed Bio Gas)
LNG	Flydende Naturgas (Liquified Natural Gas)
LBG	Flydende Biogas (Liquified Bio Gas)
E XX	Benzin med XX procent bioethanol
B XX	Diesel med XX procent biodiesel
FAME	Fælles betegnelse for fedtsyre metylester (Fatty acid methyl esters)
AFME	Animalsk fedtsyre metylester
RME	Rapsolie metylester, betegner biodiesel fra rapsolie
1.g	1. generations brændstoffer produceret fra primærafgrøder
2.g	2. generations brændstoffer produceret fra affald
Li-Ion	Litium-Ion
CO ₂	Kuldioxid
CO	Kulmonoxid
NO _x	Nitrogenoxid, fælles betegnelse for NO og NO ₂
HC	Kulbrinte
PM	Partikler
H ₂ O	Vand
CH ₄	Metan
H ₂ S	Svovlbrinte
H ₂	Brint
NH ₃	Ammoniak
O ₂	Ilt

1 INDLEDNING

Rapportens formål er at få et godt overblik over hvilke drivmidler, det på kort sigt vil være realistisk at anvende til renovationsbiler. Rapporten vurderer miljøforhold, praktiske løsninger, drivmidler og teknologiers modenhed samt de økonomiske konsekvenser af anvendelse af alternative drivmidler. Belysningen af alternative drivmidler er tænkt som støtte for beslutningsprocessen for valg af fremtidige drivmidler til renovationsbiler i kommuner og affaldsselskaber.

Baggrund - den energipolitiske ramme

Internationalt og i Danmark er der i disse år fokus på, hvorledes vi kan minimere brugen af fossile brændsler og overgår til vedvarende energiformer. Den danske regering indgik i marts 2012 sammen med Venstre, Dansk Folkeparti, Enhedslisten og Det Konservative Folkeparti en ny energiaftale for perioden 2012-2020, der skal realisere et mål om en fremtidig energiforsyning dækket af vedvarende energi. Denne strategi leder frem mod det langsigtede mål at gøre hele Danmarks energiforsyning fossilfri i 2050, herunder også transportsektoren. Det betyder bl.a., at energiforsyningen baseret på el og biogas skal udbygges markant i de kommende år.

Transportsektoren i Danmark er fortsat næsten fuldstændigt afhængig af olie. På mellemlang og lang sigt vil transportsektoren skulle gennemgå en radikal omstilling fra fossile drivmidler til f.eks. el og biomasse.

Energistyrelsen har i en analyse fra februar 2012 peget på, at især el, biogas og naturgas fra 2020 kan blive samfundsøkonomisk attraktive for transportsektoren som alternativer til benzin og diesel. Udover el, biogas og naturgas findes også andre alternative drivmidler f.eks. bioethanol og biodiesel, som det kan være relevant at overveje til den tunge transport, der i dag stort set udelukkende kører på diesel i Danmark.

Alternative drivmidler i affaldssektoren

I kommuner og affaldsselskaber er der øget fokus på reduktion af udstødningsgasser og støjbelastning.

Kommunerne og affaldsselskaberne står for en betydelig transport i forbindelse med indsamling af husholdningsaffald, og ved overgang til alternative drivmidler kan de blive normsættende for anvendelsen af alternative drivmidler i transportsektoren. Med andre ord kan kommuner og affaldsselskaber være med til at rykke og udvikle markedet i en positiv miljøretning.

Projektets indhold

Projektet er gennemført med følgende overordnede indhold:

1. Indledende litteraturstudie og screening af mulighederne. Studiet har taget udgangspunkt i litteratur og indhentede erfaringer fra Danmark og udlandet.
2. Indhentning af konkrete forbrugs- og driftsdata for fra leverandører, operatører og projekter. Herunder oplysninger fra typiske indsamlingsruter for renovationsbiler fra 3 hovedområde: Landområde, provinsby og storby med henblik på vurdering af konsekvenserne ved alternative drivmidler baseret på faktiske forhold i Danmark.

3. Beskrivelse og vurdering af udvalgte alternative drivmidler
 - Teknik og drift (herunder tilgængelighed, distribution, lagring, tankning, motortyper)
 - Miljø og sikkerhed (herunder CO₂, NO_x, partikler og støj)
 - Økonomi (investeringer, driftsøkonomi og totaløkonomi)
4. Udvikling af en beregningsmodel, der gør det muligt på baggrund af lokale rutedata, at få et overblik over konsekvenser for miljø og økonomi for de alternative drivmidler som grundlag for lokale beslutninger.

Projektet er baseret på data og viden om affaldsindsamlingen, som den ser ud lige nu i forhold til f.eks. kørselsmønstre for affaldsindsamling og tilgængelighed, teknik og miljø ved de alternative drivmidler. Projektet tager ikke de mere langsigtede fremtidsperspektiver i betragtning som f.eks. afhænger af teknologiudvikling.

Projektgruppen

Nærværende projekt om alternative drivmidler til renovationsbiler er udarbejdet af Grontmij for en projektgruppe bestående af Udbudsnetværket for affaldsindsamling mv. (Vestforbrænding, Amagerforbrænding samt Frederiksberg, Aarhus og Københavns kommuner) og Reno Sams arbejdsgruppe for affaldsindsamling.

I forbindelse med arbejdet har Opdragsgiverne nedsat en Styregruppe og en arbejdsgruppe, der har arbejdet tæt sammen med rådgiverne. Styregruppen har bestået af:

- Henning Jørgensen, Reno Sam og
- Kim L. Røgen, Københavns Kommune.

Arbejdsgruppen har bestået af:

- Björn Appelqvist, Københavns Kommune;
- Hardy Mikkelsen Renodjurs;
- Finn Langgaard, Amagerforbrænding;
- Henning Ettrup, AffaldVarme Aarhus;
- Kirsten Reinholdt Bojsen, Vestforbrænding og
- Ole H. L. Nielsen, Frederiksberg Kommune

2 KONKLUSION

Nærværende rapport vurderer de mest relevante alternative drivmidler for renovationsbiler i et kortsigtet tidsperspektiv:

- Komprimeret gas (Biogas fra naturgas nettet)
- Bioethanol
- Biodiesel
- El (fra fossile og VE kilder)

Rapporten tilvejebringer et grundlag for kommuner og affaldsselskabers beslutning om at overgå til alternative drivmidler i forbindelse med at fremtidige udbud af affaldsindsamlingen indenfor en tidshorisont på 5 – 10 år.

Indledningsvis beskrives de udvalgte drivmidler i forhold til overordnede temaer som produktion, distribution, lagring og tankning. En beskrivelse af naturgas og traditionel diesel er ikke medtaget i denne rapport, da det anses for at være almindeligt kendt hvordan disse drivmidler produceres, distribueres, lagres og tankes.

Rapportens resultater og konklusioner er baseret på analyser gennemført for tre scenarier ud fra kørselsmønster, energiforbrug, mængden af indsamlet affald, investering, drift, miljø og andre generelle forhold med henblik på at vurdere og sammenligne konsekvenserne af drivmidlerne.

Som grundlag for analyserne er der gjort en række forudsætninger. I det følgende resumeres de væsentligste af disse forudsætninger for forståelse af konklusionerne:

- Der regnes på 3-akslede komprimator biler
- Der regnes med nyttelast udgør 65%, 75% og 90% af bilernes lasteevne for henholdsvis storbyområder, provinsbyområder og landområder (Scenarie I, II og III).
- Der regnes kun på de direkte omkostninger forbundet med indsamlingen, dvs. at der i analyserne ikke er indregnet, omkostninger til driftsledelse og administration hos renovatøren, renovatørens avancer og kommunale udgifter, f.eks. til planlægning, administration og tilsyn
- Tankning/opladning med alternative drivmidler sker på centrale tanknings-/opladningsanlæg, da der for de fleste af drivmidlerne ikke er offentligt tilgængelige anlæg.
- Der regnes med start – stop system på alle bilerne i analysen. Dette indebærer at bilens motor automatisk slukkes når den ikke benyttes.

2.1 Tilgængelighed

Analysen viser at el og komprimeret gas er tilgængeligt overalt i Danmark p.gr.a. de udbyggede distributionssystemer for de to drivmidler. Dog er der dele af Danmark, hvor komprimeret gas skal bringes frem til lokalområdet med tankvogn, fordi området ikke er naturgasforsynet.

Grøn el og biogas fra vedvarende energikilder er tilgængelige fra henholdsvis el-nettet og naturgasnettet ved køb af certifikater. Biogas er i dag kun i meget begrænset mængde til rådighed i naturgasnettet. Indenfor de kommende 2-3 år forventes produktionen af biogas dog at stige markant, fordi eksisterende biogasanlæg og nye biogasanlæg i stigende grad vil opgradere biogas og injicere den i naturgasnettet.

Bioethanol produceres ikke i Danmark i dag og skal derfor importeres, hvis det skal bruges som drivmiddel for renovationsbiler. 1. generations bioethanol produceres i dag primært i Brasilien og USA. Konkrete planer for etablering af produktion af 2. generations bioethanol i Danmark kan føre til en betydelig dansk produktion indenfor de kommende år. Der er dog stadig stor usikkerhed omkring virkeliggørelsen af projektet.

Biodiesel produceres i Danmark, men kun en ubetydelig mængde set i forhold til behovet ved en udbredt udnyttelse i renovationsbiler. Biodiesel må derfor påregnes importeret fra andre europæiske lande.

Den følgende tabel giver et overblik over tilgængeligheden for alternative drivmidler indenfor en periode på 5 – 10 år.

Biodiesel	Leveringsgaranti	Der kan opnås leveringsgaranti for Biodiesel 1. generation. Biodiesel 2. generation kan kun købes i begrænsede mængder og der kan ikke opnås leveringsgaranti
	Distributionssystem	Eksisterende distributionssystem kan anvendes
	Tankningsanlæg	Der kræves nye tankningsanlæg i forbindelse med indførelse af biodiesel i renovationsbiler
	Biler og deres servicering	Teknologien er på markedet og bilerne kan serviceres. Alle værksteder, der kan servicere en diesel bil, kan også servicere en biodiesel bil.
Bioethanol	Leveringsgaranti	Der kan opnås leveringsgaranti på importeret 1. generations bioethanol iblandet benzin, og der kan opnås leveringsgaranti på ED95 fra svensk leverandør Der kan pt. ikke opnås leveringsgaranti for 2. generations bioethanol. Nye initiativer til produktion af bioethanol kan gøre det muligt at opnå leveringsgaranti indenfor de næste 5 år.
	Distributionssystem	Eksisterende distributionssystem kan anvendes
	Tankningsanlæg	Der kræves nye tankningsanlæg i forbindelse med indførelse af bioethanol i renovationsbiler.
	Biler og deres servicering	Teknologien er på markedet og bilerne kan serviceres. Der er tale om benzin-/dieselmotorer med modifikationer, og de ville kunne serviceres af de samme værksteder der servicerer dieslbiler i dag.
Komprimeret gas	Leveringsgaranti	Leveringsgaranti kan opnås for naturgas. Leveringsgaranti kan pt. ikke opnås for biogas. Nye biogasanlæg der bliver opført indenfor de kommende år vil gøre det muligt at opnå leveringsgaranti for biogas indenfor de næste 5 år.
	Distributionssystem	Naturgasnettet kan anvendes for distribution i den største del af landet. For områder uden naturgasforsyning skal etableres system baseret på transport og lagring i mobile tryktanke
	Tankningsanlæg	Der skal etableres nye tankningsanlæg
	Biler og deres servicering	Teknologien er på markedet og bilerne kan serviceres. Der vil speci-

		elt i en opbygningsfase sandsynligvis være færre værksteder har de viden og erfaring, men de vil alle kunne skaffe den nødvendige information.
EI	Leveringsgaranti	Der kan opnås leveringsgaranti for el
	Distributionssystem	Eksisterende distributionssystem kan anvendes
	Tankningsanlæg	Der skal etableres lade anlæg
	Biler og deres servicering	Teknologien er på markedet og bilerne kan serviceres. Bilen adskiller sig kun fra andre biler ved batteriet. Der skal indgås speciel aftale med leverandøren af batteriet/billeverandøren vedr. servicering af batteriet.

Baseret på tilgængeligheden af drivmidlerne samt biler og teknologi til distribution og tankning kan det konkluderes, at det indenfor en 5-årig periode er realistisk at overgå til drift af renovationsbiler på:

- 1. generations biodiesel
- 1. generations bioethanol
- Naturgas
- Biogas
- EI

I perioden kan 2. generations bioethanol også blive realistisk, såfremt der etableres produktionsanlæg med en tilstrækkelig stor kapacitet.

2.2 Miljøforhold og Økonomi

De miljømæssige og økonomiske analyser af de alternative drivmidler er gennemført ved brug af tre "teoretiske" scenarier, der er udformet så de beskriver indsamling af dagrenovation i henholdsvis storby, provins by og i landområder. De tre scenarier bygger på oplysninger og erfaringer fra "virkelige" indsamlingsområder, der er blevet tilpasset og generaliseret, så de kan anvendes som udgangspunkt for en analyse af konsekvenserne ved anvendelse af alternative drivmidler.

2.2.1 Resultat af analysen af miljøforhold og økonomi

I rapportens kapitel 5 er alle resultater af de gennemførte beregninger og analyser beskrevet og i Bilag 2 til rapporten kan de detaljerede forudsætninger og beregninger ses.

Nedenstående Tabel 1,

Tabel 2 og Tabel 3 gives de miljømæssige og økonomiske konsekvenser af overgang til alternative drivmidler og alternative drivmidler i kombination med Hybridløsninger for de tre scenarier.

I tabellerne er konsekvenserne af de alternative drivmidler angivet som procent af det, der i dag opnås ved kørsel med diesel efter Euro 5 standard. Positive tal i tabellerne giver således reduktion/besparelse i henholdsvis udledninger og økonomi.

Komprimeret gas er i tabellerne regnet som biogas og el er regnet som "grøn" el. Biodiesel og bioethanol regnes som 1. generation. Dette har især betydning for CO₂-udledningen, men har også indflydelse på det økonomiske resultat, idet der i prisen på drivmidlet er regnet med køb af grønne certifikater. I rapportens afsnit 5 kan tallene for henholdsvis naturgas og konventionel el findes.

Tabel 1 Miljømæssige og økonomiske konsekvenser for Scenarie I. Der regnes på 1. g biodiesel og bioethanol, biogas og hybrider med "grøn" el.

	Rene drivmidler					Hybrid 1				Hybrid 1+2			
	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Komprimeret gas	Ren el	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Komprimeret gas	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Komprimeret gas
Miljøindeks													
CO ₂	0%	44%	60%	84%	97%	14%	52%	65%	86%	25%	58%	70%	87%
CO	<i>Kan ikke opnås nogen forbedring, dog er der en lille stigning for gasbiler (se Tabel 22)</i>												
HC	0%	0%	-500%	100%	100%	15%	15%	-411%	100%	26%	26%	-347%	100%
NO _x	0%	0%	0%	38%	100%	15%	15%	15%	47%	26%	26%	26%	53%
PM	0%	0%	0%	100%	100%	15%	15%	15%	100%	26%	26%	26%	100%
Røgtæthed	0%	0%	67%	100%	100%	0%	0%	67%	100%	0%	0%	67%	100%
Støj i dB (Kørsel)	80	80	80	78	63	80	80	80	78	75	75	75	75
Støj i dB (komprimering)	95	95	95	93	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Støj (tømning af beholdere)	<i>Kan ikke opnås nogen forbedring</i>												
Økonomi													
Samlet omkostning kr./tons	609	616	637	636	739	642	649	668	670	680	686	703	709
Meromkostning kr./tons		7	28	27	130	33	40	59	61	71	77	94	100
Indiceret meromkostning	0%	-1%	-5%	-4%	-21%	-5%	-7%	-10%	-10%	-12%	-13%	-15%	-16%

Tabel 2 Miljømæssige og økonomiske konsekvenser for Scenarie II. Der regnes på 1. g biodiesel og bioethanol, biogas og hybrider med "grøn" el.

	Rene drivmidler					Hybrid 1				Hybrid 1+2			
	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Komprimeret gas	Ren el (grøn)	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Komprimeret gas	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Komprimeret gas
Miljøindeks													
CO ₂	0%	44%	60%	84%	98%	13%	51%	65%	85%	27%	60%	70%	88%
CO	Kan ikke opnås nogen forbedring, dog er der en lille stigning for gasbiler (se Tabel 23)												
HC	0%	0%	-500%	100%	100%	13%	13%	-422%	100%	28%	28%	-333%	100%
NO _x	0%	0%	0%	38%	100%	13%	13%	13%	46%	28%	28%	28%	55%
PM	0%	0%	0%	100%	100%	13%	13%	13%	100%	28%	28%	28%	100%
Røgtæthed	0%	0%	67%	100%	100%	0%	0%	67%	100%	0%	0%	67%	100%
Støj i dB (Kørsel)	80	80	80	78	63	80	80	80	78	75	75	75	75
Støj i dB (komprimering)	95	95	95	93	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Støj (tømning af beholdere)	Kan ikke opnås nogen forbedring												
Økonomi													
Samlet omkostning kr./tons	656	665	690	688	788	702	710	733	735	753	760	780	787
Meromkostning kr./tons	-	9	34	33	132	46	54	77	79	97	104	124	131
Indiceret meromkostning	0%	-1%	-5%	-5%	-20%	-7%	-8%	-12%	-12%	-15%	-16%	-19%	-20%

Tabel 3 Miljømæssige og økonomiske konsekvenser for Scenarie III. Der regnes på 1. g biodiesel og bioethanol, biogas og hybrider med "grøn" el.

	Rene drivmidler					Hybrid 1				Hybrid 1+2			
	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Komprimeret gas	Ren el (grøn)	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Komprimeret gas	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Komprimeret gas
Miljøindeks													
CO ₂	0%	44%	60%	84%	98%	4%	47%	61%	84%	18%	54%	67%	87%
CO	Kan ikke opnås nogen forbedring, dog er der en lille stigning for gasbiler (se Tabel 24)												
HC	0%	0%	-500%	100%	100%	4%	4%	-475%	100%	18%	18%	-390%	100%
NO _x	0%	0%	0%	39%	100%	4%	4%	4%	41%	18%	18%	18%	50%
PM	0%	0%	0%	100%	100%	4%	4%	4%	100%	18%	18%	18%	100%
Røgtæthed	0%	0%	67%	100%	100%	0%	0%	67%	100%	0%	0%	67%	100%
Støj i dB (Kørsel)	80	80	80	78	63	80	80	80	78	75	75	75	75
Støj i dB (komprimering)	95	95	95	93	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Støj (tømning af beholdere)	Kan ikke opnås nogen forbedring												
Økonomi													
Samlet omkostning kr./tons	851	890	997	912	1.107	965	1.003	1.106	1.026	1.080	1.113	1.204	1.145
Meromkostning kr./tons	0	40	147	61	256	114	152	256	175	229	262	353	294
Indiceret meromkostning	0%	-5%	-17%	-7%	-30%	-13%	-18%	-30%	-21%	-27%	-31%	-42%	-35%

For alle tre scenarier er der gennemført beregning af konsekvenserne for udledning af CO₂, CO, HC, NO_x, og Partikler. Det fremgår af tabellerne, at der opnås væsentlige reduktioner i udledningen af CO₂ og NO_x i forhold til drift med konventionelle diesel.

For HC opnås ligeledes pæne reduktioner bortset fra for drift på bioethanol. Drift på bioethanol giver en væsentlig stigning i udledningen af HC.

Alle de undersøgte alternative drivmidler giver en væsentlig reduktion i udledningen af CO₂. Grøn el medfører den største reduktion. Men næsten lige så stor reduktion opnås ved anvendelse af 2. generations biodiesel, 2. generations bioethanol og komprimeret gas (biogas).

Det eneste alternative drivmiddel der ikke giver en reduktion i udledningen af CO₂ er konventionel el.

For Scenarie I og II viser analysen at et skift fra diesel til 1.g biodiesel kan gennemføres uden forøgelse af omkostningerne, og at skift til 1.g bioethanol og komprimeret gas (biogas) medfører en omkostningsstigning på 4-5%, mens overgang til ren grøn el-drift vil gøre indsamlingen ca. 20% dyrere.

For Scenarie III er billedet stort set det samme, dog er der generelt en større stigning i omkostningerne, som resultat af at der køres længere og dermed bruges mere af de alternative drivmidler, der er dyrere end diesel.

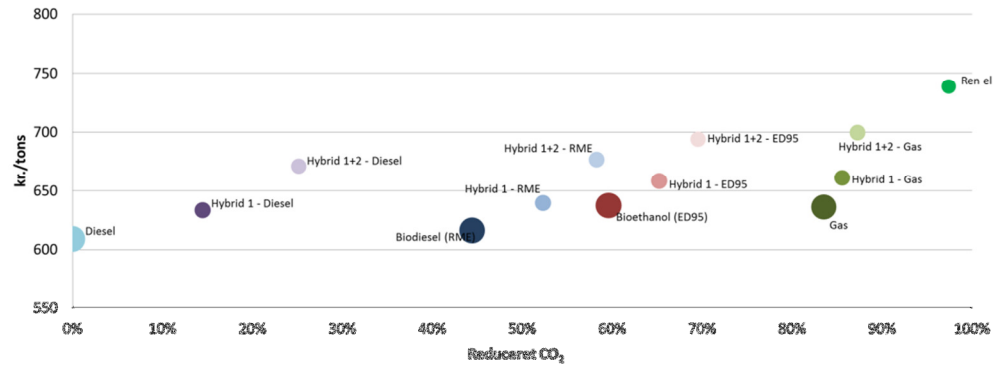
Hybridløsningerne bliver lidt dyrere end de "rene" løsninger, primært fordi investeringen i hybridløsningerne er højere.

De væsentlige faktorer i beslutningsprocessen for alternative drivmidler forventes at være prisen, CO₂ reduktionen og støjen. I de følgende figurer sammenlignes resultaterne for henholdsvis Scenarie I, II og III på netop disse faktorer, idet prisen og CO₂ reduktionen vises på akserne og diameteren på boblerne angiver det aktuelle støjniveau.

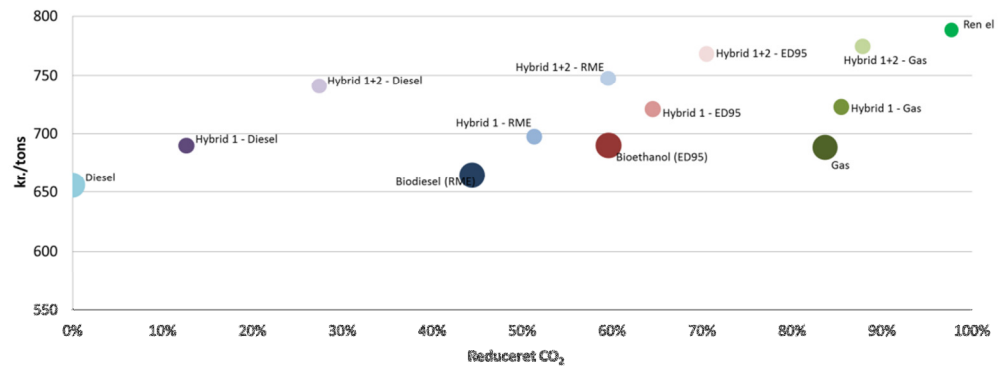
Dvs. at en lille boble nederst til højre i figurerne vil gøre beslutningen let. Den findes imidlertid ikke, så det vil være et spørgsmål om at vurdere hvilken merpris det er realistisk at betale for de opnåede forbedringer i miljøet.

Komprimeret gas er i figurerne regnet som biogas og el er regnet som "grøn" el. Biodiesel og bioethanol regnes som 1. generations.

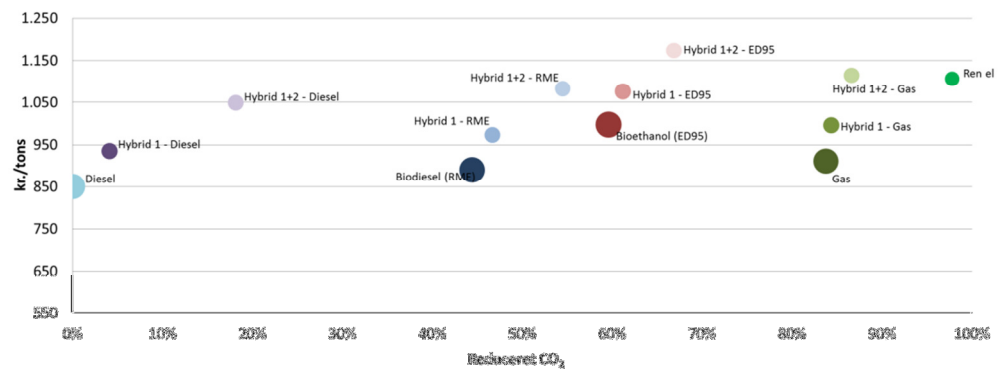
Figur 1 Scenarie I, der regnes på 1. g biodiesel og bioethanol, biogas og hybrider med "grøn" el.



Figur 2 Scenarie II, der regnes på 1. g biodiesel og bioethanol, biogas og hybrider med "grøn" el.



Figur 3 Scenarie III, der regnes på 1. g biodiesel og bioethanol, biogas og hybrider med "grøn" el.



2.2.2 Afstandsbe­grænsning

Afstanden som renovationsbilerne kan køre på en tankning /opladning hænger sammen med hvor stor en tank/et batteri bilen kan have med uden det giver væsentlige begrænsninger i nyttelasten. De maksimale afstande bilerne kan køre på en tankning/opladning er:

- Diesel ca. 220 km
- Biodiesel ca. 220 km
- Bioethanol ca. 125 km
- Komprimeret Gas ca. 220 km
- El ca. 65 km

I Scenarie I (storby) kører en renovationsbil typisk omkring 40 km per dag, og de alternative drivmidler vil således ikke medføre nogen begrænsning eller behov for omlægning af ruter eller lign.

I Scenarie II (provinsby) vil der være behov for at tilbagelægge en afstand på 45 – 55 km per dag. Som for Scenarie I vil det ikke give nogen begrænsning, dog vil man med el-biler komme relativt tæt på den maksimale distance, der kan tilbagelægges på en opladning.

I Scenarie III (landområde) skal der tilbagelægges ca. 95 km per dag, og det vil være muligt med biodiesel, bioethanol og komprimeret gas på en tankning, men på el kan det ikke gøres på én opladning. Og el-biler anses derfor for ikke anvendelige i Scenarie III (landområde).

3 RESUME AF LITTERATURSTUDIE

Som en del indledende del af projekt er der blevet udført et kort litteraturstudie, med det formål at identificere den nuværende teknologiske status og referenceprojekter, hvor alternative drivmidler anvendes.

Biobrændstoffer er meget mere udbredt i Sverige, hvor der er ca. 230.000 FFV, og hvor de fleste busser i de større byer kører på biobrændstoffer. Forskellen fra Danmark til Sverige skal findes i en kombination af rigelige biomasseresourcer i Sverige og en række målrettede politiske tiltag, der har fremmet overgangen til biobrændstoffer ved at skabe økonomiske incitamenter for investering i den nødvendige infrastruktur og anskaffelse af køretøjer med biobrændstof som drivmiddel.

En stor del af litteraturstudiet har bestået i at identificere referenceprojekter med anvendelse af alternative drivmidler i køretøjer, primært i Danmark og nabolande for en efterfølgende indsamling af viden og erfaring.

I Danmark har der været, og er stadig, en del mindre projekter både af forskningsmæssig og praktisk karakter, men ikke nogen storskala anvendelse af de alternative drivmidler.

I både Sverige, Tyskland og Frankrig er der mange flere aktiviteter end i Danmark, og følgende projekter er udvalgt og beskrevet i litteraturstudiet:

Projekt navn	Lokation	Drivmiddel	Transportopgave	Status
"El-Hybrid Skraldebil"	Danmark	El-hybrid	Renovationsbiler	I gang-værende
The Berliner Stadtreinigung	Berlin	Biogas/CNG/El-hybrid	Renovationsbiler	I gang-værende
Biogasbusser i Lille	Lille (Frankrig)	Biogas/NG	Busser	I gang-værende
SITA France	Paris	El	Renovationsbiler	I gang-værende
	Nordsverige 400 km fra Stockholm og Nordpå	Biogas, DME, El, Bioethanol, Pine diesel, Syntetisk diesel	Busser, Lastbiler Renovationsbiler, Flexible Fuel Vehicles	I gang-værende
Arlanda Lufthavn	Stockholm	Bioethanol, Biogas, El	Alle transport serviceopgaver på Arlandas område	I gang-værende
NSR	Helsingborg	Biogas	Busser, Renovationsbiler, FFV	I gang-værende
CIVITAS SMILE Biogas on the net	Malmö/ Ystad	Biogas	Busser, Lastbiler Varevogne, Biler	Afsluttet

4 TEKNOLOGIBESKRIVELSE OG VURDERING

I dette afsnit er produktion, distribution, lagring og tankning af de udvalgte drivmidler (komprimeret gas, bioethanol, biodiesel og el samt forskellige hybridløsninger, hvor el kombineres med ét af de andre drivmidler) beskrevet og vurderet.

I afsnit 4.1 beskrives den normale motorstandard for lastbiler, den såkaldte Euro-Standard. Afsnittet viser den udvikling, der har været inden for lastbil-motorer i de sidste ca. 20 år. For den efterfølgende vurdering anvendes Euro V som standard.

4.1 Euro-standard

Euro-standarderne definerer grænserne for emissioner fra nye køretøjer solgt i et EU-medlemsland. Den nyeste Euro-standard er Euro V, som gælder for nye tunge køretøjer, herunder renovationsbiler.

EU-direktivet angiver endvidere strengere emissionsgrænser for køretøjer med ekstra lav emission, der er kendt som "enhanced environmentally friendly vehicles" eller EEV. Denne standard er frivillig og ses som springbrættet til de højere krav for Euro VI, der træder i kraft i 2014.

Euro V testes på tre måder; ved en stationær test, ved en transient test og ved en test for røgtæthed. Diesel-, biodiesel- og bioethanol-motorer testes med alle tre testtyper, mens der for gasmotorer kun stilles krav om en transient testning.

Med indførelsen af Euro VI-standard, der er lovpligtig for nye lastbiler i 2014, stilles der krav om reduktion af emissionen af HC, NO_x og PM med henholdsvis 72 %, 80 % og 50 %.

Tabel 4. Euronormer¹

Test type			EURO I 1993	EURO II 1996	EURO III 2001	EURO IV 2006	EURO V 2009	EURO VI 2014	EEV 2000
CO	Stationær	g/kWh	4.5	4.0	2.1	1.5	1.5	1.5	1.5
	Transient	g/kWh	-	-	(5.45)	4.0	4.0	4.0	3.0
HC	Stationær	g/kWh	1.1	1.1	0.66	0.46	0.46	0.13	0.25
	Transient	g/kWh	-	-	(0.78)	0.55	0.55	0.16	0.40
NO _x	Stationær	g/kWh	8.0	7.0	5.0	3.5	2.0	0.4	2.0
	Transient	g/kWh	-	-	(5.0)	3.5	2.0	0.4	2.0
Partikler	Stationær	g/kWh	0.36/0.61	0.15/0.25	0.10/0.13	0.02	0.02	0.01	0.02
	Transient	g/kWh	-	-	(0.16/0.21)	0.03	0.03	0.01	0.02
Røg	Røgtæthed	1/m	-	-	0.8	0.5	0.5		0.15

¹ Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. (2012)
DieselNet.com – Emission Standards

På nuværende tidspunkt findes der kun få eksempler på kommercielle lastbiler, der opfylder Euro VI. Brændstofforbruget for de nye motorer med Euro VI holdes på niveau med Euro V-modellerne. De forventes dog at blive 10-15 % dyrere på grund af ekstra udstyr. De skærpede krav til emissioner og det deraf følgende behov for ekstra udstyr medfører, at motorerne kan forventes at blive 200 kg tungere, når der skiftes fra Euro V til Euro VI.

4.2 Komprimeret gas

Komprimeret gas er metangas i form af enten naturgas, som i Danmark primært hentes fra Nordsøen og distribueres gennem naturgasnettet, eller biogas produceret på et biogasanlæg af husdyrgødning, affald, biologisk nedbrydelige biprodukter fra industrien og efterfølgende renses til en kvalitet, der gør den anvendelig som motorbrændstof. Sammensætningen af naturgas og biogas fremgår af afsnit 4.2.2.

Produktionen af biogas sker ved en biologisk nedbrydning af organisk materiale. Dette sker i en fin balance mellem forskellige bakterier under iltfrie forhold i rådnetanke med en temperatur på 35–40 eller 50-55 grader. Processen kan være opdelt i flere trin startende med en forbehandling af det organiske materiale. Den afgassede biomasse er et værdifuldt gødningsprodukt, som lagres og anvendes som gødning i landbruget.

Biogassen ledes enten direkte til et lokalt kraftvarmeanlæg, eller den renses (opgraderes) og injiceres i naturgasnettet.

I Danmark findes 20-25 større biogasfællesanlæg, yderligere er der flere rensningsanlæg, der også producerer biogas. Fredericia rensningsanlæg opgraderer og afsætter biogas til naturgasnettet som det eneste anlæg i Danmark. En del af de 20-25 eksisterende biogasanlæg vil overgå til distribution af opgraderet biogas via naturgasnettet.

Der er en række nye anlæg på vej, og de fleste af dem forventes at opgradere biogassen til naturgasnettet.

4.2.1 Tilgængelighed af komprimeret gas

Distribution af komprimeret gas, hvad enten det er naturgas eller biogas, vil i Danmark ske via naturgasnettet, og i områder uden naturgasnet vil distributionen ske ved hjælp af tankvogn.

I naturgasnettet blandes naturgas og biogas, og det vil ikke være muligt at skelne mellem de to gasarter hos forbrugeren. Hvis en forbruger vil have biogas fra naturgasnettet, sker dette ved, at han køber biogascertifikater fra en producent af biogas.

Certificeringsaftalen for biogas er imidlertid en ren dansk aftale, og certifikaterne kan derfor ikke sælges på tværs af landegrænser. Der er derfor ikke mulighed for at købe biogas fra f.eks. Tyskland, som leveres via naturgasnettet.

Komprimeret gas fra naturgasnettet er til stede hele tiden i form af naturgas, mens biogas er tilgængelig fra nettet i det omfang, der kan købes certifikater.²

I 2011 blev der produceret i alt ca. 4 PJ biogas i Danmark. Energistyrelsen har opgjort, at det samlede potentiale i Danmark for produktion af biogas fra organisk affald (husdyrgødning, dagrenovation, spildevandsslam mv.) er ca. 35-40 PJ, svarende til 20-25 % af det samlede danske energiforbrug til vejtransport i 2011. Produktionsniveauet frem mod 2020 forventes at stige til godt 20 PJ.³

Udnyttelse af komprimeret gas som drivmiddel til transport kræver, at der etableres tankstationer for gas. I naturgasforsynede områder tilsluttes tankstationer direkte til nettet, og der vil således ikke være behov for lagring af gassen i forbindelse med tankstationerne. I områder, der ikke er naturgasforsynede, skal gassen føres frem til tankstationerne via en gasledning eller med tankvogn, og der skal således tages højde for ekstra omkostninger til transport af gassen til tankstationen.

Tankvognstransport vil typisk ske fra naturgasnettet til tankstationer, og transport af biogas i tankvogn over længere afstande, f.eks. fra andre lande eller fra biogasanlægget i Danmark, vil ikke være en økonomisk fordelagtig løsning, idet naturgasnettet altid vil være inden for en relativ kort afstand af tankstationen. Figur 4 viser et kort over det danske transmissionsnet og distributionsnet for naturgas.

² *Energinet.dk.*

³ *Brancheforeningen for biogas.*

Figur 4 Det danske transmissions- og distributionsnet for naturgas.



4.2.2 Sammensætning og kvalitet af komprimeret gas

Komprimeret gas i form af naturgas fra det danske naturgasnet har en sammensætning og brændværdi som angivet i Tabel 5. Naturgassens kvalitet og brændværdi varierer fra kilde til kilde, og det kan derfor forudses, at kvaliteten af gassen i det danske naturgasnet ændres, i takt med at gassen fra Nordsøen bliver erstattet af gas, der kommer ind via det europæiske gasnet.

Den danske naturgas har en brændværdi på ca. 39,5 MJ pr. Nm³, hvilket svarer til ca. 48 MJ pr. kg naturgas

Tabel 5. Sammensætning og brændværdi af dansk naturgas

2011		Gns.
Metan	%	89,1
Ethan	%	6,0
Propan	%	2,4
I-butan	%	0,4
N-butan	%	0,6
I-pentan	%	0,1
N-pentan	%	0,1
Hexan+	%	0,1
Nitrogen	%	0,4
Kuldioxid	%	1,0
Øvre brændværdi	MJ/m _n ³	43,7
Nedre brændværdi	MJ/m _n ³	39,5

Biogas er en metangas fremstillet på biogasanlæg i en biologisk anaerob proces, hvor organisk materiale omsættes til biogas og vand.

Den rå biogas fra biogasanlægget består af mellem 55-70 % metan og 30-45 % kuldioxid samt en mindre mængde svovlbrinte og spor af ammoniak og andre gasser. Biogassens sammensætning og brændværdi er vist i Tabel 5. Indholdet af metan i den rå biogas varierer fra anlæg til anlæg, afhængig af hvilken biomasse anlægget tilføres. Biogassen er ved produktion mættet med vanddamp. Brændværdien af rå-biogas er ca. 18-25 MJ pr. Nm³.

Inden biogassen anvendes som drivmiddel for køretøjer, skal gassen opgraderes. Ved opgraderingen af biogassen koncentrerer biogassens indhold af metan ved fjernelse af størstedelen af gassens indhold af kuldioxid, svovlbrinte og andre gasser. Biogassen opnår herved en brændværdi på 36 MJ pr. Nm³.

Den opgraderede biogas kan injiceres i naturgasnettet og via nettet distribueres til slutbrugerne. Biogasanlæg, der afsætter opgraderet biogas til naturgasnettet, får udstedt "certifikater" på den producerede biogas, som kan sælges til forbrugere, der ønsker at anvende biogas og ikke naturgas. I praksis vil det betyde, at slutbrugeren af biogas, der distribueres via naturgasnettet, får en gas af samme kvalitet som naturgas. Det er kun det købte certifikat, der viser, at man bruger biogas.

Sammensætning og brændværdi for komprimeret gas i form af biogas fra et biogasfællesanlæg samt for biogas opgraderet til en standard, så den kan anvendes som motorbrændstof, fremgår af Tabel 6.

Tabel 6. Sammensætning og brændværdi på biogas og opgraderet biogas⁴

		Biogas	Opgraderet biogas
Gasart	%		
Metan (CH ₄)	%	55-70	>97
Kuldioxid (CO ₂)	%	30-45	<2
Svovlbrinte (H ₂ S)	%	1-2	Spor
Brint (H ₂)	%		0
Ammoniak (NH ₃)	%		0
Kulilte (CO)	%	Spor	0
Kvælstof (N ₂)	%	Spor	<0,8
Ilt (O ₂)	%	Spor	<0,2

4.2.3 Distribution af komprimeret gas

For områder, der ligger inden for naturgasnettet, sker distribution direkte via naturgasnettet. For områder, der ikke er naturgasforsynede, kan gassen komprimeres til 200 bar og transporteres i tankbiler til tankstationerne. Erfaringer fra Sverige viser, at der kan transporteres ca. 8.400 Nm³ gas pr. transport ved brug af beholdere af kompositmateriale, mens der kan transporteres ca. 4.500 Nm³ gas pr. transport, hvis der benyttes de noget tungere beholdere af stål.

Til sammenligning viser svenske erfaringer fra Linköping, at en renovationsbil bruger ca. 1.800 Nm³ gas om måneden (ved kørsel 5 dage om ugen).

Der findes også erfaringer med at gøre metangas flydende (LNG eller LBG) ved at nedkøle gassen til -162 °C og komprimere den til ca. 200 bar. Den flydende gas kan transporteres i tankbiler i langt større mængder pr. transport. Da det er dyrt at gøre metangassen flydende, er denne metode dog kun relevant ved transport over meget lange afstande. I Danmark er der på grund af naturgasnettets udbredelse ikke så lange transportafstande, at denne metode er relevant, og den er derfor ikke yderligere behandlet i denne rapport.

4.2.4 Lagring af komprimeret gas ved forbrugsstedet

Tankstationer med tilslutning til naturgasnettet vil ikke have behov for et lokalt gaslager, da den direkte tilslutning vil kunne levere et konstant flow. I ikke naturgasforsynede områder, hvor komprimeret gas leveres til tankstation med lastbil, vil der være et behov for et lager for komprimeret gas. Uanset om der anvendes tryktanke i stål eller komposit for transporten, kan transporttankene anvendes som transportable lagerenheder. Ved levering af en fyldt tank, kobles den til tankstationen, og kompressoren på tankstationen tager gassen fra det transportable lager. Når tanken er tom, læsser den igen på en lastbil og køres til opfyldning.

⁴ Peter Jacob Jørgensen, PlanEnergi, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet 2009

4.2.5 Påfyldningsteknologi for komprimeret gas

En tankstation for komprimeret gas består af en kompressor og en påfyldningsstation. Hvis anlægget ikke er tilsluttet direkte til naturgasnettet, skal der desuden etableres et højtrykslager, f.eks. i form af transportable tryktanke og en aflæsningsplads til tankbilerne, der leverer den komprimerede gas.

Selve tankningen af bilerne kan foretages enten ved en langtids- eller ved en korttidstankning. Ved langtids- eller korttidstankning kobles bilerne typisk til påfyldningsstationen, når arbejdsdagen slutter, og forbliver tilsluttet indtil start på næste arbejdsdag. På sådanne anlæg tankes flere biler samtidig. Blandt andet det svenske trafikselskab Skånetrafikken har etableret et sådant påfyldningsanlæg til sine busser. Langtidstankning tager ca. 4-6 timer.

Ved korttidstankning fyldes en enkelt bil ad gangen, som vi kender det fra tankning af diesel. Korttidstankning tager ca. 20 min., og der er behov for en relativ stor kapacitet for påfyldningsanlægget.

For flåder, der alligevel står parkeret samme sted hele natten, er der fordele ved en langtids- eller korttidstankning, idet der skal bruges mindre kapacitet på påfyldningsstationen. Det er et krav, at bilerne parkeres på et centralt anlæg for at anvende langtids- eller korttidstankning.

Korttidstankning stiller samme krav til tankningen som ved anvendelse af diesel. Den eneste ændring ligger i det begrænsede antal tankstationer.

På baggrund af erfaringer med gasdrevne renovationsbiler i Malmö vurderer Mercedes, at forskellen på de to metoder er ubetydelig. Korttidstankning af bilerne foretages på tankstationer ca. hver anden dag og kan gøres af chaufføren selv.

4.2.6 Teknologi for drift på komprimeret gas

Anvendelse af komprimeret gas i forbrændingsmotorer er en kendt teknologi. Komprimeret gas har længe været anvendt som transportbrændstof i flere lande.

Komprimeret gas kan anvendes i almindelige forbrændingsmotorer, der dog skal modificeres for at matche det korrekte kompressionstal. Biler og andre mindre køretøjer anvender typisk benzinmotorer i forbindelse med gas som drivmiddel, mens tunge køretøjer, såsom renovationsbiler, typisk anvender højtryks-dieselmotorer.

Da energidensiteten for gasser er meget lav i forhold til flydende drivmidler, er det nødvendigt at hæve denne, enten ved at holde gassen tryksat (CNG) eller ved både at tryksætte og nedkøle gassen til en flydende gas (LNG). Energidensitet for CNG og LNG er henholdsvis 25 % og 40-45 % af traditionel diesel.

4.2.7 Sikkerhed og miljø i relation til komprimeret gas

Komprimeret gas er lettere end luft og har en højere antændelsestemperatur end benzin og diesel. Risikoen for brand og eksplosioner ved f.eks. trafikulykker er derfor mindre end ved brug af de traditionelle brændstoffer som diesel og benzin.

Påfyldningsstationen fungerer som et lukket system med sikkerhedsventiler, hvorfor der ikke er en større risiko for lækage under tankning.

Hvad angår de lokale miljøpåvirkninger forbundet med kørsel på komprimeret gas, er forureningen med især partikler lavere end for traditionelle dieselmotorer.

Anvendelse af komprimeret gas, med biogascertifikater, giver en reduktion i emissionen af CO₂. Den samlede reduktion af CO₂ ved anvendelsen af biogas afhænger af, hvilken type biomasse biogassen er produceret af.

4.3 Bioethanol

Bioethanol fremstilles af afgrøder eller restprodukter heraf og kan enten bruges i ren form som alternativt drivmiddel, eller det kan blandes med benzin eller diesel. Bioethanol fra primærafgrøder betegnes 1. generations bioethanol, og bioethanol fra afgrøderester og affald betegnes 2. generations bioethanol. Bioethanol produceres af plantemateriale, der indeholder stivelse eller glukose. 1. generations bioethanol produceres af landbrugsafgrøder som f.eks. korn, roer, majs og kartofler, der alternativt ville kunne anvendes til fødevarer, eller energiafgrøder som f.eks. sukkerrør og sukkerroer, der ligeledes fortrænger fødevarerproduktion i det omfang, de dyrkes på eksisterende landbrugsarealer. Derimod er 2. generations bioethanol produceret af restprodukter og vegetabilsk affald som f.eks. halm, træspåner eller majsstængler.

Bioethanol bliver produceret forskelligt, alt efter hvilken type biomasse der anvendes. Forskellen ligger i de indledende processer, hvor biomassen skal forarbejdes for at klargøre den til fermentation. Generelt for alle de forskellige typer biomasse er, at de skal gennemgå en fermentering, hvor sukker gærer til alkohol, CO₂ fjernes, og derefter en destillering, hvor alkoholen separeres fra.

4.3.1 Tilgængelighed af bioethanol på markedet

1. generations bioethanol produceres ikke i Danmark. På verdensplan var den samlede produktion af 1. generations bioethanol i 2009 på 73.954 mio. liter, hvoraf 2.855 mio. liter blev produceret i EU. Den primære produktion var i USA og Brasilien⁵.

⁵ Biofuels Platform

Det blev i 2007 vurderet, at Danmark havde et produktionspotentiale for 2. generations bioethanol på 27 PJ.⁶ Dette svarer til 14 % af det nuværende energiforbrug til vejtransport.

Der er brugt store beløb på forskning i produktion af 2. generations bioethanol, og der er investeret i bygning og udvikling af teknologien i demonstrationsanlæg.⁷ Teknologien er således parat, men den kommercielle udvikling af anlæg til produktion af 2. generations bioethanol er først ved at gå i gang i Danmark. Det betyder, at der ikke på kort sigt kan regnes med en betydelig dansk produktion af 2. generations bioethanol.

For anvendelse af bioethanol som drivmiddel i renovationsbiler er der behov for etablering af nye eller modificering af eksisterende systemer for distribution og tankning.

Såfremt bioethanol skal anvendes som drivmiddel i renovationsbiler inden for en 5-årig tidshorisont, kan det blive nødvendigt at importere 1. generations bioethanol.

4.3.2 Sammensætning og kvalitet af bioethanol

Bioethanol er ethanol, der er fremstillet af biomasse og/eller den bionedbrydelige del af affald, og som anvendes som biobrændstof.

Den normale betegnelse for bioethanol som drivmiddel for biler er E XX, hvor E'et står for (bio)ethanol, og de efterfølgende X'er angiver tal for volumenprocenten af bioethanol, der er i drivmidlet. Bioethanol blandes typisk i benzin og tilsættes smøremidler, idet bioethanol har dårlige smøringsevner. Det er muligt at få ren bioethanol (E100).

Almindelige benzinmotorer kan benytte benzin iblandet op til 15 % bioethanol (E15). FFV (Flexible Fuel Vehicles) har modificerede benzinmotorer, som kan benytte blandinger bestående af op til 85 % bioethanol.

Renovationsbiler, busser og lastbiler kan med modificerede dieselmotorer køre på ED95 (D'et betegner, at der kan benyttes en dieselmodificeret motor), som består af 95 % bioethanol og 5 % smøremiddel, korrosionsbeskyttelse og vigtigst additiver, der forbedrer motorens forbrænding.

Bioethanol har en gennemsnitlig brændværdi på 21,3 MJ/liter, og ED95 har en gennemsnitlig brændværdi på ca. 25 MJ/kg.

Begge dele er væsentligt under diesel, der har en brændværdi på 41-42 MJ/kg.⁸

⁶ Redegørelse om renere brændstoffer og teknologi til transport, Københavns Kommune, Center for Miljø, Maj 2007, ISBN elektronisk version: 978-87-90947-02-6.

⁷ Københavns Universitet nyheder: "Regeringens EnergiStrategi 2050 - Danmark kan tabe kapløb om bioethanol" - 01.09.2011.

⁸ Creating Markets for Renewable Energy Technologies in EU, RES technology Marketing Campaign" RESTMAC, http://www.eubia.org/uploads/media/RESTMAC_-_Bioethanol_Production___Use.pdf, læst 13-03-12.

4.3.3 Distribution af bioethanol

Bioethanol kan distribueres på samme måde som benzin og diesel med tankskibe og tankbiler fra produktionsstedet til påfyldningsstedet, evt. via et raffinaderi, hvor det blandes med almindelig benzin/diesel og/eller smøremidler. P.t. er der ikke en kommerciel produktion af bioethanol-produkter i Danmark, og derfor vil de skulle importeres.

4.3.4 Lagring af bioethanol på forbrugsstedet

Lagring af bioethanol kan ske på samme måde som lagring af benzin og diesel, men dampene fra bioethanol er meget mere brændbare, og der skal derfor laves ekstra sikkerhedsforanstaltninger.

Bioethanol er mere korroderende over for forskellige typer metaller (specielt aluminium), og der bør derfor vælges materialer til komponenter i motorer, lagre og påfyldningsanlæg, der ikke korroderes af bioethanol.

Det må forventes, at større leverandører vil have et dansk raffinaderi til opblanding med diesel og benzin. På nuværende tidspunkt er der ikke danske leverandører, der har faciliteter til opblanding og opbevaring af større mængder bioethanol. Dette betyder, at der på kort sigt vil være ekstra transportomkostninger eller ekstra investeringsomkostninger forbundet med anvendelse af bioethanol til renovationsbiler.

4.3.5 Påfyldningsteknologi for bioethanol

Påfyldningen af bioethanol sker på samme måde som påfyldning af benzin og diesel, da brændstoffet er flydende ved stuetemperatur og derfor opbevares trykløst. Dog er det vigtigt at tage højde for sikkerhedsaspekter og korroderende egenskaber, som er nævnt i afsnittet om lagring.

Tankning af bioethanol kan ske med 0-120 l/min., hvilket helt svarer til tankning af diesel.

4.3.6 Teknologi for drift på bioethanol

Bioethanol har en lavere energidensitet end benzin/diesel, hvorfor det kræver mere brændstof og dermed en større brændstoftank på bilerne at opnå den samme rækkevidde som med benzin/diesel. Alternativt skal bilen tankes hyppigere.

Bioethanol indeholder halogen-ioner og vil derfor virke korroderende på oxidationer, som optræder som et beskyttende lag på eksempelvis rustfrit stål og aluminium. Over tid vil brændstofsyste­met tilstoppes på grund af korrosion, hvis de forkerte materialer anvendes i motorkomponenter og i brændstofsyste­met.

Det vil ikke være hensigtsmæssigt at bruge ren bioethanol i Danmark, fordi bioethanolens relativt lave kogepunkt medfører et lavt gastryk, når temperaturen kommer langt ned, og det kan medføre startproblemer. For at undgå dette problem kan i stedet anvendes bioethanol iblandet benzin (i Sverige anvendes traditionelt E85, mens der i de kolde regioner anvendes E75 eller ED95 til f.eks. renovationsbiler, busser og lastbiler med modificerede dieselmotorer).

4.3.7 Sikkerhed og miljø i relation til brug af bioethanol

Der er flere vigtige sikkerhedsforhold at være opmærksom på i forbindelse med produktion, lagring og håndtering af bioethanol. Nogle af de vigtigste parametre er, at bioethanol-dampe i forbindelse med luft kan danne eksplosive blandinger, som vil øge risikoen for eksplosion og brand, og at korrosion kan forårsage tilstopninger og driftsproblemer, hvis materialevalget ikke er korrekt.

Bioethanol er vandopløseligt og vil hurtigt fordampe eller blive nedbrudt ved spild på jord eller i vand. Bioethanol er ikke bioakkumulerende og er kun i meget høje koncentrationer skadeligt for vandlevende organismer.

De lokale udledninger forbundet med kørsel på bioethanol adskiller sig ikke væsentligt fra kørsel på konventionel diesel. Samlet set vil der dog være en betydning for klimaet, men størrelsen heraf afhænger af, hvilke produkter bioethanolen er produceret af. Generelt opnås den bedste klimaeffekt (CO₂-reduktion), hvis bioethanolen er produceret af affaldsprodukter f.eks. fra landbrugssektoren.

4.4 Biodiesel

Biodiesel kan fremstilles af animalsk fedt og kaldes i så fald animalsk fedtsyre metylester, forkortet AFME. Fedtet kan komme fra slagteri- eller fiskeaffald, døde dyr fra landbruget eller andre animalske affaldsprodukter.

Vegetabilsk biodiesel er typisk fremstillet af rapsolie (rapsolie metylester, forkortet RME), men kan også fremstilles af f.eks. solsikkeolie, sojaolie eller palmeolie. Rapsolie metylester og solsikkeolie metylester har det laveste indhold af mættede fedtsyrer og kan relativt let substituere almindelig diesel også i høje blandingsforhold.

Biodiesel fremstilles ved en kemisk ændring af animalsk eller vegetabilsk fedt eller olie for at opnå et produkt med diesellignende egenskaber. Dette opnås ved en reaktion mellem olie/fedtstof og metanol, hvorved man får dannet fedtsyre metylester, også benævnt FAME.

Ligesom for bioethanol findes der både 1. og 2. generations biodiesel. Til produktion af 1. generations biodiesel anvendes i Europa primært rapsolie, mens man i USA benytter sojaolie og i Østen palmeolie. Til 2. generations biodiesel benyttes affaldsprodukter som f.eks. friturefedt og slagteriaffald.

Biodiesel har en lettere biologisk omsættelighed end almindelig diesel, hvilket kan øge risikoen for dieselpest som følge af problemer med bakterievækst i brændstofssystemet. Dieselpest skyldes mikroorganismer, der kan komme ind i tanken via vand eller luft og overleve i grænsen mellem dieselen og det bundvand/kondensvand, som kan dannes i tanken. Mikroorganismerne ernærer sig med kulstof fra dieselen.

Den bedste måde at undgå dieselpest på er ved at minimere risikoen for, at vand kommer i kontakt med brændstoffet. Ved overgang til brug af biodiesel anbefales det at oprense opbevaringstankene, ligesom der løbende bør fjernes kondensvand fra tankene.

Der skal tages højde for, at animalsk biodiesel har relativt dårlige kuldeegenskaber, og at der derfor ved lave temperaturer⁹ udfældes mættede fedtsyrer, der kan tilstoppe brændstofslinger og -filtre. Det er derfor nødvendigt med opvarmning af blandetanke samt isolering af tanke og rør i forbindelse hermed. Hvis biodiesel anvendes i mindre blandinger (som f.eks. B7), og blandingen foretages inden distributionen til tankanlægget, er disse foranstaltninger ikke nødvendige.

Brug af vegetabilsk biodiesel (RME) er ikke forbundet med de samme kuldemæssige problemer som brug af animalsk biodiesel, da RME har bedre kuldeegenskaber. Det er derfor ikke nødvendigt at etablere centrale blandingsfaciliteter med opvarmede tanke. I stedet kan den eventuelle iblanding af almindelig diesel foretages decentralt hos den enkelte flåde ejer, idet der kan etableres en simpel blandingsstation, hvor de 2 produkter opbevares i 2 separate tanke og blandes i forbindelse med tankning.

4.4.1 Tilgængelighed af biodiesel på markedet

Københavns Kommune fik i 2007 opgjort det samlede danske produktionspotentiale af biodiesel fra raps, animalsk fedt og kødaffald til 14 PJ. Dette svarer til omkring 7 % af det nuværende energiforbrug til vejtransport i Danmark.

EU-direktiv 2003/30/EF forpligter medlemslandene til at opstille mål for andelen af biobrændstof i transportsektoren. I Danmark er der en tvungen iblanding af biodiesel på 5,75 % i al diesel solgt.

I Danmark produceres 1. generations biodiesel af virksomheden Emmelev A/S på Fyn, som årligt producerer ca. 100 mio. liter rapsolie.

Herudover produceres 2. generations biodiesel af virksomheden Daka Biodiesel, som årligt producerer ca. 55 mio. liter biodiesel af slagteriaffald og friturefedt, ca. 1,9 PJ svarende til ca. 1,2 % af den anvendte diesel til vejtransport i Danmark.

Den samlede produktion i 2009 var på verdensplan 17.929 mio. liter, hvoraf 8.733 mio. liter er produceret i EU.⁵

⁹ Problemet indtræffer for ren AFME allerede ved ca. 10 grader, men afhænger i høj grad af, hvilken råvare, der oprindeligt er anvendt til produktionen.

4.4.2 Sammensætning og kvalitet af biodiesel

Biodiesel er en flydende væske, der minder meget om almindelig fossil diesel. Biodiesel kan iblandes almindelig diesel og kan anvendes i almindelige eksisterende dieselmotorer.

Forskellige blandinger af diesel og biodiesel betegnes B XX, hvor B'et står for biodiesel, og de efterfølgende X'er angiver tal for volumenprocenten af biodiesel blandet i almindelig diesel. Blandingerne er typisk > B30 i henhold til EU-standarder og som B100, dvs. ren biodiesel.

Energiindholdet kan variere afhængigt af produktionsmaterialet, men er typisk lidt lavere end for konventionel diesel.

B100 har en brændværdi på 38-40 MJ/kg, hvilket er 10 % lavere end almindelig diesel.

4.4.3 Distribution af biodiesel

Biodiesel kan distribueres på samme måde som konventionel diesel. Den kan transporteres fra produktionsstedet med tankskib eller tankbil direkte til påfyldningsstedet, evt. via et raffinaderi, hvor det evt. blandes med almindelig diesel.

4.4.4 Lagring af biodiesel

Det må forventes, at større leverandører vil have et dansk raffinaderi til opblanding med diesel. På nuværende tidspunkt er der ikke danske leverandører, der har faciliteter til opblanding og opbevaring af større mængder biodiesel. Dette betyder, at der på kort sigt vil være ekstra transportomkostninger eller ekstra investeringsomkostninger forbundet med anvendelse af biodiesel til renovationsbiler.

Fra lageranlæggene leveres biodiesel til de lokale tankanlæg, typisk med modificerede tankvogne, hvor bilens pumpe-system mv. indrettes til at håndtere biodiesel, f.eks. er det nødvendigt at benytte pakninger af andet materiale i stedet for almindelige gummipakninger, da gummi nedbrydes af biodiesel.

4.4.5 Påfyldningsteknologi for biodiesel

Påfyldningen af biodiesel sker på samme måde som med benzin og diesel, da brændstoffet er flydende. Dog kan der være problemer ved for lave temperaturer som ovenfor.

Tankning af biodiesel kan ske med 0-120 l/min., hvilket helt svarer til tankning af diesel.

4.4.6 Teknologi for anvendelse af biodiesel

Biodiesel er meget lig traditionel diesel, hvilket gør, at biodiesel kan anvendes som drivmiddel i traditionelle dieselmotorer. Blandinger med op til 7 % biodiesel iblandet konventionel diesel kan anvendes i konventionelle dieselmotorer uden særlige foranstaltninger.

Ved højere blandinger skal der tages højde for, at biodiesel ikke er kompatibel med alle materialetyper, idet materialer såsom kobber, zink, messing, tin, støbejern, PVC og naturgummi opløses/ætses af biodiesel. Typisk er det ældre forbrændingsmotorer, der har komponenter indeholdende disse materialer, eksempelvis gummipakninger og -slanger i brændstofsyste­met.

Ved skift fra diesel til biodiesel skal der skiftes brændstoffiltre. Ved kørsel på blandinger af konventionel diesel og biodiesel er der et behov for en hyppigere udskiftning af brændstoffiltre.

4.4.7 Sikkerhed og miljø i relation til anvendelse af biodiesel

Biodiesel regnes for lettere nedbrydeligt end almindelig diesel. Ved spild i naturen eller uheld er dette en fordel, idet biodieselen dermed forvolder mindre skade i tilfælde af spild.

Med hensyn til opbevaring, håndtering og distribution er biodiesel lige så sikkert som almindelig diesel, og ydermere har biodiesel et højere antændingspunkt, hvilket reducerer risikoen for brand og eksplosion.

De lokale emissioner forbundet med kørsel på biodiesel adskiller sig ikke væsentligt fra kørsel på konventionel diesel. Samlet set vil substitution af konventionel diesel med biodiesel dog reducere klima­effekten (CO₂-reduktion), fordi CO₂-udledningen relateret til produktion er mindre for biodiesel. Klima­effekten er størst ved brug af 2. generations biodiesel.

4.5 Eldrift

Renovationsbiler kan ved installation af batteri(er) udnytte el til fremdrift (hovedmotoren) og/eller til komprimering og løft, eller der kan være tale om en hybridløsning, hvor el kombineres med andre drivmidler til bilens fremdrift.

El anvendes typisk i renovationsbiler på følgende måder:

- a) *Ren el:* El anvendes til både fremdrift (hovedmotor), komprimering og lift ved hjælp af et batteri, der oplades via elnettet (plug-in). Der findes indtil videre kun få eksempler på renovationsbiler, hvor der kun benyttes el til fremdrift og komprimering/lift. Denne løsning kræver montering af et forholdsvis stort batteri på bilen, der som minimum skal oplades dagligt.
- b) *Hybridløsning 1 med el til komprimering:* Ved denne løsning består el­delen af et batterimodul, som driver komprimator og lift. Batteriet skal lades op med strøm fra elnettet (plug-in). Bilens hovedmotor til fremdrift fungerer uafhængigt heraf, f.eks. med en almindelig motor. Hovedmotoren vil på disse biler også kunne drive hydraulikken i situationer, hvor batteriet løber tør for strøm.

- c) *Hybridløsning 2 parallel elmotor på hovedmotoren:* Bilen udstyres med et batteri- eller et hydraulikmodul, der udnytter den kinetiske energi, der fremkommer ved opbremsninger og de-acceleration. Den opsamlede energi benyttes til acceleration og kørsel over korte afstande. Denne hybridløsning er typisk ikke udstyret med mulighed for at oplade fra nettet. Denne hybridløsning kan tilføjes alle motortyper; diesel, biodiesel, bioethanol, gas og rene elbiler samt hybridbiler med el til komprimering.

Der er allerede flere eksempler på brugen af el i transportsektoren i Danmark. Dette er primært i busser og personbiler, men også renovationsbiler er testet i Danmark. Der kører blandt andet renovationsbiler i Esbjerg og Aabenraa, som er hybridbiler med el til komprimering. De rene elbiler (ud over micro-biler) er derimod ikke udbredte som renovationsbiler og er endnu ikke i brug i Danmark. Frederiksberg Kommune har netop indkøbt den første renovationsbil med ren eldrift. I Paris har SITA kørt med hybridbiler og biler på ren eldrift mange år (se Bilag 1).

Gennem det centrale elnet vil der alle steder i Danmark være mulighed for at benytte el. Det betyder også, at der ikke vil være etableringsomkostninger til distribution. Kun mindre elstandere skal etableres til opladning, for at el kan udnyttes til renovationsbiler.

Der kan købes certifikater på grøn el som dokumentation for, at der anvendes el produceret på vind, sol og anden vedvarende energi.

4.5.1 Produktion, distribution og lagring af el

El produceres ved anvendelse af fossile energikilder som kul og olie, denne el betegnes som "konventionel" el, og el produceret af vedvarende energikilder som f.eks. vind, sol, vand mv., denne el betegnes "grøn" el.

På grund af det veletablerede elnet i Danmark er der ikke behov for yderligere distribution. Ladestandere bliver koblet direkte til det centrale elnet, og der er derfor ikke behov for lagring i forbindelse med ladeanlæggene.

4.5.2 Påfyldningsteknologi for el

Opladning af større batterier sker med en såkaldt plug-in løsning, hvor bilen "sættes i stikkontakten".

Opladning af en hybrid eller ren elbil tager 4 til 6 timer.¹⁰

Ved opsamlingen af den kinetiske energi benyttes mindre batterier monteret på bilens chassis. For disse batterier sker opladningen løbende under driften og typisk ikke med en plug-in løsning. Batteri til kinetisk energi og batteri til andre formål kan i praksis kobles sammen, hvorved det samme batteri kan benyttes til flere formål.

¹⁰ Banke Accessory Drive og SITA/PVI

4.5.3 Teknologi for anvendelse af el

For at benytte el som drivmiddel kræves der en elmotor i stedet for en forbrændingsmotor. En elmotor leverer på samme måde som forbrændingsmotoren et kraftudtag, der får drivakslen til at dreje og køretøjet til at køre.

En elmotor har en virkningsgrad på 90-95 % med den motorstørrelse, der er nødvendig i en renovationsbil.

I dag benyttes der i vid udstrækning litium-ion batterier, der har en højere energidensitet og vejer mindre end traditionelle blybatterier. Dette gør batteriet mere kompakt og mere kraftfuldt.

Energidensiteten i et batteri er med den nuværende teknologi lav, ca. 30 gange mindre end for benzin og diesel. Det betyder, at batteripakken skal være stor for at opnå en rækkevidde, der er acceptabel for en renovationsbil.

EI- og hybridteknologier for renovationsbiler er i stor udvikling. Teknologierne forbedres hele tiden, og det åbner nye muligheder for, at der i nærmeste fremtid f.eks. kan opnås kortere opladningstider og mindre vægt af batterierne.

4.5.4 Sikkerhed og miljø i relation til anvendelse af el

En af udfordringerne ved en øget produktion af vedvarende energi er, at energien ikke kan gemmes og bruges, når der er behov for den. En stor fordel ved brug af el til transport er, at bilerne kan oplades om natten, hvor der er overskud af energi fra f.eks. vindmøller.

Omvendt er en nødvendig bestanddel af batterierne det sjældne metal litium, som også bruges i batterier til f.eks. mobiltelefoner, digitale kameraer og en lang række andre elektroniske produkter. Skeptikere fremhæver, at der er utilstrækkeligt litium til rådighed for produktion af batterier til elbiler. Desuden er de kendte forekomster af det værdifulde metal begrænset til ganske få lokaliteter i verden, hvor der kan være både miljømæssige og politiske udfordringer forbundet med at udvinde råstoffet.

Ved brug af hybridbiler reduceres de lokale udledninger af f.eks. kulbrinter og partikler i det omfang, bilens brændstofforbrug erstattes med brug af el. Opsamling af bremseenergi kan give en brændstofbesparelse på 10-25 % afhængigt af kørselsmønster.

Den samlede betydning for klima og miljø ved anvendelsen af hybridbiler afhænger af, om elektriciteten er produceret på basis af fossile eller vedvarende energikilder. Det skal desuden bemærkes, at hybridløsningerne kan kombineres med de andre alternative drivmidler beskrevet i dette notat, således at dieselmotoren kan erstattes af en motor til kørsel på biogas, bioethanol eller biodiesel.

4.6 Konklusion af drivmidlernes tilgængelighed

Biodiesel	Leveringsgaranti	Der kan opnås leveringsgaranti for Biodiesel 1. generation. Biodiesel 2. generation kan kun købes i begrænsede mængder og der kan ikke opnås leveringsgaranti
	Distributionssystem	Eksisterende distributionssystem kan anvendes
	Tankningsanlæg	Der kræves nye tankningsanlæg i forbindelse med indførelse af biodiesel i renovationsbiler
	Biler og deres servicering	Teknologien er på markedet og bilerne kan serviceres. Alle værksteder, der kan servicere en diesel bil, kan også servicere en biodiesel bil.
Bioethanol	Leveringsgaranti	Der kan opnås leveringsgaranti på importeret 1. generations bioethanol iblandet benzin, og der kan opnås leveringsgaranti på ED95 fra svensk leverandør Der kan pt. ikke opnås leveringsgaranti for 2. generations bioethanol. Nye initiativer til produktion af bioethanol kan gøre det muligt at opnå leveringsgaranti indenfor de næste 5 år.
	Distributionssystem	Eksisterende distributionssystem kan anvendes
	Tankningsanlæg	Der kræves nye tankningsanlæg i forbindelse med indførelse af bioethanol i renovationsbiler.
	Biler og deres servicering	Teknologien er på markedet og bilerne kan serviceres. Der er tale om benzin-/dieselmotorer med modifikationer, og de ville kunne serviceres af de samme værksteder der servicerer dieslbiler i dag.
Komprimeret gas	Leveringsgaranti	Leveringsgaranti kan opnås for naturgas. Leveringsgaranti kan pt. ikke opnås for biogas. Nye biogasanlæg der bliver opført indenfor de kommende år vil gøre det muligt at opnå leveringsgaranti for biogas indenfor de næste 5 år.
	Distributionssystem	Naturgasnettet kan anvendes for distribution i den største del af landet. For områder uden naturgasforsyning skal etableres system baseret på transport og lagring i mobile tryktanke
	Tankningsanlæg	Der skal etableres nye tankningsanlæg
	Biler og deres servicering	Teknologien er på markedet og bilerne kan serviceres. Der vil specielt i en opbygningsfase sandsynligvis være færre værksteder har de viden og erfaring, men de vil alle kunne skaffe den nødvendige information.
El	Leveringsgaranti	Der kan opnås leveringsgaranti for el
	Distributionssystem	Eksisterende distributionssystem kan anvendes
	Tankningsanlæg	Der skal etableres lade anlæg
	Biler og deres servicering	Teknologien er på markedet og bilerne kan serviceres. Bilen adskiller sig kun fra andre biler ved batteriet. Der skal indgås speciel aftale med leverandøren af batteriet/billeverandøren vedr. servicering af batteriet.

5 ØKONOMISK – MILJØMÆSSIG VURDERING AF ALTERNATIVE DRIVMIDLER

5.1 Analysemodel og scenariebeskrivelse

For analyse af de valgte alternative drivmidler er der benyttet en til formålet udviklet beregningsmodel. Modellen bygger på erfaringstal indhentet fra operatører, leverandører og referenceprojekter og forudsætninger gjort i forbindelse med analysen, hvor det ikke har været muligt at få entydige erfaringstal. Opbygningen af modellen er beskrevet i Bilag 2.

Modellen er benyttet som et regneredskab i forbindelse med vurderingen af konsekvenserne af at anvende alternative drivmidler. For analyse af drivmidlerne er der opstillet tre scenarier, som er tænkt at skulle beskrive henholdsvis storby, provinsby og landområder. Scenarierne er opstillet på grundlag af indsamlede oplysninger fra renovatører og producenter i branchen.

De variable parametre, som modellen anvender i forbindelse med analysen, er for de tre beskrevne scenarier anført i Tabel 7.

Fra de mange oplysninger, der er indsamlet til brug for analysen, er det tydeligt, at der forekommer store variationer inden for samme områdetype. Det kan derfor ikke forventes, at alle områder ude i kommunerne er direkte sammenlignelige med et af de tre scenarier. Analysen, der er baseret på de opstillede scenarier, giver et godt billede af de konsekvenser, der kan forventes af at indføre alternative drivmidler. Men hvis der ønskes en konkret analyse for en specifik rute eller et konkret område, anbefales det at gennemføre en specifik analyse for dette område ved anvendelse af modellen. Dette kan gøres relativt let ved at gå ind i modellen og ændre parametrene, der er angivet i Tabel 7, så de passer med det område, der ønskes analyseret.

Tabel 7 Beskrivelse af de tre scenarier

		Scenariet I	Scenarie II	Scenarie III
Ruter pr. dag	stk.	2	1	1
Personer	pers.	2	3	1
Antal skift	stk.	2	1	1
Årligt indsamlet affald	ton/år	20.000	15.000	6.000
Indsamlede ton	ton/dag	15,0	11,0	4,5
Antal ture til behandlingsanlæg	stk./dag	1,9	1,2	0,4
Antal tømte beholdere	stk.	600	440	300
Transport til/fra behandlingsanlæg	km	31	12	10
Transport til/fra rute	km	4	10	50
Kørsel i indsamlingsområde	km	13	15	30
Samlet kørsel	km	48	37	90
Gennemsnitlig afstand mellem beholdere	m	22	34	100
Beholderstørrelse	kg/beholder	25	25	15
Løft pr. beholder	stk.	1	1	1
Komprimering pr. løft	stk.	0,33	0,33	0,33
Gennemsnitlig stoptid per beholder	sek.	17	30	50

Snit. tid til indsamling af beholdere	sek.	7,5	13,2	22,0
Transport til/fra behandlingsanlæg	timer	1,37	0,41	0,26
Transport til/fra rute	timer	0,18	0,33	1,25
Kørsel indsamling	timer	1,86	1,88	2,00
Stop indsamling	timer	2,83	3,67	4,17
Total tid	timer	6,2	6,3	7,7

Bilernes nyttelast er beskrevet i nedenstående Tabel 8. Kun for elbilerne er der en betydelig reduktion i lasteevnen i forhold til dieslbiler. I Tabel 8 er endvidere angivet, hvor stor en del af nyttelasten der i praksis udnyttes beregnet ud fra de indsamlede oplysninger og erfaringer. Da der kan være stor variation på massefylden af det indsamlede affald, er skraldekassens volumen muligvis i nogle tilfælde den begrænsende faktor og ikke vægten, men indvejningstal fra forbrændingsanlæg viser, at udnyttelsesgraden i praksis varierer fra ca. 60 % op til ca. 100 % for samme affaldstype. Som det fremgår af Tabel 8, har vi for at få sammenlignelige resultater i analysen forudsat, at udnyttelsesgraden er ens uanset drivmiddeltype.

For analysen er der for alle tre scenarier regnet med 3-akslede kompressor-biler udstyret med start-stop.

Tabel 8 Bilernes nyttelast og den i praksis gennemsnitlige nyttelast.¹¹

	Udnyttelsesgrad		Diesel	Biodiesel	Bioethanol	Kompri. Gas	Hybrid	El
Nyttelast	100 %	kg	12.000	12.000	12.000	11.500	12.000	9.000
Scenarie I	65 %	kg	7.800	7.800	7.800	7.475	7.800	5.850
Scenarie II	75 %	kg	9.000	9.000	9.000	8.625	9.000	6.750
Scenarie III	90 %	kg	10.800	10.800	10.800	10.350	10.800	8.100

Lasteevnen indregnes i analysen, ved at den mindre lasteevne medfører ekstra ture til aflæsningsstedet pr. indsamlet mængde.

5.2 Energiforbrug

I alle beregningerne er der forudsat nye biler, som alle er udstyret med start-stop. Dette betyder, at diesebilen i analysen har et energiforbrug, der er ca. 20 % lavere end det, der typisk kendes fra dagens drift. Hybridløsningerne er analyseret i kombination med hver af de fire forskellige drivmiddeltyper.

5.2.1 Scenarie I

I tabellen nedenfor er det totale energiforbrug og el- og brændstofforbrug pr. indsamlet ton angivet for Scenarie I. Forbruget er beregnet for de 4 drivmidler med diesel som referencepunkt. Der er yderligere beregnet et energiforbrug for de forskellige drivmidler i kombination med hybridløsningerne.

¹¹ Se Bilag 2

Tabel 9 Energiforbruget i Scenarie I - for rene drivmidler, samt i kombination med hybridløsning 1 og 2.

	Kørte km	Rene drivmidler			Hybridløsning 1			Hybridløsning 1+2		
		Total energi MJ/ton	El kWh/ton	Brændstof L el. Nm ³ /ton	Total energi MJ/ton	El kWh/ton	Brændstof L el. Nm ³ /ton	Total energi MJ/ton	El kWh/ton	Brændstof L el. Nm ³ /ton
Diesel	3,18	98,27	-	2,81	90,82	1,98	2,39	80,31	1,98	2,09
Biodiesel	3,18	98,27	-	2,86	90,82	1,98	2,44	80,31	1,98	2,13
Bioethanol	3,18	98,27	-	4,98	90,82	1,98	4,24	80,31	1,98	3,71
Kompri. gas	3,27	100,14	-	2,86	92,69	1,98	2,44	82,18	1,98	2,14
El	3,87	55,06	15,29	-	-	-	-	49,92	13,87	-

For diesel, biodiesel og bioethanol er det samlede energiforbrug det samme, da motoreffektiviteten og bilens nyttelast er den samme for de tre drivmidler. Det højere energiforbrug ved brugen af komprimeret gas skyldes bilens reducerede nyttelast. Den mindre nyttelast betyder, at bilen kører flere gange til behandlingsanlæg pr. indsamlet ton affald. Det samme er gældende for elbiler, dog har elmotorer en meget højere effektivitet, og samlet set bliver energiforbruget for elbiler derfor meget mindre end energiforbruget for de øvrige drivmidler.

For bioethanol og komprimeret gas skal der bruges større mængder brændstof på grund af den lavere energidensitet.

I kombination med hybridløsningerne opnås besparelser i det samlede energiforbrug, som skyldes elmotorens høje effektivitet. Energi- og brændstofbesparelsen er vist i Tabel 10.

Tabel 10 Energi- og brændstofbesparelse i Scenarie I ved brug af hybridløsninger

	Hybridløsning 1		Hybridløsning 1+2	
	Total energi	Brændstof	Total energi	Brændstof
Diesel	8%	15%	18%	26%
Biodiesel	8%	15%	18%	26%
Bioethanol	8%	15%	18%	26%
Kompri. gas	7%	15%	18%	25%
El	-	-	9%	-

Ved anvendelse af hybridløsninger kan der opnås en brændstofbesparelse på op til 26 % og en samlet energibesparelse på op til 18 %.

Det samlede energiforbrug er lavest for de rene elbiler, det ligger 38 % under den bedste hybridbil.

5.2.2 Scenarie II

I Tabel 11 nedenfor er det samlede energiforbrug og el- og brændstofforbrug pr. indsamlet ton angivet for Scenarie II. Forbruget er beregnet for de 4 drivmidler med diesel som referencepunkt. Der er yderligere beregnet et energiforbrug for de forskellige drivmidler i kombination med hybridløsningerne.

Tabel 11 *Energiforbruget i Scenarie II - for rene drivmidler, samt i kombination med hybridløsning 1 og 2.*

	Kørte km km/ ton	Rene drivmidler			Hybridløsning 1			Hybridløsning 1+2		
		Total energi MJ/ton	El kWh/ton	Brændstof L el. Nm ³ /ton	Total energi MJ/ton	El kWh/ton	Brændstof L el. Nm ³ /ton	Total energi MJ/ton	El kWh/ton	Brændstof L el. Nm ³ /ton
Diesel	3,38	112,11	-	3,20	104,66	1,98	2,79	88,12	1,98	2,32
Biodiesel	3,38	112,11	-	3,27	104,66	1,98	2,84	88,12	1,98	2,36
Bioethanol	3,38	112,11	-	5,68	104,66	1,98	4,94	88,12	1,98	4,11
Kompri. Gas	3,43	113,13	-	3,23	105,68	1,98	2,81	89,14	1,98	2,34
El	3,75	58,61	16,28	-	-	-	-	50,53	14,03	-

Der er kun mindre forskelle i forholdet mellem energiforbruget for diesel, biodiesel, bioethanol, gas og el i forhold til Scenarie I. Afstanden imellem indsamlingsstoppene er længere end i Scenarie I, og der er også ekstra transport til "garagen", hvilket tilsammen medfører et øget energiforbrug pr. ton indsamlet affald i forhold til energiforbruget i de andre scenarier.

I kombination med hybridløsningerne opnås energi- og brændstofbesparelse som vist i Tabel 12.

Tabel 12 *Energi- og brændstofbesparelse i Scenarie II ved brug af hybridløsninger*

	Hybridløsning 1		Hybridløsning 1+2	
	Total energi	Brændstof	Total energi	Brændstof
Diesel	7%	13%	21%	28%
Biodiesel	7%	13%	21%	28%
Bioethanol	7%	13%	21%	28%
Kompri. gas	7%	13%	21%	28%
El	-	-	14%	-

Ved anvendelse af hybridløsninger kan der opnås en brændstofbesparelse på ca. 30 % og en samlet energibesparelse på ca. 20 %.

Det samlede energiforbrug er lavest for en ren elbil, det ligger ca. 43 % under den bedste hybridbil.

5.2.3 Scenarie III

I Tabel 11 er det samlede energiforbrug og el- og brændstofforbrug pr. indsamlet ton angivet for Scenarie III. Forbruget er beregnet for de 4 drivmidler med diesel som referencepunkt. Der er yderligere beregnet et energiforbrug for de forskellige drivmidler i kombination med hybridløsningerne.

Tabel 13 Energiforbruget i Scenarie III - for rene drivmidler, samt i kombination med hybridløsning 1 og 2.

	Kørte km	Rene drivmidler			Hybridløsning 1			Hybridløsning 1+2		
		Total energi MJ/ton	El kWh/ton	Brændstof L el. Nm ³ /ton	Total energi MJ/ton	El kWh/ton	Brændstof L el. Nm ³ /ton	Total energi MJ/ton	El kWh/ton	Brændstof L el. Nm ³ /ton
Diesel	20,09	575,65	-	16,45	563,23	3,30	15,76	482,37	3,30	13,45
Biodiesel	20,09	575,65	-	16,77	563,23	3,30	16,07	482,37	3,30	13,71
Bio-ethanol	20,09	575,65	-	29,18	563,23	3,30	27,95	482,37	3,30	23,85
Kompri. gas	20,19	577,76	-	16,48	565,34	3,30	15,78	484,49	3,30	13,48
El	20,86	289,35	80,37	-	-	-	-	249,82	69,39	-

Der er kun mindre forskelle i forholdet mellem energiforbruget for diesel, biodiesel, bioethanol, gas og el i forhold til både Scenarie I og II. Afstanden imellem indsamlingsstoppene er længere end i Scenarie II, og der er også ekstra transport til "garagen", hvilket tilsammen medfører et øget energiforbrug pr. ton indsamlet affald i forhold til energiforbruget i de andre scenarier.

I dette scenarie indsamles der væsentligt mindre affald pr. bil, hvilket også betyder, at energiforbruget til lift og komprimator er mindre. Det betyder, at besparelsen, der opnås ved hybridløsning med el til komprimator og lift, bliver forholdsvis mindre for dette scenarie.

I kombination med hybridløsningerne opnås der følgende energi- og brændstoffbesparelse vist i tabellen nedenfor.

Tabel 14 Energi- og brændstoffbesparelse i Scenarie III ved brug af hybridløsninger.

	Hybridløsning 1		Hybridløsning 1+2	
	Total energi	Brændstof	Total energi	Brændstof
Diesel	2%	4%	16%	18%
Biodiesel	2%	4%	16%	18%
Bioethanol	2%	4%	16%	18%
Kompri. gas	2%	4%	16%	18%
El	-	-	14%	-

For Hybridløsning 1 med el til lift og komprimator er besparelsen lille, da der som nævnt indsamles en mindre mængde affald i dette scenarie.

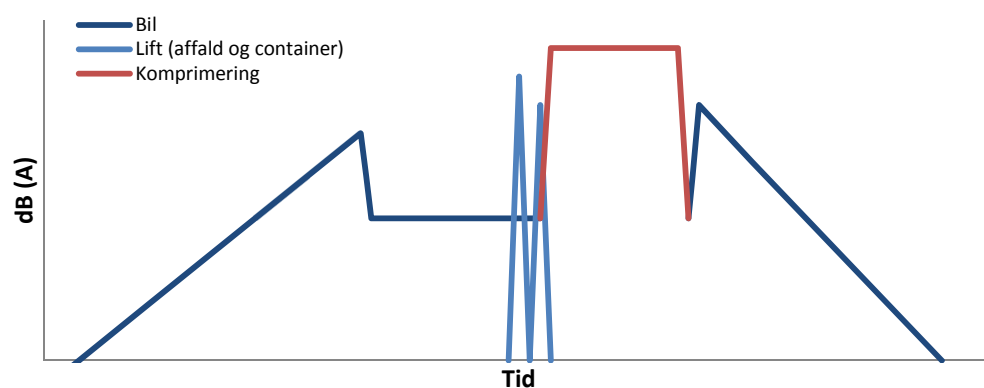
Ved anvendelse af hybridløsninger kan der opnås en brændstofbesparelse på ca. 16 % og en samlet energibesparelse på ca. 18 %.

5.3 Miljøpåvirkninger

5.3.1 Støj

Det oplevede støjbillede målt for en komprimatorbil, der ankommer, tømmer affaldsbeholdere, komprimerer og kører væk igen, er skitseret i Figur 5.

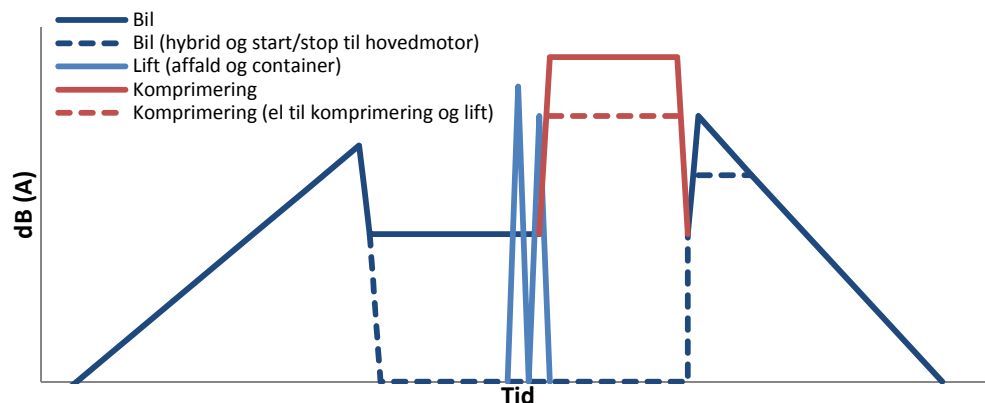
Figur 5 Støjbillede - forbundet med kørsel, brug af lift og komprimator.¹²



Den mørkeblå linje indikerer renovationsbilen, der ankommer, standser, går i tomgang, accelererer og kører væk. Den røde viser den høje støj fra komprimeringen. Den lyseblå linje viser støjen fra tømningen af affaldsbeholderne.

I Figur 6 er det med stiplede linje markeret, hvordan støjbilledet kan ændres ved implementering af de forskellige hybridløsninger samt ved brug af start-stop-system.

Figur 6 Støjbillede – med reduktion fra el og start-stop-system



¹² Banke Accessory Drive

De stiplede linjer markerer mulighederne for reduktion af støjen ved at benytte hybridteknologierne samt ved anvendelse af start-stop-system på motoren.

Med start-stop reduceres tomgangsstøjen til nul, og når komprimeringen begynder, fjernes den forcerede tomgang, idet komprimatoren drives af en elmotor med et betydeligt lavere støjniveau.

Når den kinetiske energi udnyttes ved hybrid på hovedmotoren, reduceres støjen fra hovedmotoren under acceleration på grund af hel eller delvis eldrift.

Ud over støjreduktionerne, der kan opnås ved anvendelse af hybrider og start-stop, vil en gasmotor give en mindre reduktion på ca. 2 dB i forhold til diesel, biodiesel og bioethanol.

Tabel 15 Støjniveau i dB(A).¹³

	Diesel	Biodiesel	Bioethanol	Kompri. Gas	Hybrid	El
Kørsel	79-80	79-80	79-80	78-80	75	63
Standstøj (forceret tomgang)	88-91	88-91	88-91	88	-	-
Komprimering	95	95	95	92-93	85	85

5.3.2 Klimapåvirkning, CO₂-emissioner

Den globale CO₂-emission for de tre scenarier er beregnet ud fra standardværdier for udledning fra de analyserede drivmidler, se Bilag 2. Beregningen er gennemført for såvel de rene drivmidler, som for Hybridløsning.

Emissionen for hybriderne er beregnet med henholdsvis almindelig el og "grøn" el fra vedvarende energikilder.

Tabel 16 CO₂-emissioner for Scenarie I

	RENE drivmidler kg CO ₂ /ton	Hybrid 1 kg CO ₂ /ton	Hybrid 1 "grøn" el kg CO ₂ /ton	Hybrid 1+2 kg CO ₂ /ton	Hybrid 1+2 "grøn" el kg CO ₂ /ton
Diesel	9,73	9,81	8,32	8,77	7,28
Biodiesel 1. generation	5,40	6,13	4,64	5,55	4,06
Biodiesel 2. generation	1,38	2,70	1,21	2,55	1,06
Bioethanol 1. generation	3,93	4,87	3,38	4,45	2,96
Bioethanol 2. generation	1,28	2,61	1,12	2,48	0,99
Kompri. gas, Biogas	1,60	2,89	1,40	2,73	1,24
Kompri. gas, Naturgas	6,66	7,22	5,73	6,52	5,03
El grøn	0,28	-	-	-	0,25
El konventionel	11,78	-	-	10,68	-

¹³ Scania, Renault og Banke Accessory Drive (beregnet af DELTA)

CO₂-emissionen kan ved anvendelse af hybridløsninger reduceres med op til 27 %, når der bruges grøn el.

Tabel 17 CO₂-emissioner for Scenarie II

	RENE drivmidler kg CO ₂ /ton	Hybrid 1 kg CO ₂ /ton	Hybrid 1 "grøn" el kg CO ₂ /ton	Hybrid 1+2 kg CO ₂ /ton	Hybrid 1+2 "grøn" el kg CO ₂ /ton
Diesel	11,10	11,18	9,69	9,54	8,05
Biodiesel 1. generation	6,17	6,89	5,40	5,98	4,49
Biodiesel 2. generation	1,57	2,89	1,40	2,66	1,17
Bioethanol 1. generation	4,48	5,43	3,94	4,76	3,28
Bioethanol 2. generation	1,46	2,79	1,30	2,58	1,09
Kompri. gas, Biogas	1,81	3,10	1,61	2,84	1,35
Kompri. gas, Naturgas	7,52	8,08	6,59	6,98	5,49
El grøn	0,29	-	-	-	0,25
El konventionel	12,54	-	-	10,81	-

Hybridløsning med grøn el giver 25-27 % mindre CO₂-udledning end ren diesel.

Tabel 18 CO₂-emissioner for Scenarie III

	RENE drivmidler kg CO ₂ /ton	Hybrid 1 kg CO ₂ /ton	Hybrid 1 "grøn" el kg CO ₂ /ton	Hybrid 1+2 kg CO ₂ /ton	Hybrid 1+2 "grøn" el kg CO ₂ /ton
Diesel	56,99	57,13	54,64	49,12	46,64
Biodiesel 1. generation	31,66	32,87	30,38	28,42	25,94
Biodiesel 2. generation	8,06	10,26	7,78	9,13	6,65
Bioethanol 1. generation	23,03	24,60	22,11	21,36	18,88
Bioethanol 2. generation	7,48	9,71	7,23	8,66	6,18
Kompri. gas, Biogas	9,24	11,40	8,91	10,10	7,62
Kompri. gas, Naturgas	38,42	39,35	36,86	33,97	31,49
El grøn	1,45	-	-	-	1,25
El konventionel	61,92	-	-	53,46	-

Hybridløsning med grøn el giver 17-18 % mindre CO₂-udledning.

I forhold til en almindelig dieselbil med start-stop er det muligt at opnå betydelige CO₂-reduktioner ved overgang til alternative drivmidler. Specielt vil anvendelse af de grønne drivmidler kombineret med hybridløsninger på grøn el medføre store reduktioner i CO₂-emissionen.

Tabel 19 Opnåelig reduktion i CO₂-emissionerne sammenlignet med drift på diesel

	RENE drivmidler %	Hybrid 1 %	Hybrid 1 "grøn" el %	Hybrid 1+2 %	Hybrid 1+2 "grøn" el %
Diesel	0	-1	10	13	24
Biodiesel 1. generation	44	39	50	46	57
Biodiesel 2. generation	86	76	87	78	89
Bioethanol 1. generation	60	53	64	58	69
Bioethanol 2. generation	87	77	88	79	90
Komprimeret gas, Biogas	84	74	85	76	87
Komprimeret gas, Naturgas	32	28	39	37	48
El grøn	97	-	-	-	98
El konventionel	-14	-	-	0	-

I Tabel 19 er besparelsen vist i forhold til en ren dieselbil. Sammenligningen er gennemført for brug af de rene drivmidler og for drivmidlerne i kombination med hybridløsningerne (med konventionel og grøn el).

Af Tabel 19 ses, at der alene ved at benytte de to hybridløsninger i kombination med diesel kan opnås en CO₂-reduktion på 10 og 24 %.

Anvendelse af el fra fossile kilder giver generelt en negativ effekt på CO₂-emissionen. Ved anvendelse af el fra fossile kilder er den opnåede CO₂-reduktion i anvendelse ikke stor nok til at opveje det højere CO₂, der er ved produktion af el i forhold til produktion af de alternative drivmidler.

Med grøn el kan der derimod opnås en besparelse i forhold til de "rene" drivmidler.

De reduktioner, der opnås i forbindelse med hybridløsning sammen med 1. og 2. generations brændstofferne, er ikke særlig store, fordi der allerede er en lav CO₂-emission ved disse drivmidler.

Den største besparelse opnås ved den rene grønne el-løsning, hvor CO₂-emissionen kan reduceres med 97-98 %.

Ud over CO₂ udledes der også CO og NO_x, HC, partikler og H₂O.

Emissionsværdierne i Tabel 20 og Tabel 21 gælder for nye renovationsbiler. Det har ikke været muligt at få oplysninger om emissioner for motorer på biodiesel, men ifølge producenten ligger de tæt på værdierne for almindelig diesel og bioethanol.

Tabel 20 Emissionsniveauer målt i g/kWh.¹⁴

	EURO V (Stationær)	Diesel	Biodiesel	Bioethanol	EI
CO	1,5	0,0	(0,0)	0,0	0
HC	0,46	0,01	(0,01)	0,06	0
NO_x	2,0	1,8	(1,8)	1,8	0
Partikler	0,02	0,01	(0,01)	0,01	0
Røgtæthed	0,5	0,12	(0,12)	0,04	0

Tabel 21 Emissionsniveauer målt i g/kWh.¹⁴

	EEV (Transient)	Kompri. gas
CO	3,0	0,1
HC	0,40	0,0
NO_x	2,0	1,1
Partikler	0,02	0,0

Anvendelse af hybridløsninger vil reducere brændstofforbruget og derfor også en reduktionen af Partikler og NO_x. Det vurderes, at hybridene vil resultere i en reduktion i udledninger på ca. 20 % i forhold til de rene drivmidler.

Tabel 22 Emissionsniveauer for Scenarie I

									Hybrid 1				Hybrid 1+2			
		EURO V	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Kompri. gas	Ren el	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Kompri. gas	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Kompri. gas	
Brændstofsenergi- forbrug	kWh/ton	27,3	27,3	27,3	27,3	27,8	15,3	23,2	23,2	23,2	23,8	20,3	20,3	20,3	20,8	
Kulmonooxid	g CO/ton	40,9	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	2,1	
Kulbrinte	g HC/ton	12,6	0,3	0,3	1,6	0,0	0,0	0,2	0,2	1,4	0,0	0,2	0,2	1,2	0,0	
Nitrogenoxid	g NO _x /ton	54,6	49,1	49,1	49,1	30,6	0,0	41,8	41,8	41,8	26,1	36,6	36,6	36,6	22,9	
Partikler	g PM/ton	0,5	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0	
Røgtæthed	1/m	0,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	

¹⁴ Scania

Tabel 23 Emissionsniveauer for Scenarie II

								Hybrid 1				Hybrid 1+2			
		EURO V	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Kompri. gas	Ren el	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Kompri. gas	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Kompri. gas
Brændstof forbrug	kWh/ton	31,1	31,1	31,1	31,1	31,4	16,3	27,1	27,1	27,1	27,4	22,5	22,5	22,5	22,8
Kulmonoxid	g CO/ton	46,7	0	0	0	3,1	0	0	0	0	2,7	0	0	0	2,3
Kulbrinte	g HC/ton	14,3	0,3	0,3	1,9	0	0	0,3	0,3	1,6	0	0,2	0,2	1,3	0
Nitrogenoxid	g NO _x /ton	62,3	56,1	56,1	56,1	34,6	0	48,8	48,8	48,8	30,1	40,5	40,5	40,5	25,1
Partikler	g PM/ton	0,6	0,3	0,3	0,3	0	0	0,3	0,3	0,3	0	0,2	0,2	0,2	0
Røgtæthed	1/m	0,5	0,1	0,1	0,0	0	0	0,1	0,1	0,0	0	0,1	0,1	0,0	0

Tabel 24 Emissionsniveauer for Scenarie III

								Hybrid 1				Hybrid 1+2			
		EURO V	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Kompri. gas	Ren el	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Kompri. gas	Diesel	Biodiesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Kompri. gas
Brændstof forbrug	kWh/ton	159	159	159	159	160	80,4	153	153	153	154	131	131	131	131
Kulmonoxid	g CO/ton	239,9	0,0	0,0	0,0	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	0,0	0,0	0,0	13,1
Kulbrinte	g HC/ton	73,6	1,6	1,6	9,6	0,0	0,0	1,5	1,5	9,2	0,0	1,3	1,3	7,8	0,0
Nitrogenoxid	g NO _x /ton	319,8	288	288	288	177	0,0	276	276	276	169	235	235	235	144
Partikler	g PM/ton	3,2	1,6	1,6	1,6	0,0	0,0	1,5	1,5	1,5	0,0	1,3	1,3	1,3	0,0
Røgtæthed	1/m	0,5	0,1	0,1	0,0	-	-	0,1	0,1	0,0	-	0,1	0,1	0,0	-

Generelt kan det konstateres, at emissionsniveauerne er faldet markant i takt med de stigende krav udtrykt i Euro-normerne, og forskellen på de forskellige brændstoftyper er derfor i dag beskeden. Den største forskel ligger mellem elbiler og de øvrige drivmidler.

5.4 Afstandsbegrænsning

Overgangen til alternative drivmidler kan resultere i reduktion af aktionsradius og/eller reduktion af nyttelast på bilerne, fordi de alternative drivmidler fylder eller vejer mere end diesel.

For eksempel vil aktionsradius for elbiler afhænge af batteriets kapacitet. Og hvor stor en batterikapacitet bilen kan tage med, hænger igen sammen med, hvor stor en reduktion der kan accepteres i nyttelasten.

For de øvrige drivmidler gælder lignende begrænsninger, hvor aktionsradius er afhængig af, hvor stor en energimængde bilernes tank kan indeholde.

Bilproducenterne har, så vidt det er muligt, taget hensyn til behovet for aktionsradius i fastlæggelse af tankstørrelsen.

I Tabel 25, Tabel 26 og Tabel 27 er bilernes afstandsbeholdninger for hvert af de tre scenarier for de 4 brændstoftyper og i kombination med hybridløsninger.

Tabel 25 Afstandsbeholdning i Scenarie I, målt i km

	Rute	Rene drivmidler		Hybridløsning 1		Hybridløsning 1+2	
		Afstandsbeholdning		Afstandsbeholdning		Afstandsbeholdning	
	km/dag	Batteri	Brændstof	Batteri	Brændstof	Batteri	Brændstof
Diesel	48	-	227	92	266	92	304
Biodiesel	48	-	222	92	261	92	299
Bioethanol	48	-	128	92	150	92	172
Kompri. gas	49	-	229	94	268	94	306
EI	58	64	-	-	-	71	-

Tabel 26 Afstandsbeholdning i Scenarie II, målt i km.

	Rute	Rene drivmidler		Hybridløsning 1		Hybridløsning 1+2	
		Afstandsbeholdning		Afstandsbeholdning		Afstandsbeholdning	
	km/dag	Batteri	Brændstof	Batteri	Brændstof	Batteri	Brændstof
Diesel	37	-	211	97	243	97	292
Biodiesel	37	-	207	97	238	97	287
Bioethanol	37	-	119	97	137	97	165
Kompri. gas	38	-	213	99	244	99	293
EI	41	59	-	-	-	68	-

Tabel 27 Afstandsbeholdning i Scenarie III, målt i km.

	Rute	Rene drivmidler		Hybridløsning 1		Hybridløsning 1+2	
		Afstandsbeholdning		Afstandsbeholdning		Afstandsbeholdning	
	km/dag	Batteri	Brændstof	Batteri	Brændstof	Batteri	Brændstof
Diesel	90	-	244	347	255	347	299
Biodiesel	90	-	240	347	250	347	293
Bioethanol	90	-	138	347	144	347	168
Kompri. gas	91	-	245	349	256	349	300
EI	94	66	-	-	-	77	-

Holdes de dagligt kørte km for de tre scenarier op imod aktionsradius, vil der for Scenarie I og II ikke være problemer med at køre en hel dag uden tankning eller opladning af batteri. For elbatterierne ses dog, at der kan være problemer med at nå rundt på kun en enkelt opladning i Scenarie III.

Erfaringer fra SITA/PVI og Banke Accessory Drives viser, at en fuldt opladet elrenovationsbil holder til 2 fyldninger i Scenarie I, mens en fuldt opladet hybridbil uden problemer kan klare dagsarbejdet i alle Scenarierne.

5.5 Økonomi

De samlede økonomiske konsekvenser ved anvendelse af alternative drivmidler er beregnet for de tre scenarier, hvor der samles henholdsvis 20.000 tons, 15.000 tons og 6.000 tons dagrenovation årligt. Alle forudsætninger og antagelser er de samme som beskrevet i Tabel 7 og i Bilag 2.

Antal kørte kilometer, køredage og antallet af biler til indsamling af disse mængder på er vist i Tabel 28.

Komprimeret gas er i regnet som biogas og el er regnet som "grøn" el. Biodiesel og bioethanol regnes som 1. generations.

Tabel 28 Totale antal køredage samt antallet af biler

	Scenarie I			Scenarie II			Scenarie III		
	Kørte km	Køredage	Biler	Kørte km	Køredage	Biler	Kørte km	Køredage	Biler
Diesel	63.692	1.333	5,17	50.758	1.364	5,29	120.556	1.333	5,17
Biodiesel	63.692	1.333	5,17	50.758	1.364	5,29	120.556	1.333	5,17
Bioethanol	63.692	1.333	5,17	50.758	1.364	5,29	120.556	1.333	5,17
Komprimeret Gas	65.476	1.345	5,21	51.482	1.367	5,30	121.159	1.335	5,18
El	77.368	1.420	5,50	56.313	1.390	5,39	125.185	1.350	5,23

Tabel 29 viser priser for drivmidlerne, der er anvendt i analysen. I priserne er inkluderet den ekstra omkostning, der må forventes at være i forbindelse med transport frem til forbrugsstedet for biodiesel, bioethanol og biogas.

Tabel 29 Brændstofs og el priser.¹⁵

Brændstof	Diesel	Biodiesel	Bioethanol	Biogas	Grøn el	Konventionel el
	kr./l	kr./l	kr./l	kr./m ³	kr./kWh	kr./kWh
Basispris	5,61	8,20	6,20	2,73	0,85	0,75
Transport		-	0,35	1,16		
Afgifter	2,93	2,37	2,45	2,76		
Biogas certifikat			-	0,15		
I alt (ekskl. moms)	8,54	10,57	9,00	6,80	0,85	0,75

I analysen er der regnet investeringsomkostninger for nye biler af de forskellige typer angivet i Tabel 30. Oplysningerne kommer fra forskellige leverandører og renovatører.

¹⁵ Shell Danmark, Scania, biofuel-express, Energinet.dk, HMN Naturgas, Elpriser fra Dansk Energi – "Elpristavlen".

Basispris: Uden afgifter, inkl. Avance; Bioethanol er ED95; Biodiesel er RME; Transport: Merpris ved transport af drivmiddelet til tankstationen; Afgifter inkluderer Energi-, CO₂- og NO_x-afgift.

Tabel 30 Investeringsomkostninger for renovationsbiler.¹⁶

(mio. DKK)	Diesel	Biodiesel	Bioethanol	Kompri. gas	Hybrid 1	Hybrid 1+2	Ren el
Investerings pris	1,4	1,4	1,45	1,7	1,9	2,8	3,5

Ved overgang til alternative drivmidler er der omkostninger forbundet med etableringen af tankstationer for de forskellige drivmidler. Der er i Tabel 31 givet en oversigt over investeringsomkostningerne for større anlæg (ca. 50 biler tilknyttet) og i Tabel 32 er angivet investeringen i tankstationer for mindre tankanlæg (til omkring 5 biler). Skemaet er delt op i anlæg til korttids-tankning og langtidstankning. For yderligere detaljer omkring økonomiberegningen henvises til Bilag 2.

Tabel 31 Investeringsomkostninger i forbindelse med tankstationer¹⁷

Metode	Diesel	Komprimeret gas		Biodiesel	Bioethanol	El
		Koblet til nettet	Med eget lager			
Korttids	400.000	3.500.000	4.000.000	400.000	400.000	n/a
Langtids	n/a	15.000.000	n/a	n/a	n/a	300.000

Tabel 32 Investeringsomkostninger i forbindelse med mindre anlæg.

Metode	Diesel	Komprimeret gas		Biodiesel	Bioethanol	El
		Koblet til nettet	Med eget lager			
Korttids	125.000	2.500.000	3.000.000	125.000	125.000	n/a
Langtids	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	8-11.000

Afskrivningsperioden for investeringen er meget afgørende for det økonomiske resultat. I denne analyse er afskrivningsperioden sat til henholdsvis 7 år og 20 år. Biler afskrives til en restværdi på 20 % over 7 år, mens tankanlæg afskrives over 20 år.

Nedenfor er der vist 4 tabeller med økonomital for de tre scenarier. I Tabel 33 er vist de samlede omkostninger for én bil og et tilhørende tankningsanlæg - investering i bil og tankanlæg, drift og vedligeholdelse af anlægget, vedligeholdelse af bil og forsikring af bil. For hver bil er der med regnet 1/5 af omkostningen for etablering af et mindre anlæg (til 5 biler).

I de efterfølgende 3 tabeller er resultatet af analysen angivet for de tre scenarier.

¹⁶ Scania, Banke Accessory Drive (Volvo), Phoenix Danmark, SITA/PVI, MLarsen og Meldgaard MILJØ A/S

¹⁷ Q8, MLarsen, Dong Energy og Processkontroll

Tabel 33 Omkostninger for én bil og tankningsanlæg

		Diesel	Bio-diesel (RME)	Bio-ethanol (ED95)	Biogas	Ren "grøn" el	Hybrid 1 "grøn" el				Hybrid 1+2 "grøn" el			
							Diesel	Bio-diesel (RME)	Bio-ethanol (ED95)	Biogas	Diesel	Bio-diesel (RME)	Bio-ethanol (ED95)	Biogas
Antallet af biler		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Afskrivning og renter på bil	Kr./år	217.600	217.600	225.371	264.229	544.000	295.314	295.314	303.086	341.943	435.200	435.200	442.971	481.829
Afskrivning og renter på tankanlæg til 5 biler	Kr./år	-	1.775	1.775	35.500	128	128	1.903	1.903	35.628	128	1.903	1.903	35.628
Årlig afskrivning og rentekostning på investering	Kr./år	217.600	219.375	227.146	299.729	544.128	295.442	297.217	304.989	377.571	435.328	437.103	444.874	517.456
Drift og vedligeholdelse af tankanlæg	Kr./år	900	1.100	1.100	4.463	90	990	992	850	2.846	990	992	850	2.846
Forsikring	Kr./år	25.000	25.000	25.893	30.357	62.500	33.929	33.929	34.821	39.286	50.000	50.000	50.893	55.357
Vedligeholdelse af bil	Kr./år	100.000	102.400	118.967	112.360	115.000	115.000	117.400	133.967	127.360	115.000	117.400	133.967	127.360
Årlig drifts omkostninger	Kr./år	125.900	128.500	145.960	147.180	177.590	149.919	152.320	169.638	169.491	165.990	168.392	185.710	185.563
Samlet årlige omkostninger	Kr./år	343.500	347.875	373.106	446.909	721.718	445.361	449.537	474.627	547.062	601.318	605.494	630.584	703.019

Tabel 34 Økonomiberegning for indsamling af 20.000 tons i Scenarie I

		Diesel	Bio-diesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Biogas	Ren "grøn" el	Hybrid 1 "grøn" el				Hybrid 1+2 "grøn" el			
							Diesel	Bio-diesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Biogas	Diesel	Bio-diesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Biogas
Antal Biler		5,17	5,17	5,17	5,21	5,50	5,17	5,17	5,17	5,21	5,17	5,17	5,17	5,21
Biler og anlæg	Kr./år	1.124.548	1.133.721	1.173.883	1.562.142	2.995.150	1.526.832	1.536.006	1.576.168	1.967.843	2.249.756	2.258.929	2.299.092	2.696.908
D&V biler og anlæg	Kr./år	650.646	664.083	754.315	767.082	977.544	774.773	787.185	876.684	883.365	857.829	870.241	959.741	967.127
Brændstofudgift	Kr./år	482.495	605.310	896.759	388.236	235.185	444.504	549.105	797.330	365.302	392.895	484.359	701.410	324.551
Løn	Kr./år	9.922.481	9.922.481	9.922.481	10.006.761	10.568.633	9.922.481	9.922.481	9.922.481	10.006.761	9.922.481	9.922.481	9.922.481	10.006.761
Samlede årlige omkostninger	Kr./år	12.180.169	12.325.594	12.747.438	12.724.222	14.776.512	12.668.590	12.794.776	13.172.663	13.223.271	13.422.961	13.536.010	13.882.723	13.995.347
Samlede omkostning	Kr./ton	609	616	637	636	739	633	640	659	661	671	677	694	700
Meromkostning	Kr./ton	-	7	28	27	130	24	31	50	52	62	68	85	91

Tabel 35 Økonomi beregning for indsamling af 15.000 tons Scenarie II

		Diesel	Bio-diesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Biogas	Ren "grøn" el	Hybrid 1 "grøn" el				Hybrid 1+2 "grøn" el			
							Diesel	Bio-diesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Biogas	Diesel	Bio-diesel (RME)	Bioethanol (ED95)	Biogas
Antal biler		5,29	5,29	5,29	5,30	5,39	5,29	5,29	5,29	5,30	5,29	5,29	5,29	5,30
Biler og anlæg	Kr./år	1.150.106	1.159.487	1.200.563	1.588.198	2.931.734	1.561.533	1.570.915	1.611.990	2.000.666	2.300.887	2.310.268	2.351.344	2.741.891
D&V biler og anlæg	Kr./år	665.433	679.175	771.458	779.877	956.846	792.381	805.075	896.609	898.099	877.326	890.019	981.553	983.258
Brændstofudgift	Kr./år	412.840	517.925	767.300	328.927	178.523	384.347	475.772	692.728	311.726	323.445	399.367	579.535	263.638
Løn	Kr./år	7.610.994	7.610.994	7.610.994	7.630.253	7.758.650	7.610.994	7.610.994	7.610.994	7.630.253	7.610.994	7.610.994	7.610.994	7.630.253
Samlet årlige omkostninger	Kr./år	9.839.373	9.967.582	10.350.314	10.327.255	11.825.752	10.349.255	10.462.755	10.812.320	10.840.745	11.112.651	11.210.649	11.523.426	11.619.040
Samlet omkostning	Kr./ton	656	665	690	688	788	690	698	721	723	741	747	768	775
Meromkostning	Kr./ton	-	9	34	33	132	34	42	65	67	85	91	112	119

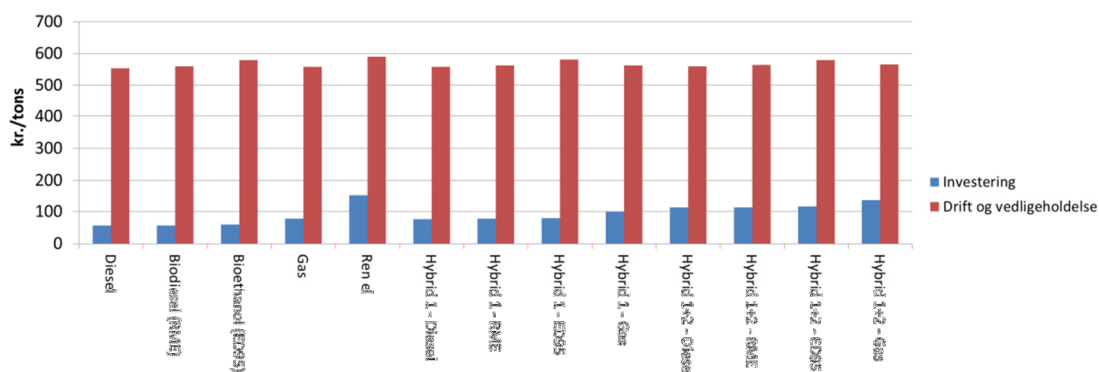
Tabel 36 Økonomi beregning for indsamling af 6.000 tons i Scenarie III

		Diesel	Bio-diesel (RME)	Bio-ethanol (ED95)	Biogas	Ren "grøn" el	Hybrid 1 "grøn" el				Hybrid 1+2 "grøn" el			
							Diesel	Bio-diesel (RME)	Bio-ethanol (ED95)	Biogas	Diesel	Bio-diesel (RME)	Bio-ethanol (ED95)	Biogas
Antallet af biler		5,17	5,17	5,17	5,18	5,23	5,17	5,17	5,17	5,18	5,17	5,17	5,17	5,18
Biler og anlæg	Kr./år	1.124.548	1.133.721	1.173.883	1.551.490	2.846.901	1.526.832	1.536.006	1.576.168	1.954.426	2.249.756	2.258.929	2.299.092	2.678.519
D&V biler og anlæg	Kr./år	650.646	664.083	754.315	761.852	929.159	774.773	787.185	876.684	877.342	857.829	870.241	959.741	960.532
Brændstofudgift	Kr./år	847.907	1.063.736	1.575.910	671.965	353.073	828.912	1.035.633	1.526.196	660.498	709.814	886.220	1.304.842	566.458
Løn	Kr./år	2.480.620	2.480.620	2.480.620	2.484.633	2.511.382	2.480.620	2.480.620	2.480.620	2.484.633	2.480.620	2.480.620	2.480.620	2.484.633
Samlet årlige omkostninger	Kr./år	5.103.721	5.342.159	5.984.728	5.469.940	6.640.515	5.611.137	5.839.444	6.459.668	5.976.898	6.298.019	6.496.010	7.044.294	6.690.142
Samlet omkostning	Kr./ton	851	890	997	912	1.107	935	973	1.077	996	1.050	1.083	1.174	1.115
Meromkostning	Kr./ton	-	40	147	61	256	85	123	226	146	199	232	323	264

5.5.1 Scenarie I

I Scenarie I indsamles den største mængde affald pr. bil. Scenarie I resulterer derfor i de laveste samlede omkostninger. I Figur 7 vises investerings- og drift- & vedligeholdelsesomkostningerne for Scenarie I.

Figur 7 Investering, drift og vedligeholdelse for Scenarie I



Tallene bag Figur 7 kan ses i Tabel 34.

De højeste omkostninger fås ved bioethanol-biler, hvilket skyldes, at bioethanol er væsentlig dyrere end de øvrige drivmidler.

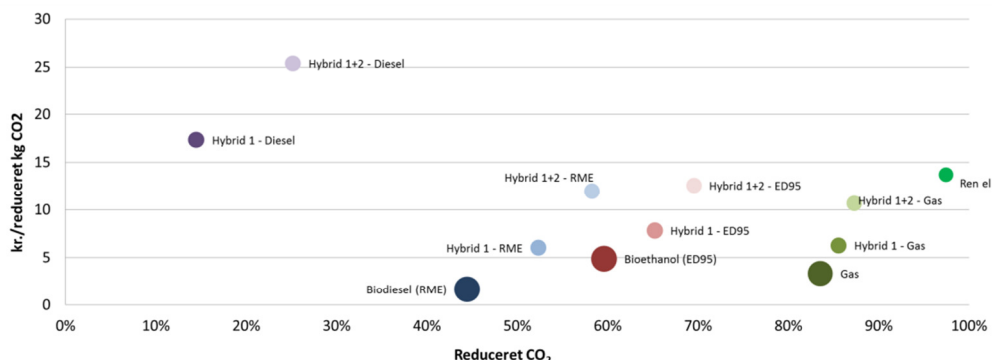
Ved anvendelse af elbiler (ren el) skal der bruges flere biler, dette medfører højere forsikringsomkostninger og højere lønninger. Omkostningen til el er lavere end omkostningen for de øvrige drivmidler, men de lavere omkostninger til drivmidlet opvejer ikke helt de høje omkostninger til forsikring og løn, og derfor bliver driftsomkostningerne for elbiler samlet set lidt højere end for diesel, biodiesel og gas.

Biodiesel er på både investering og drift meget lig diesel. Drift med gas er ligeledes meget som diesel, men investeringen er lidt højere, fordi både gasbiler og tankstationer for komprimeret gas er lidt dyrere.

Analyse af den opnåelige CO₂-reduktion viser, at der både er stor forskel i potentialet for reduktion og i prisen for den opnåede reduktion. Figur 8 viser prisen pr. reduceret kg CO₂ for de forskellige løsninger i forhold til en almindelig dieselbil.

En almindelig 3-akslet diesel bil udleder ca. 40-50 tons CO₂ om året.

Grafen viser desuden de forskellige drivmidlers potentiale for reduktion af CO₂-emissionen. Markeringerne for drivmidlerne er illustreret med bobler, der alt efter størrelse viser støjniveauet fra bilerne. De største bobler er fra de rene drivmidler, hvorimod hybrider og ren el sænker støjniveauet betydeligt.

Figur 8 Miljøanalyse - Støjniveau og reduceret CO₂ for Scenarie I

Tallene bag Figur 8 kan ses i Tabel 16 og Tabel 34.

Drift på ren biodiesel giver den billigste reduktion af CO₂, men kun med et potentiale på 45 % i forhold til almindelig diesel. CO₂-reduktionen ved bioethanol er dyrere, men der kan også opnås en større reduktion. Med gas kan der reduceres til en lavere pris, og der er et langt større potentiale. Ren el har det absolut største potentiale for CO₂-reduktion, men til en noget højere pris.

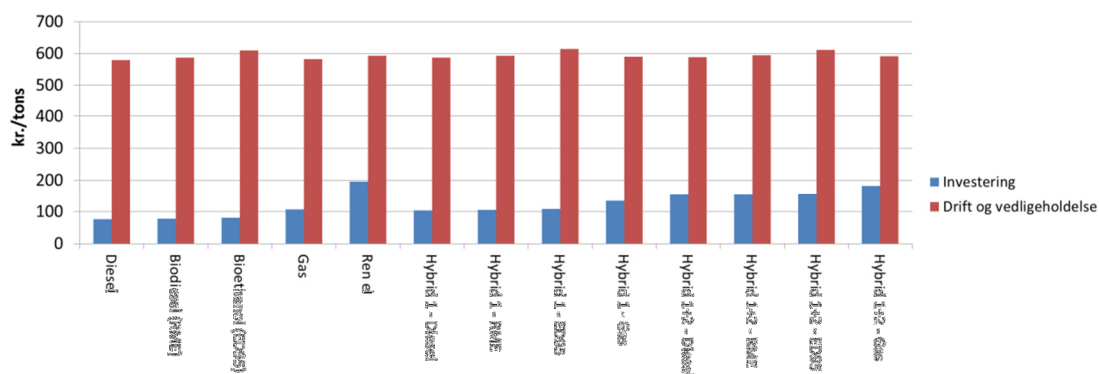
Ved at benytte hybridløsninger ses det af figuren, at reduktionspotentialet stiger, men også samtidig prisen. Dette skyldes den højere investering, der er i forbindelse med hybridbiler. Diesel-hybriderne har det mindste potentiale og den højeste pris pr. kg reduceret CO₂.

Med et skift til biodiesel opnås der billigst en reduktion af CO₂-emissionen, helt på til 45 %. For et opnå en højere reduktion er gasløsningen meget interessant, da den ekstra pris ikke er stor i forhold til reduktionspotentialet. En ren elbil vil dog i mange tilfælde være at foretrække frem for en hybridløsning.

5.5.2 Scenarie II

For dette scenarie er forholdet mellem investerings- og drift- & vedligeholdelsesomkostningerne for de analyserede drivmidler meget lig Scenarie I. Omkostningerne pr. ton affald indsamlet er dog højere for dette scenarie, fordi der samles en noget mindre mængde affald ind pr. bil pr. år.

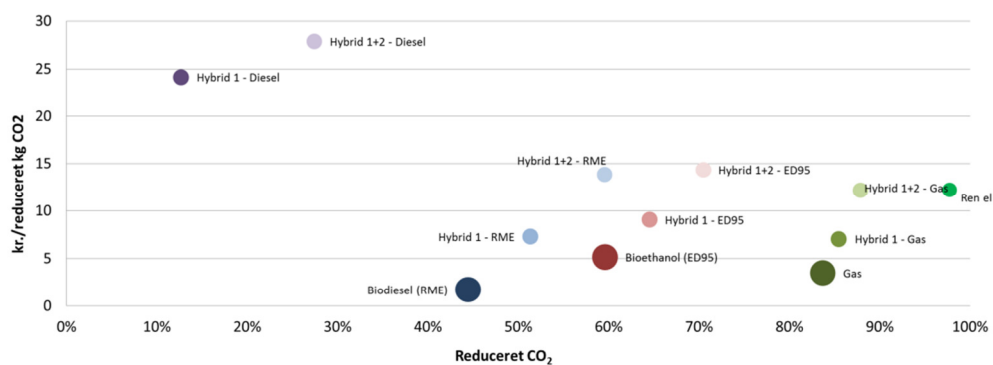
Figur 9 Investering, drift og vedligeholdelse for Scenarie II



Tallene bag Figur 9 kan ses i Tabel 35.

Resultaterne af analysen af miljøforholdene for dette scenarie har naturligt nok mange ligheder med resultaterne for Scenarie I. Generelt er der dog en lille stigning i omkostningen pr. kg CO₂ reduceret, hvilket skyldes, at der i Scenarie II køres længere og derfor opnås en større CO₂-besparelse ved overgang til de alternative drivmidler og ved Hybridløsning 2.

Figur 10 Miljøanalyse - Støjniveau og reduceret CO₂ for Scenarie II

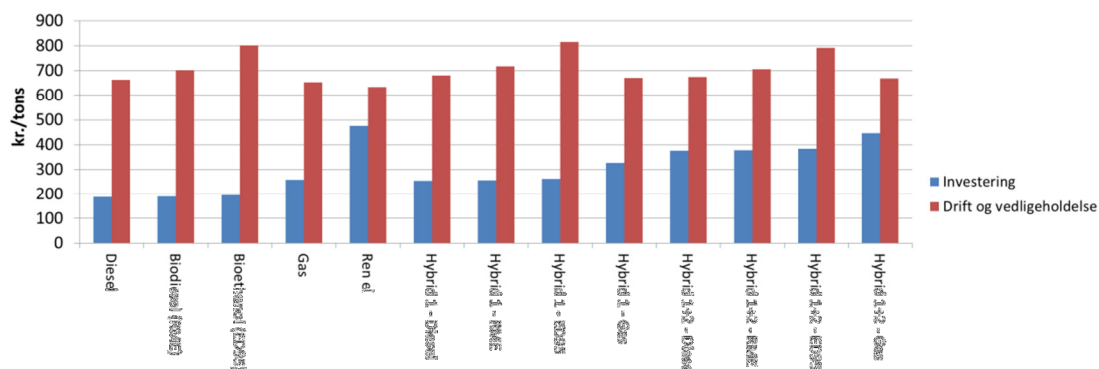


Tallene bag Figur 10 kan ses i Tabel 17 og Tabel 35.

5.5.3 Scenarie III

I Scenarie III indsamles meget mindre affald pr. bil pr. år. Derfor bliver både investeringsomkostninger og driftsomkostningerne pr. ton betragteligt højere for Scenarie III end for de øvrige scenarier.

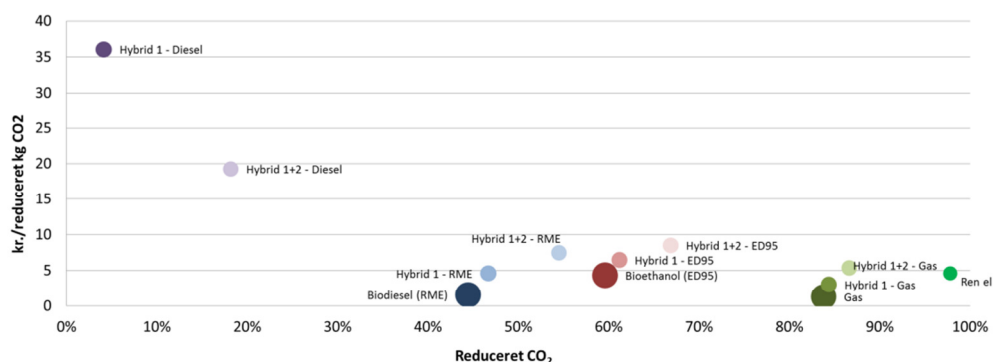
Figur 11 Investering, drift og vedligeholdelse for Scenarie III



Tallene bag Figur 11 kan ses i Tabel 36.

For Scenarie III er omkostningerne pr. ton affald meget højere end i de to andre scenarier, men på grund af den længere transport opnås der en langt større CO₂-reduktion ved overgang til alternative drivmidler og ved Hybrid-løsning 2. Det samlede resultat bliver derfor en betydeligt lavere pris pr. kg CO₂.

Figur 12 Miljøanalyse - Støjniveau og reduceret CO₂ for Scenarie III



Tallene bag Figur 12 kan ses i Tabel 18 og Tabel 36.