



BUSSIKALUSTON PAKOKAASUPÄÄSTÖJEN EVALUOINTI 2002 – 2004: TIIVISTELMÄ

Kirjoittajat: Nils-Olof Nylund & Kimmo Erkkilä

TIIVISTELMÄ

Vuosina 2002 – 2004 VTT:llä mitattiin yhteensä 34 erilaista kaupunkibussia. Autot edustivat Euro 1 – EEV päästoluokkia. Kansallisen bussihankkeen puitteissa autoista mitattiin säännellyt päästöt ja CO₂. Rinnan kansallisen hankkeen kanssa toteutettiin perusteellinen uusimpien diesel- ja maakaasuautojen päästövertailu. Kaikki mittaukset tehtiin VTT:n uudessa alustadynamometrissa. Mittausten tuloksena syntyy todenperäisiä ominaispäästöarvoja muodossa g/km. Mittausmenetelmän ansiosta tulokset heijastavat edustavia ajotapahtumia ja lisäksi myös koko ajoneuvon ominaisuuksia, ei pelkästään moottorin ominaisuuksia.

Säännellyissä päästöissä oli huomattavaa hajontaa Euro 1 dieselautojen ja EEV kaasuautojen muodostaessa ääripäät. NO_x päästö vaihtelee 20 g - 2 g/km, joista jälkimmäinen arvo saavutetaan kehittyneimmillä kaasuautoilla. Hiukkasten osalta hajonta on vieläkin suurempaa lukuarvojen ollessa 0,6 – 0,003 g/km, ts. ero pienimmän ja suurimman arvon välillä on 200 –kertainen. Lohdullista on, että todelliset päästöt näyttäisivät olevan laskusuunnassa kehittyvien Euro –luokkien myötä. CO₂ päästöjen ja energian kulutuksen osalta vaihtelukerroin on suurempi kuin 1,5. Alhaisin CO₂ päästö saavutettiin uudella stoikiometrisella maakaasuautolla, suurin paljon ajotulla dieselautolla.

Tutkimuksessa kiinnitettiin erityistä huomiota matalapäästöisten autojen hiukkaspäästöihin. Yhteensä mitattiin viisi CRT –suodattimella varustettua dieselautoa. Näistä vain kolme oli hyvässä tai kohtuullisessa kunnossa. Pysyäkseen toimintakunnossa, CRT hiukkassuodatin vaatii huoltoa. Maakaasuautojen hiukkaspäästö sen sijaan oli erittäin alhainen ajokilometreistä riippumatta. Toisaalta vanhempien maakaasuautojen THC tai oikeammin metaanipäästöt olivat korkeat. Metaani ei kuitenkaan ole myrkyllistä eikä reaktiivista, joten sen merkitys ilman laadun kannalta on hyvin pieni.

Dieselpolttoainelaadun vaikutuksia päästöihin tutkittiin yhdellä Euro 2 ja yhdellä Euro 3 dieselbussilla. Peruspolttoaineena oli kaupallinen, alle 50 ppm rikkiä sisältävä suomalainen dieselpolttoaine. Tutkittavana polttoaineena oli ruotsalainen, vähä-aromaattinen ja lähes rikitön (S < 5 ppm) Miljöklass 1 (MK 1). MK 1 alensi NO_x päästöjä noin 5 %, ja hiukkaspäästöjä peräti 15 – 25 %.

Perusteellisessa diesel ja maakaasuautojen päästövertailussa mitattiin yhteensä seitsemän nykyaikaista autoa, kolme dieselautoa ja neljä maakaasuautoa. Mittausohjelmaan sisältyivät sekä säännellyt pakokaasupäästöt että suuri joukko pakokaasujen erikoismittauksia. CRT –tyyppinen hiukkassuodatin parantaa dieselautojen päästöprofiilia monella tavalla. Tästä huolimatta parhaimmat maakaasuautot ovat nykytekniikalla päästöjen osalta CRT dieselautoja parempia useimmissa suhteissa.

Käsillä oleva raportti on vuosinen 2002 – 2004 yhteenvedon laajennettu tiivistelmä.

1 RASKAIDEN AJONEUVOJEN PAKOKAASUTUTKIMUS VTT:LLÄ

Vuonna 2000 VTT käynnisti raskaisiin ajoneuvoihin liittyvän RAKE – tutkimuskokonaisuuden (RAKE = Raskaan ajoneuvokaluston kehityshanke). Kokonaisuuteen sisältyi uuden raskaan ajoneuvokaluston tutkimuslaboratorion luominen vuosina 2000 – 2001, ja ensimmäisen vaiheen busseihin ja kuorma-autoihin liittyvä tutkimustoiminta vuosina 2002 – 2004. Toinen tutkimusvaihe (2005 ->) on nyt meneillään.

Vuosina 2002 – 2004 toteutettiin useampi uusia laitteistoja hyödyntänyt projekti. Jakson aikana alustadynamometrissa tehtiin yli 1.000 testiä raskailla ajoneuvoilla. Toimintaan sisältyi mm.:

- bussikaluston päästökertoimet
- kuorma-autokaluston päästökertoimet
- raskaan ajoneuvokaluston polttoaineen kulutuksen vähentäminen
- biodieselpolttoaineiden kehitystyö
- pakokaasunpuhdistuslaitteistojen kehitystyö
- voiteluainetutkimus
- hiukkasmittausten menetelmäkehitys

Alustadynamometrimittaus tarjoaa monia etuja moottorimittauksiin verrattuna. Mitattaessa kokonaista ajoneuvoa irtomoottorin sijaan asennus- ja valmistelutyön määrä on huomattavasti pienempi. Tämän ansiosta läpimenoaika on selvästi lyhyempi, ja tutkittavien autoyksilöiden määrää voidaan nostaa. Näin myös raskaiden ajoneuvojen osalta avautuu mahdollisuuksia käytön aikaiseen pakokaasuvalvontaan ja erilaisten kenttäkokeiden helppoon seurantaan. Alustadynamometrin ohjelmoinnissa huomioidaan koko ajoneuvon ominaisuudet, mukaan lukien auton massa ja ajovastukset. Näin voidaan tuottaa todenmukaisia ajomatkaan suhteutettuja g/km –muotoisia päästökertoimia sekä bussi- että kuorma-autokalustolle.

2 BUSSIKALUSTON EVALUOINTI 2002 -2004

2.1 YLEISTÄ

VTT:n RAKE –ohjelman puitteissa bussikaluston päästöt olivat yksi painopistealueista. Alkuperäinen tutkimussuunnitelma kuvasi bussiosuutta seuraavasti:

”Bussihankkeessa perimmäisenä tavoitteena on edistää uusien puhtaiden ja energiatehokkaiden teknologioiden käyttöönottoa bussiliikenteessä ja siten edistää bussiliikenteen kilpailukykyä ja haluttavuutta. Osatehtävässä kehitetään bussiliikenteen käyttöön autojen suorituskykyä (päästöt, energiankulutus ja mahdollisesti myös melu) mittaava arviointijärjestelmä. Metodiikkaa tullaan käyttämään sekä uusien ajoneuvotekniikoiden evaluointiin että jo käytössä olevien autojen todellisen ympäristöllisen suorituskyvyn mittaamiseen. Tieto eri automallien ja pakokaasunpuhdistustekniikoiden todellisesta suorituskyvystä antaa pohjaa kehittää kilpailuttamisen kriteerejä oikeudenmukaiseen ja taloudellisesti järkevään suuntaan. Tietoa voidaan käyttää ohjailemaan tulevia kalustovalintoja.”

Mittausmatriisi luotiin kattamaan kolme eri dimensiota:

- eri ajoneuvotekniikoiden vertailu
 - uudet tai uudehkot autot, eri polttoaineet ja pakokaasujen jälkikäsittelytekniikat
 - esimerkkeinä diesel, diesel + hiukkassuodatin, diesel + EGR, diesel + SCR, maakaasu
- käytössä olevien autojen todelliset päästöt ja ns. vanhenemiskertoimet eri tekniikkavaihtoehdoille
- ajosykliä vaikutus päästöihin
 - staattiset ja dynaamiset ominaispäästökertoimet
 - päästöt erityyppisillä linjoilla
 - eri tekniikoiden reagointi erilaisiin ajotilanteisiin

Kaikkia alkuperäiseen tutkimussuunnitelmaan kirjattuja aiheita melua lukuun ottamatta on selvitetty tai tutkittu. Tosiasiassa busseja koskevaa tutkimusta tehtiin viidessä rinnakkaisessa hankkeessa, joista tärkeimmät olivat kansallinen bussihanke ”RAKEBUS” (2002 – 2004) ja diesel- ja maakaasubussien päästövertailu ”VTT Transient Bus Study” (2002 – 2004). Näiden hankkeiden tulokset on summattu 25.4.2005 päivättyyn raporttiin ”Bussikaluston pakokaasupäästöjen evaluointi. Yhteenvetoraportti 2002 -2004”. Käsillä oleva teksti on tämän raportin tiivistetty versio.

Diesel- ja maakaasubussien päästövertailusta tehtiin erillinen englanninkielinen raportti lokakuussa 2004. Tämä raportti on saatavissa VTT:n verkkosivuilta osoitteesta:

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/jurelinkit/VTTNylund.pdf>

2.2 OSALLISTUJAT

RAKEBUS –hankkeen rahoittajia olivat:

- Pääkaupunkiseudun Yhteistyövaltuuskunta YTV
- Helsingin Kaupungin Liikennelaitos, Suunnitteluyksikkö
- Liikenne- ja viestintäministeriö
- Gasum Oy
- Vägverket (Ruotsi)
- VTT Prosessit

Projektin johtoryhmässä oli lisäksi mukana HKL Bussiliikenne (nyttemmin Helsingin Bussiliikenne Oy) edustamassa liikennöitsijöitä.

VTT pyysi Ruotsin Vägverket'ia (Tiehallinto) mukaan hankkeeseen, ja Vägverket päättikin rahoittaa hanketta vuonna 2004. Bussikalusto Suomessa ja Ruotsissa on hyvin pitkälle yhteneväistä, ja niinpä VTT:n generoimat päästötulokset ovat käyttökelpoisia myös Ruotsissa.

Myös kansainvälinen maakaasuajoneuvojärjestö International Association for Natural Gas Vehicles IANGV liittyi mukaan VTT:n bussitutkimukseen. IANGV:n lisärahoituksella mittausmatriisiin liitettiin kolme uutta EEV maakaasuautoa, ja lisäksi IANGV:n mukanaolo mahdollisti myös tiettyjen dieselautojen yksityiskohtaiset pakokaasuanalyysit. Näin saatiin luotua hyvä pohja diesel ja kaasuautojen tasapuoliselle vertailulle.

2.3 KOEAUTOT

RAKEBUS –hankkeeseen ja diesel/maakaasuvertailuun liittyen VTT teki yhteensä yli 200 pakokaasutestiä 34:lle eri autoyksilölle (taulukko 1). Näistä kolme autoa, kaksi dieselautoa ja yksi maakaasuauto, oli mukana seurantaohjelmassa päästöjen pysyvyyden selvittämiseksi. Nämä autot mitattiin kolme eri kertaa.

Mitattujen autojen päästoluokat vaihtelivat Euro 1 –luokasta EEV –luokkaan. Vuonna 2004 Euro 4 sertifioituja autoja (diesel) ei ollut vielä saatavilla. Maakaasuautot edustivat Euro 2 (epävirallinen), Euro 3 ja EEV –päästoluokkia.

Autojen ajokilometrimäärä vaihteli 4.800 ja 847.000 km:n välillä. Koeautot lainattiin joko liikennöitsijöiltä, maahantuojilta tai autonvalmistajilta. Autoille ei tehty erityisiä huolto- tai säätötoimenpiteitä ennen mittauksia. Eri osapuolien kanssa sovittiin, ettei mitattuja autoja identifioida merkin tai mallin osalta. Niinpä julkisessa raportoinnissa autoista on käytetty kirjainkoodeja (A, B C jne.).

Taulukko 1. Vuosina 2002 – 2004 mitatut bussit.

	2002	2003	2004	Yhteensä
Diesel	7	10	9	26
Maakaasu	4	3	1	8
Yhteensä	11	13	10	34
Diesel – seuranta	(2)	2	2	2
Maakaasu – seuranta	(1)	1	1	1

Diesel/maakaasuvertailussa oli mukana seuraavat autot (uusia tai vähän ajettuja autoja):

- Euro 3 diesel ilman pakokaasujen jälkikäsitelyä
- Euro 3 diesel + hapetuskatalysaattori (OC)
- Euro 3 diesel + hiukkassuodatin (CRT)
- Euro 3 CNG (maakaasu)
- EEV CNG (kolme eri merkkiä ja -palamisjärjestelmää)
 - laihaseos eli lean-burn (LB, hapetuskatalysaattorilla)
 - lean-mix eli sekajärjestelmä (LM, kolmitoimikatalysaattorilla)
 - stoikiometrinen (SM, kolmitoimikatalysaattorilla)

2.4 TESTIMENETELMÄT

2.4.1 Alustadynamometri

Kaikki mittaukset tehtiin VTT Prosessien uudessa raskaan ajoneuvokaluston tutkimuslaboratoriossa. Muiden projektien yhteydessä VTT on tehnyt eri tyyppisille autoille ns. rullauskokeita (coast-down) ajovastusyhtälöiden määrittelemiseksi. Näitä yhtälöitä käytettiin nyt hyväksi ajovastusten asettelussa (mm. ajoneuvon massan vaikutus). Dynamometrin säätöjärjestelmä mahdollistaa käytännössä minkä tahansa ajoneuvon ajovastusten simuloimisen. Koematriisiin kuului sekä kaksi- että kolmiakselisia busseja, ja lisäksi vielä yksi nivelauto. Pääosa autoista oli kuitenkin tavallisia kaksiakselisia kaupunkibusseja.

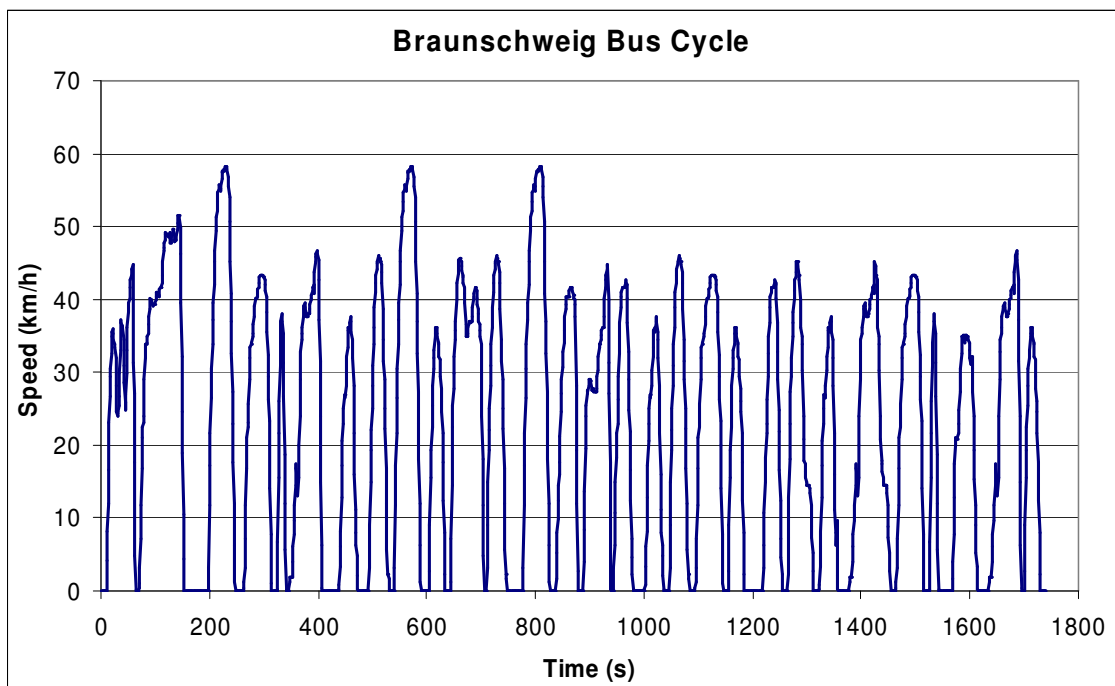
Lähtökohtaisesti kaikki ajoneuvot mitattiin simuloimalla auton omaa painoa lisätynä 50 %:lla auton kantavuudesta (puolikuorma). Kaksiakselisten autojen osalta menettely on yksiselitteinen. Jotkut kolmiakseliset autot mitattiin sekä kaksi- että kolmiakselisen auton painoja simuloiden. Koematriisiin sisältynyt ainoa nivelauto mitattiin niin ikään kaksi- ja kolmiakselista autoa simuloiden

Alustadynamometrikokeen aikana kuljettaja seuraa annettua nopeus/aikaprofiilia, eli ajosykliä. Kaikki autot ajettiin vähintään Braunschweig –bussisyklillä. Tämä keskustaajoa kuvaava hyvin transienttinen sykli on melko raskas. Osa ajoneuvoista testattiin myös muita syklejä käyttäen (mm. amerikkalainen Orange County, ECE 15 henkilöautosyklin kaupunkiosuus jne.). Taulukossa 2 on esitetty tärkeimpien syklien tiedot, ja kuvassa 1 on Braunschweig –syklin nopeuskuvaaja ajan funktiona. VTT on

todennut, että Braunschweig –sykli vastaa kohtuullisen hyvin ajoa Helsingin ydinkeskustassa. Diesel/kaasuautovertailussa käytettiin sekä Braunschweig- sykliä että Orange County –sykliä. Loppujen lopuksi testisykli vaikuttaa suhteellisen vähän kilometripohjaisiin päästöarvoihin. Syklin vaikutus polttoaineen kulutukseen sen sijaan on selvempi.

Taulukko 2. Ajosyklien tiedot.

	Pituus (km)	Kesto (s)	Keskinopeus (km/h)	Maksiminopeus (km/h)	Joutokäynnin osuus (%)
Braunschweig (BSC)	10.873	1740	22.5	58.2	25
Orange County (OCC)	10.526	1909	19.9	65.4	21
ECE 15	3.976	780	18.4	50	25



Kuva 1. Braunschweig bussisyklin (BSC) nopeuskuvaaja ajan funktiona.

2.4.2 Pakokaasupäästöt

Kaikista autoista mitattiin säännellyt päästöt (CO, THC, NO_x, PM) käyttämällä täyden virtaaman CVS- järjestelmää (Pierburg CVS-120-WT) ja siihen liitettyä analysointijärjestelmää (Pierburg AMA 4000). Laitteistot täyttävät Direktiivin 1999/96/EC vaatimukset raskaiden ajoneuvomoottorien pakokaasumittauksissa käytettävistä mittalaitteista. Alustadynamometrimittausten osalta päästöarvot suhteutettiin ajomatkaan, eli päästökertoimen ovat muodossa g/km. Diesel/maakaasuautovertailun autoille (7 autoa) tehtiin lisäksi koko joukko erikoismittauksia.

3 TULOKSET JA TULOSTEN ARVIOINTI

3.1 YLEISTÄ

Suurimmasta osasta autoja mitattiin pelkästään säännellyt pakokaasupäästöt. Niinpä yhteenvetoraportti keskittyy ensisijaisesti säänneltyihin päästöihin.

Yhteenvetoraportissa tulosten esittely tapahtuu seuraavassa järjestyksessä:

- säännellyt päästöt ja CO₂
- ajomatkan vaikutus Euro 2 ja Euro 3 dieselautojen päästöihin
- CRT –dieselautojen ja maakaasuautojen hiukkaspäästöt
- ajoneuvon painon vaikutus päästöihin (kaksiakselinen/kolmiakselinen auto)
- dieselpolttoainelaadun vaikutus päästöihin
- tulosesimerkkejä diesel/maakaasuautovertailun erikoismittauksista

Tässä laajennetussa tiivistelmässä esitellään lähinnä NO_x, PM ja CO₂ –päästöt sekä yhteenveto diesel- ja kaasuautojen yksityiskohtaisesta päästövertailusta. Varsinaisessa yhteenvetoraportissa tulokset on esitelty tarkemmin. Yhteenvetoraportti sisältää mm. tietoa eri autotyyppeiden päästöjen pysyvyydestä.

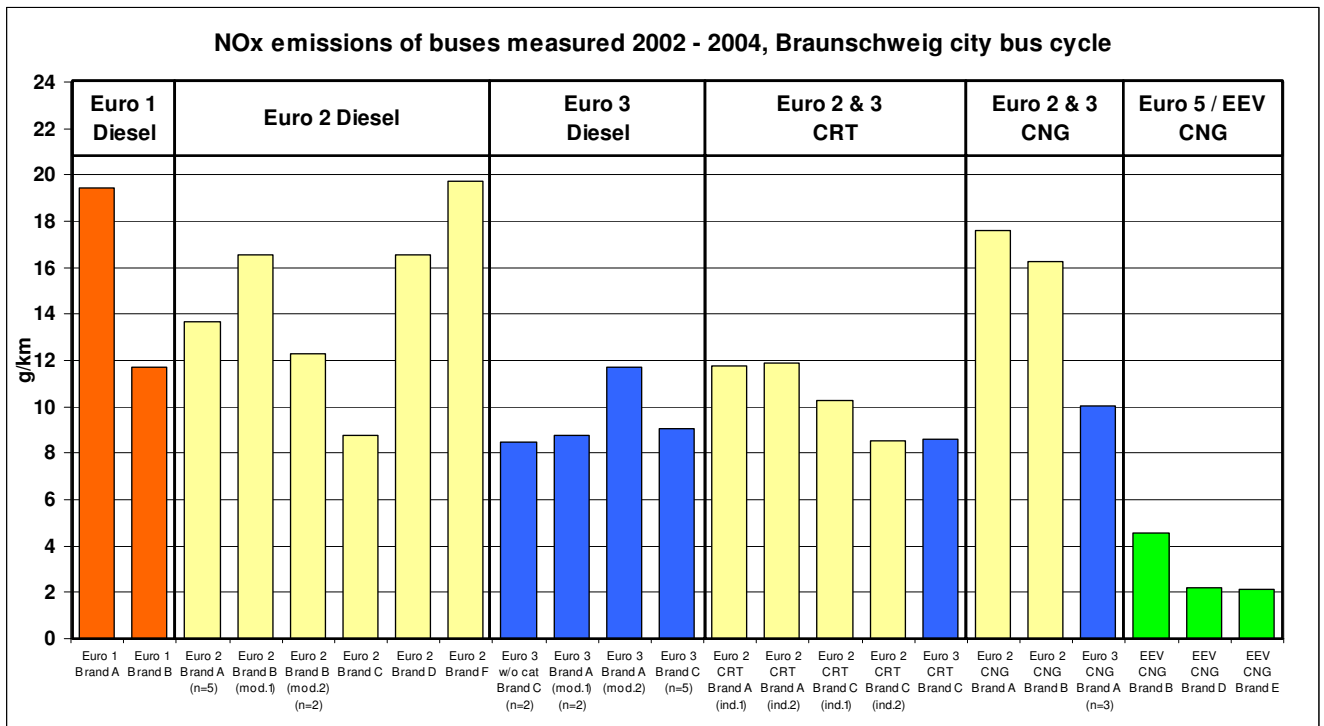
3.2 SÄÄNNELLYT PÄÄSTÖT JA HIILIDIOKSIDI

Taajamailman laadun kannalta haitallisimmat päästökomponentit ovat NO_x (erityisesti NO₂) ja hiukkaset, CO ja THC ovat vähemmän merkityksellisiä. Kuvissa 2 – 3 on kaikkien vuosina 2002 – 2004 mitattujen bussien NO_x ja PM päästöt (g/km, Braunschweig -sykli).

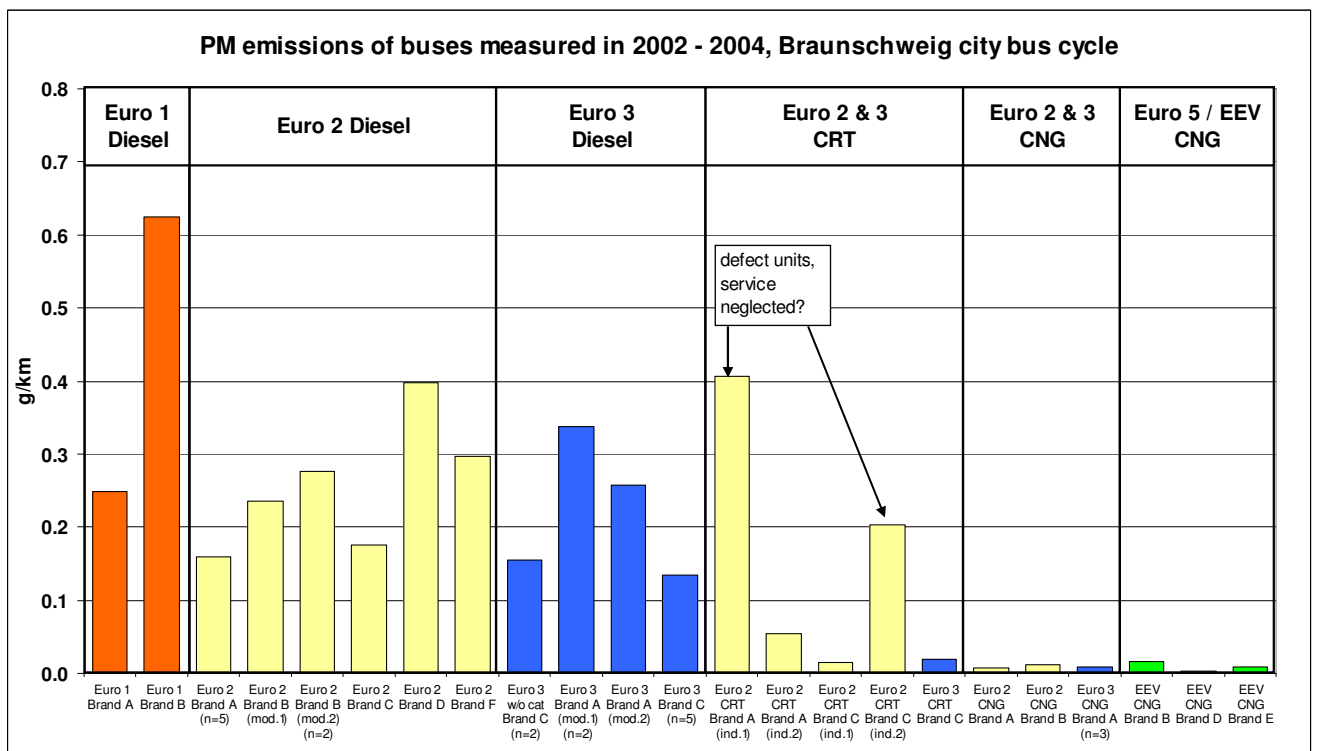
Auto on ryhmitelty seuraavasti:

- Euro 1 diesel (vain kaksi autoa)
- Euro 2 diesel
- Euro 3 diesel
- CRT –suodattimella varustetut Euro 2 ja Euro 3 dieselautot
- Euro 2 ja Euro 3 maakaasu
- Euro 5/EEV maakaasu

NO_x –päästö vaihteluväli on 20 - 2 g/km (Euro 1 ja Euro 2 dieselautot - EEV sertifioidut maakaasuauto, kuva 2). Dieselautojen osalta päästöluokkien sisäinen hajonta on suurempi Euro 2 kuin Euro 3 –luokassa. Euro 3 –autoissa käytettävät sähköiset säätöjärjestelmät toimivat tarkemmin ja antavat ylipäättänsä paremman suorituskyvyn kuin vanhemmat täysin mekaaniset säätöjärjestelmät.



Kuva 2. NO_x-päästöt.



Kuva 3. PM-päästöt.

Hajonta on kuitenkin suurimmillaan hiukkaspäästöissä (kuva 3). Hiukkasmassa on suurimmillaan 0,6 g/km (Euro 1 diesel), ja pienimmillään käytännössä lähes nolla (parhaimmat maakaasuautot). Hiukkasten osalta kaikki maakaasuautot ikään ja tekniikkaan katsomatta antavat hyviä tuloksia, samaten kuin kunnossa olevat CRT –suodattimet.

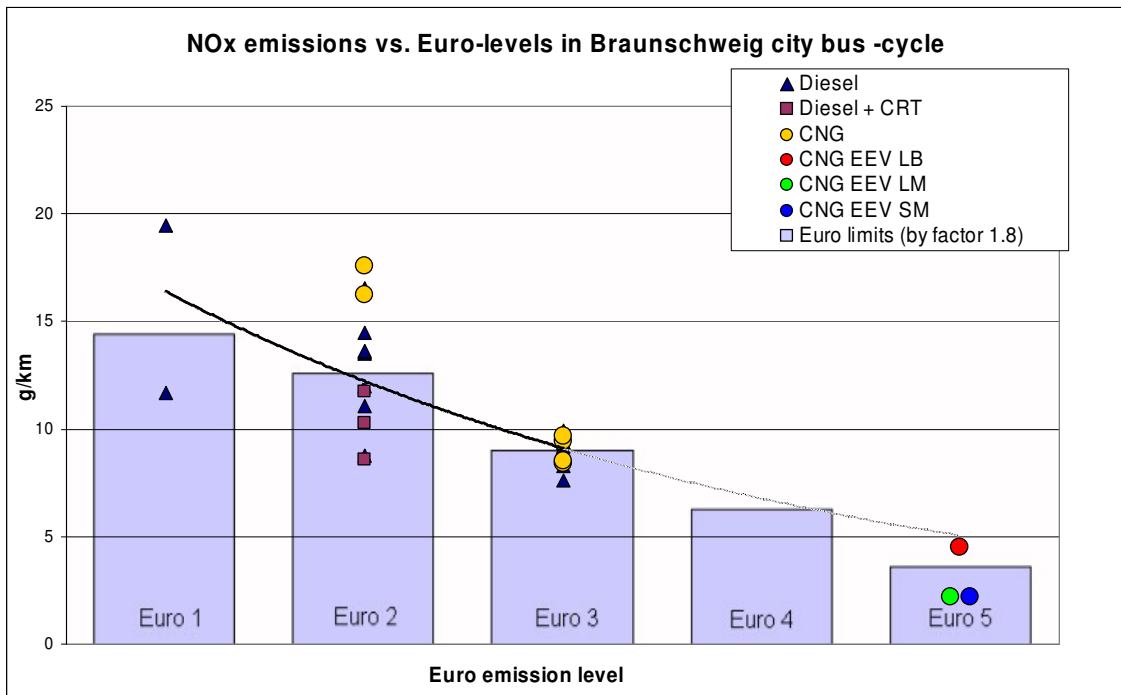
Kuvissa 4 (NO_x) ja 5 (hiukkaset) on yhteenvedot päästötrendeistä. Sekä NO_x:n että PM:n osalta päästöt ovat selvässä laskusuunnassa kiristyvien Euro –luokkien myötä, joskin tietyt bussityypit poikkeavat tästä yleisestä trendistä.

Keskimäärin kaksiakselisen kaupunkibussin moottori tekee n. 1,8 kWh työtä kampiakselilla kilometriä kohti. Kuvissa näkyvät pylväävät eri Euro –luokkien raja-arvoja, jotka on saatu siten, että g/kWh muotoa olevat päästöraajat on kerrottu kertoimella 1,8 g/km muotoisten raja-arvojen muodostamiseksi. Näin voidaan verrata mitattuja g/km muotoisia arvoja raja-arvoihin (likimääräisiin). Euro 3 dieselautojen osalta nähdään, että keskimääräinen mitattu NO_x –arvo (g/km) vastaa hyvinkin skaalattua arvoa (5 g/kWh * 1,8 kWh/km= 9 g/km). Kuvissa olevat yhtenäisellä viivalla piirretyt käyrät perustuvat mitattuihin dieselautoihin (ilman CRT –suodattimia). Alustadynamometrimittauksissa saadut keskimääräiset NO_x ja PM –arvot vastaavat hyvinkin eri päästöluokilta odotettavissa olevia arvoja.

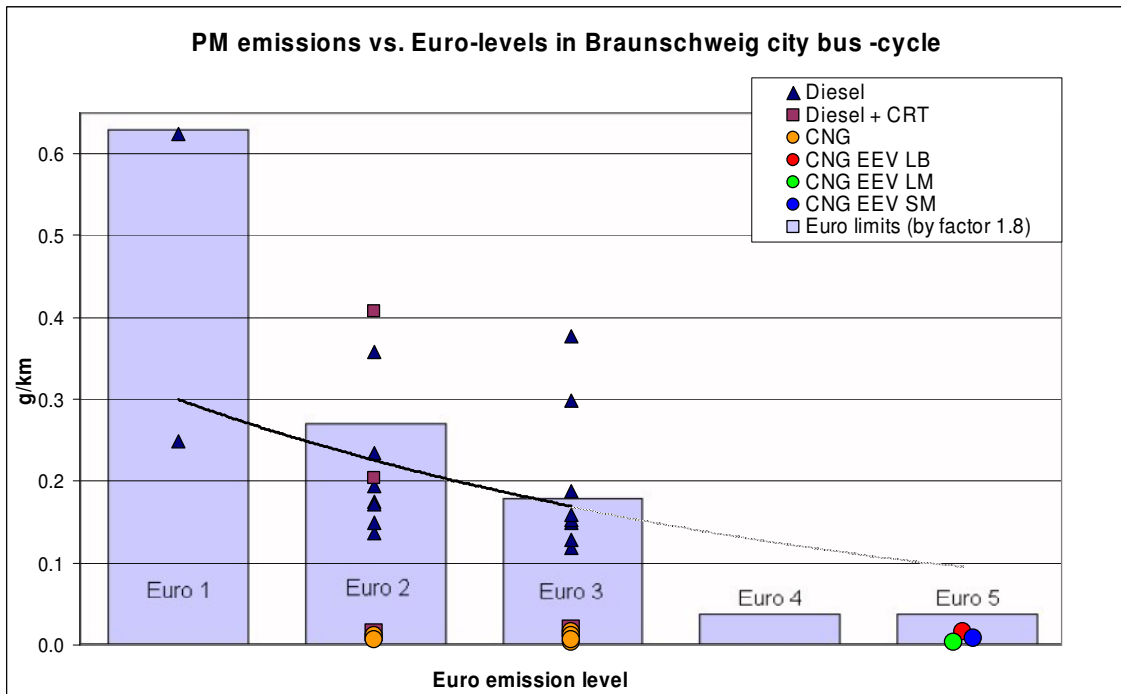
Keskimääräinen CO –päästö on noin 1,5 g/km. Suurimmat arvot löytyvät Euro 2 autojen joukosta, niin diesel kuin kaasuautojenkin osalta. Dieselautojen osalta THC -arvo on keskimäärin alle 0,5 g/km. Hyvässä kunnossa olevien maakaasuautojen osalta THC -arvo on luokka 1 g/km. Vanhemmissa kaasuautoissa THC -arvo saattaa kohota jopa kymmenkertaiseksi katalysaattorien heikon toiminnan vuoksi. THC kohooa iän myötä erityisesti laihaseostekniikka käyttävissä autoissa. Tässä on kuitenkin muistettava, että maakaasuauton THC –päästö on yli 95 %:sesti metaania, joka ei ole myrkyllistä eikä reaktiivista. Metaani on kuitenkin voimakas kasvihuonekaasu, ja sen osuus tulisi ottaa huomioon arvioitaessa kasvihuonekaasujen kokonaispäästöjä. Bussikaluston kohdalla sekä CO:n että THC:n merkitys on vähäinen.

NO_x- ja hiukkaspäästöjen lisäksi myös CO₂ –päästöillä on yleistä mielenkiintoa. CO₂ eli hiilidioksidi on kasvihuonekaasuista tärkein. Maakaasussa tai oikeammin metaanissa on enemmän vetyä suhteessa hiileen kuin dieselpolttoaineessa, ja niinpä metaanin CO₂ –ominaispäästö (CO₂/MJ_{polttoaine}) on noin 25 % alempi dieselpolttoaineeseen verrattuna. Myös moottorin hyötysuhde vaikuttaa CO₂ –kokonaispäästöön. Nykyiset raskaan kaluston kaasumoottorit toimivat kipinäsytytys/otto -periaatteella (dieselmoottoreista konvertoituja moottoreita), ja niiden hyötysuhde on selvästi dieselmoottoreita alempi. Tästä syystä polttoaineen kemian tuoma CO₂ –etu kumoutuu useimmissa tapauksissa.

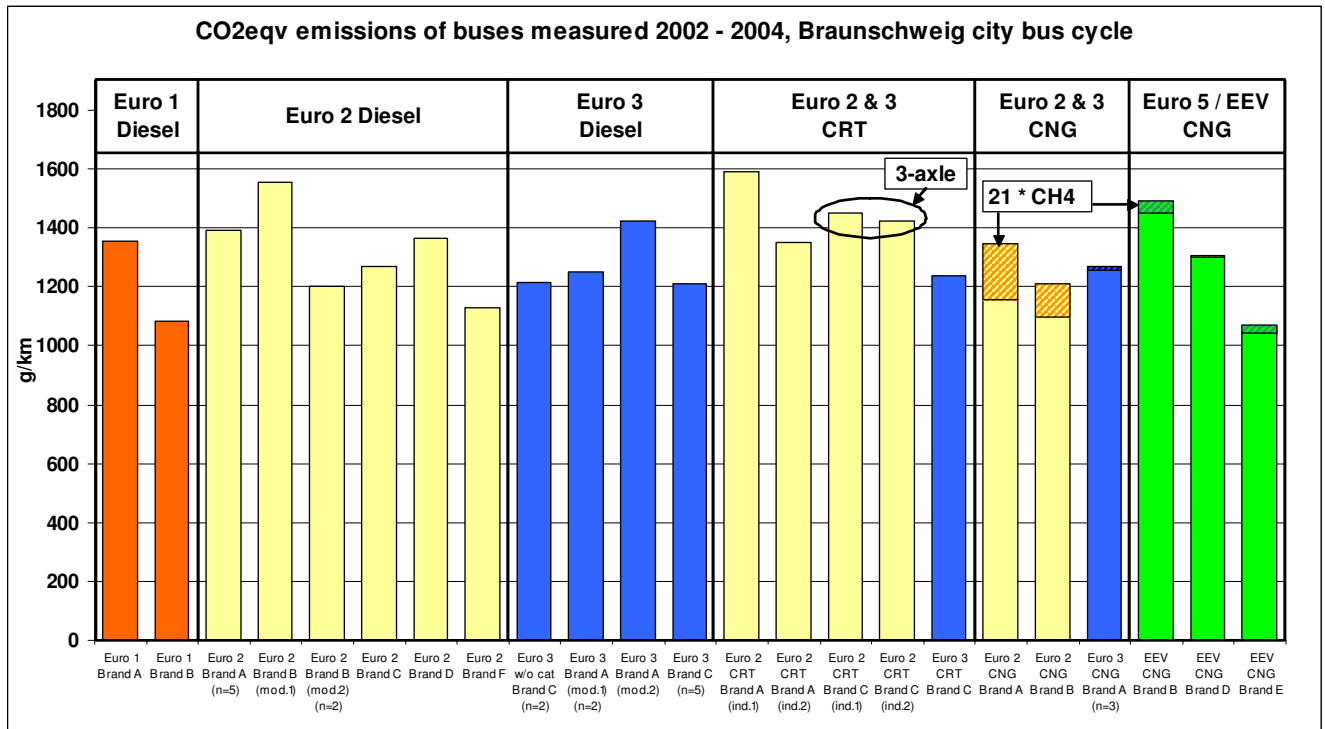
Kuvassa 6 on esitetty pakoputken päästä mitattu CO₂ –päästö. Maakaasuautojen osalta tuloksissa on huomioitu palamaton metaani. Uudehkojen maakaasuautojen kohdalla metaanipäästö on tasolla 1 g/km, metaanin osuus ekvivalentti CO₂ –päästöistä on näin ollen tasolla 2 %. Vastaavasti vanhempien maakaasuautojen osalta metaanipäästön (n. 10 g/km) osuus ekvivalentti CO₂ –päästöstä on tasolla 15 %, jolloin sillä alkaa jo olla merkitystä.



Kuva 4. NO_x-päästöjen trendi.



Kuva 5. PM-päästöjen trendi.



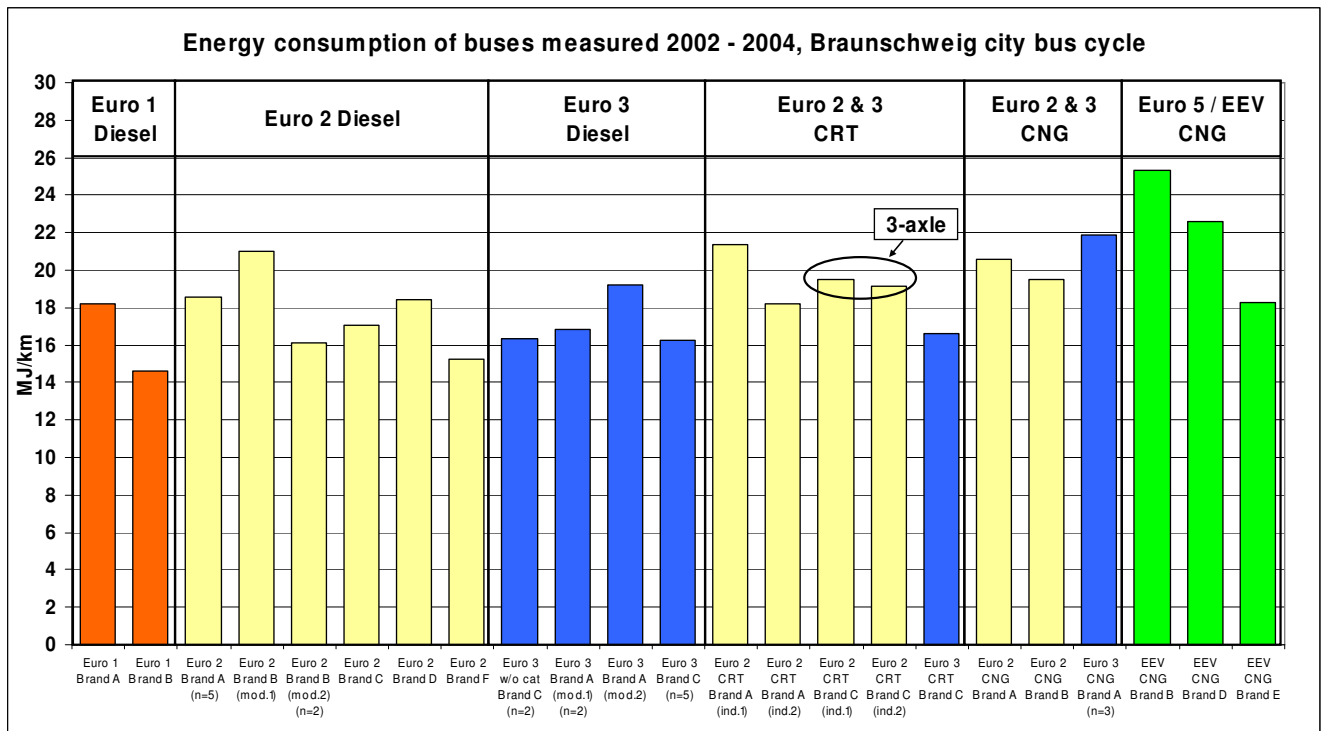
Kuva 6. Ekvivalentti CO₂ -päästö.

Kaksiakselisten autojen osalta CO₂ -päästö on n. 1.100 – 1.600 g/km (Euro 1 ilman pakokaasujen jälkikäsitelyä/Euro 2 diesel + CRT), eli ero pienimmän ja suurimman luvun välillä on noin 45 %. Maakaasuautojen osalta haarukka on 1.100 – 1.500 (stoikiometrinen EEV/laihaseos -EEV).

CO₂ -päästön (hiilitaseen) perusteella on mahdollista laskea energian- ja polttoainenkulutusarvoja. Kuvassa 7 on esitetty eri autoluokkien energiankulutus. Kaksiakselisille dieselautoille energiankulutus on 14,6 – 21,4 MJ/km. Polttoaineen kulutuksena tämä on 41 – 60 l/100 km, erona edellä mainittu 45 %. Dieselautoille ilman CRT -suodatinta keskimääräinen energian kulutus on 17 MJ/km (48 l/100 km), ja CRT-autoille taas 18,5 MJ/km (52 l/100 km, arvio kaksiakselisille autoille).

Euro 2 ja Euro 3 maakaasuautojen keskimääräinen energiankulutus on 21 MJ/km, Euro 5/EEV maakaasuautojen 22 MJ/km. Näin ollen maakaasuautojen energiankulutus on keskimäärin 25 – 30 % korkeampi verrattuna dieselautoihin ilman CRT -suodatinta, ja 15 -20 % korkeampi CRT -autoihin verrattuna.

Polttoaineen kulutuksen hajonta EEV -sertifioitujen maakaasuautojen ryhmässä on huomattavan suuri. Tarkasteltaessa diesel/maakaasuvertailun autoja nähdään, että EEV maakaasuautot kuluttivat 10 – 50 % enemmän energiaa CRT -dieseliin verrattuna, 15 – 55 % enemmän hapetusкаталысаattorilla varustettuun dieselautoon verrattuna ja 20 – 65 % enemmän perusdieseliin verrattuna. Ekvivalentti dieselkulutukseksi muutettuna tehokkain EEV kaasuauto kulutti 51 l/100 km, eniten kuluttava peräti 71 l/100 km.



Kuva 7. Energian kulutus.

Vuosien 2002 ja 2003 vuosiraportit sisälsivät g/km –muotoisen päästökerrointaulukon, johon oli koottu dynaamisen ajon tyypillisiä päästökertoimia eri päästoluokkia edustaville autoille. Vastaavasti taulukkoon 3 on koottu päästökerroinyhteenveto kaikista vuosien 2002 – 2004 mittauksista. Aikaisempiin taulukkoihin verrattuna tämän taulukkoon on lisätty sarakkeita (lisää ajoneuvoryhmiä). CRT –dieselautojen osalta yksi poikkeuksellisen korkea hiukkastulos (vaurioitunut suodatin) on jätetty huomioimatta. Taulukossa esitetyt arvot ovat peräisin eri-ikäisistä autoista, ja näin ollen taulukon arvoihin on tietyllä tavalla sisäänrakennettu vanhenemiskertoimet. Tämä pätee erityisesti Euro 1 ja Euro 2 –luokkien autoihin.

Taulukko 3. Tyypillisiä dynaamisen ajon päästökertoimia (g/km, arvot pyöristetty).

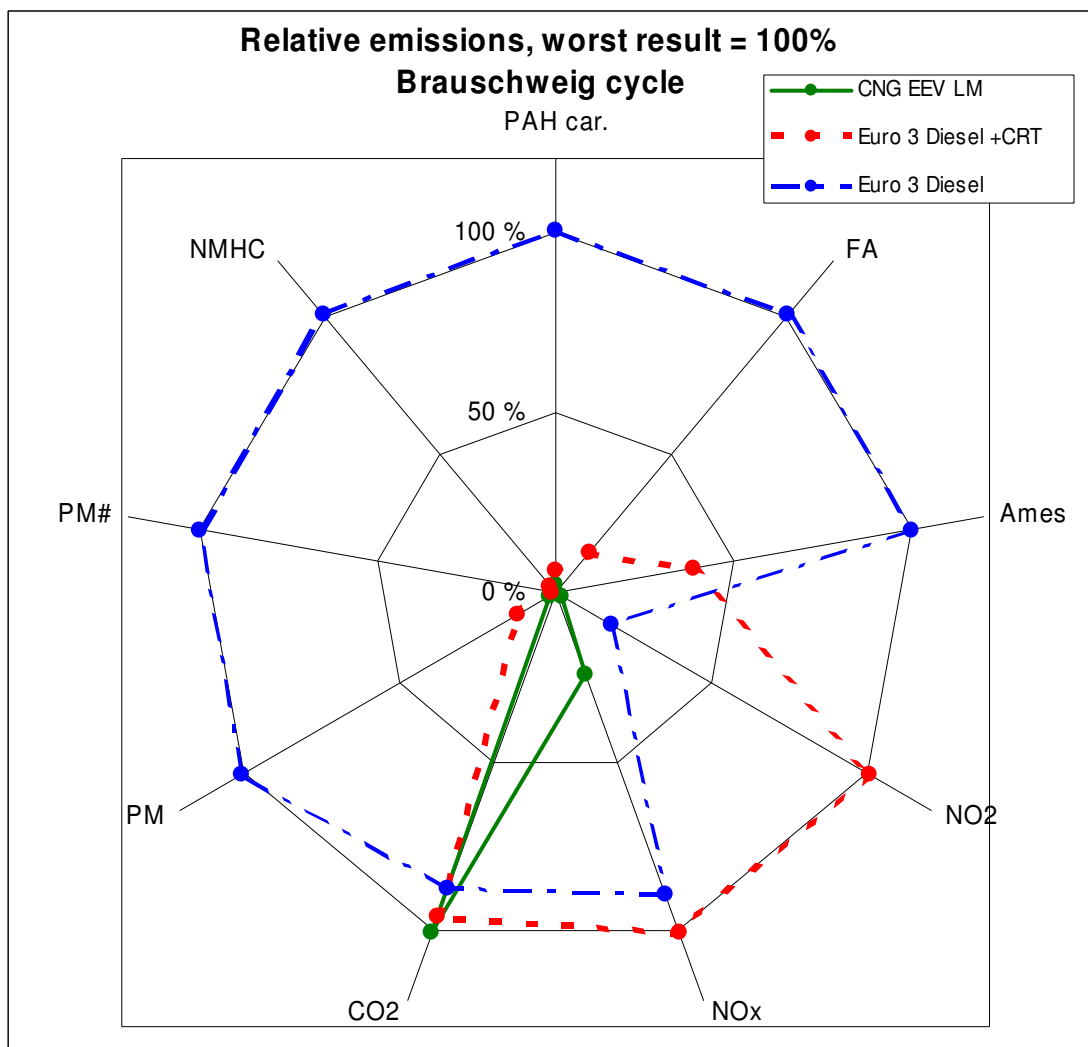
	Euro 1 diesel	Euro 2 diesel	Euro 3 diesel	Euro 2/3 diesel CRT	Euro 2 CNG	Euro 3 CNG	Euro 5/EEV CNG
CO	1.5	1.5	1.0	0.5	4.0	0.2	1.0
THC	0.3	0.2	0.15	0.1	7.0	1.0	1.0
NO _x	16	14	9.0	9 – 14	17	10	3.0
PM	0.45	0.20	0.18	0.03	0.01	0.01	0.01
CO ₂	1200	1350	1250	1400	1100	1250	1250
CO ₂ eqv.					1300	1300	1300

3.3 ERIKOISMITTAUSTEN YHTEENVETO

Kuva 8 esittää graafisen vertailun perusdieselille, CRT –dieselille ja lean-mix (sekajärjestelmä) maakaasuautolle. Jokaisen päästökomponentin kohdalla huonoimmalle tulokselle on annettu indeksi 100. Tarkastelun kohteita ovat NO_x, NO₂, CO₂, mutageensisuus (Ames), formaldehydi, hiukkasten massa, nanohiukkasten lukumäärä (PM #), syöpävaaralliset PAH –yhdisteet sekä NMHC.

Useimpien kriteerien osalta perusdiesel antaa huonoimman tuloksen. CRT –diesel on perusdieseliä hieman huonompi NO_x:n ja CO₂:n osalta, mutta selvästi huonompi NO₂:n suhteen. Muilta osin CRT –diesel on selvästi perusdieseliä parempi.

Maakaasu antaa parhaimman suorituskyvyn päästöjen osalta. Ajoneuvosta riippuen maakaasu saattaa jopa tarjota CO₂ vähenemää.



Kuva 8. Perusdieselin, CRT –dieselin ja maakaasuauton (lean-mix sekajärjestelmä) päästövertailu. Huonoin tulos on indeksoitu 100.