



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Test gennemført oktober-december 2014

Måleprogram for tunge CNG-køretøjer



Titel:

Måleprogram for tunge CNG-køretøjer

Udarbejdet for:

Trafik- og Byggestyrelsen – "Fælles måleprogram", journal: TS20707-00008
EUDP - "Udvidet måleprogram på naturgasdrevne køretøjer", journal: 64011-0330

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Teknologiparken
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
Transport og Elektriske Systemer

Forfatter: Christian Hedegaard Gravesen, e-mail: chg@teknologisk.dk

Version: Oktober 2015

Indholdsfortegnelse

1. Indledning	5
2. Køretøjerne	6
2.1. Kvalitetskontrol af køretøjerne	10
3. Beskrivelse af målingerne af emissions- og forbrugsdata	11
3.1. Fremgangsmåde.....	11
3.2. Måleudstyr.....	14
3.3. Køretøjsvægt for test på rullefelt	15
3.4. Kørecykluser for test på rullefelt	17
3.4.1. WHVC-kørecyklus.....	18
3.4.2. FIGE/ETC-kørecyklus	19
3.4.3. "Neighborhood Refuse Truck Cycle"-kørecyklus.....	20
3.5. Spredning på målingerne	21
4. Resultater af målinger af emissions- og forbrugsdata	22
4.1. Brændstofforbrug	24
4.2. Energiforbrug	25
4.3. Energieffektiviteten.....	27
4.4. CO ₂ – kuldioxid	29
4.5. CO – kulilte.....	31
4.6. NO _x – kvælstofilter	33
4.7. NO ₂ – kvælstofdioxid.....	35
4.8. THC – total kulbrinte.....	36
4.9. NMHC – alle ikke-metan kulbrinter.....	37
4.10. CH ₄ – metanslip	39
4.11. PN – partikelantal	40
4.12. NH ₃ – ammoniak	42
4.13. N ₂ O – lattergas	44
5. Beskrivelse af støjmålingerne.....	45
5.1. Fremgangsmåde.....	46
5.2. Måleudstyr.....	47
5.3. Spredning.....	48
6. Resultater af støjmålinger	49
6.1. Støjtest på busserne – udvendigt	49
6.2. Støjtest på busserne – indvendigt.....	52
6.3. Støjtest på lastbilerne – udvendigt.....	54

6.4. Støjtest på lastbilerne – indvendigt.....	57
7. Konklusion.....	58

1. Indledning

Måleprogrammet er sammensat af to projekter, dels "Fælles måleprogram for naturgasdrevne køretøjer" bevilget af Trafik- og Byggestyrelsen – projekt 2002751, dels "Udvidet måleprogram for naturgasdrevne køretøjer bevilget af EUDP, projekt 2001582.

Trafik- og Byggestyrelsen har valgt – som supplement til de driftserfaringer, der opnås i de tre CNG-projekter med Arriva, Fredericia Kommune og Det Økologiske Råd – at gennemføre et måleprogram, hvor gaskøretøjer testes op imod tilsvarende dieselskøretøjer med hensyn til luftemissioner, energiforbrug og støj.

Teknologisk Institut har fået en bevilling fra Trafik- og Byggestyrelsen og EUDP til at foretage målinger af emissionerne fra køretøjerne. Der er foretaget transiente test på rullefelt, hvor alle relevante emissioner er målt, og energieffektiviteten bestemmes. Endvidere udgør måleprogrammet et bidrag til "IEA AMF Annex 49 – COMVEC"-programmet, som har til formål, gennem en fælles testprocedure, internationalt at undersøge og sammenligne alternative brændstoffer og teknologier for erhvervskøretøjer. Teknologisk Institut bidrager med testresultater for tunge køretøjer.

Støjmålinger af køretøjerne er også en del af måleprogrammet. Lydtrykket måles både udvendigt og indvendigt og foretages både ved tomgang og forhøjet tomgang samt udvendigt ved forbikørsel og acceleration fra stilstand.

2. Køretøjerne

I samråd med Trafik- og Byggestyrelsen blev det besluttet udelukkende at fokusere på Euro VI-køretøjer. Baseret på tilgængelighed af Euro VI-køretøjer blandt partnerne i Trafik- og Byggestyrelsens gasprojekter blev fem køretøjer udvalgt til at gennemgå måleprogrammet hos Teknologisk Institut.



Figur 1: De testede køretøjer

Tre CNG-køretøjer fordelt på en renovationslastbil og to bybusser (de tre øverste køretøjer i Figur 1) og to dieselreferencekøretøjer, en renovationslastbil og en bybus (de to nederste køretøjer i samme figur) blev testet.

Køretøjskarakteristika, tekniske data og identifikation af de specifikke køretøjer er anført i Tabel 1 til Tabel 8.

Test id	Type	Euronorm	Mærke	Model
CNG-lastbil	Renovationslastbil	Euro VI	Scania	P-serien
CNG-bus 1	By-bus	Euro VI	Scania	Citywide Le
CNG-bus 2	By-bus	Euro VI	MAN	Lion's City CLE
Dieselbus	By-bus	Euro VI	Scania	Citywide Le
Diesellastbil	Renovationslastbil	Euro VI	Scania	P-serien

Tabel 1: Køretøjstype, -mærke og -model

Test id	Chassis Nummer	Model år	1. reg.	Nummerplade	Testet	Km-stand
CNG-lastbil	YS2P6X20002092193	2014	2014-02-18	AK71424	10/2014	5850
CNG-bus 1	YS2K4X20001890306	2014	2014-06-12	AE21590	10/2014	9660
CNG-bus 2	WMAA45ZZ3ER013449	2014	2014-04-25	XT95700	11/2014	30600
Dieselbus	YS2K6X20001886940	2013	2013-11-08	AK37672	11/2014	67420
Diesellastbil	YS2P6X20002090590	2014	2014-01-06	AE18928	12/2014	32980

Tabel 2: Identifikation af de specifikke køretøjer

Bemærk i Tabel 3, at CNG-bus 1 er det eneste 2-akslede køretøj blandt alle de testede køretøjer.

Test id	Aksler	Dækstørrelse
CNG-lastbil	3	315/60 R22.5
CNG-bus 1	2	275/70 R22.5
CNG-bus 2	3	275/70 R22.5
Dieselbus	3	275/70 R22.5
Diesellastbil	3	F:385/65R22.5 - R:315/70R22.5 - B:385/55R22.5

Tabel 3: Aksler og hjul

Forhold vedrørende vægtene på køretøjerne er præsenteret i Tabel 4. Køretøjsvægtdata som tilladt totalvægt og lasteevner er hentet fra væggtavlen på selve køretøjet og er kontrolleret med data i motorregistret. Hvert køretøj er vejlet hos VejeBro i Aarhus. Differencen for egenvægten (data fra VejeBro i forhold til egenvægten beregnet fra væggtavlen) er angivet i tabellen. Mindre difference kan blandt andet skyldes vægten af væsker ombord inklusiv vægten af brændstoffet ombord, samt vægten af eftermonteret udstyr (skilte, betalingsudstyr mv.) Ved CNG-bus 2 var der stor afvigelse, kontrolvejningen viste en egenvægt, der var mere end 2 tons større end egenvægten oplyst på væggtavle og data i motorregistret. Teknologisk Institut fremskaffede COC (Certificate Of Conformity), hvor på egenvægten var angivet til 15538 kg. Teknologisk Institut besluttede at anvende den hos VejeBro vejede egenvægt.

Test id	Væggtavle / motorregister			Vejebro egenvægt	Difference egenvægt	Korrigeret lasteevne for test
	tilladt totalvægt	lasteevne	egenvægt			
CNG-lastbil	26000	10700	15300	15560	260	10440
CNG-bus 1	18000	5500	12500	12800	300	5200
CNG-bus 2	24915	11165	13750	15940	2190	8975
Dieselbus	22500	8100	14400	14940	540	7560
Diesellastbil	26000	10100	15900	15860	-40	10140

Tabel 4: Vægt i kg

Teknologisk Institut valgte for hvert køretøj at bruge den vejede værdi og angav korrigerede lasteevner for de efterfølgende test.

Tabel 5 viser, at CNG-lastbil og CNG-bus 1 har identiske gasmotorer. Det samme gælder for dieselreferencekøretøjerne, der begge har identiske dieselmotorer.

Test id	Type	Brændstof	Navn	Volumen	Cyl.	Max effekt	Max moment
CNG-lastbil	SI	CNG	OC09 101 280	9,3 L	5	206 kw / 1900 rpm	1350 Nm / 1000-1400 rpm
CNG-bus 1	SI	CNG	OC09 101 280	9,3 L	5	206 kw / 1900 rpm	1350 Nm / 1000-1400 rpm
CNG-bus 2	SI	CNG	E2876 LUH07	12,8 L	6	228 kw / 2000 rpm	1250 Nm / 1000-1700 rpm
Dieselbus	CI	Diesel	DC9 113 280	9,3 L	5	206 kw / 1900 rpm	1400 Nm / 1000-1350 rpm
Diesellastbil	CI	Diesel	DC9 113 280	9,3 L	5	206 kw / 1900 rpm	1400 Nm / 1000-1350 rpm

Tabel 5: Motordata

Forkortelser under "Type", anvendt i Tabel 5:

- SI (spark-ignition) – en blanding af brændstof og luft antændes med en gnist fra et tændrør.
- CI (compression-ignition) – brændstof indsprøjtes i en komprimeret luftmængde og selvantænder på grund af temperaturen.

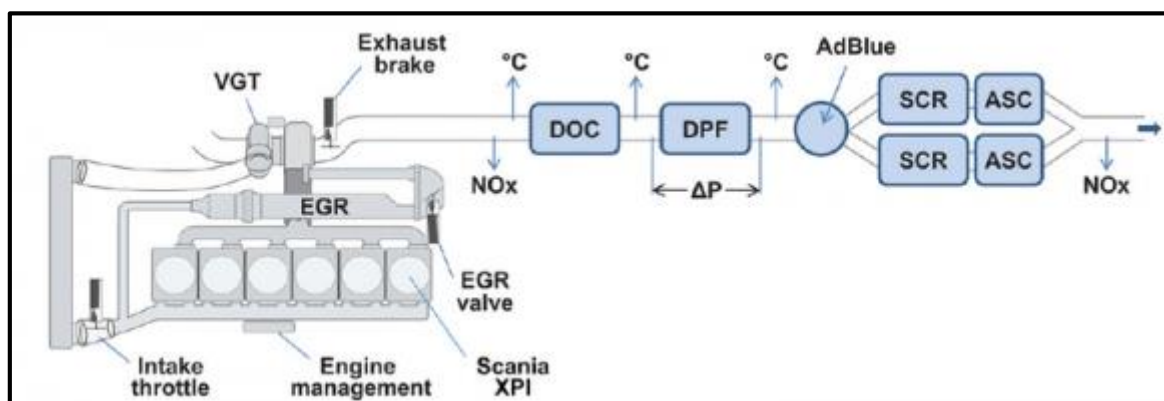
I Tabel 6 ses det, at kun dieselskøretøjerne er udstyret med partikelfiltre (DPF). Motor og udstødningssystem for dieselskøretøjerne er illustreret i Figur 2. Udstødningssystemet på CNG-køretøjerne er meget mere simple og inkluderer kun en trevejskatalysator.

Test id	EGR	DOC	DPF	SCR	ASC	3-way cat
CNG-lastbil	Med	Uden	Uden	Uden	Uden	Med
CNG-bus 1	Med	Uden	Uden	Uden	Uden	Med
CNG-bus 2	Uden	Uden	Uden	Uden	Uden	Med
Dieselbus	Med	Med	Med	Med	Med	Uden
Diesellastbil	Med	Med	Med	Med	Med	Uden

Tabel 6: Udstødning/efterbehandlingsystem

Forkortelser anvendt i Tabel 6 og i Figur 2:

- EGR - Exhaust Gas Recirculation
- DOC - Diesel Oxidation Catalyst
- DPF - Diesel Particulate Filter
- SCR - Selective Catalytic Reduction
- ASC - Ammonium Slip Catalyst



Figur 2: Skematisk illustration af udstødningssystem for en Scania EURO VI-dieselmotor med EGR (kilde: Scania)

I Tabel 7 er transmissionen for hvert køretøj beskrevet. Alle køretøjerne på nær diesellastbilen har traditionelle automatiske gearkasser. Diesellastbilen er monteret med en Scania Opticruise gearkasse. Princippet i Scania Opticruise er et automatiseret gearskiftesystem til en manuel gearkasse. Sammenlignet med en konventionel automatisk gearkasse er effektiviteten generelt højere med en mekanisk gearkasse.

Test id	Transmissions-type	Gearkasse	Bagtøj - udveksling
CNG-lastbil	Fully automatic - 8 speed	Scania GA766 - (Allison 3200)	5,57
CNG-bus 1	Fully automatic - 6 speed	ZF Ecolife (6AP1200B)	4,88
CNG-bus 2	Fully automatic - 6 speed	ZF Ecolife (6AP1400)	5,74
Dieselbus	Fully automatic - 6 speed	ZF Ecolife (6AP1200B)	4,88
Diesellastbil	Fully automatic - 12 speed	Scania Opticruise GRS895	2,92

Tabel 7: Transmissionsdata

Test id	Gas total	Diesel total
CNG-lastbil	640dm ³ (200 bar)	-
CNG-bus 1	1280 dm ³ (200 bar)	-
CNG-bus 2	2050dm ³ (200 bar)	-
Dieselbus	-	400dm ³
Diesellastbil	-	300dm ³

Tabel 8: Brændstofkapacitet

2.1. Kvalitetskontrol af køretøjerne

Alle køretøjerne er næsten nye biler, se Tabel 2. De havde generelt en lav kilometer-stand. Køretøjerne blev kvalitetskontrolleret inden opstart af testene. Denne kontrol omfattede:

- Visuel kontrol for skader, fejl og mangler.
- Dæktrykkene blev kontrolleret.
- Eventuelle fejl på motorstyring m.v. blev udbedret af mærkeværksted inden igangsættelse af testkørsler og test.
- Testkørsler inklusive nedrulning.
- Kontrolvejning.

Der var kun få køretøjer til rådighed for målingerne. Derfor kan der være tilfældige udsving, som påvirker måleresultaterne. Dette kan for eksempel skyldes individuelle afvigelser, ikke synlige fejl eller ikke synlige fejljusteringer.

3. Beskrivelse af målingerne af emissions- og forbrugsdata

Formålet med måleprogrammet er at foretage sammenlignende målinger af forbrugsdata samt af emissioner for CNG-køretøjer sammenholdt med referencekøretøjerne på diesel. Det er tunge erhvervskøretøjer, der testes – både bybusser og renovationslastbiler.

Under rullefeltstesten måles køretøjets aktuelle brændstofforbrug. Dette vil sammen med emissionsmålinger danne baggrund for analyse og beregning af energieffektivitet.

Regulerede Euro VI-emission som kulilte (CO), Non-Methane Hydrocarbons (NMHC)/total kulbrinte (THC), metanslip (CH₄), kvælstofilter (NO_x), partikelantal (PN) samt ammoniak (NH₃) analyseres. Baseret på en fælles procedure beskrevet i "IEA AMF Annex 49 – COM-VEC"-samarbejdet analyseres flere uregulerede emissioner, kuldioxid (CO₂), kvælstofdioxid (NO₂) og lattergas (N₂O).

3.1. Fremgangsmåde

Målingerne blev udført på et lastvognsdynamometer/rullefelt, som tilfører en køretøjsspecifik belastning afhængigt af aktuell hastighed og acceleration. Belastningen simulerer køretøjet under normal drift på vej, og estimerer blandt andet rullemodstand, vægt og luftmodstand. Under testen tilføres køleluft fra store blæsere til motor, gearkasse og dæk. Rullefeltet ses i Figur 3.



Figur 3: Lastvognsdynamometer/rullefelt til tunge køretøjer

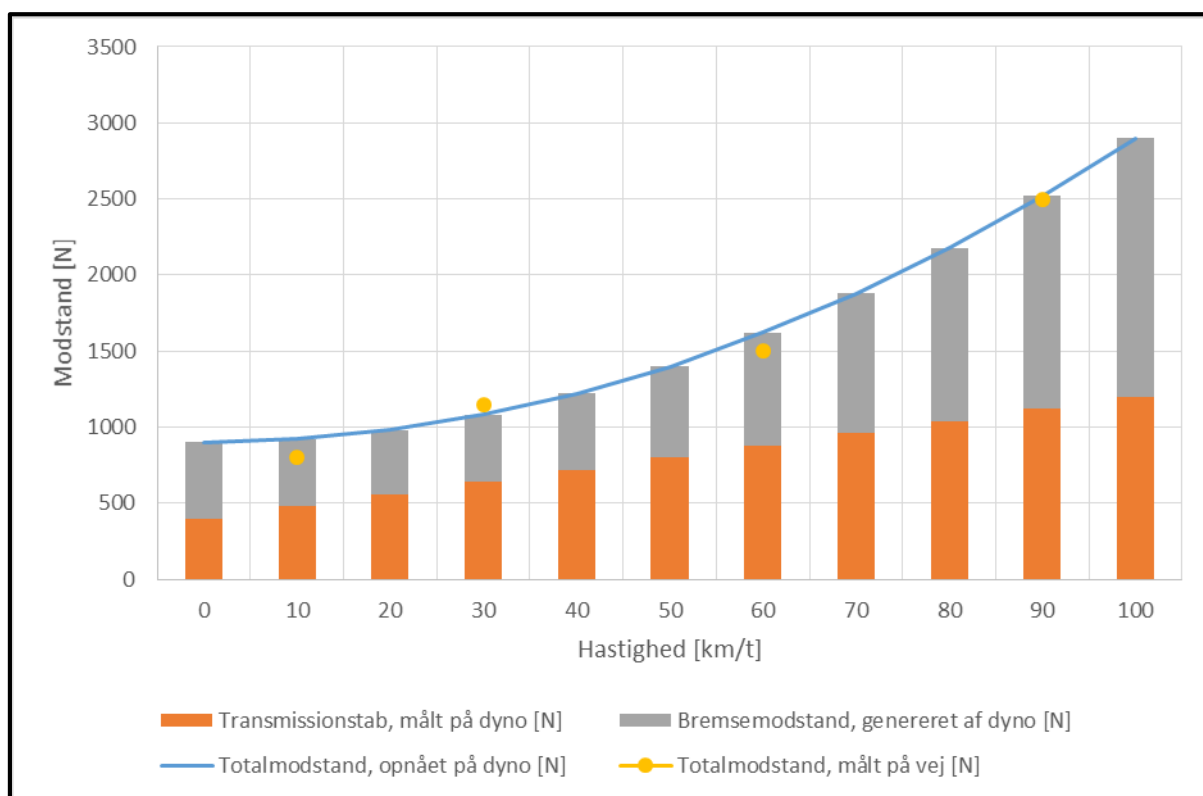
Den hastighedsafhængige belastning, som er unik for hvert køretøj, kan bestemmes enten ved beregning eller ved afprøvning på vej. Teknologisk Institut anvendte for alle fem køretøjer prøvning på vej.

Under prøvning på vej vejes køretøjet først på en vejebro. Køretøjet accelereres til den højest anvendelige hastighed på den valgte strækning, i praksis ca. 60-70 km/t, hvorefter der rulles i frigear indtil køretøjet stopper. Nedrulningen registreres med præcisions-GPS-udstyr. Forsøget gentages to gange i hver retning på den valgte strækning.

Ud fra det registrerede nedrulningsforløb og den målte vægt kan modstandsfaktorerne bestemmes.

Når køretøjet er monteret på rullefeltet, foretages en måling af rulle- og transmissionstab for hvert individuelt køretøj. Dette gøres ved at sætte bilen i frigear og derefter accelerere hjulene på den trækkende aksel til en forudbestemt hastighed ved hjælp af en elektromotor. Elektromotorens moment måles ved hjælp af en strain-gauge. Denne måling er et udtryk for modstanden mellem motor og rullefelt. Med denne information kan motorens effekt beregnes som rullefeltets effekt plus rulle- og transmissionstabet som illustreret i Figur 4.

Rullefeltet påfører under hele testen et elektrisk moment svarende til de køretøjsspecifikke koefficienter minus rulle- og transmissionstabet.



Figur 4: Eksempel på måling af køremodstande

For at sammenligne med de nyeste typegodkendelser er det væsentligt at udføre testen under transiente forhold. Dette kræver et dynamisk virkende rullefelt med visning af hastighed til chaufføren (også kaldet Driver's Aid). Samtidigt skal data for hastighed, tab og motoreffekt registreres 10 gange pr. sekund.

Under testen er køretøjet bemandedet med en chauffør, som på en skærm kan følge den ønskede hastighed i henhold til den valgte kørecyklus med tolerancer og den øjeblikkelige målte hastighed. Udstyret ses i Figur 5.



Figur 5: Foto af rullefelt med Driver's aid

Røggasemissioner og partikler måles én gang pr. sekund ved hjælp af en multigasmåler (FTIR: Fourier Transform Infrared Spectroscopy) og en partikeltæller. Den anvendte FTIR måler 23 gasarter simultant. Partikeltælleren er af typen PMP-CPC (Particle Measurement Programme-CPC), hvilket vil sige, at den er specielt udviklet til at registrere meget små partikkelkoncentrationer. Den indeholder to variable fortyndingstrin, således at også høje koncentrationer kan måles.

Måling af luftflow og brændstofforbrug foretages 1 gang pr. sekund og anvendes til at omregne koncentrationer til mængder. Mængderne beregnes i enheder baseret på energi [pr. kWh], tid [pr. time] eller distance [pr. km].

For CNG-køretøjerne er det momentane gasflow til motoren målt med et brændstofflowmeter af typen Coriolis, som var monteret mellem gastankene og motoren. For dieselreferencekøretøjerne er det momentane dieselforbrug målt med et AVL-fuelflowmeter, der måler difference mellem brændstofflowet til og retur fra motoren.

3.2. Måleudstyr

Nedenstående prøvningsudstyr blev anvendt.

Component	Producent	Model	Type	Område	Usikkerhed
Dynamometer	AHS	ELP 500 A/D	Eddy current	0-500 kW	± 2 s ± 2 km/h
Brovægt	-	VejeBro Aarhus	-	60 tons	-
Udstødningsgas	Antaris	IGS	FTIR	Raw Diesel Exhaust Calibration	$\pm 1,5$ %
Partikler	AVL	489 Advanced	UNECE-R83 og PMP godkendt	23 nm til 2.5 μ m	-
Luftmængde	Bosch	0280217801	Hotwire	0-1500 kg/h	± 2 %
Brændstofflow	AVL	753 + 735	Coriolis + Conditioning	125 kg/h	$\pm 0,12$ %
Brændstofflow	Micro Motion	1700	Coriolis	4,08 kg/min	$\pm 0,1$ %
Dæktemperatur	Infrapoint	IMS-300-u	IR	0-300 °C	-
Temperatur	RS Components	Type K	Termoelement	0-800 °C	-
Datalogger	Agilent	34970A	Analog	0-10 V	-
Vejrstation	Rosenborg	68700	-	-	-
GPS	Racelogic	P-Box	Datalogger	-	$\pm 0,1$ km/h

Tabel 9: Liste over udstyr anvendt ved målingerne af emissions- og forbrugsdata

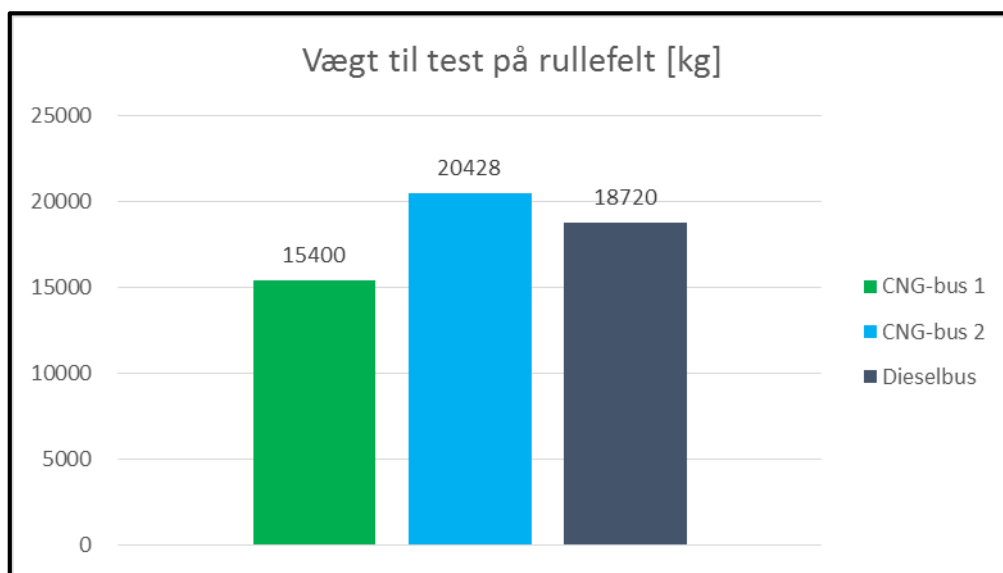
3.3. Køretøjsvægt for test på rullefelt

Ved rullefeltstest bestemmes en simuleret køretøjsvægt. Denne simulerede vægt indtastes i rullefeltet, således at belastningen kan påføres køretøjet jævnt før tidligere beregnet modstandsfaktorer. I "IEA AMF Annex 49 – COMVEC"-WP1 (arbejdsmappe nummer 1) beskrives en fælles procedure for bestemmelse af den simulerede køretøjsvægt som 50 % af lasteevnen. Teknologisk Institut har på baggrund af aktuelle vejersedler vurderet, at den simulerede vægt beregnes som tilladt totalvægt fratrukket 50 % af den korrigerede lasteevne.

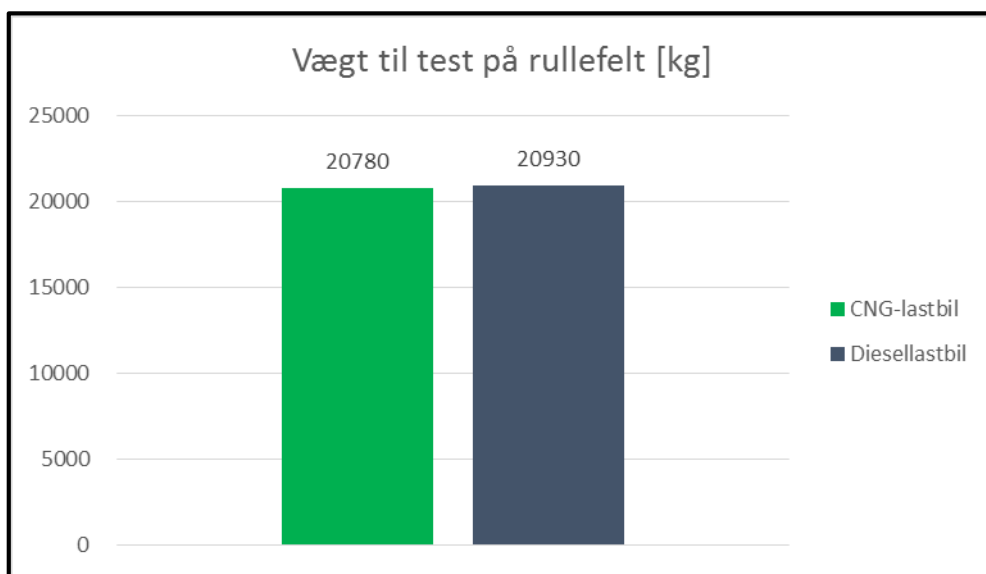
Test id	Tilladt totalvægt (kg)	Korr. lasteevne (kg)	Simuleret vægt for test (kg)
CNG-lastbil	26000	10440	20780
CNG-bus 1	18000	5200	15400
CNG-bus 2	24915	8975	20428
Dieselbus	22500	7560	18720
Diesellastbil	26000	10140	20930

Tabel 10: Simuleret køretøjsvægt til rullefelttest

Bemærk, at CNG-bus 1 kun er en 2-akslet bus og derfor har den lavest simulerede vægt med godt 15 tons. Dieselbussen blev testet ved knap 18,5 tons, mens de øvrige tre køretøjers simulerede vægt lå relativt tæt, nemlig omkring 20,5 tons.



Figur 6: Simuleret køretøjsvægt for busserne til test på rullefeltet



Figur 7: Simuleret køretøjsvægt for lastbilerne til test på rullefeltet

3.4. Kørecykluser for test på rullefelt

Der er udvalgt forskellige kørecykluser til testene på rullefeltet.

I forhold til det internationale samarbejde i "IEA AMF Annex 49 – COMVEC" er det besluttet at anvende WHVC -"World Harmoniseret Vehicle Cycle"-kørecyklussen til test af alle køretøjerne. Det sikrer, at de internationale resultater er direkte sammenlignelige. WHVC-kørecyklussen er baseret på de samme data, som er anvendt til at udvikle WHTC-testcyklussen, der anvendes ved Euro VI-typegodkendelsen af tunge køretøjer. Se mere om WHVC-kørecyklussen i afsnit 3.4.1.

For at illustrere, at forskellige kørselsmønstre påvirker resultaterne, er der udvalgt yderlig én kørecyklus ud over WHVC per køretøjstype.

Busserne testes yderligere på FIGE/ETC-kørecyklussen. Denne kørecyklus blev introduceret samtidigt med ESC (European Stationary Cycle), som blev anvendt ved certificering af motorer til tunge køretøjer fra Euro 3 til og med Euro 5. Se mere om FIGE/ETC-kørecyklussen i afsnit 3.4.2.

Lastbilerne, der alle er renovationsbiler, testes yderligere på "Neighborhood Refuse Truck Cycle"-kørecyklus. Denne kørecyklus er udvalgt for at repræsentere renovationskørsel. Kørecyklussen omfatter følgende momenter: indsamling med mange start/stop pr. kørt strækning, tømning og transit til indsamling. Se mere om "Neighborhood Refuse Truck Cycle"-kørecyklussen i afsnit 3.4.3.

Alle test er gennemført på driftsvarm motor og transmission, jævnfør opvarmningsprocedure beskrevet i "IEA AMF Annex 49 – COMVEC"-WP1.

Tabel 11 giver et skematisk overblik over de udvalgte kørecykluser afhængigt af køretøjstypen.

	Bus		Lastbil	
	CNG	Diesel	CNG	Diesel
WHVC	X	X	X	X
FIGE (ETC)	X	X		
Neighborhood refuse truck cycle			X	X

Tabel 11: Kørecykluser

Ved rullefelttestene følger køretøjerne kørecykluserne i forhold til køretøjets performance. Det betyder i praksis, at accelerationer og høje hastigheder ikke altid kan følges/opnås.

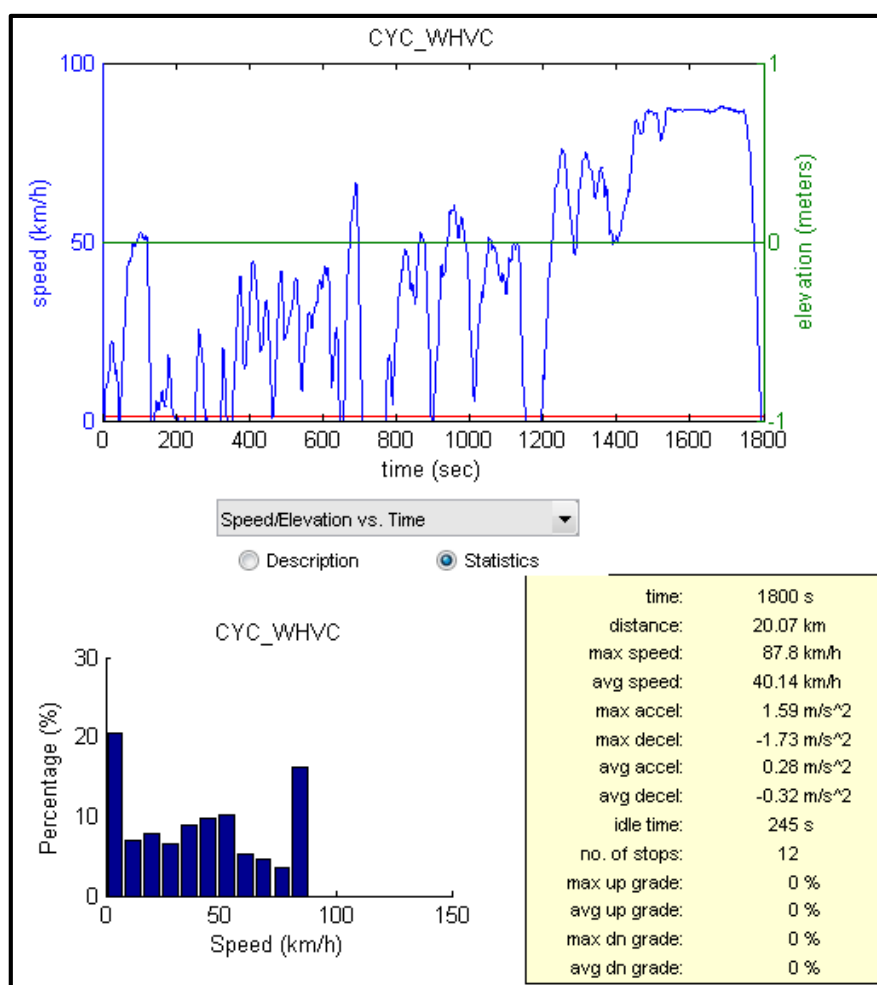
3.4.1. WHVC-kørecyklus

“World Harmoniseret Vehicle Cycle” (WHVC) er en kørecyklus til test af køretøjer på rullefelt. WHVC-kørecyklussen er baseret på samme data, som er anvendt til udvikling af “World Harmoniseret Transient Cycle” (WHTC), der måles med motoren i en motorprøvebænk. Da WHVC er testet ved manuel betjening af køretøjet på rullefelt og WHTC i en fuldautomatisk prøvebænk, giver WHVC kun tilnærmede resultater til WHTC, der anvendes til lovmæssige test/certificering. WHVC er ikke en standardiseret procedure.

Varigheden af WHVC-kørecyklussen er 1800 sekunder. Testen omfatter tre segmenter, som repræsenterer by-, landevejs- og motorvejskørsel.

Udvalgte parametre om kørecyklussen:

- De første 900 sekunder repræsenterer bykørsel med en gennemsnitshastighed på 21,3 km/t og en maksimal hastighed på 66,2 km/t. Dette segment indeholder hyppige start/stop og tomgangskørsel.
- De efterfølgende 481 sekunder repræsenterer landdistriktkørsel med en gennemsnitshastighed 43,6 km/t og en maksimal hastighed på 75,9 km/t.
- De sidste 419 sekunder er defineret som motorvejskørsel med gennemsnitshastighed 76,7 km/t og en maksimal hastighed på 87,8 km/t.



Figur 8: WHVC-kørecyklus

Måleprogram for tunge CNG-køretøjer

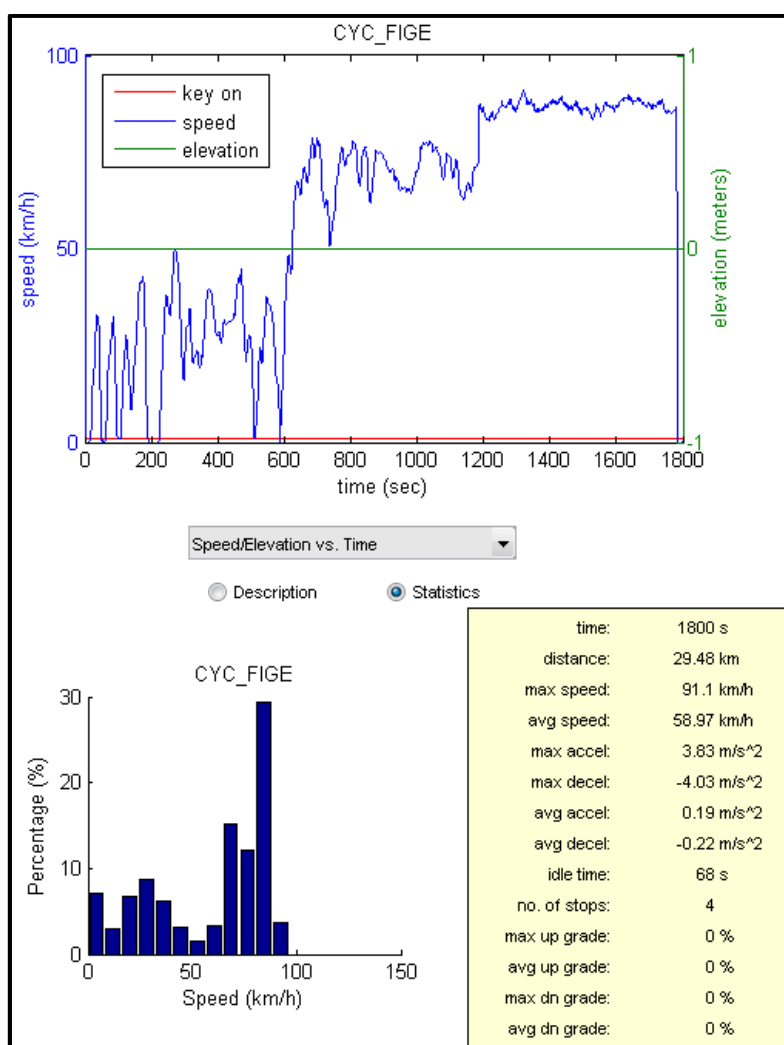
3.4.2. FIGE/ETC-kørecyklus

FIGE/ETC-kørecyklus blevet introduceret sammen med ESC (European Stationary Cycle) for emissionscertificering af tunge dieselmotorer i Europa. ESC- og ETC-testcyklusser erstattede den tidligere R-49-test. FIGE/ETC-kørecyklus blev udviklet af det tidligere FIGE Institute i Aachen, Tyskland, og er baseret på virkelige målinger af tunge køretøjer.

Forskellige kørselsforhold repræsenteres af tre dele i FIGE/ETC-kørecyklussen, herunder by-, landevejs- og motorvejskørsel. Varigheden af hele cyklussen er 1800 sekunder. Varigheden af hver enkelt del er 600 sekunder.

Udvalgte parametre om kørecyklussen:

- Første del repræsenterer bykørsel med en maksimal hastighed på 50 km/t, hyppige start/stop og tomgangskørsel.
- Anden del er landevejskørsel. Start med en kraftig acceleration. Gennemsnitshastigheden er ca. 72 km/t.
- Del tre er motorvejskørsel med en gennemsnitlig hastighed på ca. 88 km/t.



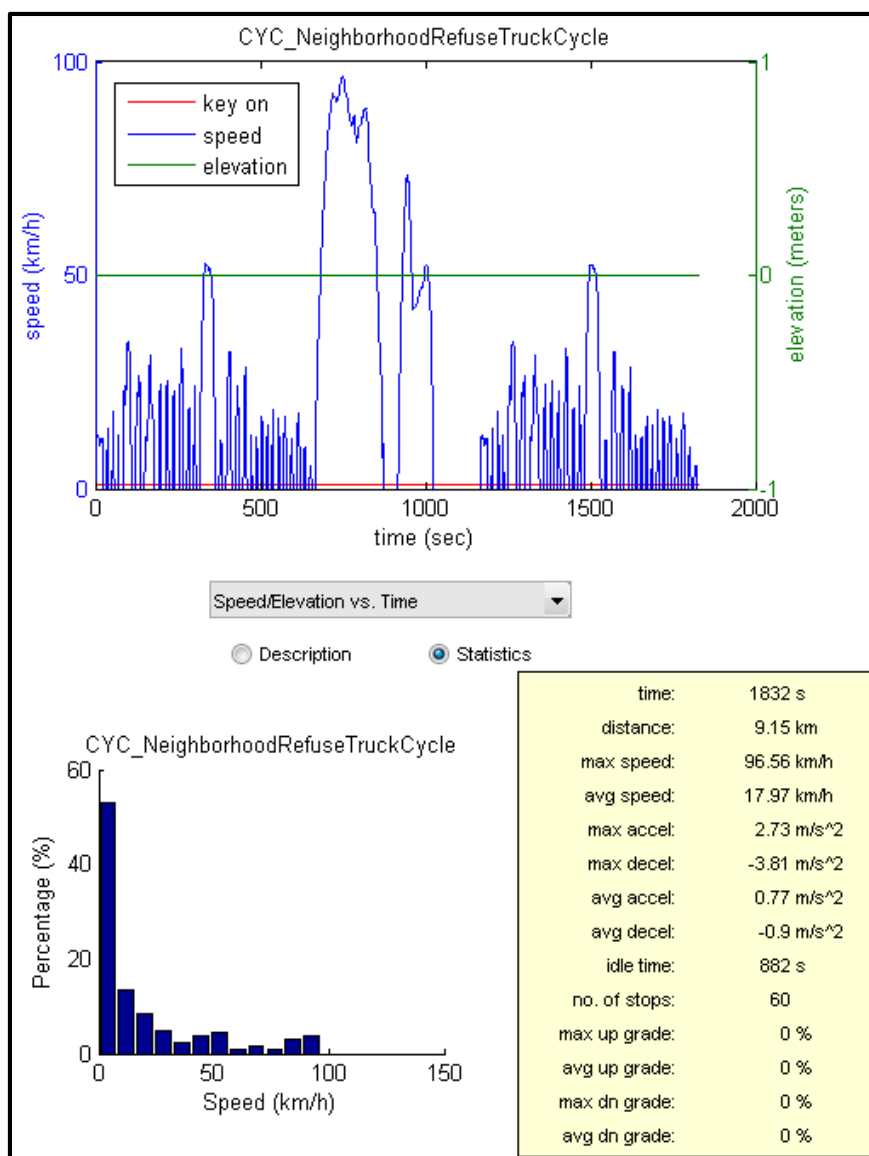
Figur 9: FIGE-kørecyklus

3.4.3. "Neighborhood Refuse Truck Cycle"-kørecyklus

"Neighborhood Refuse Truck Cycle"-kørecyklus er udviklet af NREL (US DOE National Renewable Energy Laboratory) for US EPA Smartway-programmet. Det er en kørecyklus udviklet til rullefelttest og kan repræsentere kørsel med renovationslastbil.

Udvalgte parametre om kørecyklussen:

- Distance: 9,66 km (6,0 miles)
- Gennemsnitshastighed: 18 m/s (65 km/t = 40 mph)
- Maksimal hastighed: 26,8 m/s (96,6 km/t = 60,0 mph)
- Cyklussen omfatter indsamling, tømning samt transit til indsamling



Figur 10: "Neighborhood Refuse Truck Cycle"-kørecyklus

3.5. Spredning på målingerne

Hver enkelt kørecyklus er gennemkørt to gange pr. køretøj og analyseret separat.

I de efterfølgende resultater er middelværdien af de to gennemløb beregnet og præsenteret. Ligeledes er spredningen/standardafvigelsen bestemt. Standardafvigelse betyder kort fortalt observationernes gennemsnitlige afvigelse fra middeltallet.

Eneste undtagelse er for dieselreferencelastbilen på kørecyklussen WHVC. Her måtte datasættet for den ene gennemkørsel kasseres, hvilket desværre først blev erfaret efter, at køretøjet havde forladt Teknologisk Institut og var retur i drift hos vognmanden.

4. Resultater af målinger af emissions- og forbrugsdata

De valgte resultater for forbrugsdata og emissioner præsenteres efterfølgende i dette afsnit.

Det er vigtigt at observere, at motorerne i de forskellige køretøjer har kørt under forskellige belastninger. Den væsentligste parameter er de forskellige vægte, som køretøjerne er testet med (se mere i afsnit 3.3). Samtidig påvirker forskellige modstandsfaktorer og transmissionstab (se mere i afsnit 3.1) belastningen på motorerne og dermed resultaterne.

Hvis ikke andet er anført i de efterfølgende figurer og tabeller, er energien/arbejdet i kWh det arbejde som motoren udfører. Hvis der eksempelvis står CO₂: 900 g/kWh, betyder det, at emissionen fra denne motor er netop 900 g CO₂ pr. produceret kWh. Resultaterne for busserne for både WHVC og for FIGE-kørecykluserne er samlet i én figur. For lastbilerne gælder det samme, at resultaterne for WHVC og "Neighborhood Refuse Truck Cycle" (i figurene forkortet til "Neighborhood") er samlet i én figur.

Brændstoffet, CNG og diesel har helt forskellige brændværdier, densiteter og CO₂-emissionsfaktorer. Repræsentative brændstofværdier er samlet i Tabel 12, CNG-værdierne er opnået på baggrund af en gassammensætning svarende til gennemsnittet for dansk naturgas 2014 (kilde: www.naturgasfakta.dk).

	Nedre brændværdi		Densitet	Nedre brændværdi		CO2 Emissionsfaktor
	[MJ/kg]	[kWh/kg]	[Kg/m ³]	[MJ/m ³]	[kWh/m ³]	[kg/GJ]
Diesel	42,70	11,86	845	36082	10023	73,17
CNG	47,96	13,32	0,8235	39,5	10,98	56,95

Tabel 12: Brændværdier og CO₂-emissionsfaktorer for CNG og diesel

Køretøjerne er testet med det ved ankomst til Teknologisk Institut ombordværende brændstof. Specielt for CNG kan kvaliteten variere, hvilket igen kan påvirke resultaterne for emissions- og forbrugsdata.

Emissionsgrænseværdierne for Euro VI er præsenteret i Tabel 13. Grænseværdierne for Euro VI er, hvor de er relevante, anført med en rød linje i resultatfigurerne i dette kapitel 4. Bemærk, at grænseværdien for antal partikler for køretøjer, hvor motoren er med styret tænding, anvendes fra den dato, som er listet i Tabel 14, række B.

Euro VI-emissionsgrænser								
	Grænseværdier							
	CO (mg/kWh)	THC (mg/kWh)	NMHC (mg/kWh)	CH ₄ (mg/kWh)	NO _x ⁽¹⁾ (mg/kWh)	NH ₃ (ppm)	PM masse (mg/kWh)	Antal partikler (#/kwh)
WHSC (CI)	1 500	130			400	10	10	8,0 × 10 ¹¹
WHTC (CI)	4 000	160			460	10	10	6,0 × 10 ¹¹
WHTC (PI)	4 000		160	500	460	10	10	(2) 6,0 × 10 ¹¹

Bemærkninger:
 PI = styret tænding
 CI = kompressionstænding
 (1) Det tilladelige niveau af NO₂-komponent i NO_x-grænseværdien vil muligvis blive fastsat på et senere tidspunkt.
 (2) Grænseværdien finder anvendelse fra den dato, som er fastsat i tabel 1, række B, i tillæg 9 til bilag til forordning (EU) nr. 582/2011.

Tabel 13: Emissionsgrænser
 (Kilde: Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 595/2009)

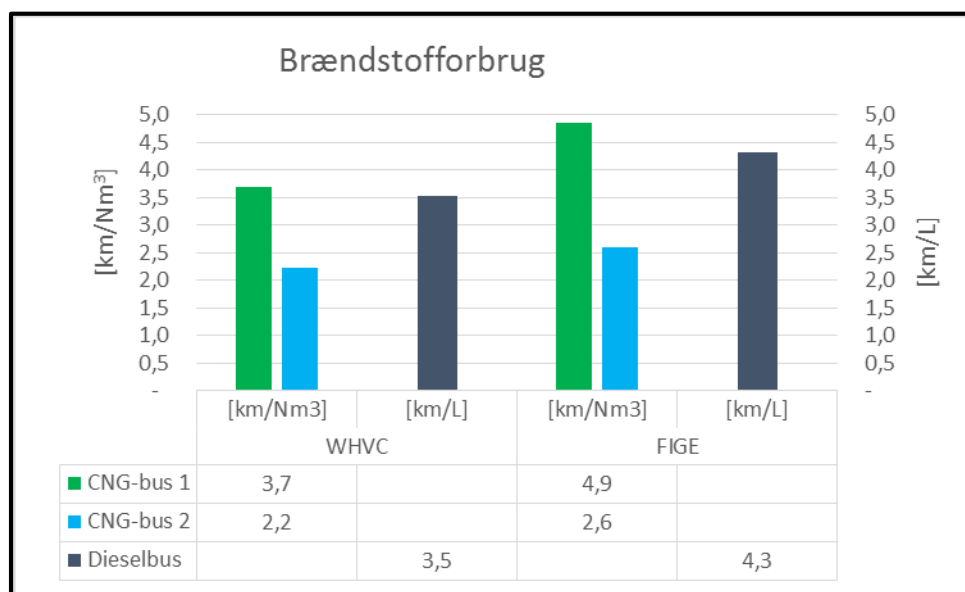
Bogstav	NO _x OTL ⁽¹⁾	PM OTL ⁽²⁾	CO OTL ⁽³⁾	IUPR	Reagenskvalitet og -forbrug	Gennemførelsesdatoer: nye typer	Gennemførelsesdatoer: alle køretøjer	Seneste registreringsdato
A	Rækken »indfasningsperiode« i tabel 1 eller 2	Overvågning af funktionsdygtighed ⁽⁵⁾		Indfasning ⁽⁷⁾	Indfasning ⁽⁴⁾	31.12.2012	31.12.2013	31.8.2015 ⁽⁸⁾ 30.12.2016 ⁽¹⁰⁾
B ⁽¹¹⁾	Rækken »indfasningsperiode« i tabel 2		Rækken »indfasningsperiode« i tabel 2	Indfasning ⁽⁷⁾	Indfasning ⁽⁴⁾	1.9.2014	1.9.2015	30.12.2016
C	Rækken »generelle forskrifter« i tabel 1 eller 2	Rækken »generelle forskrifter« i tabel 1	Rækken »generelle forskrifter« i tabel 2	Generelle ⁽⁸⁾	Generelle ⁽²⁾	31.12.2015	30.12.2016	

Forklaring:
 (1) Forskrifterne vedrørende overvågning af »NO_x OTL«, jf. tabel 1 og 2 i bilag X.
 (2) Forskrifterne vedrørende overvågning af »PM OTL«, jf. tabel 1 i bilag X.
 (3) Forskrifterne vedrørende »overvågning af funktionsdygtighed«, jf. punkt 2.1.1 i bilag X.
 (4) Forskrifterne vedrørende reagenskvalitet og -forbrug ved »indfasning«, jf. punkt 7.1.1.1 og 8.4.1.1 i bilag XIII.
 (5) De »generelle« forskrifter vedrørende reagenskvalitet og -forbrug, jf. punkt 7.1.1 og 8.4.1 i bilag XIII.
 (6) Forskrifterne vedrørende overvågning af »CO OTL«, jf. tabel 2 i bilag X.
 (7) Forskrifterne vedrørende IUPR ved indfasning, jf. punkt 6.4.4, 6.5.5 og 6.5.5.1 i bilag X.
 (8) De »generelle« forskrifter vedrørende IUPR, jf. afsnit 6 i bilag X.
 (9) For motorer og køretøjer med styret tænding udstyret med sådanne motorer.
 (10) For motorer og køretøjer med styret tænding udstyret med sådanne motorer.

Tabel 14: Datoer for anvendelse af grænseværdierne for antal partikler, gældende for køretøjer med styret tænding (bl.a. CNG-køretøjer), se række B (Kilde: Tabel 1, i tillæg 9 til bilag til Kommissionens forordning (EU) nr. 582/2011)

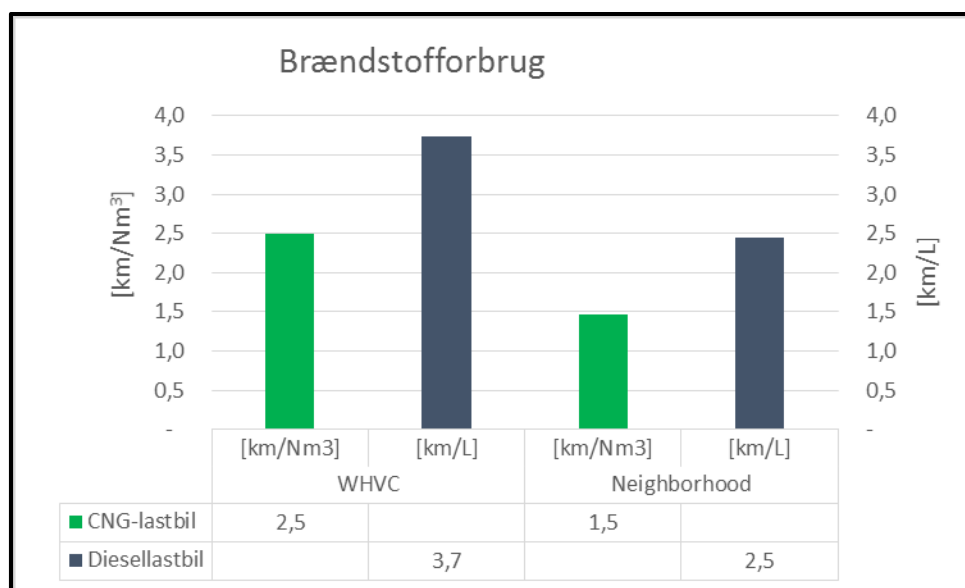
4.1. Brændstofforbrug

Ofte taler og sammenligner branchen distance pr. liter diesel for dieselkøretøjer med tilsvarende distance pr. Nm³ gas for CNG-køretøjer. I Figur 11 og i Figur 12 er disse populære sammenligninger præsenteret.



Figur 11: Distance for busserne pr. mængde brændstof, henholdsvis opgivet i km/Nm³ gas for CNG-busserne og i km/l for dieselbussen

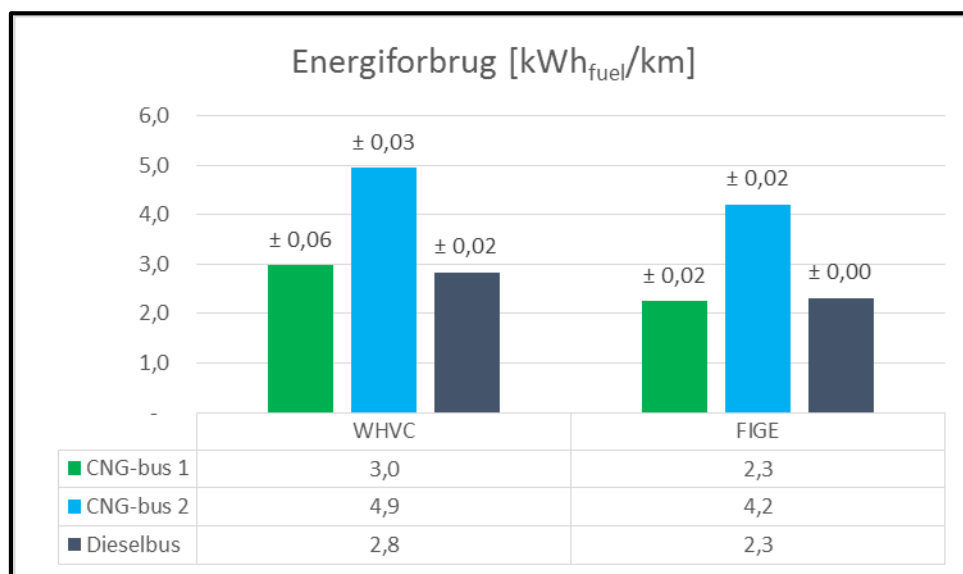
Resultater er ikke direkte sammenlignelige, da de testede køretøjer var forskellige. Busserne var primært forskellige, hvad angik størrelsen. Både 2-akslet 12 meter version og 3-akslet 13,7 meter versioner indgik i testene. Ved busserne med nogenlunde samme simulerede vægt ses det, at CNG-bus 2 kører ca. 30 % færre km pr. Nm³ gas sammenlignet med den tilsvarende værdi i distance pr. liter diesel for referencebussen.



Figur 12: Distance for lastbilerne pr. mængde brændstof, henholdsvis opgivet i km/Nm³ gas for CNG-lastbilen og i km/l for diesellastbilen

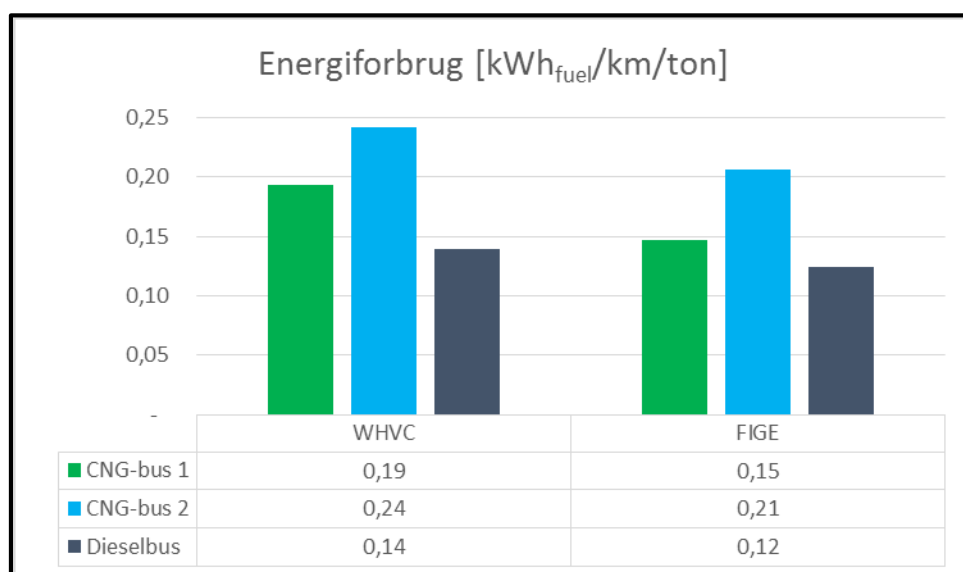
4.2. Energiforbrug

Det specifikke energiforbrug i kWh/km for busserne er ret forskelligt. Energiforbruget for busserne er højere på WHVC-kørecyklussen end på FIGE-kørecyklussen.



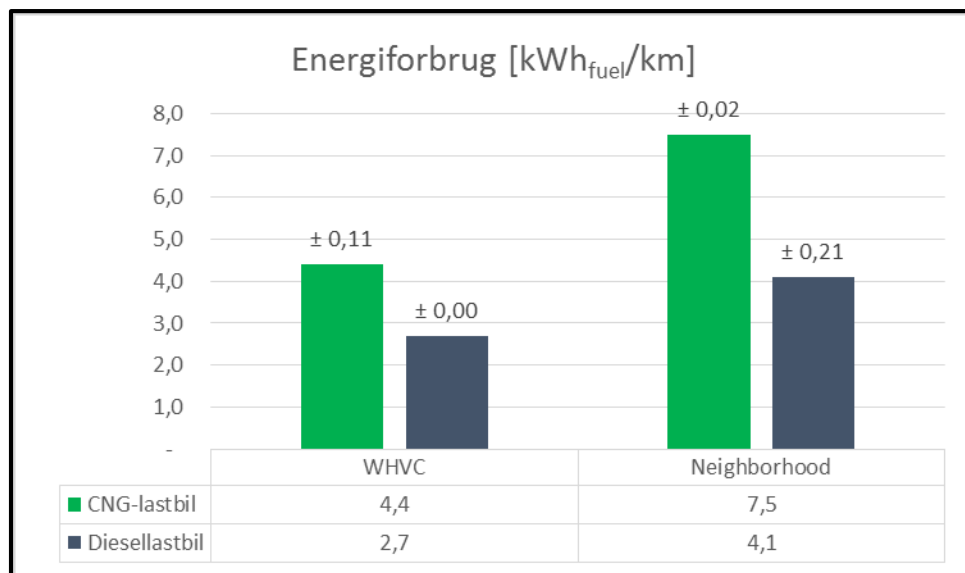
Figur 13: Energiforbrug pr. km – bus

Resultaterne i Figur 13 er ikke direkte sammenlignelige, da busserne er forskellige, hvad angår størrelse, passagerkapacitet og simuleret vægt. I Figur 14 vises derfor energiforbruget pr. km divideret med bussernes simulerede vægt (afsnit 3.3) under testene på rullefeltet. Dette giver et mere retfærdigt billede af forbruget, da bussernes rullemodstand og energitab ved acceleration er nogenlunde proportionalt med køretøjets vægt.



Figur 14: Energiforbrug pr. km pr. ton for busserne

For CNG-busserne er energiforbruget pr. km og pr. ton højere end for dieselbussen. Det ses tydeligt, at CNG-bus 2 har det største energiforbrug i forhold til den simulerede vægt anvendt på rullefeltet.

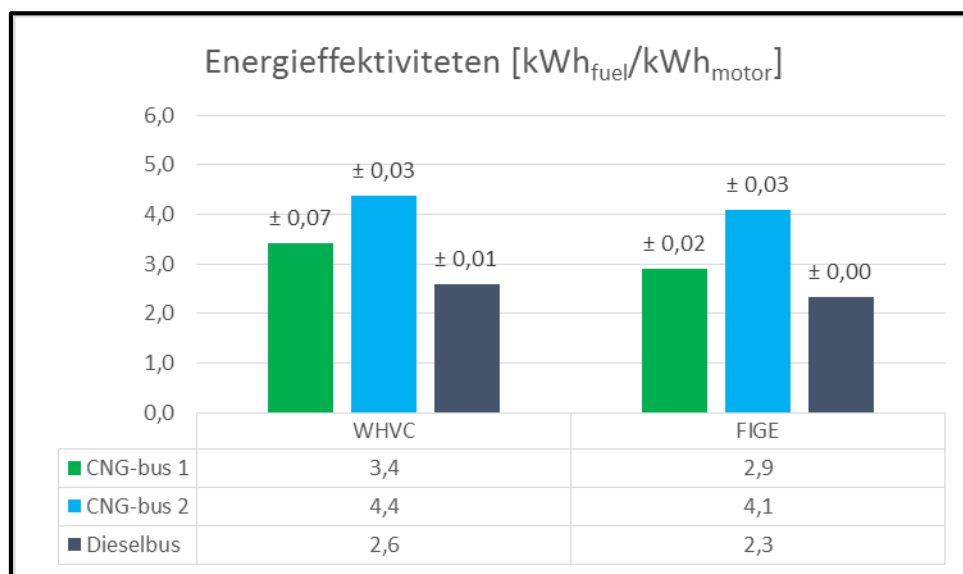


Figur 15: Energiforbrug pr. km - lastbil

Det er tydeligt, at CNG-lastbilen har et noget større energiforbrug pr. km end diesellastbilen. Den simulerede vægt for lastbilerne er næsten ens. Det er dog væsentligt at bemærke, at diesellastbilen har en anden type gearkasse, der teoretisk er mere effektiv end for andre testede køretøjer. CNG-køretøjet havde traditionel automatisk gearkasse, mens diesellastbilen havde manuel gearkasse med automatiseret gearskiftesystem. For lastbilerne er det tydeligt, at energiforbruget på "Neighborhood"-kørecyklussen er væsentligt større end på WHVC-kørecyklussen.

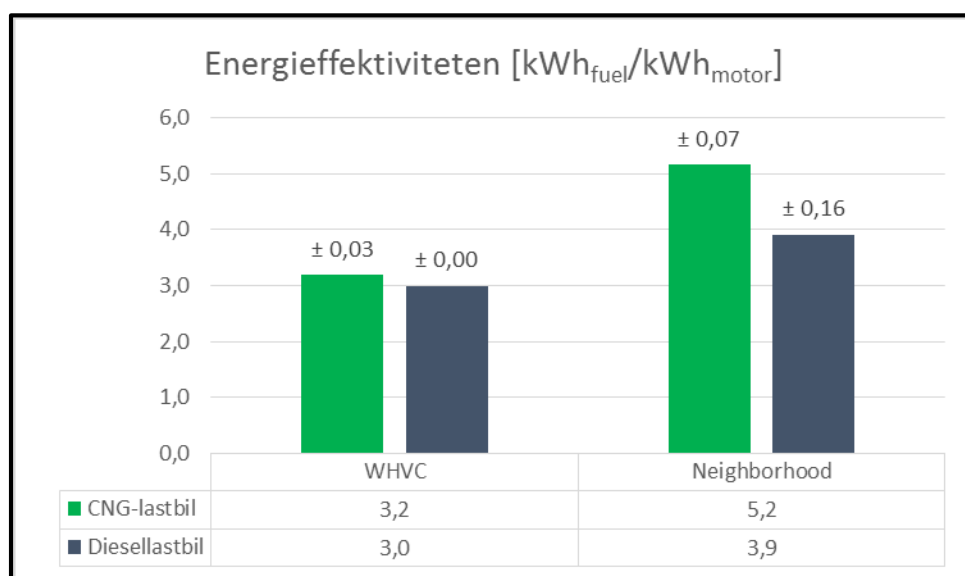
4.3. Energieffektiviteten

Energieffektiviteten viser hvor meget brændstof (kWh_{fuel}), der i gennemsnit er tilført motoren i forhold til det arbejde, motoren ($\text{kWh}_{\text{motor}}$) i gennemsnit har produceret.



Figur 16: Energiforbrug - bus

Det ses for både busserne og for lastbilerne, at dieselmotorerne har den bedste energieffektivitet. Det skyldes, at CNG-motorer er gnisttændingsmotorer og principielt fungerer som benzinmotorer, som under normale driftsbetingelser og særligt i dellast har markant lavere virkningsgrad end dieselmotorer. For busserne er energieffektiviteten generelt lidt bedre på FIGE-kørecyklussen frem for WHVC-kørecyklussen. Dette kan skyldes, at FIGE-kørecyklussen har højere belastning af motoren og mindre tid i tomgang.

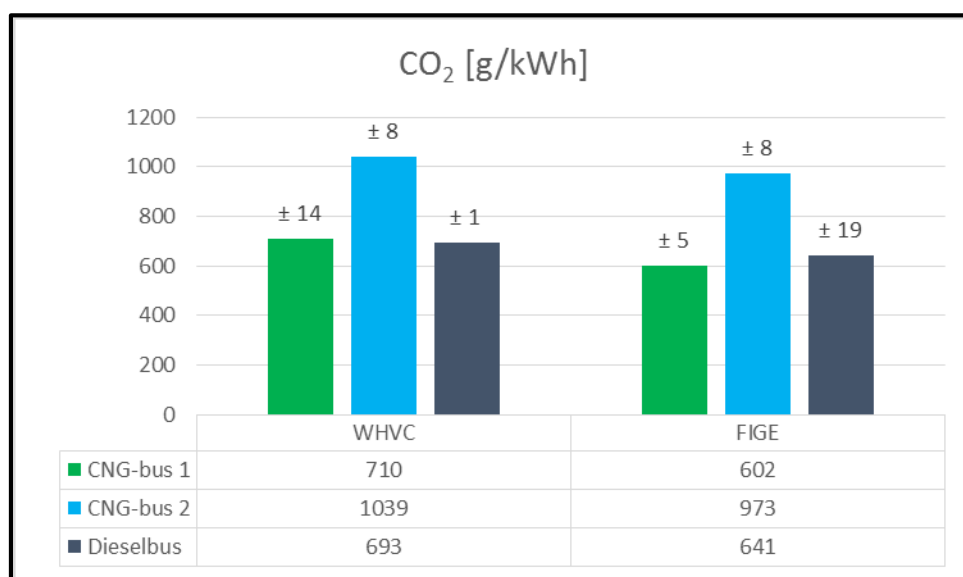


Figur 17: Energiforbrug – lastbil

For lastbilerne er energieffektiviteten noget lavere i "Neighborhood Refuse Truck Cycle"-kørecyklussen end i WHVC-kørecyklussen. Dette skyldes, at gennemsnitsbelastning af motoren er væsentligt lavere ved "Neighborhood Refuse Truck Cycle"-kørecyklussen. Denne kørecyklus har mere end tre gange længere tid i tomgang end ved WHVC-kørecyklussen.

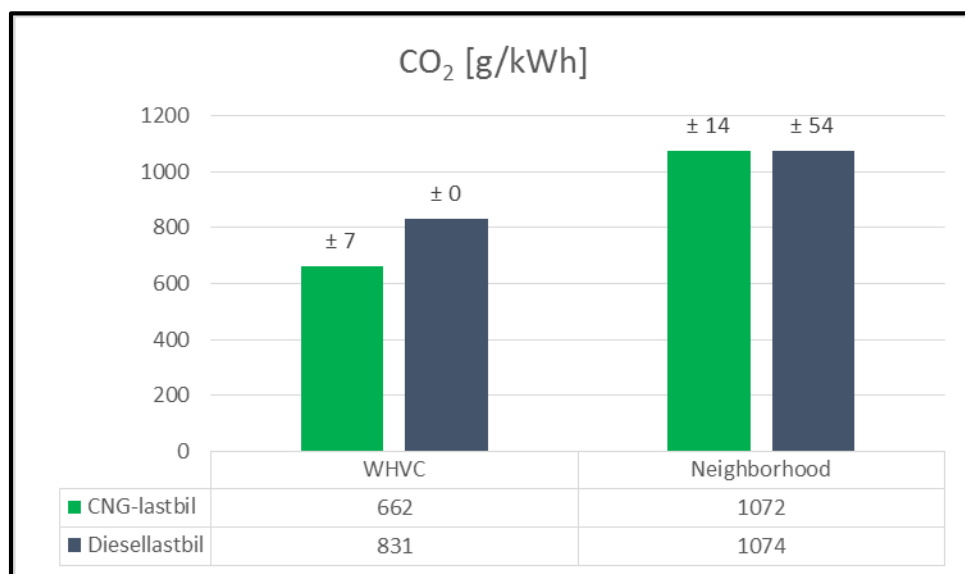
4.4. CO₂ – kuldioxid

Kuldioxid er sammen med vand normale forbrændingsprodukter ved forbrænding af fossilt brændstof. Balancen mellem det producerede vand og kuldioxid afhænger af forholdet mellem kulstof og brint i brændstoffet. For diesel ligger dette forhold på ca. 1:2, mens naturgas (CH₄) har et højere forhold på 1:4. CO₂-emissionsfaktoren for CNG er således cirka 20-25% lavere end for diesel. Dette kan give lavere udledning af CO₂ fra CNG-motorer, såfremt motorerne er lige så effektive som dieselmotorer.



Figur: 18 CO₂ – bus

Kuldioxidemissionen pr. arbejde udført af motoren stemmer helt overens med produktet af energieffektivitet og CO₂-emissionsfaktorerne for de respektive brændstoffer (se Tabel 12) for CNG-bus 1 og dieselbussen i området 600-700 g/kWh. Således kan CNG-bus 1 opnå omtrent samme CO₂-emission som dieselbussen på trods af den lavere energieffektivitet på motoren. For CNG-bus 2 ligger emissionen en del højere, omkring 1000 g/kWh. CNG-bus 2 ser således ud til at have væsentlig dårligere udnyttelse af brændstoffet.



Figur 19: CO₂ - lastbil

Kuldioxidemissionerne fra CNG-lastbilen er lavest med ca. 660 g/kWh og for diesellastbilen lidt højere, omkring 830 g/kWh på WHVC-kørecyklussen. Det ser således ud til, at CNG-lastbilen kan udnytte brændstoffet effektivt og dermed opnå en lavere CO₂-belastning end diesellastbilen.

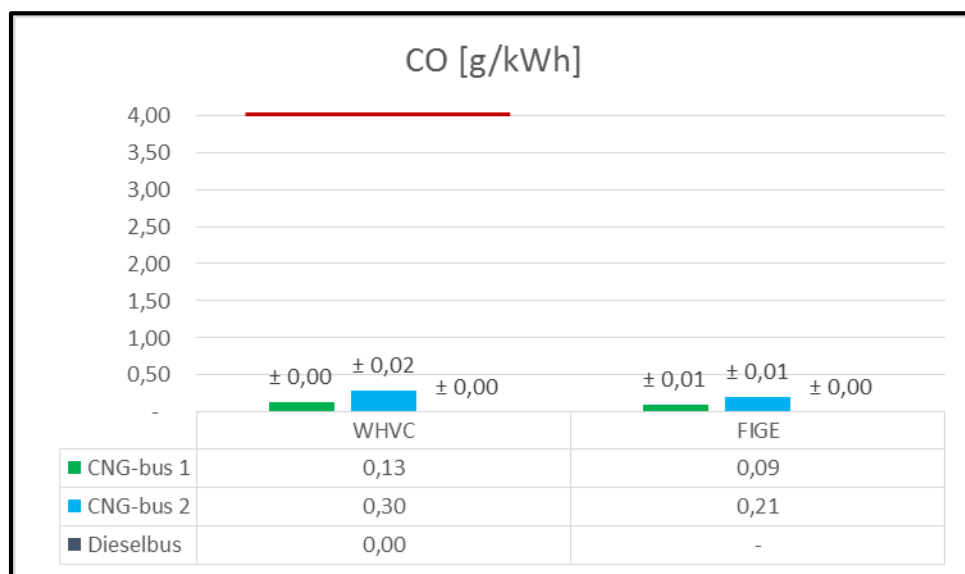
På "Neighborhood"-kørecyklussen er kuldioxidemissionerne højere grundet kørecyklussens udformning, og det ser ud til, at CNG-lastbilen ikke kan udnytte brændstoffet lige så effektivt som på WHVC-kørecyklussen. Værdien for både CNG og diesel er ca. 1070 g CO₂ pr. produceret kWh.

4.5. CO – kulilte

Kulilte, med den kemiske benævnelse CO, er en klar og lugtløs gasart, som er relativ giftig, idet den binder sig til de røde blodlegemer i blodet og dermed forhindrer blodets optagelse af ilt. Der er derfor fastlagt lave grænseværdier for udledning af CO i Euro VI-normerne.

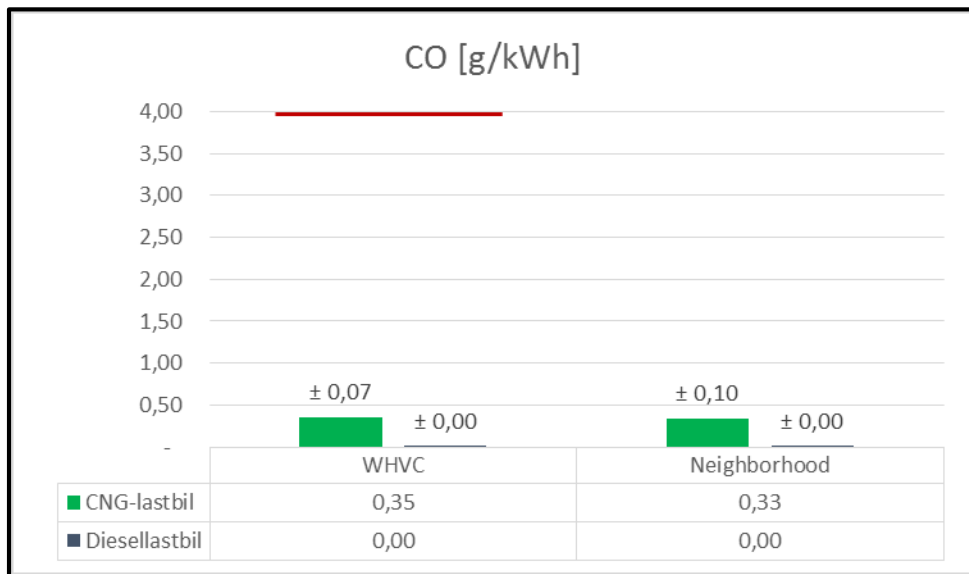
Der indgår kun ét iltatom i CO, hvor CO₂ har to. CO dannes typisk ved en ufuldstændig forbrænding, for eksempel i forbrændingsmotorer, der kører med luftunderskud. Normalt kører dieselmotorer med stort luftoverskud og har derfor kun meget lave koncentrationer af kulilte i udstødningen. Gasmotorer kører med balanceret forbrænding, hvor der netop er tilstrækkelig ilt til fuldstændig forbrænding. Der dannes dog stadig mindre mængder kulilte, som i alle moderne køretøjer omdannes til kuldioxid i en oxidationskatalysator, som sidder i udstødningen.

Et højt indhold af CO i udstødningen på CNG-motorer kan indikere, at motoren ikke er justeret korrekt, eller at der er fejl i motorens brændstofs-system, som medfører overdosering af brændstof. En oxidationskatalysator kan nemlig ikke oxidere CO til CO₂, hvis ikke der er ilt til rådighed.



Figur 20: CO – bus (Euro VI-grænseværdien er på 4 g/kWh)

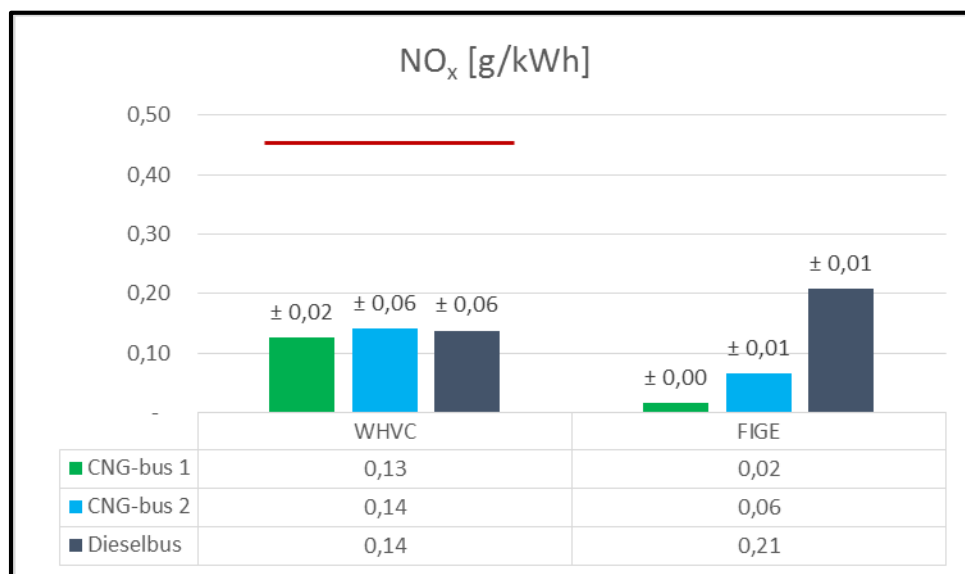
Kulilteemissionen for alle køretøjerne på alle kørecykluserne ligger meget langt fra grænseværdien for Euro VI for WHVC-testcyklussen (se afsnit 3.4.1) på 4,0 g CO pr. kWh.



Figur 21: CO – lastbil (Euro VI-grænseværdien er på 4 g/kWh)

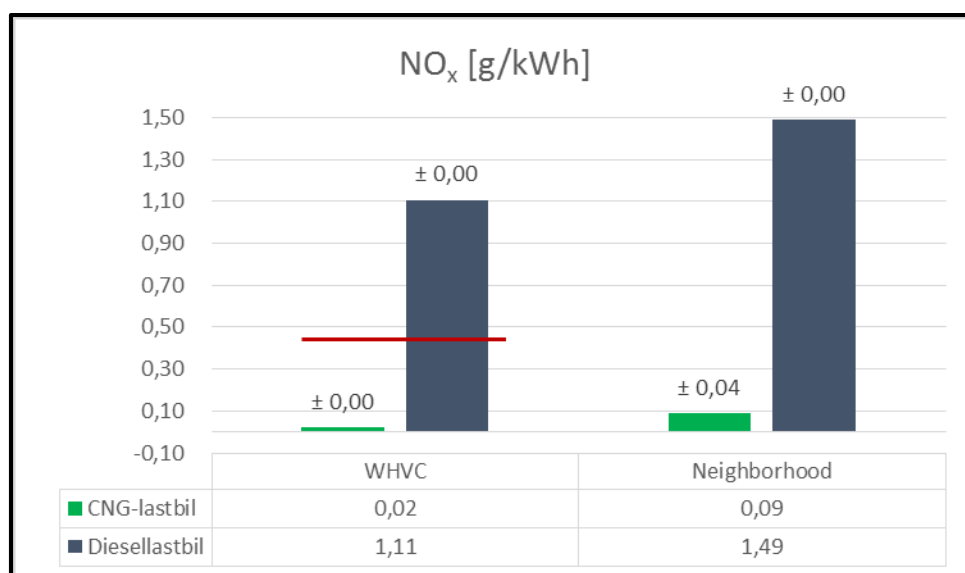
4.6. NO_x – kvælstofilter

Kvælstofilter, ofte forkortet NO_x, er en fællesbetegnelse for NO og NO₂, som er dannet af forbindelser mellem kvælstof og ilt. De bidrager til smog og luftvejslidelser og i mindre grad til drivhusgasser. NO_x er blandt de regulerede emissioner.



Figur 22: NO_x – bus (Euro VI-grænseværdien er på 0,46 g/kWh)

NO_x-emissionen (kvælstofilter) for alle busserne på WHVC-kørecyklussen ligger væsentligt under Euro VI-grænseværdien for WHVC-testcyklussen (se afsnit 3.4.1) på 0,46 g NO_x pr. kWh.



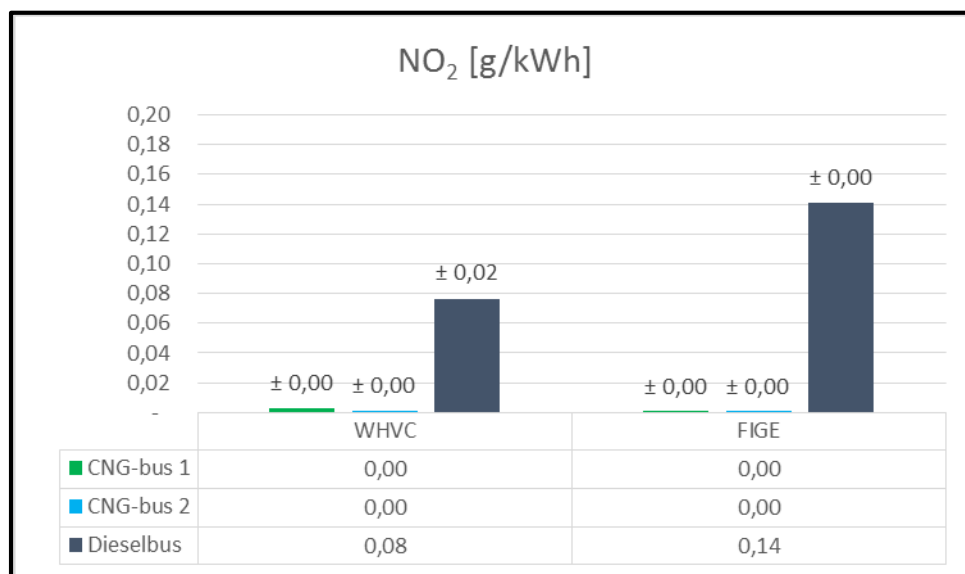
Figur 23: NO_x – lastbil (Euro VI-grænseværdien er på 0,46 g/kWh)

NO_x (kvælstofilter) fra CNG-lastbilen ligger meget lavt. På WHVC-kørecyklussen ligger den væsentligt under Euro VI-grænseværdien for WHTC-testcyklussen (se afsnit 3.4.1). For diesellastbilen ser det noget anderledes ud, da denne lastbil overskrider WHTC-grænseværdien på WHVC-kørecyklussen med mere end faktor 2. Det var forventeligt at se nogenlunde samme niveauer for NO_x-emissioner for dieselbussen og for diesellastbilen, da disse har identiske motorer, dog med variationer på grund af forskelle i belastningsmønstret. Diesellastbilen har endnu højere NO_x-emission på "Neighborhood"-kørecyklussen. "Neighborhood"-kørecyklussen har perioder med mange korte kørsler med tilhørende tomgang, hvilket simulerer indsamling af affald.

En årsag til, at diesellastbilen har høj NO_x-emission, er at SCR-efterbehandlingssystemet ikke fungerede optimalt i disse driftsmønstre. Enten var der fejl på SCR-efterbehandlingssystemet eller der kunne ikke opretholdes tilstrækkelig høj temperatur i SCR'en. Det vil kræve flere test og målinger, optimalt på flere forskellige Euro VI diesellastbiler med samme eller tilsvarende køretøjskonfiguration, for yderligere afklaring.

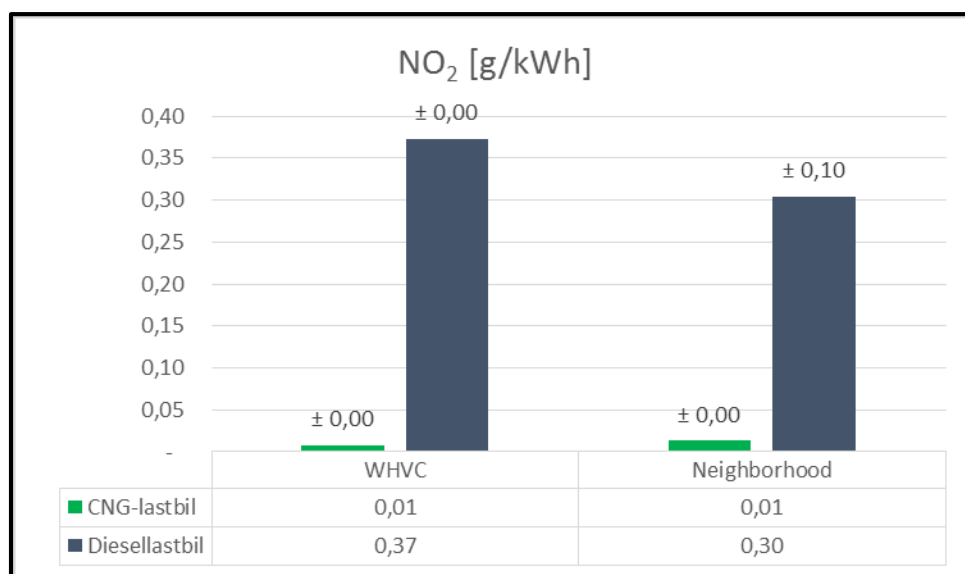
4.7. NO₂ – kvælstofdioxid

Kvælstofdioxid er en af de to gasarter, der har fælles betegnelsen NO_x. Kvælstofdioxid er ikke reguleret separat, men bidrager til NO_x-emissionen. Ved stuetemperatur og atmosfæriske tryk er stoffet en giftig gasart med en karakteristisk stikkende lugt.



Figur 24: NO₂ - bus

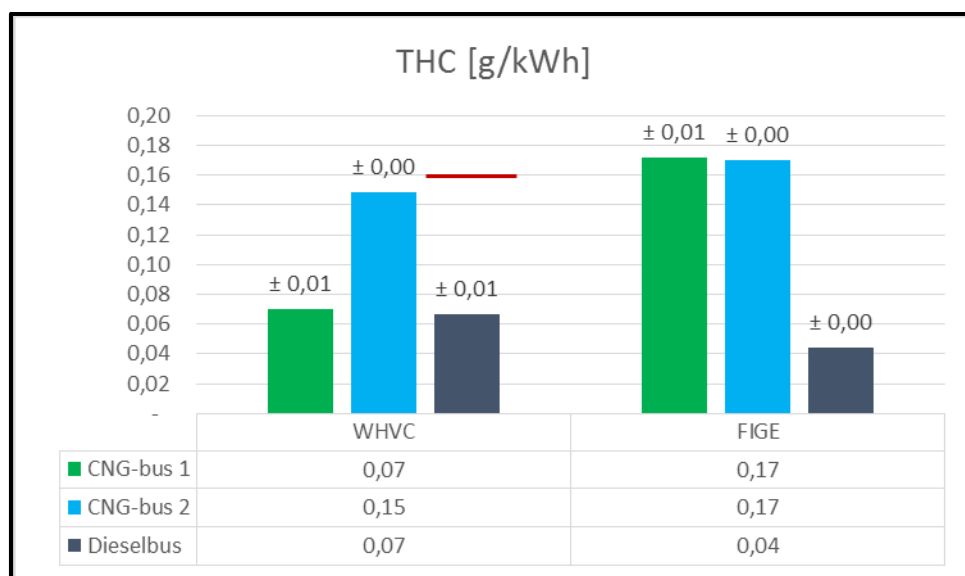
Kvælstofdioxid fra alle CNG-køretøjerne ligger mange gange lavere end kvælstofdioxid-emissionerne fra dieselskøretøjerne.



Figur 25: NO₂ – lastbil

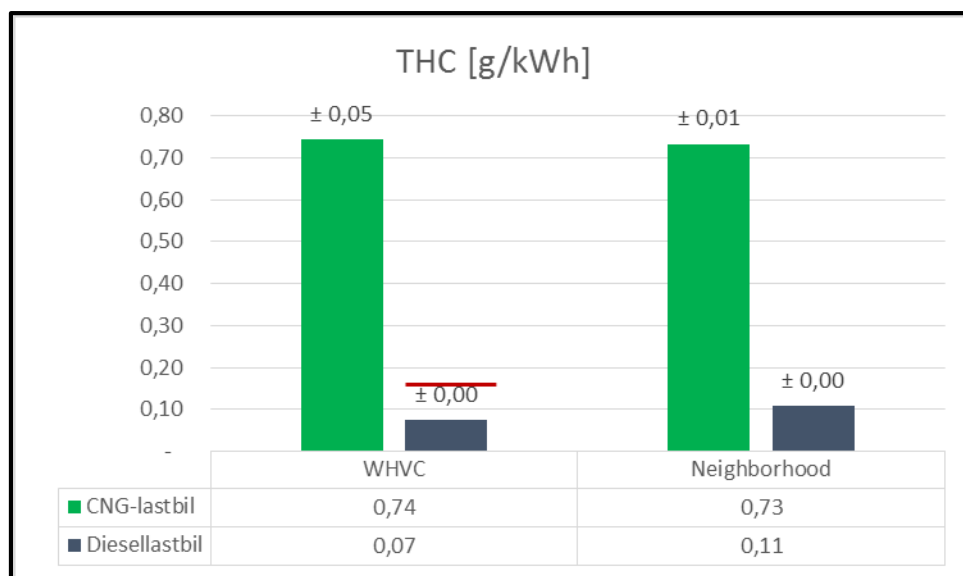
4.8. THC – total kulbrinte

Total kulbrinte (THC: total hydrocarbon) er en af de regulerede emissioner. Kulbrinterne bidrager i form af forbrændingsprodukter til skabelsen af typiske storbyproblematikker som smog og den generelle forurening af atmosfæren. THC-regulerede værdier gælder kun for dieselskøretøjer.



Figur 26: THC – bus (for diesel gælder Euro VI-grænseværdien er på 0,16 g/kWh)

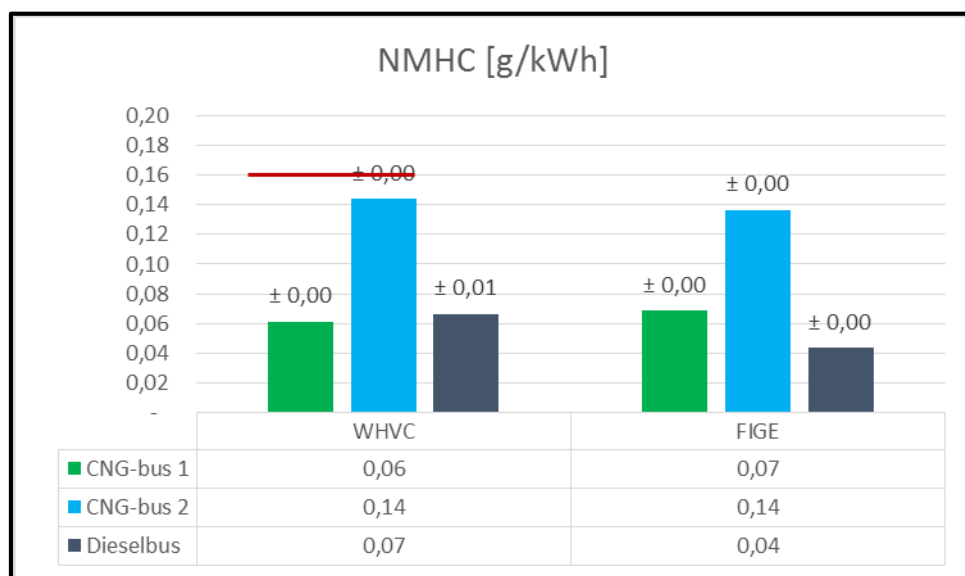
Både dieselbussen og diesellastbiler ligger ved test på WHVC-kørecyklussen under grænseværdien for THC ved WHVC-testcyklussen (se afsnit 3.4.1) på 0,16 g pr. kWh.



Figur 27: THC – lastbil (for diesel gælder Euro VI-grænseværdien er på 0,16 g/kWh)

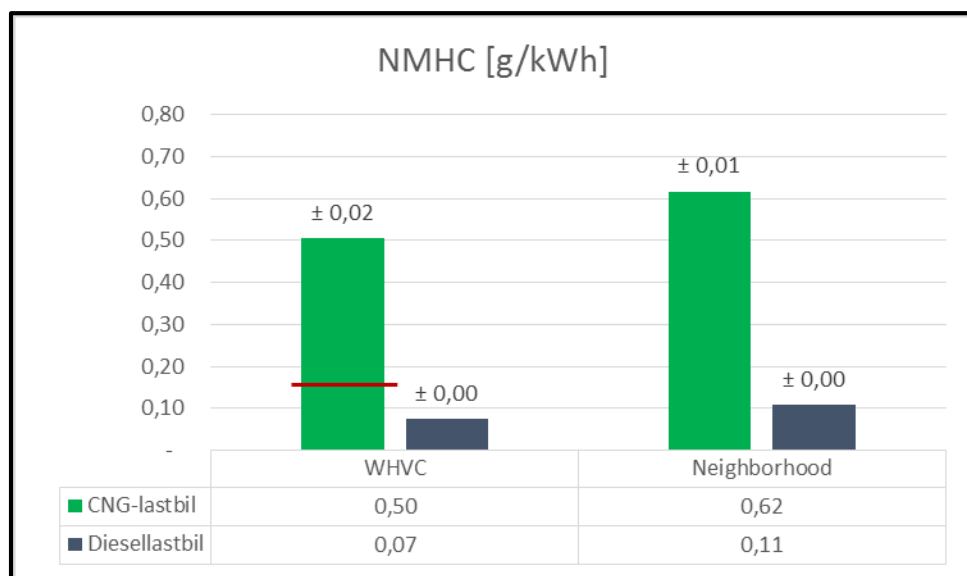
4.9. NMHC – alle ikke-metan kulbrinter

For alle ikke-metan kulbrinter, NMHC (Non-Methane Hydrocarbons), gælder grænseværdien kun for CNG-køretøjer.



Figur 28: NMHC – bus (for CNG gælder Euro VI-grænseværdien er på 0,16 g/kWh)

Begge CNG-busser ligger ved test på WHVC-kørecyklussen under grænseværdien for NMHC ved WHTC-testcyklussen (se afsnit 3.4.1) på 0,16 g pr. kWh.

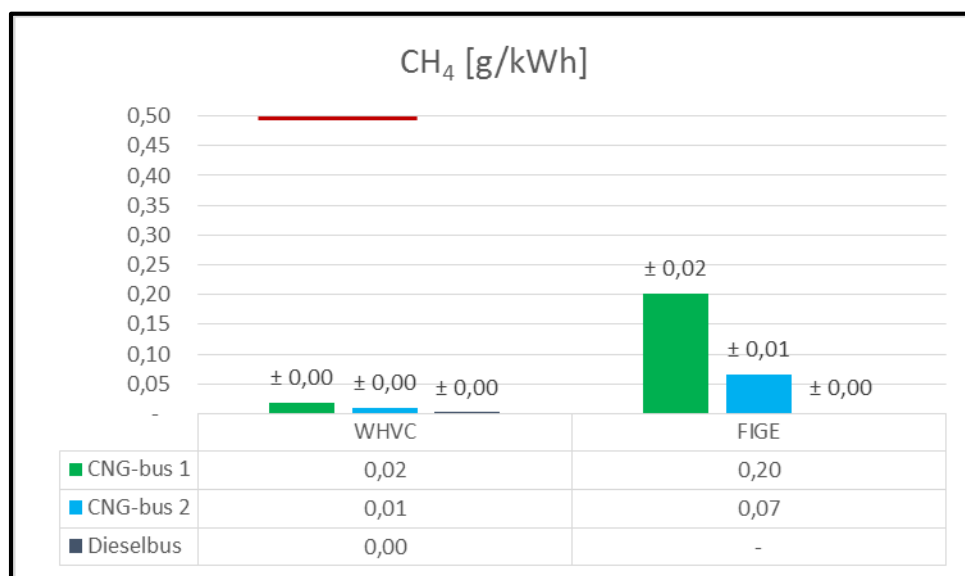


Figur 29: NMHC – lastbil (for CNG gælder Euro VI-grænseværdien er på 0,16 g/kWh)

CNG-lastbilen, testet på WHVC-kørecyklussen, overskrider væsentligt NMHC-grænseværdien for NMHC ved WHTC-testcyklussen (se afsnit 3.4.1) på 0,16 g pr. kWh. Det tyder på, at motoren har kørt med brændstofoverskud, altså fed blanding og dermed ikke støkiometrisk forbrænding. Dette kan underbygges af den højere kulilteemission sammenlignet med en identisk motor, se CO-værdien for CNG-lastbilen i Figur 21 sammenholdt med CO-værdien for CNG-bus 1 i Figur 20. Endvidere underbygges dette også af den lavere kvælstofilteremission sammenlignet med en identisk motor, se NO_x-værdien for CNG-lastbilen i Figur 23 sammenholdt med NO_x-værdien for CNG-bus 1 i Figur 22.

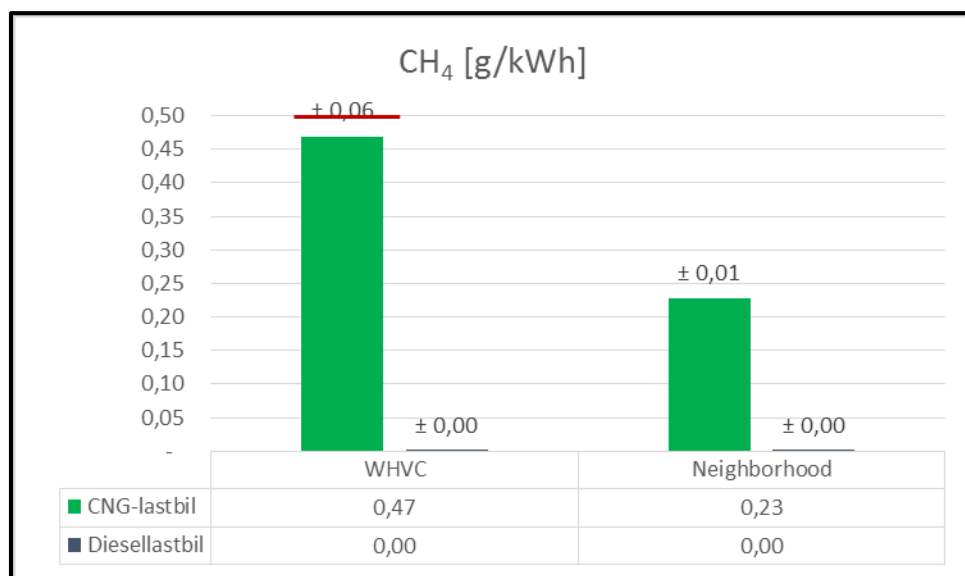
4.10. CH₄ – metanslip

Metan er en drivhusgas, der har over 20 gange større bidrag til drivhuseffekten end kuldi-oxid (CO₂). Metanemissionen er reguleret for CNG-køretøjerne.



Figur 30: CH₄ – bus (for CNG gælder Euro VI-grænseværdien er på 0,50 g/kWh)

Metanemissionen for alle busserne på WHVC-kørecyklussen ligger væsentligt under Euro VI-grænseværdien for WHTC testcyklussen (se afsnit 3.4.1) på 0,50 g CH₄ pr. kWh.

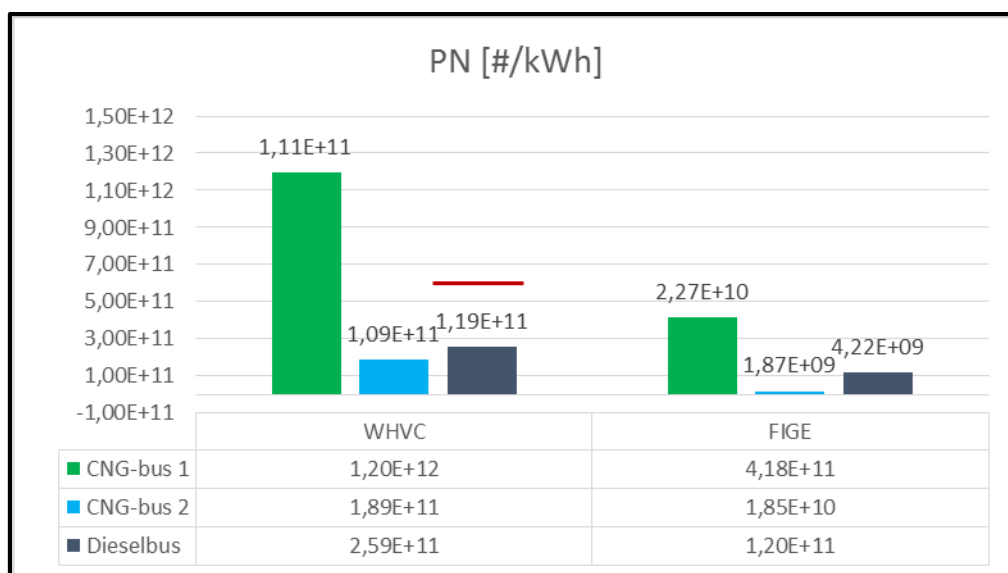


Figur 31 CH₄ – lastbil (for CNG gælder Euro VI-grænseværdien er på 0,50 g/kWh)

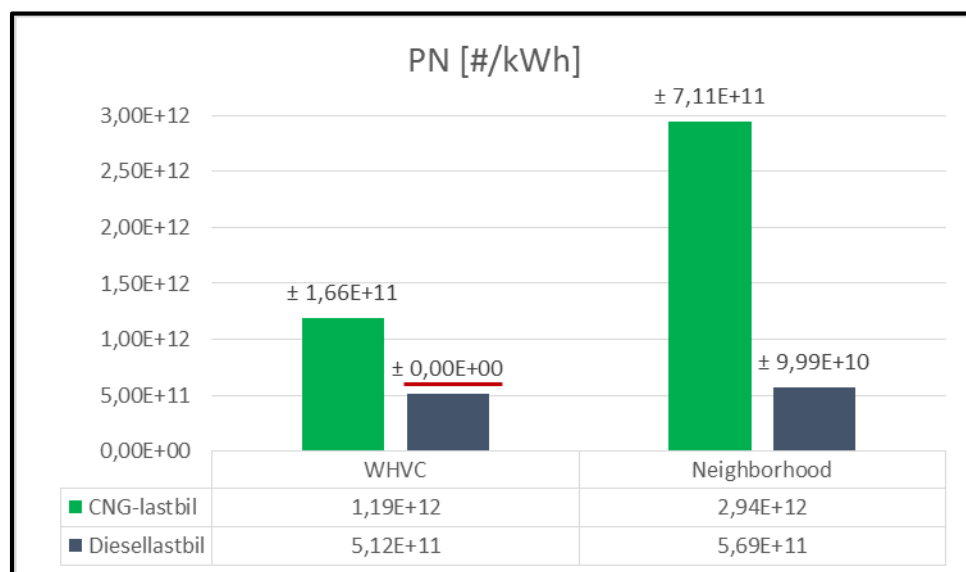
For CNG-lastbilen ligger metanemissionen på WHVC-kørecyklussen på 0,50 g CH₄ pr. kWh. Det underbygger, at motoren har kørt med fed blanding, altså med brændstofoverskud, se analysen nederst i afsnit 4.9.

4.11. PN – partikelantal

For de i dette måleprogram testede køretøjer er partikelemissionen kun reguleret for dieselskøretøjerne. CNG-køretøjerne er ikke regulerede, da de alle er indregistreret før 1. september 2014, der er starten på indfasningsperioden for krav til antal partikler, for køretøjer med motorer, der har styret tænding, hvilket motorerne i CNG-køretøjerne er. Indregistreringsdatoerne findes i Tabel 2. Emissionsgrænseværdierne findes i Tabel 13 og datoerne for indfasningsperioden findes i Tabel 14, række B. Det betyder, at nye CNG-køretøjer (Euro VI) jf. indfasningsperioden i løbet af de kommende år skal opfylde kravet til antal partikler. Grænseværdien for antal partikler er for Euro VI-køretøjer er på $6,0 \times 10^{11}$ pr. kWh på WHTC-testcyklussen (se afsnit 3.4.1).



Figur 32: Partikelantal for busserne (for diesel-køretøjet gælder Euro VI-grænseværdien er på $6,0 \times 10^{11}$ partikler pr. kWh)



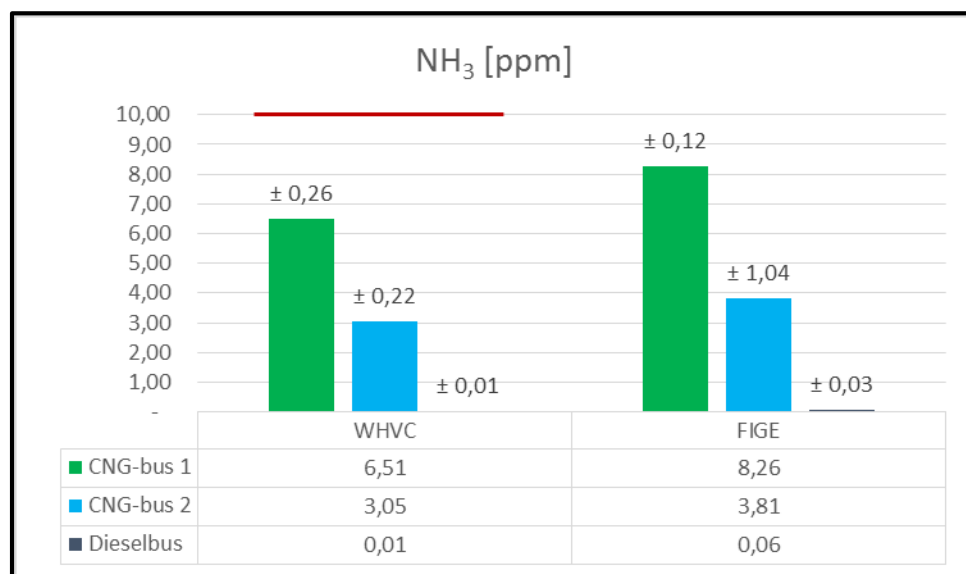
Figur 33: Partikelantal for lastbilerne (for diesel-køretøjet gælder Euro VI-grænseværdien er på $6,0 \times 10^{11}$ partikler pr. kWh)

Begge dieselreferencekøretøjer har partikelemission for WHVC-kørecykklussen, der ligger under Euro VI-grænseværdien målt i henhold til WHTC-testcyklussen (se afsnit 3.4.1).

Ingen af CNG-køretøjerne har partikelfiltre, og alligevel er de målte emissioner for partikelantallet meget lave. Der dannes meget lave koncentrationer af partikler ved forbrænding af CNG sammenlignet med forbrænding af diesel. De målte partikler for CNG-køretøjerne kan stamme dels fra forbrændingen af selve brændstoffet, forbrug og dermed forbrændingen af motorsmøreolie, dels fra forbrændingen af smøremiddel i selve gassen fra eksempelvis pumper, ventiler og fyldesystemer i gasnettet.

4.12. NH₃ – ammoniak

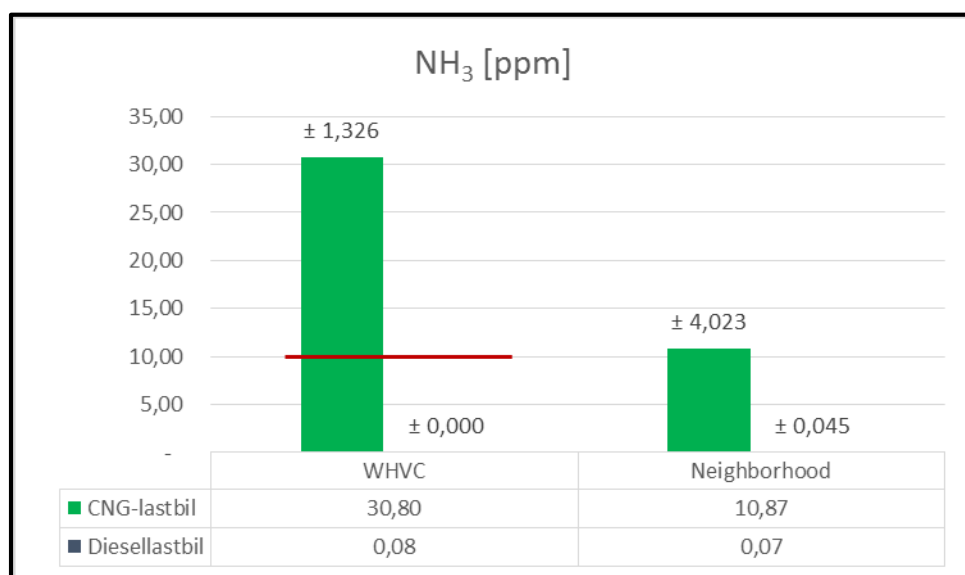
Ammoniak er relativt uskadeligt, men stærkt generende selv i meget lave koncentrationer. Ammoniak er reguleret for Euro VI med en grænseværdi på 10 ppm i gennemsnit.



Figur 34: NH₃ – bus (Euro VI-grænseværdien er på 10 ppm)

Alle busserne, både CNG-busserne og dieselreferencebussen, ligger ved test på WHVC-kørecyklussen under grænseværdien for ammoniak ved WHTC-testcyklussen (se afsnit 3.4.1) på 10 ppm.

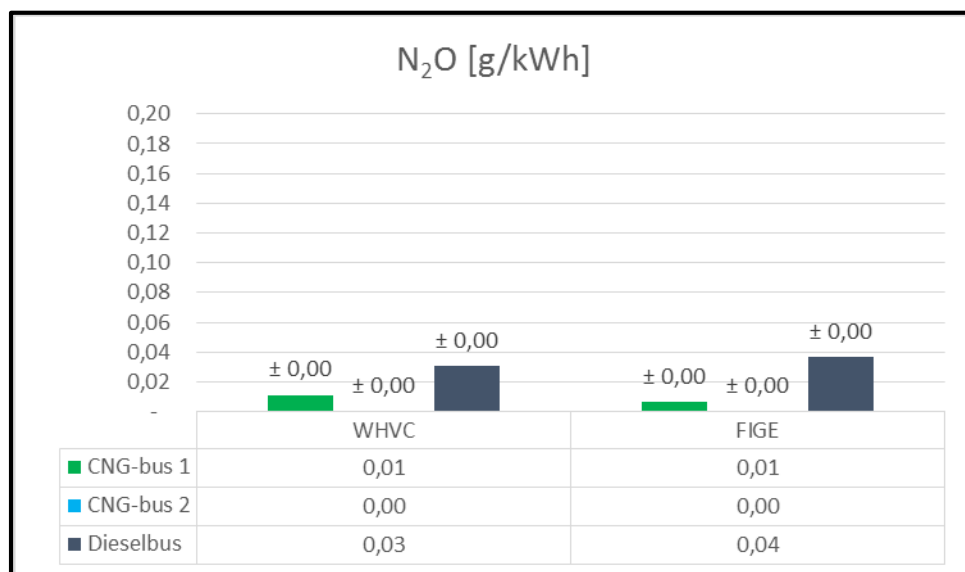
CNG-lastbilen overskrider på WHVC-kørecyklussen grænseværdien for ammoniak for WHTC-testcyklussen (se afsnit 3.4.1). Dette kan skyldes, at motoren kører med overskud af brændstof, hvilket medfører, at der dannes ammoniak i trevejskatalysatoren. Ammoniakken kan ikke stamme fra en SCR-katalysator, da CNG-busserne ikke er udstyret med en sådan.



Figur 35: NH₃ – lastbil (Euro VI-grænseværdien er på 10 ppm)

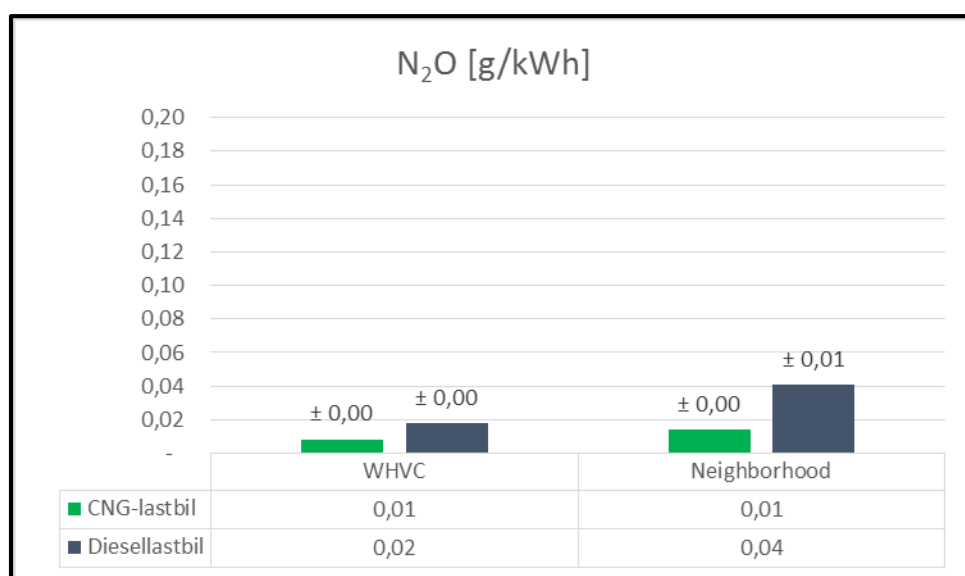
4.13. N₂O – lattergas

Lattergas (N₂O: dinitrogenoxid) er ved stuetemperatur og atmosfærisk tryk en farveløs, ikke-brændbar gas med en let sødlig lugt. Lattergas er en kraftigt virkende drivhusgas. Lattergas er en ureguleret emission.



Figur 36: N₂O - bus

Generelt er der målt lave emissioner af lattergas fra alle køretøjerne. Dog er lattergas-emission fra CNG-køretøjerne det halve eller mindre sammenlignet med lattergasemissionen fra dieselreferencekøretøjerne.



Figur 37: N₂O - lastbil

5. Beskrivelse af støjmålingerne

Formålet med de "simple" støjmålinger i måleprogrammet er at foretage sammenlignende støjmålinger for CNG-køretøjerne sammenholdt med dieselreferencekøretøjerne.

Lydtrykket måles både udvendigt og indvendigt i køretøjerne. Metodenumrene refererer til støjmålemetoderne i "Detailforskrifter for køretøjer".

Udvendigt foretages tre målinger, der er valgt ud fra støjmålingsmetoder til certificering, kombineret med en støjmålingsmetode anvendt i Italien. Netop disse tre målinger har Teknologisk Institut udvalgt med forventning om at kunne identificere forskelle mellem CNG-køretøjerne og dieselreferencekøretøjerne:

- Forbikørsel – Metode I
- 7 meter standmåling med forhøjet tomgang – Metode II
- Nærfeltsmåling med acceleration fra stilstand – målemetode anvendt i blandt andet Italien (external noise while leaving)

Indvendigt foretages to målinger på udvalgte positioner i køretøjerne. Netop disse to typer målinger har Teknologisk Institut udvalgt i forventning om at kunne identificere forskelle mellem CNG-køretøjerne og dieselreferencekøretøjerne:

- Ved tomgang
- Ved forhøjet tomgang (samme motoromdrejninger som ved Metode II)

"Simple" støjmålinger dækker over, at der ikke er tale om certificeringsmålinger af støjen, da krav til omgivelser, vejforhold, vejbelægning/vejoverflade, vejrforhold m.v. ved certificerede målinger vil kræve et meget større set-up, end dette måleprogram tillader.

Et område med lav baggrundsstøj ved Aarhus Havn blev valgt som testområde for alle bilerne på nær CNG-lastbilen, der blev støjmålt i et område med lav baggrundsstøj på Refshaleøen tæt ved vognmanden i København.

Testene er gennemført ved nogenlunde samme vejrtype: rolige vindforhold med vindhastighed under 5 m/s, tør vejoverflade og temperaturer mellem 3 og 7 °C. Køretøjerne var uden ekstra last. Se køretøjernes vægt ved støjtestene i Tabel 15.

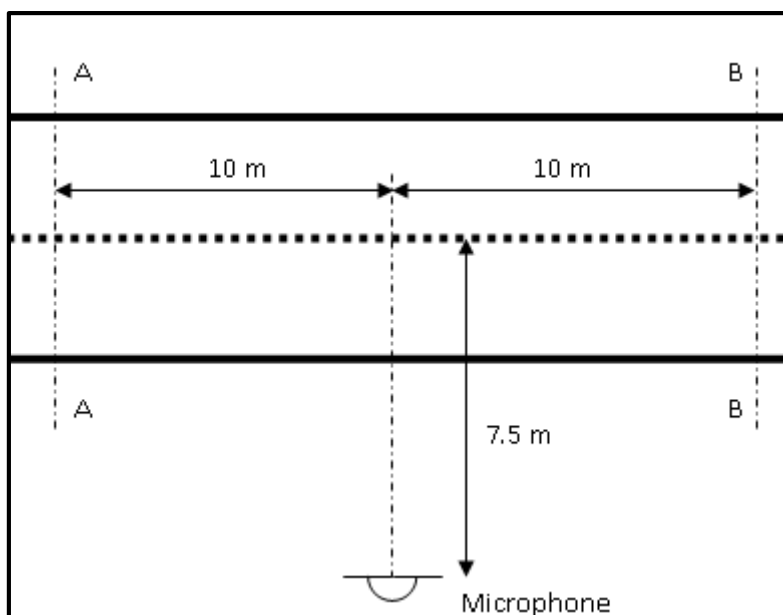
Test id	Vægt ved støjtest (ton)
CNG-lastbil	15,6
CNG-bus 1	12,9
CNG-bus 2	16,0
Dieselbus	15,0
Diesellastbil	15,9

Tabel 15: Køretøjernes vægt ved støjmålingerne

5.1. Fremgangsmåde

Forbikørsel - Metode I

Proceduren for måling af lydtrykket ved forbikørsel følger beskrivelsen i EC-direktivet 70/157. Køretøjet kører mod linje AA, som er placeret 10 meter fra mikrofonens plan, ved en konstant hastighed på 50 km/t. Når køretøjet rammer linjen AA, fortsætter bilen under fuld acceleration hen til linje BB (også placeret 10 meter fra mikrofonens plan), hvilket er afslutningen af målefeltet. Støjmålingen er det maksimale lydniveau, som er registreret af mikrofonen, der er placeret 7,5 meter fra køretøjets centerlinje. Se skitse i Figur 38. Mikrofonen er placeret i en højde af 1,2 meter. Målingerne foretages på både venstre og højre side af køretøjet.



Figur 38: Målefelt for forbikørselstest – Metode I

7 m standmåling – Metode II

Ved stilstand af køretøjet måles lydtrykket i en højde af 1,2 meter og i en afstand af 7,0 meter fra siden af køretøjet. Lydtrykket måles ud for midten af køretøjet. Der måles ved et motoromdrejningstal, forhøjet tomgang, på 75 % af omdrejningstallet ved maksimal effektafgivelse. På alle køretøjerne anvendes omdrejningstallet 1350 rpm som forhøjet tomgang. Der foretages målinger på både venstre og højre side af køretøjet.

Nærfeltsmåling – Leave/take-off

For at simulere igangsætning fra stoppested eller igangsætning til næste affaldsindsamling måles lydtrykket med fuld acceleration fra stilstand. Lydtrykket måles 1,0 meter fra siden af køretøjet, og lydmåleren er placeret i samme plan som køretøjets bagende, mens køretøjet holder stille.

Støjmålingen er det maksimale lydniveau, som er registreret af mikrofonen, når køretøjet sætter i gang med fuld acceleration og forlader mikrofonen. Mikrofonen er placeret i en højde af 1,2 meter. Målingerne foretages på både venstre og højre side af køretøjet. Se illustration i Figur 39.



Figur 39: Illustration af nærfeltsmåling

Indvendig måling

Lydtrykket ved indvendig støj måles i både tomgang og i forhøjet tomgang (beskrevet i "7 m standmåling – Metode II"). Mikrofonen er placeret i en højde af 1,2 meter og i køretøjets centerlinje. For busserne er målingerne gennemført bag i (ved næstsidste stolerække), midt i og foran i køretøjerne. For lastbilerne er målingerne gennemført midt i førerhusene.

5.2. Måleudstyr

Nedenstående prøvningsudstyr blev anvendt.

Component	Producent	Model	Type	Område	Usikkerhed
Brovægt	-	VejeBro Aarhus	-	60 tons	-
Vejrstation	Rosenborg	68700	-	-	-
GPS	Racelogic	P-Box	Datalogger	-	± 0,1 km/h
Lydmåler	Elma	1350 B	-	32-80, 50-100, 80-130dB	± 1,5 dB

Tabel 16: Liste over udstyr anvendt ved støjmålingerne

5.3. Spredning

Køretøjets støjniveau regnes som gennemsnit af tre gentagne målinger fra samme side af køretøjet. I de efterfølgende resultater er middelværdien af de tre gentagelser beregnet og præsenteret. Ligeledes er maksimumværdier og spredningen/standardafvigelsen bestemt. Standardafvigelse betyder kort fortalt observationernes gennemsnitlige afvigelse fra middeltallet.

6. Resultater af støjmålinger

Resultaterne af alle støjmålingerne er præsenteret i dette afsnit.

Enheden for lydmålingerne er dB(A). Det menneskelige øre oplever en ændring af lydtrykket på 3 dB(A) som en halvering, henholdsvis fordobling af støjen.

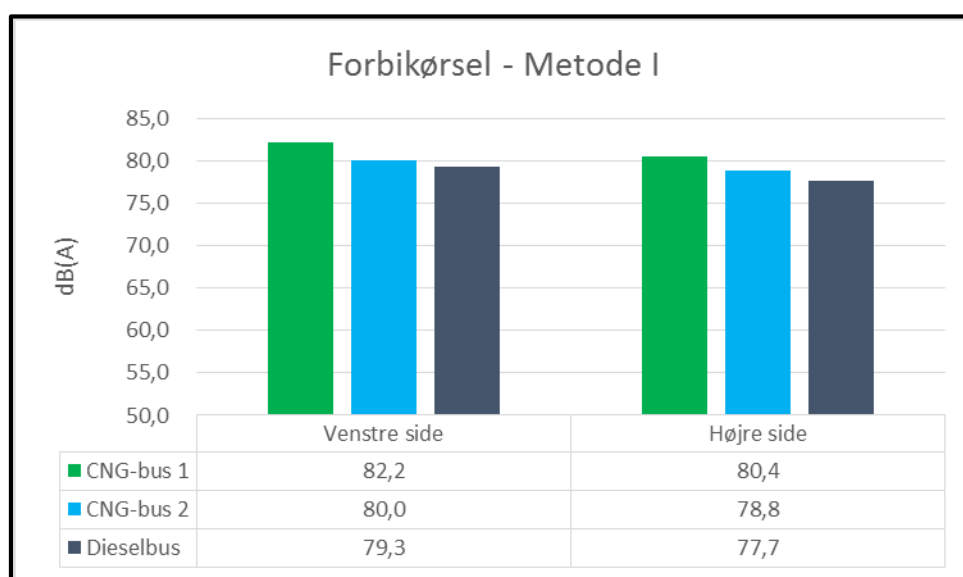
Den udvendige baggrundstøj har ved alle målinger været under 50 dB(A).

6.1. Støjtest på busserne – udvendigt

Ved testmetode I - forbikørsel – viser resultaterne fra CNG-busserne ingen væsentlig forskel fra resultaterne for dieselbussen. Det største lydtryk er for den 2-akslede CNG-bus 1, og det mindste lydtryk er for dieselbussen. Generelt er der målt et lidt større lydtryk på venstre side end på højre side af køretøjerne. Dette kan skyldes indretningen af motorrummet med ind sugning af køleluft og dermed "åbning" til motorrummet samt placering af afgangsrøret på udstødningssystemet, netop på venstre side, se Tabel 17 og Figur 40.

	CNG-bus 1		CNG-bus 2		Dieselbus		Metode I Forbikørsel
	V	H	V	H	V	H	
Test 1	82,5	80,5	80,1	78,4	79,5	77,6	
Test 2	82,0	80,5	79,5	79,3	79,2	77,9	
Test 3	82,1	80,3	80,5	78,7	79,3	77,5	
Gennemsnit	82,2	80,4	80,0	78,8	79,3	77,7	
Std. Afvigelse	0,2	0,1	0,4	0,4	0,1	0,2	
Maksimum	82,5	80,5	80,5	79,3	79,5	77,9	

Tabel 17: Testdata: Lydtryk målt i dB(A) fra busserne ved forbikørselstest – Metode I

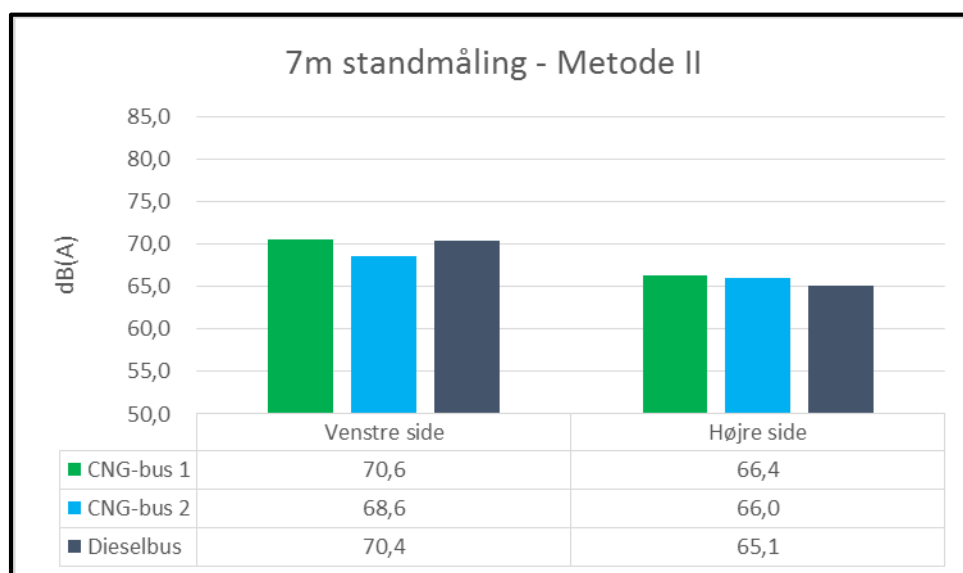


Figur 40: Lydtryk fra busserne ved forbikørselstest – Metode I

Ved testmetode II - 7 m standmåling – viser resultaterne fra CNG-busserne ingen væsentlig forskel fra resultaterne for dieselbussen. Det ses, at busserne generelt har større lydtryk fra venstre side af køretøjerne end fra højre side, se Tabel 18 og Figur 41.

	CNG-bus 1		CNG-bus 2		Dieselbus		Metode II 7m standmåling rpm: 1350
	V	H	V	H	V	H	
Test 1	70,5	66,7	68,1	66,2	70,2	65,3	
Test 2	70,7	66,1	69,1	66,3	70,5	64,9	
Test 3	70,5	66,3	68,5	65,5	70,5	65,0	
Gennemsnit	70,6	66,4	68,6	66,0	70,4	65,1	
Std. Afvigelse	0,1	0,2	0,4	0,4	0,1	0,2	
Maksimum	70,7	66,7	69,1	66,3	70,5	65,3	

Tabel 18: Testdata: Lydtryk målt i db(A) fra busserne ved 7 m standmåling – Metode II

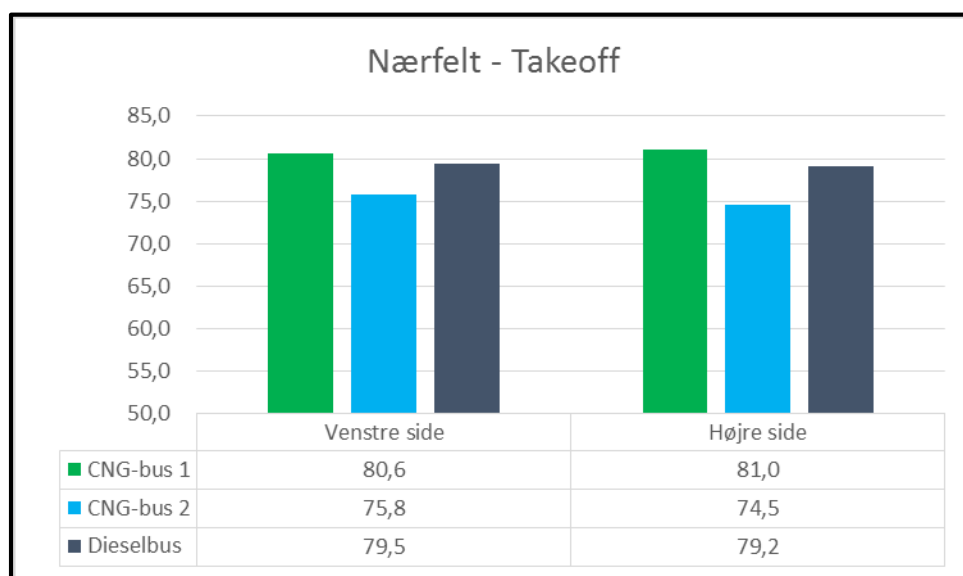


Figur 41: Lydtryk fra busserne ved 7 m standmåling – Metode II

Ved nærfeltsmålingen – take-off – viser resultaterne fra CNG-busserne ingen væsentlig forskel fra resultaterne for dieselbussen. CNG-bus 1 og dieselbussen har det største lydtryk, mens CNG-bus 2 har det væsentligt mindste lydtryk. Årsagen kan være motoren/køretøjets fabrikat og/eller strategien for acceleration af motorens omdrejningstal ved fuld acceleration af køretøjet. Lydtrykket fra venstre og højre side er næsten det samme for hvert enkelt køretøj. Se Tabel 19 og Figur 42.

	CNG-bus 1		CNG-bus 2		Dieselbus		Nærfeltmåling Leave/takeoff
	V	H	V	H	V	H	
Test 1	80,5	81,1	75,5	74,5	79,7	79,3	
Test 2	80,2	81,3	76,5	74,1	79,2	79,1	
Test 3	81,1	80,6	75,4	74,9	79,5	79,1	
Gennemsnit	80,6	81,0	75,8	74,5	79,5	79,2	
Std. Afvigelse	0,4	0,3	0,5	0,3	0,2	0,1	
Maksimum	81,1	81,3	76,5	74,9	79,7	79,3	

Tabel 19: Testdata: Lydtryk målt i db(A) fra busserne ved acceleration fra stilstand (Nærfelt – Take-off)



Figur 42: Lydtryk fra busserne ved acceleration fra stilstand (Nærfelt – Take-off)

6.2. Støjtest på busserne – indvendigt

Ved indvendige støjmålinger er der mange faktorer, som har indflydelse på resultaterne. Som bekendt er motorerne i busserne placeret bagerst og chaufføren forrest. Under testene opstod der forskellige resonanser i køretøjerne under henholdsvis tomgang og forhøjet tomgang - både resonanser fra opbygning af køretøjet, men væsentligt også fra eftermonteret udstyr indvendigt i bussen såsom skilte, monitører, betalingsudstyr m.v. Se resultater i Tabel 20, Tabel 21 og Figur 43.

I tomgang var lydtrykket midt i og foran i dieselbussen væsentligt større end tilsvarende for CNG-busserne. Mens lydtrykket bag i, tæt på motoren, var nogenlunde det samme.

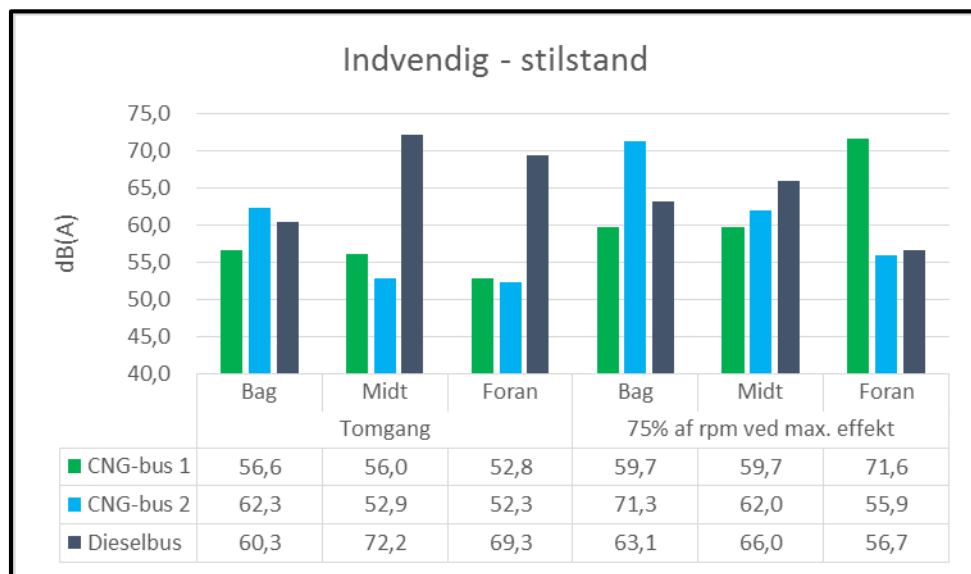
Ved forhøjet tomgang ændrede fordelingen af lydtrykkene sig. For dieselbussen blev lydtrykket reduceret midt i og foran, mens det blev marginalt større bag i. For CNG-bus 1 blev lydtrykket øget i forhold til i tomgang, dog med størst forøgelse målt foran i bussen. For CNG-bus 2 blev lydtrykket øget generelt med størst lydtryk målt bag i bussen.

	CNG-bus 1			CNG-bus 2			Dieselbus			Tomgang
	Bag	Midt	Foran	Bag	Midt	Foran	Bag	Midt	Foran	
Test 1	56,6	56,0	52,8	61,9	52,3	51,6	60,0	72,1	69,6	
Test 2	56,6	56,0	52,7	63,0	53,2	52,7	60,5	72,2	69,1	
Test 3	56,5	56,1	52,9	61,9	53,2	52,7	60,5	72,3	69,3	
Gennemsnit	56,6	56,0	52,8	62,3	52,9	52,3	60,3	72,2	69,3	
Std. Afvigelse	0,0	0,0	0,1	0,5	0,4	0,5	0,2	0,1	0,2	
Maksimum	56,6	56,1	52,9	63,0	53,2	52,7	60,5	72,3	69,6	

Tabel 20: Testdata: Lydtryk db(A) indvendigt i busserne - målt bagerst, midt i samt forrest ved tomgang

	CNG-bus 1			CNG-bus 2			Dieselbus			75% af rpm ved max. Effekt
	Bag	Midt	Foran	Bag	Midt	Foran	Bag	Midt	Foran	
Test 1	59,7	59,7	71,7	69,4	61,5	56,0	63,0	66,0	56,8	
Test 2	59,8	59,7	71,2	72,2	62,2	56,0	63,1	66,2	56,7	
Test 3	59,6	59,8	71,9	72,3	62,4	55,8	63,3	65,7	56,5	
Gennemsnit	59,7	59,7	71,6	71,3	62,0	55,9	63,1	66,0	56,7	
Std. Afvigelse	0,1	0,0	0,3	1,3	0,4	0,1	0,1	0,2	0,1	
Maksimum	59,8	59,8	71,9	72,3	62,4	56,0	63,3	66,2	56,8	

Tabel 21: Testdata: Lydtryk db(A) indvendigt i busserne - målt bagerst, midt i samt forrest ved 75% af rpm ved max. Effekt



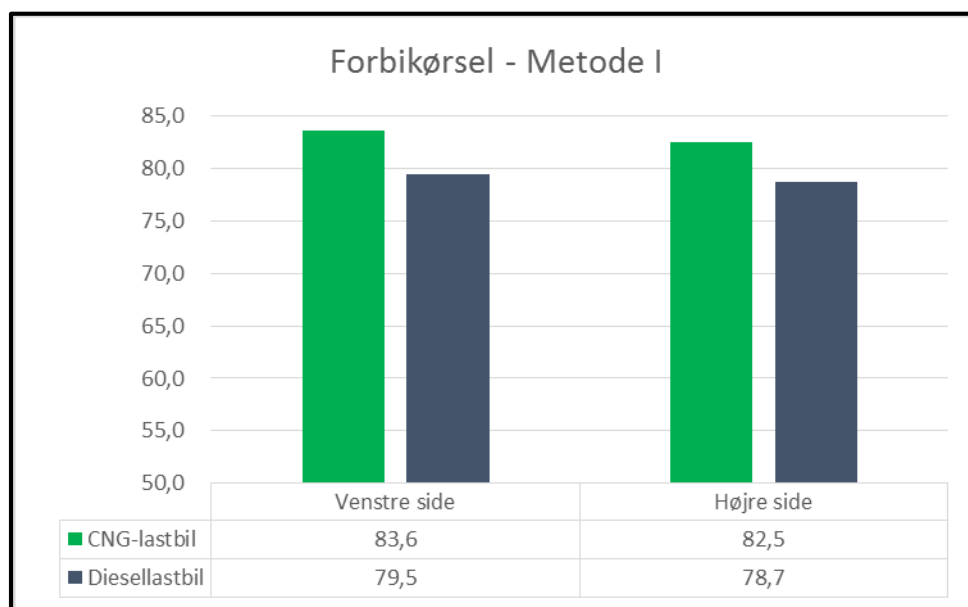
Figur 43: Lydtryk indvendigt i busserne - målt bag i, midt i samt foran i busserne

6.3. Støjtest på lastbilerne – udvendigt

Ved testmetode I - forbikørselstest af lastbilerne ses det, at lydtrykket for CNG-lastbilen er større end diesellastbilen. Dette kan skyldes forskel i dækmærke/fabrikat, da dækstøj ofte er dominant ved forbikørsel med 50 km/t. Se resultater i Tabel 22 og Figur 44.

	CNG-lastbil		Diesellastbil		Metode I Forbikørsel
	V	H	V	H	
Test 1	83,3	83,0	79,5	78,8	
Test 2	83,7	82,2	79,4	78,9	
Test 3	83,7	82,2	79,5	78,4	
Gennemsnit	83,6	82,5	79,5	78,7	
Std. Afvigelse	0,2	0,4	0,0	0,2	
Maksimum	83,7	83,0	79,5	78,9	

Tabel 22: Testdata: Lydtryk db(A) fra lastbilerne ved forbikørselstest – Metode I

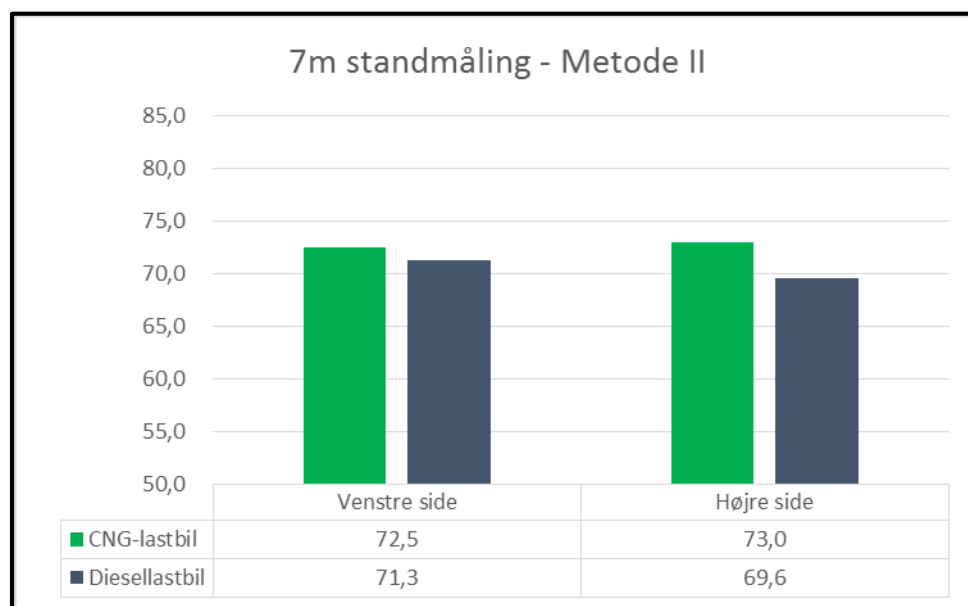


Figur 44: Lydtryk fra lastbilerne ved forbikørselstest – Metode I

Ved testmetode II – 7 m standmåling – viser resultaterne fra CNG-køretøjet ingen væsentlig forskel fra resultaterne for diesellastbilen. Lydtrykket fra diesellastbilen er mindre end for CNG-lastbilen. Se Tabel 23 og Figur 45.

	CNG-lastbil		Diesellastbil		Metode II 7m standmåling rpm: 1350
	V	H	V	H	
Test 1	72,4	73,1	70,8	69,4	
Test 2	72,7	73,0	71,2	70,0	
Test 3	72,4	72,9	71,8	69,4	
Gennemsnit	72,5	73,0	71,3	69,6	
Std. Afvigelse	0,1	0,1	0,4	0,3	
Maksimum	72,7	73,1	71,8	70,0	

Tabel 23: Testdata: Lydtryk db(A) fra lastbilerne ved 7 m standmåling – Metode II

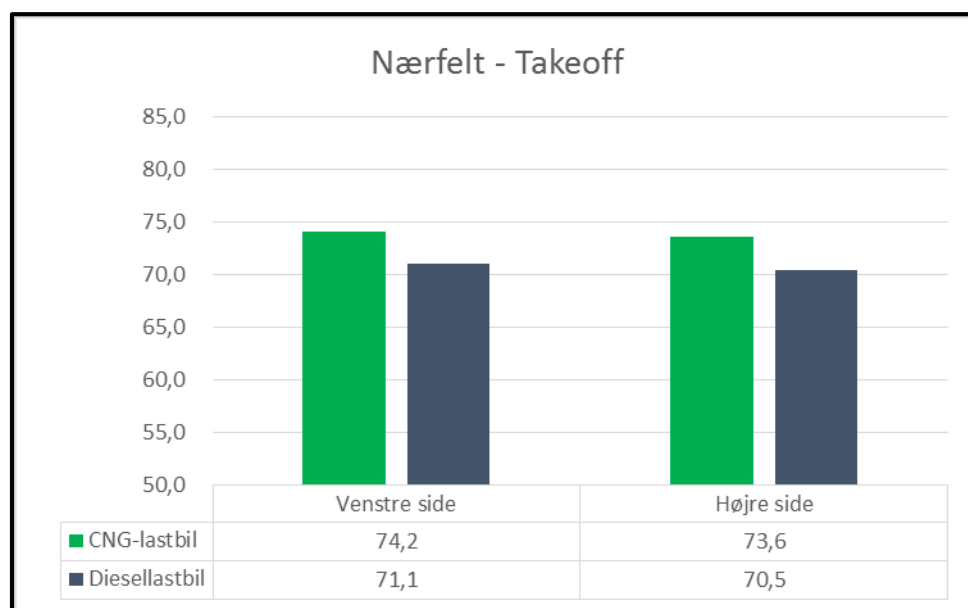


Figur 45: Lydtryk fra lastbilerne ved 7 m standmåling – Metode II

Ved nærfeltsmålingen – take-off – af lastbiler ses det, at diesellastbilen har et væsentligt mindre lydtryk end CNG-lastbilen. Forskellen skal findes i transmissionen. Diesellastbilen har en anden type transmission, se Tabel 7. For den automatiserede manuelle gearkasse på diesellastbilen er strategien for oprampningen af motoromdrejningerne sammenlignet med en traditionel automatgearkasse meget anderledes. Resultatet ses af lydmålingerne i Tabel 24 og Figur 46.

	CNG-lastbil		Diesellastbil		Nærfeltmåling Leave/takeoff
	V	H	V	H	
Test 1	74,4	73,5	70,8	71,2	
Test 2	74,3	73,9	71,6	69,9	
Test 3	73,8	73,4	70,8	70,3	
Gennemsnit	74,2	73,6	71,1	70,5	
Std. Afvigelse	0,3	0,2	0,4	0,5	
Maksimum	74,4	73,9	71,6	71,2	

Tabel 24: Testdata: Lydtryk db(A) fra lastbilerne ved acceleration fra stilstand (Nærfelt – take-off)



Figur 46: Lydtryk fra lastbilerne ved acceleration fra stilstand (Nærfelt – Take-off)

6.4. Støjtest på lastbilerne – indvendigt

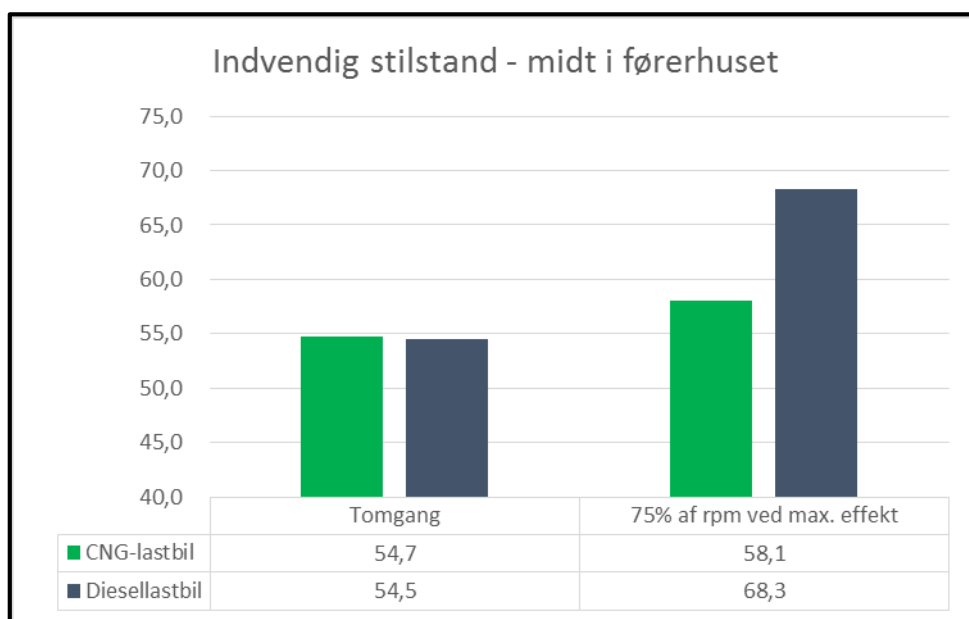
Ved indvendige støjmålinger på lastbilerne blev lydtrykket kun målt midt i førerhuset. Som bekendt er motorerne på lastbilerne placeret under førerhuset. Under tomgang var lydtrykket næsten identisk for CNG-lastbilen og diesellastbilen. Ved forhøjet tomgang var lydtrykket væsentligt mindre for CNG-lastbilen sammenlignet med diesellastbilen. Se resultater i Tabel 25, Tabel 26 og Figur 47.

	CNG-lastbil	Diesellastbil	Tomgang
	Førerhus	Førerhus	
Test 1	54,7	54,3	
Test 2	54,8	54,5	
Test 3	54,6	54,8	
Gennemsnit	54,7	54,5	
Std. Afvigelse	0,1	0,2	
Maksimum	54,8	54,8	

Tabel 25: Testdata: Lydtryk indvendigt i lastbilerne - målt midt i førerhuset ved tomgang

	CNG-lastbil	Diesellastbil	75% af rpm ved max. Effekt
	Førerhus	Førerhus	
Test 1	58,2	68,3	
Test 2	58,1	68,5	
Test 3	58,0	68,1	
Gennemsnit	58,1	68,3	
Std. Afvigelse	0,1	0,2	
Maksimum	58,2	68,5	

Tabel 26: Testdata: Lydtryk indvendigt i lastbilerne - målt midt i førerhuset ved 75 % af rpm ved maks. effekt



Figur 47: Lydtryk indvendigt i lastbilerne - målt midt i førerhuset

7. Konklusion

Teknologisk Institut har for Trafik- og Byggestyrelsen og EUDP gennemført et måleprogram på fem forskellige tunge erhvervskøretøjer. Formålet var at sammenligne brændstofforbrug, energiforbrug og emissionsniveauer inklusiv støj-emissioner fra naturgasdrift (CNG) af tunge erhvervskøretøjer med tilsvarende køretøjer drevet af diesel.

Der er testet to CNG-busser, en dieselreferencebus, en CNG-lastbil og en dieselreference-lastbil. Alle køretøjer er klassificeret efter Euro VI-emissionsnormen. Måleprogrammet udgør endvidere et bidrag til det internationale "IEA AMF Annex 49 – COMVEC"-program.

Brændstofforbrug og energiforbrug

Resultater for brændstofforbrug og energiforbrug viser følgende:

- Kørselsmønstre med flest stop og flest accelerationer gav det største energiforbrug for alle køretøjer. Endda selvom gennemsnitshastigheden var lav.
- Alle CNG-køretøjer havde et større energiforbrug end dieselkøretøjerne.
- CNG-køretøjerne brugte mere energi for at yde det samme arbejde sammenlignet med dieselreferencekøretøjerne.
- For de to CNG-busser var der markante forskelle på virkningsgraden. Mens CNG-bus 1 havde et energiforbrug, der var 25-30% større end for dieselreferencebussen, så havde CNG-bus 2 et energiforbrug, der var 70-75% større end for dieselreferencebussen.
- For CNG-lastbilen var energiforbruget 6% til 30% større end for dieselreference-lastbilen afhængig af kørslen. Forskellen for energiforbruget var størst ved simulering af kørsel med mange start stop som for eksempel ved renovationskørsel og kørsel i tæt bytrafik.

Emissionsniveauer

Resultaterne af emissionsmålingerne peger i forskellige retninger. De væsentligste resultater er opsummeret her:

CO₂ - kuldioxid

- CNG-motorerne var ikke så effektive som dieselmotorerne. Derfor var der ingen eller mindre CO₂-fordel end forventet ved anvendelse af CNG i forhold til, at CO₂-emissionsfaktoren ved forbrænding af CNG er cirka 20% lavere end ved forbrænding af diesel.
- CNG-bus 1 og CNG-lastbilen havde omtrent samme eller kun lidt lavere CO₂-emission sammenlignet med dieselreferencekøretøjerne.
- CNG-bus 2 havde en væsentlig dårligere udnyttelse af brændstoffet og dette køretøj havde omkring 50% større CO₂-emission end dieselreferencebussen.
- CNG-lastbilen skiller sig ud ved på et af køremønstrene at have 20% mindre CO₂-emission sammenlignet med dieselreferencelastbilen.

NO_x – kvælstofilter

- CNG-køretøjerne havde samme eller væsentlig lavere NO_x-emission sammenlignet med dieselreferencekøretøjerne.
- NO_x-emissionerne for alle CNG-køretøjerne lå væsentligt under Euro VI-grænseværdien.
- Diesellastbilen overskred grænseværdien for NO_x med mere end faktor 2. En årsag til, at diesellastbilen havde høj NO_x-emission kan være, at efterbehandlingssystemet for NO_x (SCR) muligvis ikke kunne opretholde tilstrækkelig høj temperatur på grund af køremønstret og derfor ikke fungerede optimalt.

CH₄ - metanslip

- For begge CNG-busser lå metanemissionen væsentligt under Euro VI-grænseværdien.
- For CNG-lastbilen var metanemissionen mange gange højere end de to CNG-busser, men dog under grænseværdien. Motoren har måske kørt med brændstofoverskud.

Partikler

- CNG-bus 2 havde lavere udslip af partikler sammenlignet med dieselreferencebusen.
- CNG-bus 1 og CNG-lastbilen havde lidt højere partikeludslip sammenlignet med dieselreferencekøretøjerne, dog fortsat meget lave værdier. CNG-køretøjerne er, modsat EURO-VI dieselkøretøjerne, ikke udstyret med partikelfilter.

Støjmissioner

Resultaterne af støjmålingerne viste ingen stor forskel på CNG- og dieselkøretøjerne:

- Ved de udvendige standmålinger og målinger ved forbikørsel viser resultaterne ingen væsentlige forskelle for CNG-køretøjerne sammenlignet med dieselreferencekøretøjerne.
- Ved støjmålingerne af acceleration fra stilstand havde CNG-bus 2 blandt busserne og dieselreferencelastbil for lastbilerne det laveste lydtryk. Teknologisk Institut vurderer, at støjen ikke alene afhænger af, om det er et CNG- eller et dieselkøretøj, men primært skyldes for eksempel gearkaseteknologi og speederrespons.
- Ved indvendige støjmålinger af busserne var der mange faktorer, som havde indflydelse på resultaterne. Under testene opstod der forskellige resonanser i køretøjerne under henholdsvis tomgang og forhøjet tomgang.
- Ved indvendige støjmålinger på lastbilerne var lydtrykket ved tomgang næsten identisk for CNG-lastbilen og diesellastbilen og ved forhøjet tomgang var lydtrykket væsentligt mindre for CNG-lastbilen sammenlignet med diesellastbilen.

Opsummering

- CNG-køretøjerne gav generelt ikke store miljøfordele sammenlignet med moderne dieselkøretøjer. Dog leder anvendelsen af CNG (naturgas) hen mod anvendelse af biogas, der har klima- og ressourcemæssige fordele, men dette emne er ikke omfattet af denne rapport.

- Energiforbruget var generelt højere på de målte CNG-køretøjer i forhold til dieselreferencekøretøjerne, hvilket i flere tilfælde udhuler en forventet CO₂ besparelse på CNG-køretøjerne.
- Kørsel på CNG giver generelt samme eller højere CO₂ udledning end diesel, dog var CO₂ udledning lavere for CNG-lastbilen på et af kørselsmønstrene.
- Kørsel på CNG kan give NO_x reduktion i forhold til diesel.
- Kørsel på CNG giver generelt lave emissioner af antal partikler, dog havde flere CNG-køretøjer højere emissioner af antal partikler end dieselreferencekøretøjerne. CNG-køretøjerne er, modsat EURO-VI dieselskøretøjerne, ikke udstyret med partikelfilter.
- Resultaterne for CNG-køretøjerne var forskellige og afhæng af motorteknologien.
- CNG-køretøjerne viste kun lille forskel på den målte støj i forhold til diesel.

De generelle måleusikkerheder vurderes at være ubetydelige, set i forhold til de i rapporten sammenlignede resultater. Der kan dog være tilfældige udsving, der påvirker måleresultaterne. Dette vil kunne identificeres ved at udføre målinger på flere køretøjer end der var muligt i dette måleprogram.