

Vestlandsforskning – notat nr. 2/2017

Effekter av Dieseltgate-skandalen på energiforbruk og CO₂-utslipp

Otto Andersen



Vestlandsforskning notat

Tittel Effekter av Diesелgate-skandalen på energiforbruk og CO ₂ -utslipp	Notat nummer 2/2017 Dato 16.02.2017 Gradering Open
Prosjekttittel Drivere bak og rebound effekter knyttet til stasjonær og mobil energibruk	Tal sider 18 Prosjektnr 6335
Forskar(ar) Otto Andersen	Prosjektansvarleg Carlo Aall
Oppdragsgivar CenSES	Emneord Drivstoff Energibruk Livsløpsanalyse Persontransport Transport Utslipp

Samandrag

Energi- og utslippsdata på <http://transport.vestforsk.no/> er oppdatert. Vi har beregnet endringer i energibruk og utslipp av CO₂-ekvivalenter som følge av "Dieselgate", d.v.s avsløringene om at bilprodusentene har jukset med utslippstall. Også resultater fra nye undersøkelser som viser betydelig underrapportering om bilenes faktiske forbruk, er tatt hensyn til. Dette gjelder både for diesel- og bensindrevne personbiler, samt el-hybridvariantene av disse. Bakgrunnen for endringene er dokumentert i dette notatet.

Andre publikasjoner frå prosjektet**ISBN:****Pris:**

Forord

Arbeidet med notatet er finansiert gjennom Vestlandsforskning sin deltakelse i det forskningsrådfinansierte Forskningscenteret for Miljøvennlig energi "Centre for Sustainable Energi Studies" (CenSES).

Målet med notatet er å presentere bakgrunn for og utledning av nye faktorer for energibruk og utslipp av klimagasser fra diesel- og bensindrevne personbiler, samt deres el-hybridvarianter. De nye faktorene er innarbeidet i databasen <http://transport.vestforsk.no/>

Sogndal, , februar, 2017

Otto Andersen

Innhold

Sammendrag	2
Forkortelser	3
1. Innledning.....	4
1.1 Bakgrunn	4
1.2 Problemstillinger	5
2. Teknologier for reduksjon av NO _x -utslipp.....	6
2.1 Hvordan oppstår NO _x -utslipp?	6
2.2 NO _x -reduksjon og økt forbruk	6
(a) Eksostilbakeføring (EGR)	6
(b) Selektiv katalytisk reduksjon (SCR)	6
(c) NO _x -felle (LNT)	6
(d) Andre teknologier.....	6
3. Beregninger av de NO _x -reduserende teknologiernes bidrag til økt energibruk og klimagassutslipp	8
3.1 Bidrag fra justert eksostilbakeføring (EGR)	8
3.2 Bidrag fra bruk av selektiv katalytisk reduksjon (SCR) i personbiler	9
(a) Well-to-Tank	9
(b) Tank-to-Wheel	9
3.3 Bidrag fra bruk av NO _x -felle (LNT)	10
4. Hvordan rapporterte avvik mellom oppgitt og faktisk forbruk bidrar til endring av databasens faktorer	11
5. Resultat av analysen	13
Referanser.....	16

Sammendrag

Energi- og utslippsdata på <http://transport.vestforsk.no/> er oppdatert. Vi har beregnet endringer i energibruk og utslipp av CO₂-ekvivalenter som følge av "Dieselgate", d.v.s avsløringene om at bilprodusentene har jukset med utslippstall. Også resultater fra nye undersøkelser som viser betydelig underrapportering om bilenes faktiske forbruk, er tatt hensyn til. Dette gjelder både for diesel- og bensindrevne personbiler, samt el-hybridvariantene av disse. Bakgrunnen for endringene er dokumentert i dette notatet.

Resultatene fra analysen viser at faktorene for energibruk og utslipp av CO₂-ekvivalenter får tillegg i området 18-21 % for biler med diesel- og hybrid-diesel motor, mens for biler med bensin og hybrid-bensin er tillegget 9-10 %. Tillegget til faktorene for både lange og korte reiser er innen disse områdene.

Forkortelser

BBC	British Broadcasting Corporation
BMW	Bayerische Motoren Werke AG
CO ₂	Kardondioksid
EGR	Exhaust Gas Recirculation
ICCT	International Council on Clean Transportation
IFPEN	Institut Français du Pétrole Énergies nouvelles
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
LNT	lean-NO _x trap
MJ	Megajoule
N ₂	Molekylært nitrogen (nitrogengass)
NEDC	New European Driving Cycle
Nm	Newtonmeter
NO _x	Nitrogenoksider, fellesbetegnelse for nitrogenmonoksid (NO) og nitrogendioksid (NO ₂)
NPR	National Public Radio (Washington, D.C.)
NRC	National Research Council (USA)
O ₂	Molekylært oksygen (oksygengass)
pkm	Personkilometer
SCR	Selective Catalytic Reduction
TDI	Turbodiesel innsprøytning
TtW	Tank-to-Wheel
US EPA	United States Environmental Protection Agency
VW	Volkswagen
vkm	Kjøretøy-kilometer
WtT	Well-to-Tank
WtW	Well-to-Wheel

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Et stortilt juks med eksosutslipp, som har fått betegnelsen ”Dieselgate-skandalen”, toppet seg når VW innrømmet å ha installert ulovlig programvare i 11 millioner dieserbiler.

Jukseprogrammet registrerer når bilene blir utsatt for testing i laboratorier, og programvaren endrer de operative parameterne slik at NO_x-utslippet blir redusert under slike tester (NPR 2015a). VW innrømmet at et slikt jukseprogram ble installert i biler med 4-sylindre og 2.0 liters dieselmotor (NPR 2015b). Det omfatter:

- VW Jetta (årsmodellene 2009-2015)
- VW Beetle (årsmodellene 2009-2015)
- Audi A3 (årsmodellene 2009-2015)
- VW Golf (årsmodellene 2009-2015)
- VW Passat (årsmodellene 2014-2015)
- Skoda

Av de bilene som hadde denne jukse-programvaren installert ble 482 000 solgt til USA. Bakgrunnen for skandalen var at det i en amerikansk studie ble målt betydelig høyere NO_x-utslipp under kjøring, enn det den amerikanske standarden US EPA Tier 2-Bin 5 tilsier (Thompson et al. 2014). Utslippet var 15-35 ganger høyere for VW Jetta og 5-20 ganger høyere for VW Passat (ICCT 2015). Utslippet fra BMW X5 ble også målt, og det var i snitt lavere enn standarden, men overskred den i enkelte motbakker.

Lista over diesebilprodusenter som overskrider utslippskravene for NO_x er etter hvert blitt lang, og inkluderer nå også Mercedes-Benz, Honda, Mazda og Mitsubishi. I tester gjort av det britiske firmaet Emissions Analytics har NO_x-utslippet fra enkelte modeller av Honda blitt målt til seks ganger utslippsgrensen (Carrington 2015a). Hos noen firehjulsdrevne modeller kom det ut 20 ganger så mye NO_x enn det utslippsgrensen tillater. Nye dieserbiler fra Renault, Nissan, Hyundai, Citroen, Fiat, Jeep og Volvo har også blitt funnet å slippe ut vesentlig mer NO_x enn det som er oppgitt fra bilprodusentene (Carrington 2015b). Disse testene ble gjort av tyske Adac, som påviste at noen av bilene hadde utslipp av NO_x som overskred oppgitt nivå med en faktor på 10. De største avvikene var hos:

- Renault Espace Energy dCi 160, som hadde 11 ganger så stort utslipp som oppgitt
- Jeep Renegade 2.0, med 10 ganger oppgitt utslipp
- Hyundai i20 1.1, Fiat 500x 1.6, Citroen DS5 Hybrid 4, alle med 6 ganger oppgitt utslipp

En nyere rapport fra en uavhengig fransk kommisjon viste at av 86 Euro 5 og Euro 6 – dieserbiler, som ble testet under kjøring, var det bare rundt en femtedel som ikke hadde vesentlig overskridelse av oppgitt NO_x-utslipp (IFPEN 2016). Den som overskred mest var Fiat 500X, som hadde et utslipp på 1 354 mg/km, mot oppgitt 68 mg/km, altså nesten 20 ganger så høyt. Andre biler som kom svært dårlig ut var flere av modellene til Renault (Talisman, Kadjar, Captur og Espace), Nissan Qashqai, Mercedes B-klasse, Opel Mokka, Opel Zafira, Alfa Romeo Giulietta og Ford C-Max.

Alvoret i overskridelsene er vesentlig forsterket ved at ett år etter den opprinnelige avsløringen viser en undersøkelse av 230 diesebilmodeller at alle de store diesebilprodusentene selger biler med NO_x utslipp som er like store eller større enn de tilsvarende utslipp fra VW-biler (Transport & Environment 2016). Blant annet at slipper Fiats og Suzukis dieserbiler i gjennomsnitt ut 15 ganger mer enn den lovlige EU-grensen for NO_x.

Renault-Nissan-biler slapp ut 14 ganger mer, Opel/Vauxhall slapp ut 10 ganger mer, mens Volkswagens dieserbiler forurenset "bare" dobbelt så mye som Euro 6-standarden (Lie 2016).

1.2 Problemstillinger

Hvis bilprodusentene reduserer NO_x-utslippet slik at utslippskravene oppfylles også under kjøring, hvordan vil dette påvirke forbruket av drivstoff og dermed CO₂-utslipp? Hvor store er feilene i oppgitte tall for drivstofforbruk?

Både effekten av NO_x-reduserende tiltak og feil i oppgitte tall for drivstofforbruk og CO₂-utslipp skal innarbeides i en oppdatert versjon av Vestlandsforskning sin database

<http://transport.vestforsk.no/>.

2. Teknologier for reduksjon av NO_x-utslipp

2.1 Hvordan oppstår NO_x-utslipp?

Luft er i hovedsak en blanding av molekylært nitrogen (N₂) og oksygen (O₂). Når blandingen av luft og drivstoff forbrennes i motoren vil det i de områdene av forbrenningskammeret hvor temperaturen er høy nok (over ca. 1 500 °C) skje en reaksjon hvor noe av det molekylære nitrogenet blir oksydert til NO_x-gasser (Omnagen 2016). En bensinmotor opererer ved lavere temperatur og oppnår sjeldnere kritisk temperatur for NO_x-dannelse. Dermed forårsaker den lavere NO_x-utslipp. Grunnen til at temperaturen i en dieselmotor er høyere, er at dieselen komprimeres til selvantennning muligjgjøres, og denne komprimeringen avgir mye varme. En bensinmotor benytter tennplugg for å oppnå antenning, og krever derfor ikke så stor grad av komprimering, derav den lavere forbrenningstemperaturen.

Den viktigste årsak til høye NO_x-utslipp er krevende kjøring, som rask akselerasjon eller kjøring i motbakke. Dette fører til at temperaturen på dieselmotoren øker, og dermed øker også mengden av NO_x-utslippene (ICCT 2016).

2.2 NO_x-reduksjon og økt forbruk

(a) Eksostilbakeføring (EGR)

Eksostilbakeføring, forkortet EGR etter den engelske betegnelsen "Exhaust Gas Recirculation", består i at en del av eksosen blir ført tilbake til luftinntaket hvor den blandes inn i luften som skal inn i forbrenningskammeret. Andelen eksos som føres tilbake kan varieres ved en elektronisk styrt ventil. Når noe av den oksygenrike inntakslufta blir erstattet med oksygenfattig eksos, reduseres oksygeninnholdet i forbrenningskammeret, slik at det blir mindre omfattende forbrenning. Dette resulterer i at forbrenningen avgir mindre varme, slik at temperaturen blir lavere og dermed reduseres NO_x-utslippene. Når temperaturen går ned, avgir motoren mindre kraft. Bruk av EGR fører til 20-30 % økt utslipp av uforbrente hydrokarboner (Hussain 2012). Det er rapportert at økning i dieselbruk fra EGR-anvendelse, kan begrenses til 5 % ved sterk manipulering av innsprøytnings-parametere (Wagner et al. 2003). De amerikanske reguleringsene som førte til påbud om EGR førte til 3 % reduksjon i energieffektivitet for tyngre kjøretøy (NRC 2008). For å redusere NO_x-utslipp fra personbiler i Europa er EGR-teknologien den som benyttes mest. Denne teknologien fungerer imidlertid ikke ved motorbelastning på over 50-75 % (Ramsdal 2015).

(b) Selektiv katalytisk reduksjon (SCR)

Den andre hovedteknologien er bruk av selektiv katalytisk reduksjon (SCR). Dette innebærer bruk av et reduseringsmiddel, i form av "AdBlue", som er en blanding av urea i vann. Når denne blandingen blir sprøytet inn i katalysatoren omdannes eksosens NO_x til nitrogengass (N₂) og vann. I Europa er denne strategien hittil hovedsakelig forbeholdt tyngre kjøretøy og enkelte større personbiler, mens den ofte benyttes også på mindre personbiler i USA.

(c) NO_x-felle (LNT)

En tredje teknologi er bruk av en såkalt NO_x-felle (På engelsk: lean-NO_x trap, LNT). Fellen har absorberende materiale på overflatene, som avgassene NO og NO₂ fester seg til. Når det ikke er plass til mer NO og NO₂ på overflaten av det absorberende materialet, må dette regenereres. Regenereringen gjøres ved at dieselinnholdet i diesel-luft blandingen økes betydelig (etter-injeksjon), og overskuddet av brennstoff gjør at det dannes HC, som binder seg til NO_x-fellen og reduserer NO og NO₂ til N₂, CO₂ og H₂O. Bruken av en slik etterinjeksjon av drivstoff øker forbruket (Nikolaisen 2015). I den amerikanske målingen av NO_x-utslipp under kjøring hadde en av bilene (VW Jetta TDI) installert LNT (ICCT 2015).

(d) Andre teknologier

Det finnes en rekke *additiver* som kan brukes, men ingen er vurdert som gode nok til å gi

vesentlige bidrag til reduksjon av NO_x-utslipp (Hussain 2012).

Forsinket injeksjon kan være effektivt for å redusere NO_x, men medfører en betydelig økning i drivstofforbruket, slik at det vurderes som lite aktuelt at bilprodusentene innfører det (Hussain 2012).

Innsprøyting av vann og bruk av drivstoff som består av en *emulsjonsblanding* av vann og diesel, kan være effektivt for å redusere NO_x-utslipp, men medfører økt risiko for korrosjon av viktige motorkomponenter og vurderes derfor som lite aktuelt (Hussain 2012).

Ettersom disse andre strategiene vurderes som lite aktuelt å innføre i større omfang, står vi igjen med de tre hovedteknologiene Eksostilbakeføring (EGR), SCR og LNT, som vi i de påfølgende avsnitt beregner hvordan de hver bidrar til justeringen av faktorene i databasen.

3. Beregninger av de NO_x-reduserende teknologienes bidrag til økt energibruk og klimagassutslipp

Her viser vi hvordan de tre teknologiene 1) Eksostilbakeføring (EGR), 2) Selektiv katalytisk reduksjon (SCR) og 3) NO_x-felle (LNT), hver bidrar til økte faktorer for energibruk og klimagassutslipp i databasen.

3.1 Bidrag fra justert eksostilbakeføring (EGR)

For å beregne størrelsen på økningen i bilenes forbruk og CO₂-utslipp som kan forventes ved NO_x-utslippsreduksjoner, kan det tas som utgangspunkt at i USA har VW uttalt at alle bilene som er påvirket av jukset skal få oppdatert dataprogramvaren og etterinstallere ("retrofit") utstyr (Smirnow 2015). I følge VW startet tilbakekallingen av biler i Europa i januar 2016 (VW 2015c; VW 2016a). Tiltaket for de berørte bilene med EA189 motor i størrelse 1,2 og 2,0 liter er kun programvareoppdatering. Bilene med 1,6 liters motor får i tillegg til programvareoppdatering, også installert en såkalt luftstrømningsutjevner ("flow straightener"). Dette er et gitter som plasseres rett foran luftmassemåleren. Hensikten med gitteret er å gjøre målingen av luftstrømmen mer nøyaktig, så EGR systemet mer presist kan øke mengden eksos som tilbakeføres, og dermed redusere NO_x-utslippet bedre. Men, økt eksosresirkulering kan føre til at det dannes mer sot, som resulterer i økt behov for vedlikehold av motoren (Tatarevic 2015). Den tilbakeførte eksosen inneholder ufullstendig forbrent drivstoff og forbrenningsforbindelser som med tid avleires på EGR-ventilen. Dette kan føre til at ventilen ikke lukkes helt igjen, selv om elektronikkstyringen prøver å få den til å gjøre det. Økt grad av eksostilbakeføring gir økt risiko for at dette skjer. Når ventilen blir stående i delvis åpen posisjon, lekker eksos inn i inntaksmanifolden, når dette i følge EGR-styringen ikke skal skje. Dette gir økt dieselforbruk (Bell Performance 2012).

Når bilene som tidligere var utstyrt med jukseprogrammet, og de med 1,6 liters EA 189 motor i tillegg får installert luftstrømningsutjevner, kommer mer eksos til å bli tilbakeført for å redusere NO_x-utslippene under kjøring. Dermed vil forekomsten av avleiring som fører til uønsket lekkasje øke, og dette resulterer i økt forbruk av diesel.

I juni 2016 annonserte VW at programvareoppdateringen også hadde begynt for andre bilmerker med 2,0 liters TDI-motor av typen EA189, nemlig Audi A4, A5, A6 og Q5, samt Seat Exeo (VW 2016b).

En test som ble gjort for å vise om motoren i bilen genererer mindre kraft, målt i form av lavere maksimalt dreiemoment, når den er i jukse-modus i testlaboratoriet, viste at for en VW Jetta TDI utgjorde forskjellen 43,4 Nm (Smirnow 2015). Dette er en reduksjon på 12 %, fra 352,5 Nm (260 lb-ft) ved 2 561 omdreininger i minuttet til 309,1 Nm (228 lb-ft) ved 2 588 omdreininger i minuttet.

Endringene som forventes kan resultere i at bilene får begrensninger i dreiemoment, slik at motorene kan virke "treger", og ikke reagerer like raskt på gasspedaltrykk (Ramsdal 2015).

En av de bilmodellene som har fått oppgradert programvaren er blitt testet av det tyske bilbladet "Auto Motor und Sport" for å finne ut hvor mye programvareoppdateringen påvirker drivstofforbruket (Gulde 2016). Det ble gjort på en VW Amarok, som på den tid var den eneste modellen som hadde fått fjernet jukseprogrammet. Resultatet for de to bilene som ble testet var at drivstofforbruket økte med henholdsvis 0,07 og 0,05 liter per mil fra 0,82 liter per mil før programvareoppdateringen, d.v.s. økning på 8,5 % og 6,1 %.

Undersøkelsen som er gjort av de tyske føderale motortransportmyndighetene (Kraftfahrt-Bundesamt, KBA) viste at produsenter av styringssystemene for EGR som benyttes i en rekke bilmerker, legger inn utkobling av eksostilbakeføringen når utetemperaturen synker til visse nedre grenser (KBA 2016). Dette gjøres ifølge bilbladet AutoEvolution for å forlenge levetiden på delene som inngår i EGR-systemet (Panait 2016). I undersøkelsen ble det vist at EGR-systemet delvis eller helt ble satt ut av funksjon ved temperaturer lavere enn +17 °C i flere modeller fra Opel og Renault-Nissan, mens i modeller fra Daimler og Mercedes skjer dette ved temperaturer lavere enn +10 °C. Hos Peugeot 308 1,6 L slår EGR-systemet seg av ved temperaturer lavere enn +5 °C. I noen modeller fra Fiat og Ford slås EGR-systemet av når bilen er fullastet eller kjører i høy hastighet. KBA-testen viste at det var kun 10 av de 53 bilene som ble testet, som oppfylte utslippskravene ved en temperatur på -10 °C. Hos noen modeller av Fiat blir EGR-systemet satt ut av funksjon etter at motoren har gått i 22 minutter, for å lure New European Driving Cycle (NEDC) testen, som vanligvis kun kjøres i 20 minutter (Olsen 2016; Poliscanova 2016).

Med basis i denne kunnskapen velger vi et estimat på 7 % tillegg i drivstofforbruket som følge av EGR-justeringene som kan forventes.

3.2 Bidrag fra bruk av selektiv katalytisk reduksjon (SCR) i personbiler

(a) Well-to-Tank

Økt forbruk av AdBlue i de bilene som har installert SCR, kan være et resultat av endringene som trolig blir gjort. Det kan også være aktuelt å etterinstallere SCR på biler som ikke allerede har dette. Det forventes også økt bruk av SCR på nye personbiler i Europa (Valle 2016).

I et scenario hvor nye dieselpersonbiler i Europa blir utstyrt med SCR, må produksjon og forbruk av AdBlue tas med i beregningen av totalt CO₂-utslipp. Forbruk av AdBlue i tyngre kjøretøy kan være et utgangspunkt for beregningen av økt forbruk i personbiler. Volvo oppgir AdBlue forbruk i lastebiler til å være i størrelsesorden 4-8 % av dieselforbruket, avhengig av Euro-klasse og modell (Mårtensson 2014). Et AdBlue-forbrukstall på 4,14 % er brukt i en spansk studie (Baquero et al. 2013). Valle (2016) peker på at AdBlue forbruket vil øke i takt med strengere utslippskrav, fra 5% for Euro 5 til 10 % for Euro 6-kjøretøy.

Energiforbruk for AdBlue-produksjon kan beregnes ut fra tilgjengelig data på urea, som er utledet til 51,6 MJ per kg nitrogen (Skownrońska & Filipek 2014). Da nitrogeninnholdet i urea er 46,6 % tilsvarer dette 110,68 MJ per kg urea. AdBlue består av 32,5 % (w/w) urea i vann, så det går med 35,8 MJ til å produsere 1 kg AdBlue. Med et antatt forbruk av AdBlue på 6 % av dieselforbruket vil det innebære et tillegg på 2,16 MJ per kg diesel forbrukt. Tetthet på diesel er 0,83 kg/l, så AdBlue forbruket utgjør 1,79 MJ per liter diesel forbrukt.

VF-databasen har en faktor for forbruk av diesel for personbil på 1,66 MJ per vkm, som med energiinnhold på 35,11 MJ per liter diesel tilsvarer 0,047 liter per vkm. Dermed utgjør forbruket av AdBlue på 1,79 MJ per liter diesel et tillegg på 0,085 MJ per vkm. VF-databasens energibruksfaktor er 0,27 MJ per vkm for Well-to-Tank, så AdBlue-bruken utgjør et tillegg på 31,4 % til faktoren for Well-to-Tank i VF-databasen.

(b) Tank-to-Wheel

Det er også Tank-to-Wheel bidrag fra forbruket av AdBlue, ettersom karbonet i urea ender opp som CO₂ i eksosen. Et estimert AdBlue-forbruk på 8 % av dieselforbruket på 1,66 MJ/vkm innebærer et forbruk av 0,0028 liter AdBlue per vkm. Da vi igjen tar hensyn til at AdBlue består av 32,5 % (w/w) urea, forbrukes 0,00092 liter urea per vkm. Urea har en tetthet på 1,32 kg per liter. Det forbrukes altså 1,217 gram urea per vkm. Da urea inneholder 19,98 %

karbon, utgjør dette forbruket et karbonutslipp på 0,243 gram karbon per vkm. Ved at 3,67 gram CO₂ dannes fra 1 gram karbon er resultatet at forbruket av AdBlue gir et økt Wheel-to-Tank utslipp på 0,892 gram CO₂ per vkm. VF-databasen har en Tank-to-Wheel faktor på utslipp av 123,1 gram CO₂-ekvivalenter per vkm for dieselpersonbiler. Utslipet fra AdBlue-forbruk gir altså et Tank-to-Wheel tillegg på 0,7 %.

3.3 Bidrag fra bruk av NO_x-felle (LNT)

Vi kan estimere en økning i drivstofforbruket med 3 % fra økt frekvens for etter-injeksjon for regenerering av NO_x-felle. Produksjon av NO_x-felle bør også tas med i beregningen, men dette har vi ikke gjort da nødvendige data for å gjøre en slik beregning ikke er tilgjengelige.

4. Hvordan rapporterte avvik mellom oppgitt og faktisk forbruk bidrar til endring av databasens faktorer

Vi viser i dette kapitlet hvordan avvik mellom faktiske forbrukstall under kjøring, og det som opplyses fra bilprodusentene, kan tas hensyn til i oppdateringen av faktorene som ligger i databasen.

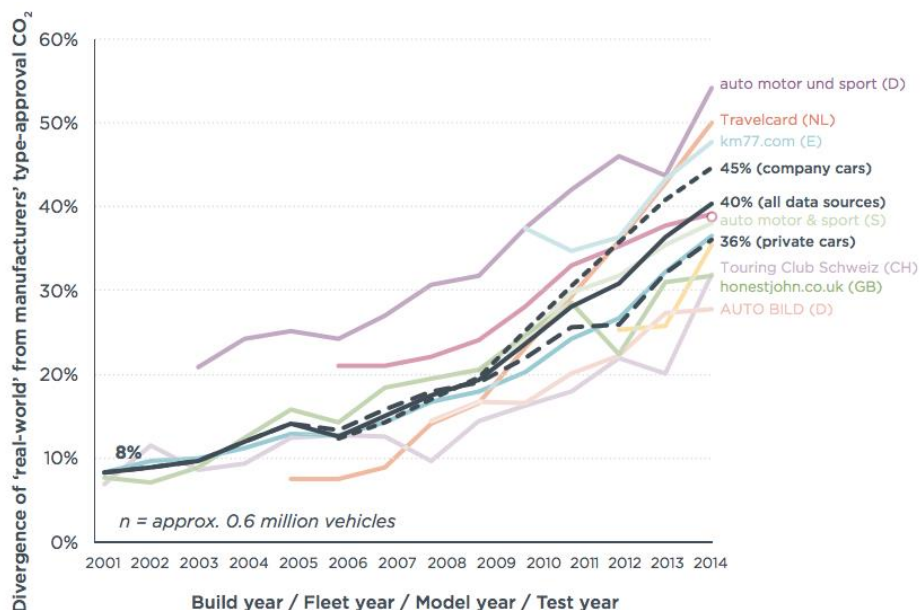
VW har kunngjort at også drivstofforbruk og CO₂-utslipp er høyere enn tidligere oppgitt (VW 2015a; VW 2015b; BBC 2015a). Dette gjelder både for diesel og bensinbiler, men hovedsakelig for dieslbiler. Antallet biler som er påvirket ble imidlertid nedjustert fra 800 000 opprinnelig til 36 000 biler (BBC 2015b). Dette utgjøres av 9 ulike bilmodeller, som i snitt forbruker 0,1-0,2 liter ekstra per 100 km (Cremer 2015). Ved å bruke snittverdien på 0,15 liter og diesels tetthet på 0,83 samt at 1 kg diesel gir opphav til 3,15 kg CO₂, kan vi regne ut et tillegg på 3,9 g/vkm. For et oppgitt CO₂-utslipp fra gjennomsnittet av nye biler i 2014 på 123 g per vkm (Tietge et al. 2015) utgjør tillegget 3,2 %.

Den franske IFPEN-studien viste at CO₂-utslippene fra en rekke av bilene var betydelig høyere enn oppgitt fra produsentene. I gjennomsnitt slapp de 89 forskjellige bilmodellene ut 29,3 % mer CO₂ enn oppgitt (IFPEN 2016).

EQUA Fuel Economy Index utviklet av britiske Emission Analytics, inneholder testresultat for mere enn 800 kjøretøy, hvor det er beregnet for 2016 et reelt snittforbruk for dieslbiler som er 35,1 % høyere enn oppgitt forbruk. Tilsvarende avvik for bensinbiler er 27,1 % og 50,6 % for hybridbiler (Emission Analytics 2016).

Offisielle gjennomsnittsutslipp av CO₂ fra nye biler i Europa har blitt redusert fra 170 til 123 g/vkm i løpet av årene 2001-2014 (Tietge et al. 2015). I løpet av disse årene har reduksjonen blitt gradvis større fra år til år, fra ca. 1 % per år til ca. 4 % årlig reduksjon. ICCT har imidlertid kommet fram til at forskjellen mellom reelle og oppgitte CO₂-utslipp for bensin- og dieslbiler har steget vesentlig, fra 8 % i 2001 til 40 % i 2014, som vist i Figur 1.

Figur 1 Avvik mellom reelle og oppgitte CO₂-utslipp for personbiler (Kilde: Tietge et al. 2015)



I databasen <http://transport.vestforsk.no/> er faktorene for Tank-to-Wheel CO_{2eq}-utslipp per vkm fra personbiler i Norge i 2010 estimert til 123,1 gram og 138,8 gram, henholdsvis for diesel- og bensindrevne. Tilsvarende faktor for hybridbiler er 99,1 gram og 114,0 gram, henholdsvis for diesel- og bensin-hybrid. Disse faktorene er fra Concawe/Eucar, framkommet ved simulering av kjøresyklusen NEDC, og ikke fra empirisk testing (Simonsen 2010). Dette er den testsyklusen som også bilfabrikantene baserer sin rapportering på, som det nå altså er kommet fram kunnskap om at gir vesentlig lavere utslipp enn under reelle kjøreforhold.

Hvis vi antar at reduksjonen i offisielle CO₂-utslipp for nye biler i Norge har fulgt samme trend som Tietge et al. (2015) rapporterer, d.v.s. gradvis endring fra 1 % per år til ca. 4 % årlig i 2001-2014, kan vi beregne at 2010-faktoren på 123,1 gram tilsvarer 108,4 gram i 2014. Ved å anta en årlig reduksjon på 4 % fra 2014 til 2016, kan den anslås å være 99,9 g/vkm for dieselbiler i 2016. Reelle utslipp kan da estimeres til å være 40 % høyere, d.v.s. 139,8 g/vkm. Tilsvarende for bensinbiler blir 157,7 gram, for hybridbiler 112,6 gram og 129,5 gram henholdsvis for diesel- og bensin-hybrid. 2010-faktorene i for TtW energibruk i databasen får altså et tillegg på 14 %.

5. Resultat av analysen

Når konsekvensen av NO_x-reduserende tiltak og avviket mellom faktisk og oppgitt forbruk/CO₂-utslipp fra personbiler sammenfattes, kan faktorene for energibruk per kjøretøykilometer i VF-databasen endres som vist i Tabell 1.

Tabell 1 Sammenfatning av tillegg i faktorer for energibruk per kjøretøykilometer

	Beregningsmåte	Tillegg energi (MJ)
Bidrag fra justert eksostilbakeføring (EGR)		
TtW Diesel	7,0 % av 1,66 MJ	0,12
TtW Hybrid-diesel	7,0 % av 1,33 MJ	0,09
Bidrag fra selektiv katalytisk reduksjon (SCR)		
WtT Diesel	31,4 % av 0,27 MJ	0,08
WtT Hybrid-diesel	31,4 % av 0,21 MJ	0,07
TtW Diesel	0,7 % av 1,66 MJ	0,01
TtW Hybrid-diesel	0,7 % av 1,33 MJ	0,01
Bidrag fra NO_x-felle (LNT)		
TtW Diesel	3,0 % av 1,66 MJ	0,05
TtW Hybrid-diesel	3,0 % av 1,33 MJ	0,04
Bidrag fra avvik mellom oppgitt og faktisk forbruk		
TtW Diesel	14,0 % av 1,66 MJ	0,23
TtW Bensin	14,0 % av 1,88 MJ	0,26
TtW Hybrid-diesel	14,0 % av 1,33 MJ	0,19
TtW Hybrid-bensin	14,0 % av 1,54 MJ	0,22
Sum bidrag fra enkeltsegment i energikjeden:		
TtW Diesel		0,41
TtW Bensin		0,26
TtW Hybrid-diesel		0,33
TtW Hybrid-bensin		0,22
WtT Diesel		0,09
WtT Hybrid-diesel		0,07
Well-to-Wheel (WtT+TtW):		
Diesel		0,50
Bensin		0,26
Hybrid-diesel		0,40
Hybrid-bensin		0,22

Endringer i faktorer for CO_{2eq}-utslipp er beregnet ut fra energibrukstilleggene i Tabell 1 ved å benytte CO₂-innhold på 3,15 kg per kg drivstoff og energiinnhold på 42,3 og 44,0 MJ per kg drivstoff for henholdsvis diesel og bensin. Dette gir imidlertid en underestimert av CO_{2eq}-utslipp, ettersom det er basert på kun CO₂. De andre utslippskomponentene som bidrar til det totale CO_{2eq}-utslippet, må også inkluderes. For eksosutslipp fra diesel- og bensinbiler dreier det seg i all hovedsak om metan (CH₄) og lystgass (N₂O). Bidraget fra disse andre klimagassene kan inkluderes i beregningene ved at per kg CO₂ som slippes ut i dieleseksos i Norge, slippes det ut 0,0054 g CH₄, når tall for 2013 benyttes (Holmengen & Fedoryshyn 2015). Tilsvarende verdi for N₂O er 0,0285 g. For bensinbiler er faktorene 0,1381 g CH₄ og 0,0156 g N₂O. GWP100 er 34 og 298 for henholdsvis CH₄ og N₂O, slik at hvert gram CH₄ gir et bidrag på 34 g CO_{2eq}, mens tilsvarende for N₂O gir hvert gram et bidrag på 298 g CO_{2eq}.

Resultatet er vist i Tabell 2.

Tabell 2 Tillegg i faktorer for CO_{2eq}-utslipp per kjøretøykilometer

	Tillegg (gram CO _{2eq})			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Totalt
TtW Diesel	30,56	0,01	0,26	30,82
TtW Bensin	18,84	0,09	0,09	19,02
TtW Hybrid-diesel	24,48	0,00	0,21	24,70
TtW Hybrid-bensin	15,44	0,07	0,07	15,58
WtT Diesel	6,31	0,00	0,05	6,37
WtT Hybrid-diesel	4,91	0,00	0,04	4,95
Totalt WtW:				
Diesel	36,87	0,01	0,31	37,19
Bensin	18,84	0,09	0,09	19,02
Hybrid-diesel	29,39	0,01	0,25	29,65
Hybrid-bensin	15,44	0,07	0,07	15,58

Ved å benytte de eksisterende faktorene i VF databasen for WtT bensinbiler og WtT hybrid-bensinbiler, samt infrastruktur og fabrikasjon av transportmiddel for alle biltyper, kommer vi fram til nye faktorer som er vist sammen med de gamle faktorene i Tabell 3.

Tabell 3 Sammenstilling av nye og gamle faktorer for energibruk og CO_{2eq}-utslipp per kjøretøykilometer

	Energi (MJ)			CO _{2eq} (gram)		
	Gammel	Ny	Forskjell	Gammel	Ny	Forskjell
TtW Diesel	1,66	2,07	+25%	123,10	153,92	+25%
TtW Bensin	1,88	2,14	+14%	138,80	157,82	+14%
TtW Hybrid-diesel	1,33	1,66	+25%	99,10	123,80	+25%
TtW Hybrid-bensin	1,54	1,76	+14%	114,00	129,58	+14%
WtT Diesel	0,27	0,35	+30%	23,50	29,87	+27%
WtT Hybrid-diesel	0,21	0,28	+33%	18,90	23,85	+26%
Totalt WtW:						
Diesel	2,56	3,06	+20%	180,50	217,69	+21%
Bensin	2,77	3,03	+9%	196,20	215,22	+10%
Hybrid-diesel	2,19	2,58	+18%	153,00	182,65	+19%
Hybrid-bensin	2,41	2,63	+9%	168,30	183,88	+9%

Ved å benytte belegg på 1,3 og 2,0 personer per kjøretøy henholdsvis for korte og lange reiser, vi får nye faktorer per personkilometer som vist sammen med de gamle i Tabell 4.

Tabell 4 Gamle og nye faktorer for energibruk og CO_{2eq}-utslipp per personkilometer for personbiler

	Korte reiser						Lange reiser					
	Energi (MJ/person)			CO _{2eq} (g/pkm)			Energi (MJ/pkm)			CO _{2eq} (g/pkm)		
	Gml.	Ny	Forskj.	Gml.	Ny	Forskj.	Gml.	Ny	Forskj.	Gml.	Ny	Forskj.
TtW Diesel	1,28	1,59	+25%	94,69	118,40	+25%	0,83	1,04	+25%	61,55	76,96	+25%
TtW Bensin	1,45	1,65	+14%	106,77	121,40	+14%	0,94	1,07	+14%	69,40	78,91	+14%
TtW Hybrid-diesel	1,02	1,28	+25%	76,23	95,23	+25%	0,67	0,83	+25%	49,55	61,90	+25%
TtW Hybrid-bensin	1,18	1,35	+14%	87,69	99,68	+14%	0,77	0,88	+14%	57,00	64,79	+14%
WtT Diesel	0,21	0,27	+31%	18,08	22,98	+27%	0,14	0,18	+31%	11,75	14,93	+27%
WtT Hybrid-diesel	0,16	0,21	+31%	14,54	18,35	+26%	0,11	0,14	+31%	9,45	11,93	+26%
Totalt WtW:												
Diesel	1,97	2,35	+19%	138,85	167,46	+21%	1,28	1,53	+19%	90,25	108,85	+21%
Bensin	2,13	2,33	+10%	150,92	165,55	+10%	1,39	1,52	+10%	98,10	107,61	+10%
Hybrid-diesel	1,68	1,99	+18%	117,69	140,50	+19%	1,10	1,29	+18%	76,50	91,32	+19%
Hybrid-bensin	1,85	2,02	+9%	129,46	141,45	+9%	1,21	1,31	+9%	84,15	91,94	+9%

Referanser

- Baquero G, Esteban B, Puig R, et al (2013) Environmental life cycle assessment of rapeseed straight vegetable oil as selfsupply agricultural biofuel. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112003825>. Accessed 29 Aug 2016. Renewable Energy 50:142–149
- BBC (2015a) Volkswagen says 800,000 cars may have false CO₂ levels. <http://www.bbc.com/news/business-34712435>. Accessed 24 Aug 2016. BBC News.
- Bell Performance (2012) Getting good gas mileage - the 3 engine components you need to check. <https://www.bellperformance.com/blog/bid/110805/getting-good-gas-mileage-the-3-engine-components-you-need-to-check>. Accessed 2 Sep 2016. Bell Performance
- Carrington D (2015a) Four more carmakers join diesel emissions row. https://www.theguardian.com/environment/2015/oct/09/mercedes-honda-mazda-mitsubishi-diesel-emissions-row?CMP=tw_t_gu. Accessed 26 Aug 2016. The Guardian.
- Carrington D (2015b) Wide range of cars emit more pollution in realistic driving tests, data shows. <https://www.theguardian.com/environment/2015/sep/30/wide-range-of-cars-emit-more-pollution-in-real-driving-conditions-tests-show>. Accessed 26 Aug 2016. The Guardian.
- Cremer A (2015) VW says CO₂ emissions scandal not as bad as feared. <http://www.reuters.com/article/us-volkswagen-emissions-carbon-idUSKBN0TS12I20151209>. Accessed 14 Sep 2016. REUTERS
- Emissions Analytics (2016) EQUA Fuel Economy Index. <http://equaindex.com/fuel-economy-index/>. Accessed 7 Sep 2016.
- Gulde D (2016) VW-diesel-software-update: VW Amarok Leistung gleich - Verbrauch leicht erhöht. Verbrauch: steigt um mehr als 0,5 Liter je 100 km. <http://www.auto-motor-und-sport.de/news/vw-diesel-update-amarok-leistung-gleich-gut-verbrauch-leicht-erhoeht-10551733.html>. Accessed 5 Sep 2016. Auto Motor und Sport.
- Holmengen N, Fedoryshyn N (2015) Utslipp fra veitrafikken i Norge Dokumentasjon av beregningsmetoder, data og resultater. Notater 2015/22. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/attachment/225115?ts=14ce05a5658>. Statistisk sentralbyrå • Statistics Norway, Oslo–Kongsvinger.
- Hussain J, Palaniradja K, Alagumurthi N, Manimaran R (2012) Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on Performance and Emission characteristics of a Three Cylinder Direct Injection Compression Ignition Engine. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016812000907>. Alexandria Engineering Journal 51:241–247.
- ICCT (2015) EPA's notice of violation of the Clean Air Act to Volkswagen. http://www.theicct.org/sites/default/files/press-factsheet-combo_EPA-CARB-VW_20150918.pdf. Accessed 25 Aug 2016. International Council on Clean Transportation.
- ICCT (2016) FAQ: In-use NO_x emissions from diesel passenger cars. <http://www.theicct.org/news/faq-use-nox-emissions-diesel-passenger-cars>. Accessed 24 Aug 2016. International Council on Clean Transportation.
- IFPEN (2016) Contrôle des émissions de polluants atmosphériques et de CO₂ mené sur 86 véhicules. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_Commission_independante.pdf. IFP Énergies nouvelles. Ministre de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, France. Accessed 05 Sep 2016.

- KBA (2016) Bericht der Untersuchungskommission „Volkswagen“. Untersuchungen und verwaltungsrechtliche Maßnahmen zu Volkswagen, Ergebnisse der Felduntersuchung des Kraftfahrt-Bundesamtes zu unzulässigen Abschaltvorrichtungen bei Dieselfahrzeugen und Schlussfolgerungen. http://www.autoevolution.com/pdf/news_attachments/630000-diesel-cars-of-german-origin-to-be-recalled-in-europe-more-to-follow-106820.pdf. Accessed 6 Sep 2016. Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Invalidenstraße 44, 10115 Berlin.
- Kühlwein J (2016) The Impact of Official Versus Real-World Road Loads on CO2 Emissions and Fuel Consumption of European Passenger Cars. http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_Coastdowns-EU_201605.pdf. Accessed 14 Sep 2016. International Council on Clean Transportation.
- Lie Ø (2016) Alle dieselmerkene forurenset mer enn Volkswagen. Fiat, Suzuki og Renault blant verstingene, ifølge ny studie. <http://www.tu.no/artikler/alle-dieselmerkene-forurenset-mer-enn-volkswagen/354608>. Teknisk Ukeblad. Accessed 3 Oct 2016
- Mårtensson L (2014) Emissions from Volvo's trucks. http://www.volvotrucks.com/SiteCollectionDocuments/VTC/Corporate/About us/Environment-2014/Emis_eng_10110_14001.pdf. Accessed 29 Aug 2016.
- Nikolaisen P-I, Valmotodd OR, Valmot R (2015) VW-skandalen: De er utslippsjegerne ingen lurer. <http://www.tu.no/artikler/vw-skandalen-de-er-utslippsjegerne-ingen-lurer/275864>. Accessed 25 Aug 2016. Teknisk Ukeblad.
- NPR (2015a) “It Was Installed For This Purpose,” VW’s U.S. CEO Tells Congress About Defeat Device. <http://www.npr.org/sections/thetwo-way/2015/10/08/446861855/volkswagen-u-s-ceo-faces-questions-on-capitol-hill>. Accessed 24 Aug 2016. The Two-way. Breaking news from NPR.
- NPR (2015b) Volkswagen Used “Defeat Device” To Skirt Emissions Rules, EPA Says. <http://www.npr.org/sections/thetwo-way/2015/09/18/441467960/volkswagen-used-defeat-device-to-skirt-emissions-rules-epa-says>. Accessed 24 Aug 2016. The Two-way. Breaking news from NPR.
- NRC (2008) Review of the 21st Century Truck Partnership. https://books.google.ca/books?id=gcw2a3GTVxsC&source=gbs_navlinks_s&hl=en. The National Academies Press, Washington DC.
- Olsen SJ (2016) Ny utslippsavsløring: Skrur av eksosrensingen allerede ved 17 grader. <http://www.tu.no/artikler/nye-dieselgate-funn-bilprodusentene-skrur-av-eksosrensing-allerede-ved-17-grader/347699>. Accessed 7 Sep 2016. Teknisk Ukeblad.
- Omnagen (2016) Guide to pollution caused by diesel engines. <http://omnagen.com/nox-emissions.html>. Accessed 24 Aug 2016. Omnagen - sustainable energy from chemical processes.
- Panait M (2016) 630,000 Diesel Cars of German Origin to Be Recalled in Europe, More to Follow. <http://www.autoevolution.com/news/630000-diesel-cars-of-german-origin-to-be-recalled-in-europe-more-to-follow-106820.html>. Accessed 6 Sep 2016. AutoEvolution.
- Poliscanova J (2016) #Dieselgate continues: new cheating techniques How national investigations into emissions scandal are pointing to existence of new defeat devices. https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2016_05_Dieselgate_continues_briefing.pdf. Accessed 7 Sep 2016. Transport & Environment.

- Ramsdal R (2015) Færre hestekrefter kan bli løsningen for VWs skandalebiler. <http://www.tu.no/artikler/faerre-hestekrefter-kan-bli-losningen-for-vws-skandalebiler/275715>. Accessed 25 Aug 2016. Teknisk Ukeblad.
- Simonsen M (2010) Energibruk og utslipp fra persontransport med personbil. En livsløpsanalyse. Vestlandsforskning, Sogndal.
- Skowrońska M, Filipek T (2014) Life cycle assessment of fertilizers: a review. [http://produkcja.ipan.lublin.pl/uploads/publishing/files/12Skowronska1128\(1\).pdf](http://produkcja.ipan.lublin.pl/uploads/publishing/files/12Skowronska1128(1).pdf). Int Agrophys 28:101–110.
- Smirnow A (2015) How much power does the VW TDI lose in “cheater” mode? (video report). <http://www.tflcar.com/2015/10/how-much-power-does-the-vw-tdi-lose-in-cheater-mode-video-report/>. Accessed 25 Aug 2016. The Fast Lane Car.
- Tatarevic B (2015) How The Volkswagen Dirty Diesel “Flow Straightener” Really Works. <http://www.thetruthaboutcars.com/2015/12/vw-flow-straightener-really-works/>. Accessed 30 Aug 2016 The Truth About Cars.
- Thompson GJ, Carder DK, Besch MC, et al (2014) In-Use Emissions Testing of Light-Duty Diesel Vehicles in the United States. http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/WVU_LDDV_in-use_ICCT_Report_Final_may2014.pdf. Accessed 24 Aug 2016. CAFEE - Center for Alternative Fuels, Engines & Emissions. West Virginia University.
- Tietge U, Zacharof, N, Mock P, et al (2015) From Laboratory to Road. A 2015 update of official and “real-world” fuel consumption and CO2 values for passenger cars in Europe. http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LaboratoryToRoad_2015_Report_English.pdf. Accessed 14 Sep 2016. International Council on Clean Transportation.
- Transport & Environment (2016) Dieselgate: Who? What? How? https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2016_09_Dieselgate_report_who_what_how_FINAL_0.pdf. Transport & Environment, Belgium.
- Valle M (2016) Slik skal forbrenningsmotoren bli renere. <http://www.tu.no/artikler/slik-skal-forbrenningsmotoren-bli-renere/276758>. Accessed 10 Feb 2016. Teknisk Ukeblad.
- VW (2015a) Volkswagen stellt Unregelmäßigkeiten bei CO2-Werten fest. <http://www.volkswagen.de/de/volkswagen-aktuell/News.suffix.html/2015~2Funregelmäßigkeiten-bei-co2-werten.html>. Accessed 30 Aug 2016. Volkswagen Aktuell.
- VW (2015b) Nächster Schritt in der Aufklärung der CO2-Thematik. <http://www.volkswagen.de/de/volkswagen-aktuell/News.suffix.html/2016~2Fea189--umsetzung-technische-massnahmen-beginnt.html>. Accessed 26 Aug 2016. Volkswagen Aktuell.
- VW (2015c) NOx-Thematik: Kunden werden informiert, Umsetzung beginnt. <http://www.volkswagen.de/de/volkswagen-aktuell/News.suffix.html/2015~2Fnox-thematik.html>. Accessed 30 Aug 2016. Volkswagen Aktuell.
- VW (2016a) Volkswagen beginnt in Europa mit der Umsetzung der technischen Maßnahmen bei den EA189-Dieselmotoren. <http://www.volkswagen.de/de/volkswagen-aktuell/News.suffix.html/2016~2Fea189--umsetzung-technische-massnahmen-beginnt.html>. Accessed 26 Aug 2016. Volkswagen Aktuell.
- VW (2016b) Freigabe der technischen Lösungen für rund 1,1 Millionen weitere Konzern-Fahrzeuge durch das Kraftfahrt-Bundesamt bestätigt. <http://www.volkswagen.de/de/volkswagen-aktuell/News.suffix.html/2016~2Ffreigabe-der-technischen-loesungen.html>. Accessed 31 Aug 2016. Volkswagen Aktuell

Wagner R, Green J, Dam T, Edwards K (2003) Simultaneous Low Engine-Out NO_x and Particulate Matter with Highly Diluted Diesel Combustion. In: SAE Technical Paper. SAE 2003 World Congress & Exhibition, Detroit MI.