

Rolf Hagman
Karl Idar Gjerstad
Astrid H Amundsen
TØI rapport 1168/2011

tøi Transportøkonomisk institutt
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning



NO₂-utslipp fra kjøretøyparken i norske storbyer

Utfordringer og muligheter frem mot 2025

NO₂-utslipp fra kjøretøyparken i norske storbyer

Utfordringer og muligheter frem mot 2025

Rolf Hagman
Karl Idar Gjerstad
Astrid H. Amundsen

Forsidebildet er tatt av Knut Opeide, Statens vegvesen

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [åndsverklovens](#) bestemmelser.

Tittel: NO₂-utslipp fra kjøretøyparken i norske storbyer. Utfordringer og muligheter frem mot 2025

Forfattere: Rolf Hagman
Karl Idar Gjerstad
Astrid Helene Amundsen

Dato: 11.2011

TØI rapport: 1168/2011

Sider 67

ISBN Elektronisk: 978-82-480-1275-7

ISSN 0808-1190

Finansieringskilde: Statens vegvesen Vegdirektoratet

Prosjekt: 3702 - Nitrogendioksidutslipp fra vegtrafikk

Prosjektleder: Rolf Hagman

Kvalitetsansvarlig: Ronny Klæboe

Emneord: Bytrafikk
Kjøretøy
Miljø
Nitrogendioksider
Utslipp

Sammendrag:

Utslippet av helseskadelige gassen NO₂ fra vegtrafikken har i motsetning til utslippet av eksospartikler, økt i de siste årene. Økningen skyldes i stor del den økende andelen av dieselpersonbiler i kjøretøyparken. Det har vist seg at typegodkjenningstestene for nye dieselpersonbiler i liten grad klarer å fange opp utslippet i faktisk trafikk, særlig er avvikene store for bykjøring og i kulde. Våre utslippsberegninger for norske storbyer tilsier at utslippet av NO₂ forventes å øke frem mot 2015, men at det så vil reduseres frem mot 2025. Selv om utslippet reduseres fra 2015, vil det fortsatt å kunne oppstå overskridelser av NO₂ kravene i 2025. Det knyttes usikkerhet til i hvilken grad Euro 6/VI kjøretøyene som innføres fra 2014 vil tilfredsstillende Euro kravene også i virkelige bytrafikk.

Title: NO₂ emission from the vehicle fleet in major Norwegian cities. Challenges and possibilities towards 2025.

Author(s): Rolf Hagman
Karl Idar Gjerstad
Astrid Helene Amundsen

Date: 11.2011

TØI report: 1168/2011

Pages 67

ISBN Electronic: 978-82-480-1275-7

ISSN 0808-1190

Financed by: The Norwegian Public Roads Administration

Project: 3702 - Nitrogendioksidutslipp fra vegtrafikk

Project manager: Rolf Hagman

Quality manager: Ronny Klæboe

Key words: Cities
Emissions
Vehicles

Summary:

The emission of NO₂ from road traffic has been increasing in Norway, this is mainly due to the increased number of diesel passenger cars. Even if new vehicles satisfy the Euro standards, the actual emission in real life traffic are higher than the standards allow for. This especially applies for typically city situations (with uneven motor load) and cold climatic situations. Our calculations for major Norwegian cities (Oslo, Bergen and Trondheim) show increased emission of NO₂ until 2015, then a decrease towards 2025. Even with a decrease of NO₂ in 2025, the level may still lead to NO₂ concentration above existing requirements. There are uncertainties in the calculations, especially concerning the real life emission from Euro 6/VI vehicles.

Language of report: Norwegian

Rapporten utgis kun i elektronisk utgave.

This report is available only in electronic version.

Transportøkonomisk Institutt
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Institute of Transport Economics
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norway
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Forord

Flere byer i Norge sliter med å tilfredsstille Forurensingsforskriftens grenseverdier til NO₂, særlig vinterstid har utslippene gitt høye konsentrasjoner av NO₂. Hensikten med denne rapporten er å vurdere hvorfor konsentrasjonen av nitrogendioksid (NO₂) har økt i større norske byer til tross for strengere avgasskrav til NO_x fra lette og tunge biler, og beregne forventet utvikling av utslippet.

Vi har sett på hvordan NO₂ dannes i ulike kjøretøystyper/drivstofftyper og utslipp av NO₂ som funksjon av teknologisk nivå, alder på kjøretøyene, type drivstoff, kjøremønster og temperatur. Vi har også vurdert forventet utvikling når de nye Euro 6/VI avgassbestemmelsene til lette og tunge kjøretøy trer i kraft fra 2014.

Prosjektet er finansiert av Statens vegvesen med bidrag fra Klima- og forurensningsdirektoratet. TØI har utført prosjektet i samarbeid med NILU. TØI ved forsker Rolf Hagman har hatt prosjektledelsen. Kontaktperson hos oppdragsgiver har vært Erik Figenbaum.

Rapporten er skrevet av forskerne Rolf Hagman (TØI), Karl Idar Gjerstad (NILU) og Astrid H. Amundsen (TØI). Rolf Hagman har skrevet kapitlene 2, 4, 5 og deler av kapittel 7 og 8. Karl Idar Gjerstad har skrevet kapitlene 3, 6, 8 og deler av kapitlene 1 og 7. Astrid H. Amundsen har skrevet kapitlene 1, 7, og deler av kapitlene 4 og 5, samt stått for redigeringen av innholdet. Forsker Juned Akhtar (TØI) har bidratt med utkjøringer fra beregningsverktøyet HBEFA. NILUs bidrag og spredningsberegningene for norske storbyer er kvalitetssikret internt av NILU ved avdelingsdirektør Leonor Tarrasøn, seniorforsker Dag Tønnesen og forsker Ingrid Sundvor. Forskningsleder Ronny Klæboe har vært ansvarlig for kvalitetssikringen av rapporten, mens sekretær Trude Rømning har tilrettelagt rapporten for publisering.

Oslo, november 2011
Transportøkonomisk institutt

Lasse Fridstrøm
instituttssjef

Ronny Klæboe
forskningsleder

Innhold

Sammendrag

Summary

1 Bakgrunn	1
1.1 Problem	1
1.2 Hensikt	3
1.3 Fremgangsmåte	4
1.4 Rapportens struktur	6
2 Nitrogenoksider, dannelselse, kjemi og rensing	7
2.1 Nitrogenoksider	7
2.2 NO _x og motorteknologi	11
2.3 Dannelselse av NO _x - kjøremåte og temperatur	14
2.4 NO _x , NO ₂ og renseteknologi	16
3 Analyse av historiske måledata	18
3.1 Konsentrasjoner av NO _x og NO ₂	18
3.2 Ozonkonsentrasjoner	21
3.3 Konsentrasjoner av svevestøv	22
4 Euro-krav til utslipp fra kjøretøy	23
4.1 Euro-krav til kjøretøy	23
4.2 Nye testsykluser under utprøving	24
4.3 EUs politikk og videre strategi	26
5 Utslippsfaktorer	28
5.1 Forutsetninger	28
5.2 Utslippsfaktorer bensinbiler	29
5.3 Utslippsfaktorer dieserbiler	31
5.4 Utslippsfaktorer for tunge dieselskjøretøy	32
5.5 Euro 5-6 og Euro V-VI teknologi	33
5.6 Dieselskjøretøy og kulde	39
5.7 Kompletterende Euro 5-6 og Euro V-VI målinger	41
6 Beregninger - NO₂, NO_x, PM og CO₂	42
6.1 Inngangsdata og forutsetninger	42
6.2 Usikkerhet i beregningene	44
6.3 Utslipp av NO ₂ og NO _x	45
6.4 Utslippsforhold og beskrivelse av NO ₂ -konsentrasjoner	47
6.5 Utslipp av eksospartikler, EP	50
6.6 Utslipp av CO ₂	51
7 Tiltak som kan redusere NO₂	53
7.1 Teknologiske tiltak	53
7.2 Arealplanlegging og restriktive tiltak	54
7.3 Oversikt over aktuelle tiltak	59
8 Konklusjon	60
9 Referanser	62
Vedlegg 1: Utslippsfaktorer for ulike kjøretøytyper	64
Vedlegg 2: Ekstra kuldestarttillegg	67

Sammendrag:

NO₂-utslipp fra kjøretøyparken i norske storbyer

Utfordringer og muligheter frem mot 2025

TØI rapport 1168/2011

Forfatter(e): Rolf Hagman, Karl Idar Gjerstad og Astrid H. Amundsen
Oslo 2011 67 sider

Mens partikkelutslippene har minket, øker utslipp av den helseskadelige gassen NO₂ fra vegtrafikken. Årsakene til den negative utviklingen er den økende andelen av dieselmotorer i kjøretøyparken, og de uønskede bi-effekter av oksiderende katalysatorer og partikkelfiltre som anvendes for å få ned andre utslipp fra dieselmotorer. Utslippsfaktorene i denne studien er basert på beregningsmodellen "Handbook of emission factors" (HBEFA). Utslippsberegningene viser da at uten ekstra tiltak vil befolkningen i norske storbyer fortsatt utsettes for helseskadelige forurensningsnivåer - med foreløpig topp omkring 2015. Etter 2015 kan det forventes en svak nedgang i konsentrasjonsnivået, det forutsetter imidlertid at utslipp fra nye biler i 2014 oppfyller intensjonene med Euro 6/VI-avgasskravene under reelle kjøreforhold og kulde. Det er derfor viktig å gjennomføre uavhengige målinger av slike biler, for å sjekke at utslippene i Norge ikke vil bli høyere enn forutsatt.

Luftkvalitet og NO_x

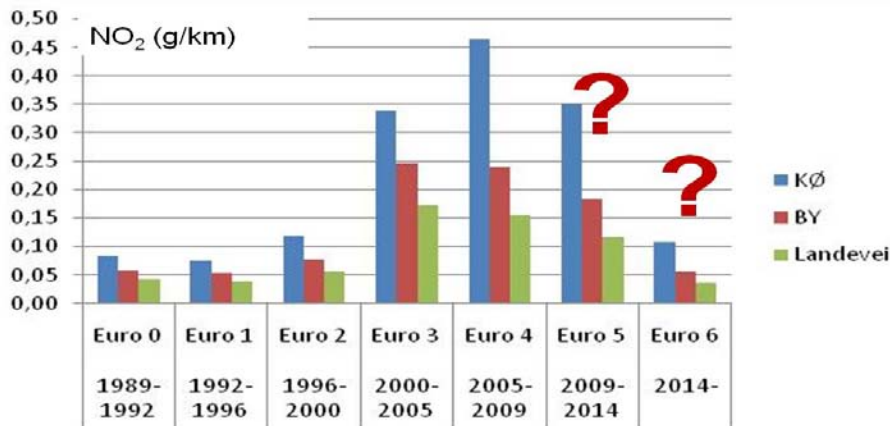
Avgassutslipp fra kjøretøy er en viktig miljøbetinget helsebelastning befolkningen i store byer utsettes for. Partikler og nitrogenoksider (NO_x) er de dominerende komponentene i avgassene. Nitrogenoksider NO_x fra kjøretøy dannes hovedsakelig i forbrenningsmotorer som følge av at temperaturen i motorene kan komme over 1700 °C. De kjemiske prosessene for dannelselse, omdannelse og nedbryting av nitrogenoksider er komplekse. NO_x består av NO og NO₂ hvor NO₂ regnes som helseskadelig.

NO₂ akkumuleres i byluften når det er vindstille og inversjonsforhold over flere dager. Tillatte konsentrasjoner av NO₂ i luften er lovregulert gjennom grenseverdier som er fastsatt i forurensingsforskriften. I noen av de store norske byene overskrides grenseverdiene for NO₂, og det er ingen tegn til at konsentrasjonene er avtagende. For eksempel ble grenseverdiene overskredet et stort antall ganger i 2010 i både Oslo og Bergen.

Moderne dieselmotorer har i motsetning til moderne bensinmotorer ikke effektive rensesystemer som kan fjerne utslippene av NO_x. Mangelen på effektive rensesystemer for NO_x fra dieselmotorer har derfor, sammen med en økning i andel dieselmotorer ført til høye konsentrasjoner av NO₂ i de store norske byene ved køkjøring, kaldt klima og værphenomenet inversjon.

Dieselmotorer – utslipp av NO_x og NO₂

Nye moderne kjøretøy med dieselmotorer slipper således ut betydelig mer NO_x enn nye moderne kjøretøy med bensinmotorer. I tett bytrafikk har det vist seg at nye personbiler med dieselmotor slipper ut 0,5 til 1,5 gram NO_x per kilometer. Dette er 10 til 40 ganger mer enn tilsvarende biler med bensinmotor. Nye tunge kjøretøy med dieselmotorer slipper ut 4 til 10 gram NO_x per kilometer i tett bytrafikk.



Figur S.1: Utvikling og prognose for utslipp av NO₂ fra nye personbiler med dieselmotorer under køkjøring, bykjøring og landeveiskjøring. Spørsmålstegnene i figuren betyr at utslippene fra Euro 5-6 biler er basert på modellberegninger og prognoser. Kilde: HBEFA og TØI

Utslippene av NO_x fra nye kjøretøy med dieselmotorer i bytrafikk har ikke blitt redusert i så stor grad som en kunne forventet som følge av strengere krav til utslipp ved typegodkjenningen av nye kjøretøy/motorer. Typegodkjenningen gjennomføres under standardiserte sommerlige forhold og med et normert kjøremønster i et laboratorium. Faktiske utslipp har vist seg å bli betydelig større ved køkjøring, ved ujevnt kjøremønster og ved kjøring i kaldt klima enn ved kjøring i henhold til det normerte kjøremønsteret i typegodkjenningen. Typegodkjenningstestene har i liten grad klart å fange opp hva dieselmotorer faktisk slipper ut i ”typisk” bykjøring, mens for de nye bensinbilene har det vist seg at lave utslipp i typegodkjenningstesten også gir lave utslipp i reell trafikk.

Typegodkjenningsskravene inndeles i det som kalles Euro avgasskrav og går fra Euro 1-6 for lette biler og Euro I-VI for tunge biler. For at nye personbiler med dieselmotor skulle klare Euro 5 avgasskravene (som kom i 2009) for partikler ble det nødvendig å introdusere partikkelfiltre som samler og brenner opp partiklene. Dette har vært vellykket med hensyn til utslippet av partikler, men partikkelfiltrene og oksiderende katalysatorer har som bi-effekt ført til at en stor andel av nitrogenoksidet (NO_x) i avgassene blir oksidert til NO₂. Dette gir en betydelig økning i andelen av den helseskadelige gassen NO₂ i utslippene av NO_x og betyr at nye dieselmotorer har høyere NO₂-utslipp enn gamle dieselmotorer.

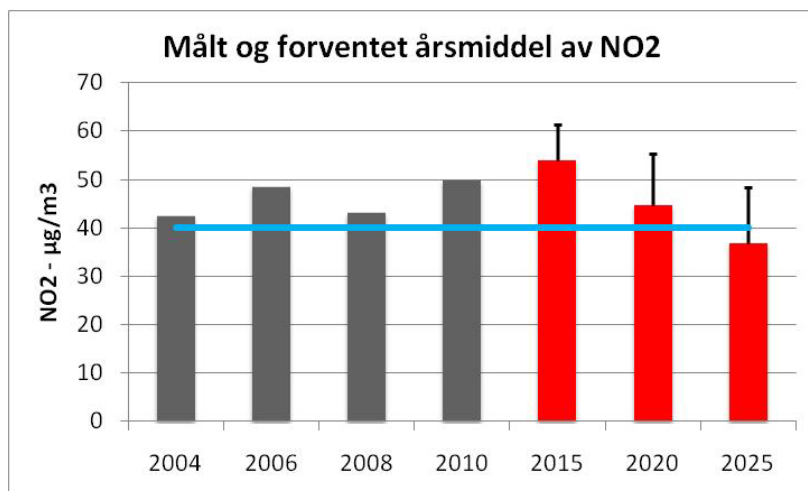
Andelen NO₂ er vanskelig å måle, men synes i nyere dieselmotorer å ligge på opp mot 50 % av de samlede NO_x-utslippene. For bensindrevne personbiler er NO₂ andelen av NO_x-utslippet vesentlig lavere, kun på rundt 5-10 %.

Utslippsfaktorer og utvikling av luftkvalitet

TØI og NILU ble bedt om å gi en prognose for hvordan utslipp fra veitrafikk kan forventes å utvikle seg frem mot 2025. Vi har i denne rapporten valgt å bruke ”Handbook of Emission Factors” HBEFAs anerkjente modell for beregning av utslippsfaktorer som utgangspunkt for vår prognose. HBEFA er en europeisk beregningsmodell som bygger på målinger av faktiske utslipp, fra ulike kjøretøyklasser og prognoser for fremtidig utvikling. Disse prognosene viser at NO_x-utslipp fra biler som klarer Euro 5 avgasskrav blir redusert i forhold til Euro 4 biler, og at utslippene fra Euro 6 biler (fra 2014) antas å bli redusert med ca 70 prosent i forhold til Euro 4 biler. Modellens utslippsfaktorer for biler som klarer Euro 5-krav er usikre pga. få fysiske målinger å kalibrere modellen med. For Euro 6-biler er modellens utslippsfaktorer basert på forventninger.

Våre beregninger av luftkvaliteten anvender disse utslippsfaktorene og forventet trafikkvekst samt utvikling av kjøretøyparken. Utslippskonsentrasjoner er beregnet for Stor-Oslo (Oslo og Bærum kommune). Beregningene indikerer at konsentrasjonsnivået av NO₂ forventes å øke fram mot 2015 for deretter å avta (se figur S.2). Beregningene avdekker med andre ord at uten tiltak, vil befolkningen i Stor-Oslo utsettes for overskridelser av grenseverdiene mange år framover. Det kan forventes en tilsvarende trend i andre byer med tilsvarende trafikkvekst og kjøretøysammensetning, selv om de lokale meteorologiske forhold er avgjørende for omfanget av overskridelse. Det er usikkert om den beregnede nedgangen i 2025 vil være reell og en er avhengig av at det faktiske utslippet fra kommende Euro 6 kjøretøyer ikke ligger høyere enn her forutsatt.

Luftkvaliteten i de store byene er sterkt avhengige av værforholdene, og ved kalde temperaturer og værphenomenet ”inversjon” er det sannsynlig at grenseverdiene for NO₂ blir overskredet også i 2025. Når det gjelder utslippet av eksospartikler og CO₂ forventes det fortsatt nedgang i utslippet gjennom hele perioden.



Figur S.2: Årsmiddel av NO₂ i Stor-Oslo. Målte historiske konsentrasjoner er vist med grå søyer, og anslått utvikling er vist med røde søyer. Forurensingsforskriftens grenseverdi er vist med blå linje. Merk at det er økende usikkerhet i langsiktige framtidige prognoser.

I utslippsberegningene er det ikke tatt hensyn til en eventuell innfasing av elektriske biler eller hybridbiler, eller andre alternative drivstofftyper til bensin eller diesel. En økning i andelen kjøretøyer som bruker hel eller delvis elektrisk

drift, og mer miljøvennlige busser kan bedre den forventede utviklingen gitt i figur S.2. Samtidig er avgassutslippet i faktisk trafikk for Euro 6/VI kjøretøy vurdert optimistisk.

Det vil komme strengere utslippskrav til kjøretøy i 2014. Det store spørsmålet er hva nye kjøretøy, som oppfyller de nye Euro 6-kravene og motorer for tunge kjøretøy som oppfyller Euro VI-kravene, vil slippe ut i virkelig trafikk.

Produsentene av kjøretøy, EU og myndighetene er alle klar over at systemet for typegodkjenning av biler ikke har fungert som ønsket når det gjelder å redusere utslippene av NO_x og NO₂ fra kjøretøy med dieselmotorer.

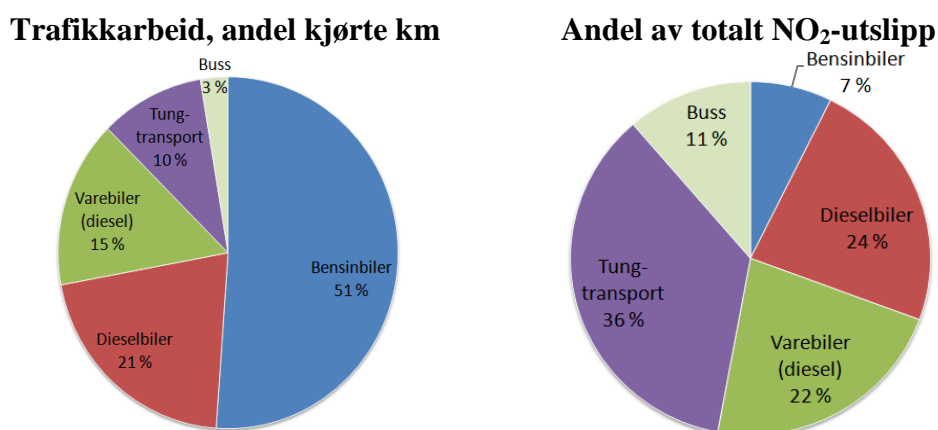
Den tyske motororganisasjonen ADAC har ved utslippsmålinger av prøveeksemplarer av Euro 6 dieselmotorer, også sett at disse kan ha høyere utslipp av NO_x i virkelig trafikk enn hva de hadde forventet ut i fra typegodkjenning. ADAC ser alvorlig på dette og forlanger at myndighetene stiller krav om at nye Euro 6 kjøretøy med dieselmotorer skal ha utslipp av NO_x som *under alle kjøreforhold* er 70 prosent lavere enn for dagens nye dieselkjøretøy.

Teknologi for rensing av dieselavgasser

Norsk avgiftsomlegging i 2007 stimulerte til kjøp av dieselmotorer, noe som har ført til en nedgang i CO₂-utslippene fra nyere biler over hele landet. Det er et poeng å ta vare på denne gevinsten, uten at dette skal gå på bekostning av folks helse. Teknologi for å redusere og fjerne NO_x finnes, men det er en utfordring å få disse teknologiene til å virke på en effektiv måte i virkelig trafikk. Regulering av innsprøyting, resirkulasjon av avgasser (EGR) og kjemisk reduksjon av NO_x til nitrogengass (SCR) kan bidra til å redusere eller helt fjerne utslippene av NO_x.

Tiltak, restriksjoner og avgifter

Når en skal vurdere aktuelle tiltak for å overholde grenseverdiene for NO₂, kan det være en fordel å ta hensyn til hvilken grad de ulike kjøretøykategoriene bidrar til utslippet. Figur S.3 viser fordelingen av trafikkarbeid, og deres andel av NO₂-utslippet fordelt på kjøretøytyper i Stor-Oslo i 2010. I den grad nye lette dieselmotorer eventuelt kjører mer enn forutsatt vil det øke deres andel av utslippene.



Figur S.3: Diagrammet til venstre viser andel trafikkarbeid (andel av alle kjørte kilometer) for ulike kjøretøysklasser i Stor-Oslo i 2010. Diagrammet til høyre viser hvor stor andel av det totale NO₂-utslippet som hver kjøretøysklasse slipper ut.

Utslipp av NO₂ er et problem først og fremst lokalt i byområder. For å imøtekomme både globale og lokale miljømål vil det være viktig å ha en bilpark med lave utslipp av NO₂, partikler og CO₂. Samtidig bør kommunene ha fullmakt til å sette i verk lokale tiltak.

I dagens bilpark har nyere dieselbiler, tunge kjøretøy med dieselmotor og eldre bensinbiler høyt utslipp av NO₂ (se figur S.1 og S.3). Et mulig tiltak kan derfor være å begrense bruken av kjøretøy med høyt utslipp av NO₂ på dager med høye NO₂-konsentrasjoner. De som er helt avhengig av å kjøre bil i byen hver dag, vil da kanskje velge å kjøpe en bensin-/hybridbil i stedet for dieselbil. Gitt at det blir innført forbud mot bruk av dieselbiler på dager med høy forurensning, vil dette kun være snakk om et begrenset antall dager i et begrenset område. De fleste vil derfor sannsynligvis fortsatt velge en dieselbil med lavt CO₂-utslipp og lavere engangsavgift.

Det kan diskuteres om en høy NO_x-komponent i engangsavgiften for biler er et hensiktsmessig tiltak, da kunnskapsgrunnlaget på området er mangelfullt. En NO_x-avgift kan av praktiske grunner kun ta utgangspunkt i utslippstallene i typegodkjenningen for de ulike bilmodellene. Dette gir ikke et riktig bilde av hva bilene faktisk slipper ut ved bykjøring. I praksis viser det seg at NO_x-utslippene i kø og bykjøring er mange ganger høyere enn det som framkommer fra typegodkjenningen. Muligens varierer dette også mye fra bilmodell til bilmodell, men dette er ikke undersøkt.

Kunnskapsbehov

Kompetanse om motorteknologi, avgassutslipp og spredning av avgasser under nordiske forhold med kulde og temperaturinversjoner, er nødvendig for å innføre nye avgiftssystemer, og for å innføre hensiktsmessige tiltak for å redusere klimapåvirkningen og å forbedre luftkvaliteten lokalt.

I Norge har det siden 2002 ikke vært mulig å teste avgassutslipp fra kjøretøy. Å vedlikeholde og gjenoppbygge en grunnleggende kompetanse om motorteknologi og avgassutslipp i Norge er imidlertid nødvendig dersom utfordringene knyttet til både å redusere klimagassutslipp og helseskadelige avgasser skal kunne møtes på en god måte.

Fremover er det særlig viktig å få testet ut Euro 6/VI kjøretøyer under forhold som i størst mulig grad samsvarer med den kjøringen som foregår i byer. Betydningen av lave temperaturer bør også utredes nærmere. Det er derfor opprettet et samarbeid med avgasslaboratoriet til finske VTT, for å få testet ut nye kjøretøyer under tilnærmet ”virkelig” bytrafikk og i kulde. NO₂-målinger med UV-sensorer i trafikkerte områder er også å anbefale for å kartlegge reelle utslipp.

Målet med ny teknologi for kjøretøy med dieselmotorer er å oppnå lave utslipp av både CO₂ og NO₂. Det er imidlertid nødvendig at vi evaluerer hva den nye teknologien faktisk leverer, og kontrollerer at de lovede forbedringene ikke bare finnes på papiret, men at utslippsreduksjonene faktisk gjenspeiles under kjøring i virkelig trafikk, og at effekten opprettholdes, selv etter at kjøretøyene har vært noen år i bruk. Gitt at Norge ikke skal etablere egne laboratorier for avgasstesting bør en etablere en rammeavtale for eksternt samarbeid for å dekke kunnskapsbehovet.

Summary:

NO₂ emission from the fleet of vehicles in major Norwegian cities

Challenges and possibilities towards 2025

TØI Report 1168/2011

*Author(s): Rolf Hagman, Karl Idar Gjerstad and Astrid H. Amundsen
Oslo 2011, 67 pages Norwegian language*

Whereas particle emissions have decreased, the emissions of NO₂ in major Norwegian cities has increased, mainly due to the increasing number of diesel vehicles and an unwanted side-effect of particulate filters and oxidizing catalysts. The increased emissions, the national requirements for air quality and NO₂ are violated. Emission factors from HBEFA's emission model together with calculations made by NILU indicate that emissions of NO₂ in major Norwegian cities will continue to increase towards 2015 but thereafter decrease towards 2025. Even if the NO₂ concentrations in the air should satisfy the yearly limit by 2025, there will be periods with short term exceedances. This means that the authorities need to consider measures to reduce the real life emissions. Our calculations include uncertainties, especially related to "real life" emissions from the Euro 6/VI diesel vehicles. The uncertainties will have to be investigated and reduced by further emission tests of new and future diesel light vehicles as well as heavy duty vehicles in "real life" settings.

Air quality and NO_x

Exhaust emissions from vehicles is a problem in major cities, and nitrogen oxides (NO_x), together with particulate matter (PM), are the dominant harmful components in exhaust gases. Nitrogen oxides consist of NO and NO₂. NO₂ is the most important with respect to its adverse health effects at ambient levels in urban settings.

NO_x from vehicles are mainly formed in combustion engines at temperatures over 1700°C. The chemical processes of formation, transformation and decomposition of NO_x are complex and complicated.

Concentrations of NO₂ in the air have increased in the past 10 years in some of the major cities in Norway, particularly in Oslo and Bergen, where limit values for acceptable air quality were exceeded several times in 2010.

Unlike modern petrol engines, diesel engines are not fitted with efficient systems for removing NO_x emissions. The lack of effective systems for reducing NO_x-emissions, has led to high ambient concentrations of NO₂ in major Norwegian cities, especially during times of congestion, cold clear weather without wind and inversion. Inversion is when the air is colder and heavier at the ground than higher up.

NO_x emissions from diesel engines

Modern vehicles with diesel engines emit more NO_x than equivalent petrol engine vehicles. In dense urban traffic, new cars with diesel engines may emit 0.5 to 1.5 grams of NO_x per kilometer, which is 10 to 40 times more than a similarly sized petrol engine car. New heavy-duty vehicles with diesel engines emit 4 to 10 grams of NO_x per kilometer in dense city traffic which is 160 to 400 times higher than a petrol passenger car.

NO_x emissions from new vehicles with diesel engines have not been reduced as much as one might have expected from stringent EU requirements. New diesel engines meet stringent EU requirements for exhaust emissions when tested in the laboratory with today's type approval tests. However, real life emissions have been shown to be significantly higher under congested traffic conditions with driving patterns that vary more than when driving at more steady speeds. The results from type approval tests thus fail to be representative of the emissions that diesel vehicles emit in "typical" real life urban driving situations.

To meet the stricter Euro5 standard introduced in 2009, new effective particulate traps that burn the particles became necessary for passenger cars with diesel engines. These devices have proved effective in removing particles, but a side-effect of this and the the oxidizing catalysts is a significant increase in NO₂-emissions (see figure S.1). The proportion of NO₂ of the total emissions of NO_x is difficult to measure, but appears to be up to 50% of the total emissions of NO_x. For new passenger cars with petrol engine, the NO₂ proportion of NO_x emissions is approximately 5-10%.

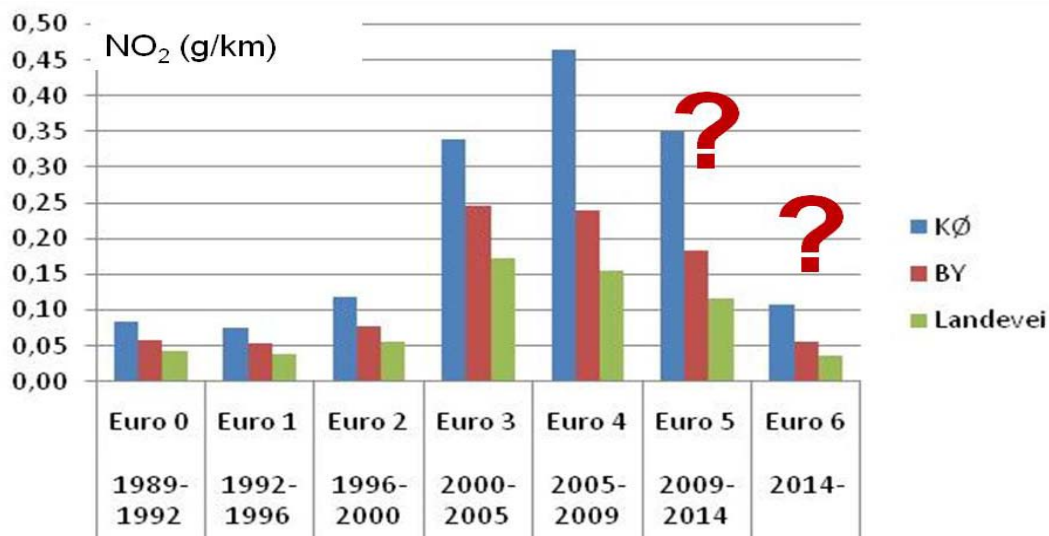


Figure S.1: Historic data and forecast of NO₂- emissions from new passenger cars with diesel engines under congested (blue), urban (red) and highway driving (green) conditions. Source: HBEFA and TØI.

Emission factors and air quality

We have used an emission model for calculating the emissions from Norwegian vehicles in different typical driving conditions (see example in figure S.1). The HBEFA model calculates that NO_x emissions from Euro 5 cars as compared to

Euro 4 cars are reduced with about 30%, and that emissions from Euro 6 cars (from 2014) are expected to be reduced by approximately 70% as compared to the emissions of Euro 4 cars.

Our HBEFA emission factors and calculations based on the expected change of the vehicle fleet show that the concentration of NO₂ will increase until 2015 and is then expected to decrease slightly (see figure S.2). The calculations show that without dedicated actions, exceedances of the air quality limit values for NO₂ can be expected for several years to come. Air quality in major cities is however heavily dependent on weather conditions, and with cold temperatures and temperature inversions that puts a lid on the pollutants near ground, it is likely that the limit values for NO₂ occasionally also will be exceeded in 2025.

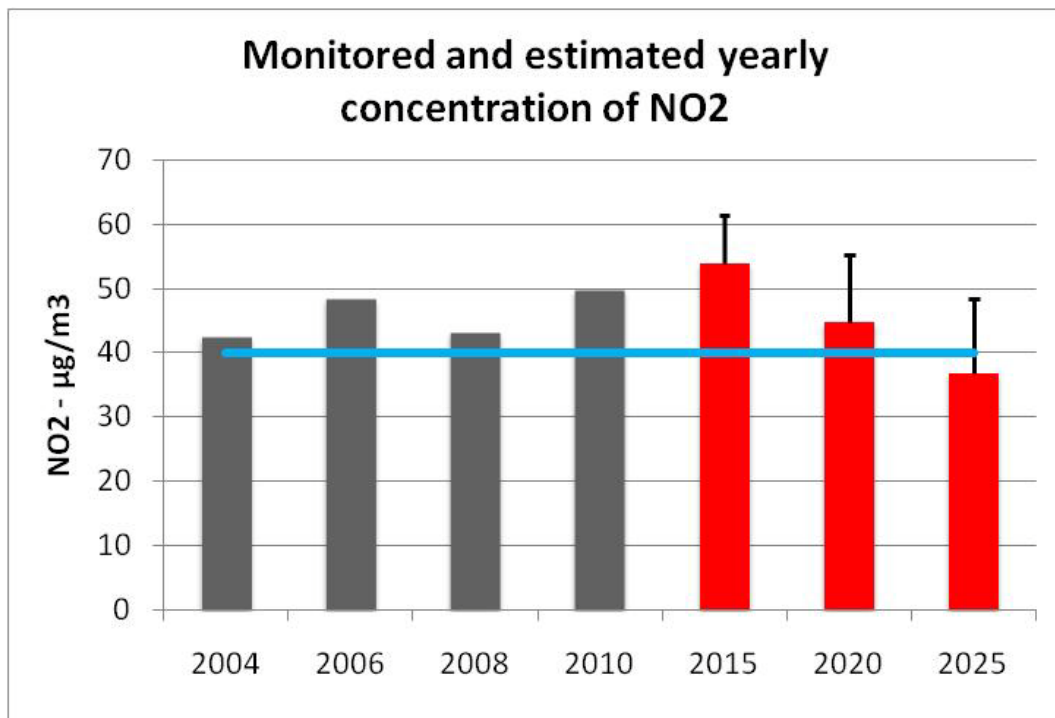


Figure S.2: Development of the annual NO₂ mean in Oslo. Historical concentrations are shown in grey and expected development in red. The blue line indicates the Pollution Act limit.

In contrast to the NO₂-emissions, the emissions of PM are expected to be reduced throughout the period up to 2025.

In the calculations of future emissions undertaken by the Norwegian Institute of Air Research (NILU), the introduction of electric and hybrid cars in the future is not taken into account, and only traditional diesel-powered buses are included. An increase in the proportion of full or partial electric drive vehicles and more environmentally friendly buses would improve air quality compared with the expected development given in figure S.2. However the expected emission of NO₂ in actual traffic from Euro 6/VI vehicles is assessed optimistically. The optimistic approach may be due to uncertainty given somewhat high reductions in emissions for the period 2015-2025.

New and more stringent emission requirements will be implemented by the EU from 2014. The question is what the new vehicles, which will meet the new Euro 6/VI requirements, will actually emit in real urban traffic.

Vehicle manufacturers, the European Union and the authorities are perfectly aware that the system for type approval of cars has not worked as planned in regard to reducing NO_x emissions from vehicles with diesel engines. The German motor organization ADAC has carried out emission tests of some Euro 6 diesel cars, and these show that vehicles can have high emissions of NO_x in real traffic even if they comply with the type approval limits. ADAC takes a serious view of this and is demanding that new Euro 6 vehicles with diesel engines have emissions of NO_x that under all driving conditions are at least 70% lower than for Euro 4 diesel vehicles.

Technology for cleaning diesel engine exhaust

The restructuring in 2007 of Norwegian vehicle tax encourages the purchase of diesel cars, and has led to a reduction in CO₂ emissions from new cars. It is desirable that this positive development of CO₂-emissions continues. However, it then becomes necessary also to reduce the emissions of NO₂ to avoid and reduce the health impacts. The technology for reducing and removing NO_x exists, but it is a challenge to get it to work effectively in real traffic. Fuel injection timing, exhaust gas recirculation (EGR) and selective chemical reduction (SCR) of NO_x to nitrogen gas can help reduce or completely eliminate emissions of NO_x.

Measures, restrictions and taxes

Emissions of NO_x and NO₂ can be reduced or eliminated by diesel-engine vehicles being replaced by vehicles that have different propulsion systems. Examples are petrol-powered cars and vehicles with gas engines or with full or partial electric propulsion. The disadvantages with these alternatives to diesel engines is that they are either less energy efficient or more expensive.

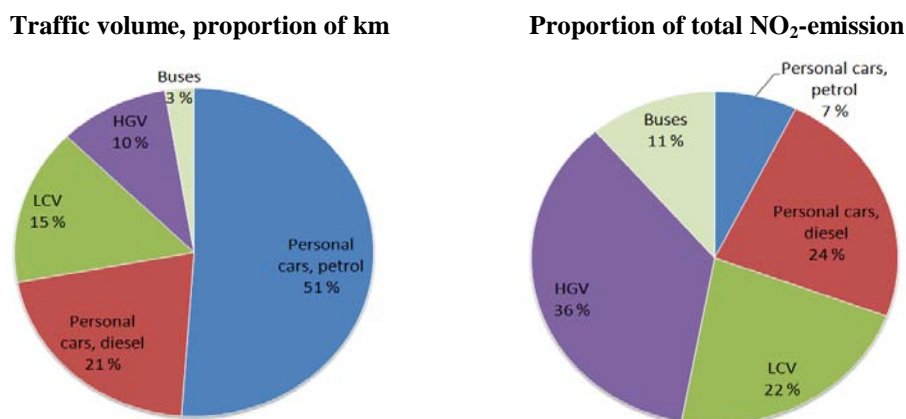


Figure S.3: The left chart shows the percentage of road work (percentage of all kilometres driven) for different vehicle classes in Oslo, while the chart on the right gives the percentage of total NO₂ emissions each vehicle class emits - 2010 values.

Figure S.3 shows the distribution of traffic volumes by type of vehicles and their share of NO₂ emissions in Oslo. When evaluating appropriate measures, it is an advantage to take into account the extent to which the various vehicle categories contribute to the emissions. If the share of new light diesel vehicles contribution to traffic volumes is larger than we estimate their share of the emissions might be even higher than calculated.

Emissions of NO₂ is mainly a problem in urban areas. To accommodate both global and local targets it will be desirable with vehicles that have low emissions of all exhaust components like NO₂, PM and CO₂. At the same time you have to solve local problems locally and global challenges globally. Local authorities will have to be given the power to implement local initiatives to solve the local challenges.

Today's diesel vehicles satisfying Euro 3, Euro 4 and Euro 5 type approval emission limits have very high emissions of NO₂. It may be appropriate to limit the use of these diesel vehicles on days and in cities where NO₂ concentrations are highest. People who are dependent on driving in the city every day might then choose to buy a low NO_x-emitting car rather than a high emitting diesel car. Most will probably still choose a car with diesel engine, with low CO₂-emissions, because a possible driving restrictions will occur relatively rarely and only in the larger cities.

Introducing a high NO_x component in the tax when buying a new car is disputable since the knowledge about emissions and reduction systems at the moment is inadequate. The NO_x tax component based on the current emission values from the type approval is not totally fair, and may be misleading because the currently used type-approval test inadequately represent "real life" urban traffic.

Need for more knowledge

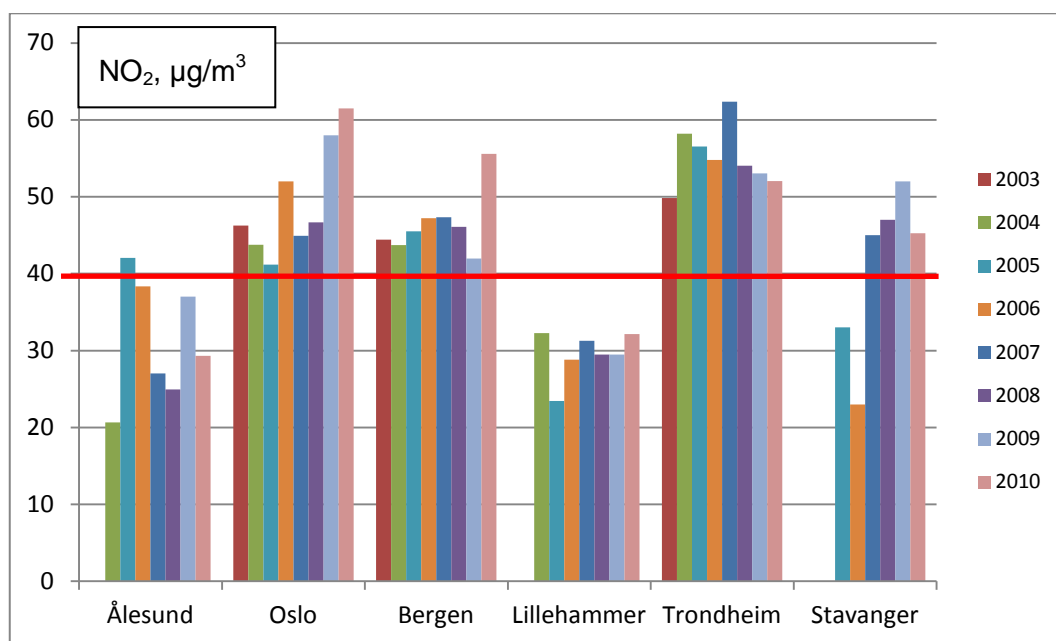
Expertise on engine technology, exhaust emissions and dispersion of exhaust gases is required to introduce appropriate measures to implement new tax systems, to reduce global warming and to improve air quality locally.

Norway has not had its own laboratory for testing emissions from vehicles since 2002. Access to facilities for testing vehicles in real traffic and under Nordic climatic conditions is important since we want to reduce and predict future emissions from vehicles in Norway.

1 Bakgrunn

1.1 Problem

I Norge som i flere andre land klarer ikke de større byene å overholde grenseverdiene for konsentrasjoner av NO₂. Både forurensningsforskriftens krav til årsmiddel og timemiddel for NO₂ overskrides i flere byer. Figur 1.1 viser årsmiddelkonsentrasjon av NO₂ (µg/m³) i noen norske byer, forurensningslovens krav er avmerket med en rød linje. Særlig i Oslo og Bergen var forholdene vinteren 2010 svært uheldige. Variasjon man ser i konsentrasjonene fra år til år skyldes i stor grad meteorologiske forhold.

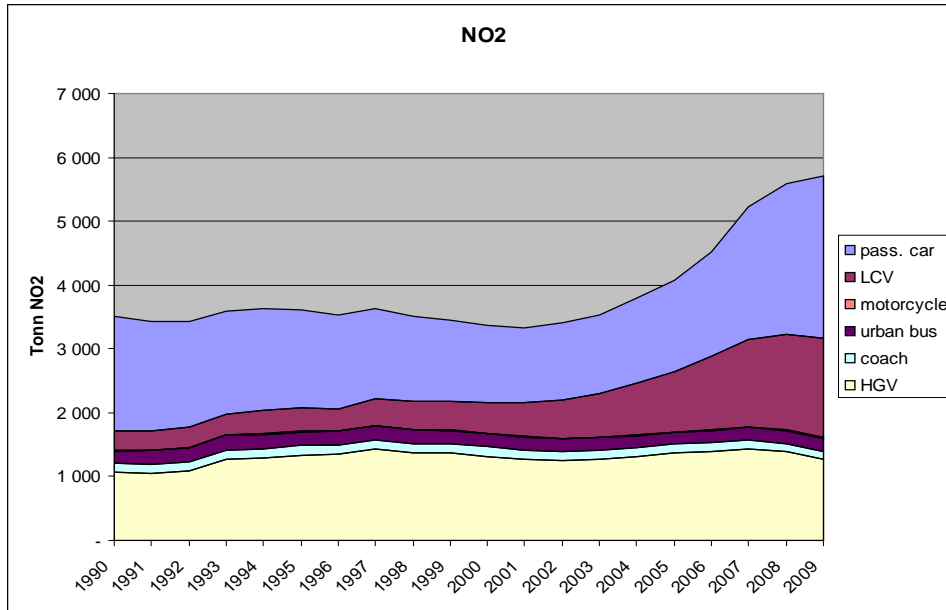


Figur 1.1: Utvikling - årsmiddelkonsentrasjon av NO₂ (µg/m³) i Norske byer. Kilde: Klif

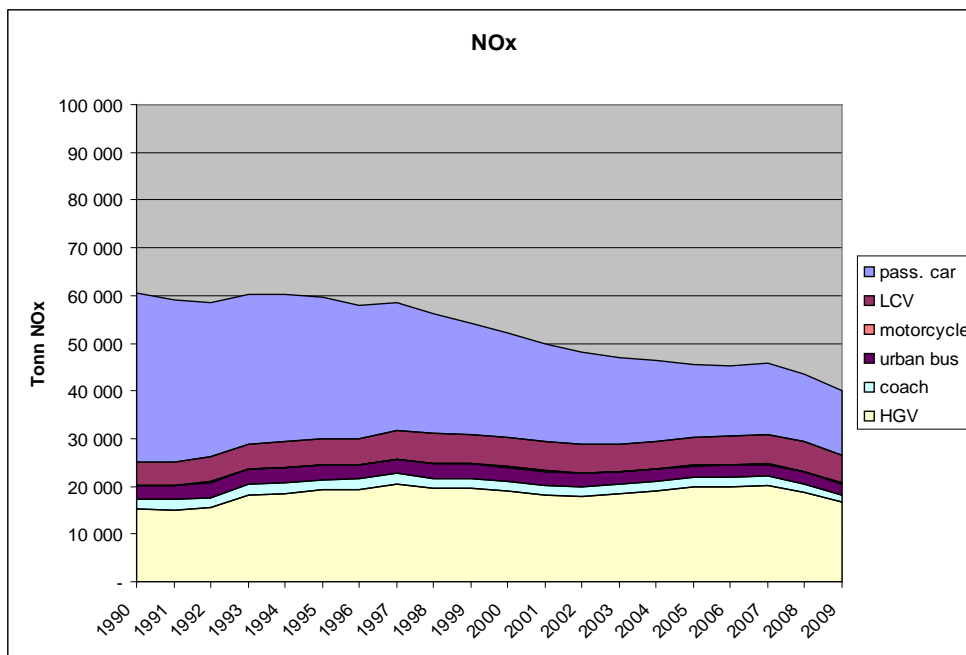
NO₂ vil i de største byene hovedsakelig stamme fra vegtrafikken (eventuelt også noe fra skipsfart og langtransportert luft). I Oslo antas det for eksempel av 90 prosent av NO₂-utslippene stammer fra eksos fra biler (SFT 2008).

Utslipet av partikler er redusert de siste årene, tilsvarende gjelder også for utslipp av NO_x. Men når det gjelder NO₂ har utviklingen ikke vist tilsvarende positive tendenser. Figur 1.2 og Figur 1.3 viser utviklingen i utslipp av henholdsvis NO₂ og NO_x fra vegtrafikken for perioden 1990-2009.

Når det gjelder NO₂ er det hovedsakelig personbiler og lette varebiler (LCV) som står for økningen i utslippet. Figur 1.2 viser at utslippet av NO₂ fra personbilene økte kraftig rundt 2007.



Figur 1.2: Utslipp av NO₂ (i tonn), for ulike type kjøretøyer. Totalt for Norge. Kilde: SSB



Figur 1.3: Utslipp av NO_x (i tonn), for ulike kjøretøyer. Totalt for Norge. Kilde: SSB.

I 2007 ble det innført endringer i engangsavgiftene ved kjøp av nye biler, disse endringene favoriserte dieseldrevne personbiler. Andelen kjøpte (nye) personbiler som er dieseldrevne har økt fra rundt 30 prosent i 2004 til 75 prosent i 2010. Dieseldrevne personbiler slipper ut mindre av klimagassen CO₂ enn bensinbiler (se tabell 1.1). Men de slipper ut mer NO_x og partikler enn hva bensinbiler gjør.

Tabell 1.1: Drivstofforbruk og utslipp fra bensin- og dieseldrevne personbiler. Gjennomsnitt for personbiler i Norge i 2010. (Tiltakskatalogen, TØI 2011)

Personbiler	Bensin	Diesel
Drivstoff (liter/mil)	0,69	0,48
CO ₂ [g/km]	160,2	121,7
NO _x [g/km]	0,265	0,430
HC [g/km]	0,083	0,017
CO [g/km]	1,092	0,053
PM [g/km]	0,003	0,022

Den økende andelen dieserbiler og renseteknologien (partikkelfiltre og oksiderende katalysatorer) antas å være hovedårsaken til den negative trenden når det gjelder utslipp av NO₂.

Utslipet av NO₂ fra dieserbiler har vært høyere enn forventet. Selv om det stadig er innført strengere krav til utslipp (Euro-kravene), har ikke utslippene blitt redusert like stor grad. Før nye bilmodeller slippes ut på markedet må de gjennom tester for å kontrollere om de tilfredsstillende gjeldende krav til utslipp.

Typegodkjenningstestene utføres ved hjelp av en standardisert kjøresyklus, der utslippet av ulike gasser og partikler registreres. Det har vist seg at disse testene i liten grad klarer å fange opp hva kjøretøyene slipper ut i virkelig trafikk. Særlig i bytrafikk og når det er kaldt ute, er utslippet fra kjøretøyene mye høyere enn hva testresultatene skulle tilsi. På motorveier når farten er over 80 km/t stemmer eksisterende tester forholdsvis bra med virkelig utslipp.

Når en har testet kjøretøyer som tilfredsstillende kravene til Euro 5 har det vist seg at de dieseldrevne personbilene i gjennomsnitt slipper ut 2-4 ganger mer NO_x i virkelig trafikk enn det kravspesifikasjonene skulle tilsi (Weiss m fl 2011, Hausberger m fl 2009). I enkelte kjøresituasjoner var utslippet 14 ganger høyere enn hva kravene skulle tilsi. Tilsvarende resultater er også oppnådd når det gjelder tunge dieselskjøretøyer. Bensinbilene klarte seg betraktelig bedre i testene, og klarte stort sett å overholde kravene.

I tillegg til at NO_x-utslippet er høyere for dieserbiler enn for bensinbiler, er også andelen NO₂ av det totale NO_x-utslippet høyere. For dieserbiler anslås utslippene av NO₂ å være på rundt 40-60 prosent av de totale NO_x-utslippene, mens det er på rundt 0-30 prosent for bensindrevne biler (Weiss m fl 2011).

1.2 Hensikt

Hensikten med prosjektet er ”å gi et svar på hvorfor konsentrasjonen av nitrogendioksid (NO₂) øker i norske byer til tross for strengere avgasskrav til NO_x fra lette og tunge biler. Prosjektet skal også gi en vurdering av forventet utvikling fremover i NO₂-konsentrasjon på kort (0-5 år) og lang sikt (5-10 år) basert på analyse av forventet utskifting til høyere Euroklasser for tunge og lette kjøretøy. Analyse av status og forventet utvikling skal legges til grunn for å drøfte effekt av alternative tiltak og virkemidler for å redusere NO₂-konsentrasjonen. ”

Statens vegvesen ønsket i den forbindelse å få belyst følgende temaer:

- Dannelsesmekanismer for NO₂ i ulike kjøretøytyper/drivstofftyper
- Utslipp av NO₂ som funksjon av teknologisk nivå og alder på kjøretøyene og type drivstoff og hvor og når kjøretøyene benyttes
- Vurdering av forventet utvikling når de nye Euro 6/VI avgassbestemmelsene for lette og tunge kjøretøy trer i kraft fra 2014
- Vurdering av om nye typer kjøretøyteknologier som vil tas i bruk i fremtiden kan ha negative virkninger på NO₂-utslippet

1.3 Fremgangsmåte

1.3.1 Beskrivelse av mekanisme for dannelse av NO₂

Utslippene av NO_x fra bilparken har gått ned pga av strengere avgasskrav (Euro 1-5). Spesielt kjøretøy med dieselmotorer ser ut til å være kilde til en stadig høyere andel NO₂ av den totale mengden NO_x som kjøretøyene slipper ut. Vi vil ved hjelp av internasjonal litteratur, egen kompetanse og vårt internasjonale kontaktnett forklare hva ny motorteknologi, resirkulering av avgasser (EGR), selektiv katalytisk reduksjon (SCR), oksiderende katalysatorer og partikkelfiltre bidrar når det gjelder reduksjon og utslipp av NO₂.

1.3.2 Estimere utslippsfaktorer fra kjøretøyer

I våre beregninger av utslippsfaktorer for de ulike kjøretøytypene har vi brukt et beregningsverktøy utformet av HBEFA. Utslippsfaktorene er basert på målinger av ulike kjøretøytyper utført i avgasslaboratorier. For norske forhold bruker HBEFA trafikkdata fra Statistisk sentralbyrå. Med HBEFAs beregningsverktøy kan vi også simulere fremtidige utslippsfaktorer og trafikksituasjoner basert på innebygde prognoser. Av erfaring har modellen vist seg å gi utslipp som stemmer godt med reelle målinger (Colberg et al. 2005). Fremtidige utslippsfaktorer og utslipp vil inneholde usikkerhet særlig med hensyn til Euro 6/VI, men dels også til Euro 5/V.

I rapporten har vi blant annet utført følgende analyser/vurderinger:

- Estimert forholdet mellom NO_x- og NO₂-utslipp for alle eksisterende avgasskravnivåer for henholdsvis lette bensin- og dieslbiler og tunge dieselskjøretøyer.
- Vurdert relevante informasjon som spesielt omhandler NO₂/NO_x utslippsfaktorer for kjøretøyer i bytrafikk og kaldt klima.
- Vurdert hvordan de direkte NO₂-og NO-utslippene kan slå ut for de ulike teknologiske løsningene som kan bli implementert på Euro 6 og Euro VI kjøretøyer.
- Beskrevet aktuelle renseteknologier og deres fordeler og ulemper med hensyn på effektivitet i kaldt klima og bytrafikk, og om det er muligheter for brukerfeil som gjør at systemet ikke fungerer så godt som antatt.
- Beskrevet EUs politikk, strategi og konkrete nye tiltak for å gjøre Euro 6/VI kravene mer effektive.
- Vurdert om Euro 6/VI kravene har negative konsekvenser for CO₂- og partikkelutslippene og i tilfelle hvor mye.

1.3.3 Konsentrasjoner av NO₂

For analyse av historiske data og konsentrasjonsutvikling i byluft fokuseres det på perioden fra 2003 til 2010, og analysen begrenses geografisk til Oslo, Bergen og Trondheim.

Trendanalyse av historiske data gjennomføres for konsentrasjoner og utslipp av NO₂, NO_x og forholdet mellom disse. For konsentrasjoner og forholdstall analyseres årsmiddelverdier og høye timemiddelkonsentrasjoner. Erfaringsmessig vil variasjoner i spredningsforhold fra år til år ha større effekt på konsentrasjonsnivået enn utslippsendringen. En vesentlig del av forklaring av trender vil være å finne en god parametrisering for denne variasjonen.

1.3.4 Utslippsberegninger av NO₂, NO_x, CO₂ og PM

I dette prosjektet er det utført flere utslippsberegninger, men det har ikke vært rom for å gjennomføre fullstendige spredningsberegninger. Utslippsberegningene er gjort for et modellområde som dekker det meste av bebodde og trafikkerte områder i Oslo og Bærum. For gjennomføring av utslippsberegningene er det benyttet veidata levert av Statens vegvesen, seksjon for Transportanalyse og miljø og fra Nasjonal veidatabank (NVDB), Statens vegvesen. Fordeling av kjøretøy på ulike Euroklasser og fordeling mellom diesel- og bensindrevne biler er hentet fra Bil og Vei - Statistikk, Opplysningsrådet for Veitrafikken. Utslippsfaktorer for ulike kjøretøy er utarbeidet og framskaffet av TØI i dette prosjektet.

1.3.5 Sammenstilling av utslippsforhold og NO₂-konsentrasjoner

Ved å sammenstille måledata med samtidige utslippsberegninger kan vi beregne et forholdsforhold mellom utslipp og konsentrasjon, både for årsmiddel og for maksimale timemiddel. Denne utslippsfaktoren vil naturligvis ha en viss variasjon mellom årene. For fremtiden har vi også utslippsberegninger; og ved å bruke den beskrevne forholdsforholdet kan vi beregne et overslag på framtidig forventede konsentrasjoner. En slik framskriving kan bare gjøres for å beskrive konsentrasjonsnivået generelt uten at vi kan beskrive hvilke områder lokalt i byene som rammes.

I dette tilfelle er øvelsen bare gjort for Stor-Oslo som generelt har hatt høyest konsentrasjonsnivå de siste årene. Framtidig utvikling av NO₂-utslipp fra bilparken er imidlertid den samme i alle byer. Derfor vil en slik framtidig trend også gjelde for andre byer. Men selv om trenden er den samme så vil det absolutte konsentrasjonsnivået variere mellom byene.

1.3.6 Vurdering av aktuelle tiltak

Det er laget en enkel oversikt med beskrivelse av mulige tiltak som kan være med på å redusere NO₂-utslippet fra gjennomsnittsbilene i bilparken i byene. Tiltakene kan gjennomføres nasjonalt eller lokalt.

TØI og NILU vil i lys av de nye utslippsberegningene vurdere om det vil være nødvendig med tiltak utover den utvikling av utslipp fra kjøretøy som lagt til grunn for utviklingen frem mot 2025.

1.4 Rapportens struktur

Kapittel 1 tar opp bakgrunn og problemer med utslipp av nitrogenoksider.

Kapittel 2 tar for seg hva nitrogenoksider er og dannelse av i kjøretøyer.

Kapittel 3 viser observerte verdier av NO₂- og NO_x-konsentrasjoner i norske byer.

Kapittel 4 omhandler Euro kravene, typegodkjenningstestene og noen av EUs vurderinger rundt temaet.

Kapittel 5 angir utslippsfaktorene for ulike kjøretøytyper basert på beregninger utført ved hjelp av HBEFA. Kapitlet inneholder også en estimering av utslipp ved kaldstart. Utslippsfaktorene som er estimert i HBEFA blir også sammenlignet med enkeltmålinger av avgassutslipp fra kjøretøy med Euro 5-6/V-VI teknologi.

Kapittel 6 viser utførte beregninger av utslippet (av NO_x, NO₂, CO₂ og PM) i noen norske byer.

Kapittel 7 ser på mulige tiltak som kan benyttes for å redusere NO_x utslippet fra kjøretøyparken.

Kapittel 8 inneholder en diskusjon av resultatene, samt anbefaling av tiltak.

Kapittel 9 viser referanser

Vedlegg 1 består av vedlagte tabeller med alle de utslippsfaktorene som er brukt i rapportens beregninger av utslipp og vurderinger av luftkvalitet.

Vedlegg 2 viser hvordan vi har begrunnet et ekstra kuldestarttillegg ved start i sterk nordisk kulde.

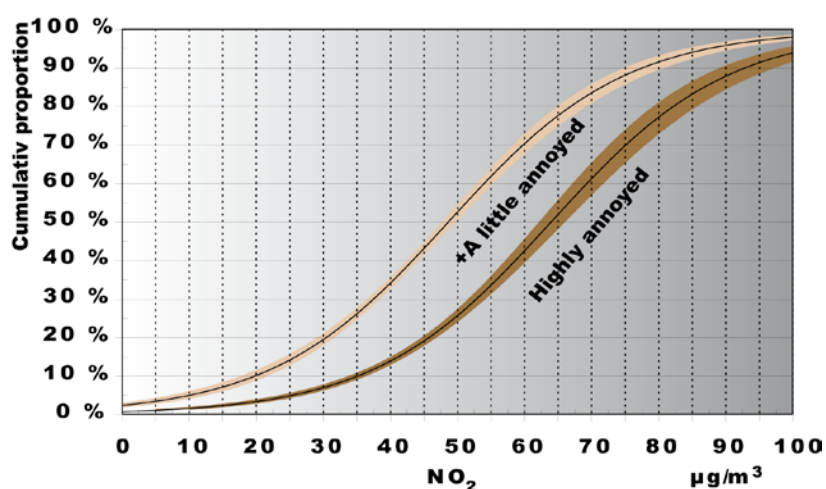
2 Nitrogenoksider, dannelse, kjemi og rensing

2.1 Nitrogenoksider

2.1.1 Bakgrunn

Nitrogenoksid NO_x er et samlenavn på de to nitrogenoksidene NO og NO₂. NO er en fargeløs gass som i normalt forekommende konsentrasjoner i luften ikke regnes som spesielt helsefarlig. NO₂ er en brunaktig gass med stikkende lukt. NO₂ har irriterende og skadelig effekt på lungefunksjoner og bidrar i atmosfæren til økt dannelse av ozon. NO₂ øker, også ved svake konsentrasjoner, risiko for luftveisproblemer og astmatiske lidelser. NO₂ bidrar til luftforurensing også ved at denne gassen virker som en katalysator som genererer luftforurensning (O₃ og partikler) fra flyktige organiske materialer og hydrokarboner (bla fra drivstoff) i atmosfæren.

Målinger av luftkvalitet i store norske byer har de seneste årene vist overskridelser av forurensningslovens grenser for NO₂, både for årsmiddel og for timemiddel under kalde vinterdager med værphenomenet inversjon. Avgassmålinger med kjøretøy som har moderne dieselmotorer avslører at lette og tunge kjøretøy i kø og bytrafikk har betydelig høyere utslipp av NO_x enn de har ved jevn hastighet og ved typegodkjenningstester. Utslippene av NO_x fra kjøretøyet øker i sterk nordisk kulde og i start- og oppvarmingsfasen. Partikkelfiltre, som er nødvendige for at lette biler med dieselmotor skal klare de strenge kravene til utslipp av partikler (PM) for Euro 5 biler, viser seg å ha en uønsket bieffekt ved at de øker andelen NO₂ i de samlede utslippene av nitrogenoksider.



Figur 2.1: Opplevelse av ubehag på grunn av dårlig luft som funksjon av NO₂ konsentrasjon i luften. Kilde: Amundsen m fl 2008

Det er ved avgassmålinger vanskelig å få repeterbarhet av hvor stor del av nitrogenoksidene som er NO respektive NO₂ og man har vedtatt å bruke summen

av de to nitrogenoksidene som mål på akseptable utslipp fra personbiler og motorer til tunge kjøretøy. Måling av NO₂ ved avgasstester er relativt nytt og ikke standard teknologi. Kunnskap om og dokumentasjon av direkte NO₂-avgassutslipp av er lav og det er det er ikke kjent hvor stor usikkerhet det er i forskjellige målemetoder for NO₂.

Utslippene av NO_x måles i g/km for personbiler og i g/kWh for motorer til tunge kjøretøy. Ved måling av luftkvalitet er det vanlig å oppgi konsentrasjonene av NO₂ som gir best indikasjon på i hvilken grad luften er helseskadelig. Av og til blir også konsentrasjonene av NO_x i luften oppgitt. Konsentrasjonene av NO₂ og NO_x i luften blir angitt i form av mikrogram/m³. Mengden NO₂ kan i henhold til målinger av byluft i Bergen 2010 variere fra 0 til 400 mikrogram/m³. Ved konsentrasjoner av NO₂ over 100 mikrogram/m³ vil ca 95 prosent av befolkning oppleve sterkt ubehag og at luften er forurenset (Amundsen m fl 2008). Midlingstiden ved måling av luftkvalitet er avgjørende for store konsentrasjonene av NO₂ blir. Er midlingstiden kort, kan en få kortvarige høye overskridelser.

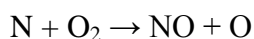
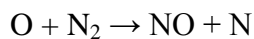
2.1.2 NO_x og kjemi

NO_x dannes som resultat av luftens nitrogen reagerer med luftens oksygen. Mengden NO_x som dannes i en forbrenningsmotor er i hovedsak avhengig av de to faktorene temperatur (T) og hvor rask forbrenningsprosessen (t) er. Mengden tilgjengelig oksygen påvirker også, men i mindre grad dannelsen av NO.

Høy temperatur er nødvendig for å tilføre den energi $+ \Delta E$ som skal til for spaltning av atmosfærisk oksygen O₂.



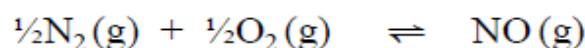
Frie oksygenatomer og frie nitrogen atomer er i sin tur nødvendige for å starte dannelsen av NO_x. NO dannes så ved en radikal kjedereaksjon:



De to hovedfaktorene som styrer dannelsen av termisk NO_x ved forbrenning er tid (t) og temperatur (T). Mengden NO_x er direkte proporsjonell med tiden (t) av forbrenningsprosessen og har et eksponentielt forhold til temperatur (T). Mengden som dannes ved en forbrenningsprosess beskrives av figur 2.5 og av Zeldovitch ligning:

$$[\text{NO}] = k_1 \cdot \exp(-k_2/T) \cdot [\text{N}_2] \cdot [\text{O}_2]^{1/2} \cdot t$$

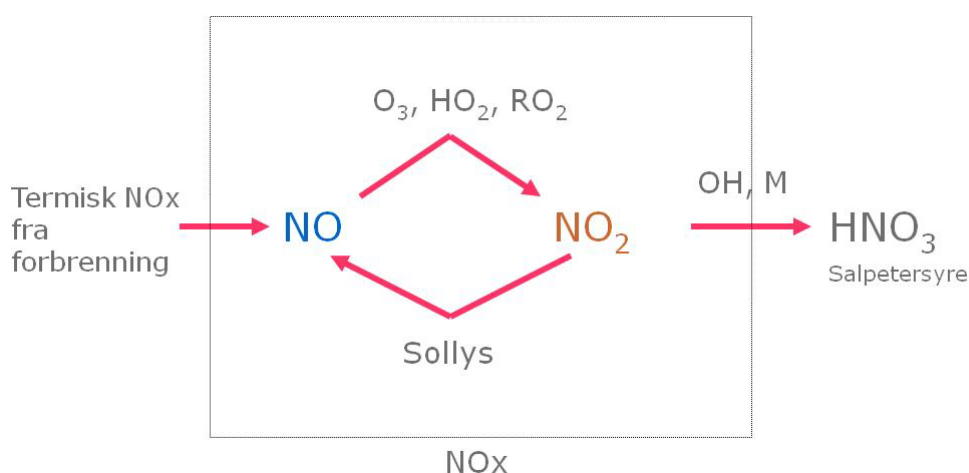
Under forbrenningsprosessen dannes et likevektsforhold mellom oksygen, nitrogen og nitrogenoksid. Likevektsforholdet er avhengig av trykk og temperatur under forbrenningen. En rask forbrenning vil medføre at det raskere oppnås en ny likevekt, tiden for dannelsen av NO blir kortere og at det blir produsert mindre NO_x enn ved en mer langsom forbrenningsprosess.



Termisk NO_x i form av NO og NO₂ er instabile nitrogenoksider. NO omdannes til NO₂ ved reaksjoner med ozon, O₃ og kjemiske radikaler, HO₂ og RO₂ i motoren,

ved rensing av avgassene. Omdannelsen av NO til NO₂ fortsetter når avgassene blandes med luft utenfor eksosrøret. Konsentrasjonene av O₃ i luften og tid for analyse av oppsamlede avgasser etter utslipp fra eksosrøret har stor betydning for hvor store mengder NO₂ som detekteres.

- Ute i atmosfæren vil sollys spalte NO₂ til NO og O.
- Forholdet mellom NO og NO₂ i luften beskrives av et likevektsforhold som er avhengig av lysintensitet og mengden ozon.
- Sterkt solskinn medfører sterk nedbryting av NO₂ til NO og høy andel nitrogenoksid.
- Sterk konsentrasjon av ozon medfører sterk dannelse av NO₂ og høy andel nitrogendioksid.
- NO_x blir fjernet fra atmosfæren ved at NO₂ reagerer med oksygen og vann ($O+H_2O \rightarrow 2OH$) og til slutt danner salpetersyre HNO₃.

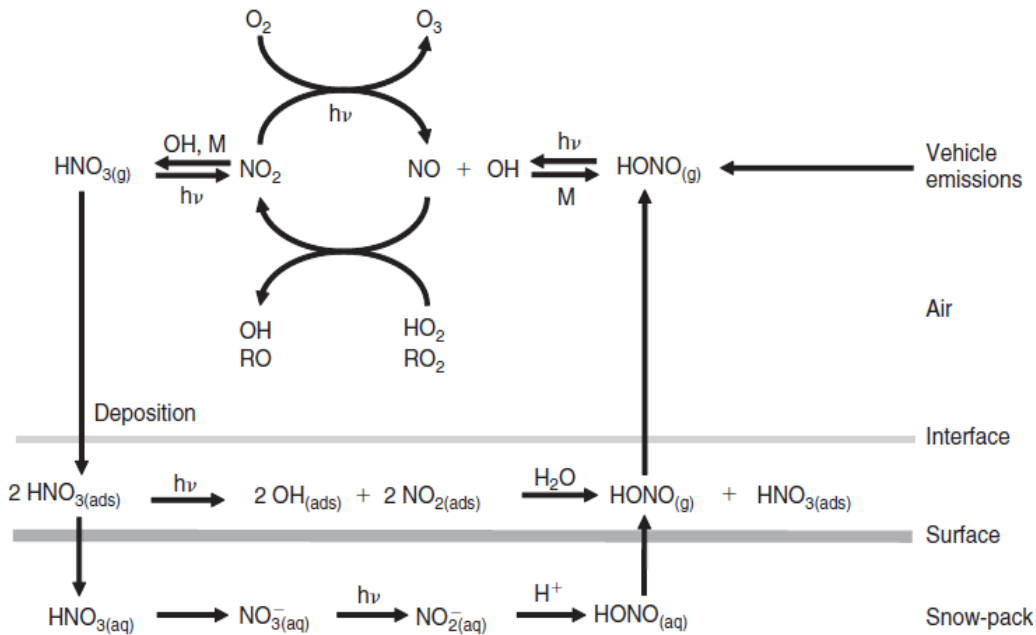


Figur 2.2: Nitrogenoksidenes omdannelsesmekanismer og kretslop. Kilde: Johnson 2011

2.1.3 NO_x - lys, snø og is

Matthew Johnson (professor i kjemi fra Universitetet i København) bekrefter teorien om at snø og is kan forsterke problemet med høye konsentrasjoner av NO_x og ozon. Forklaringen er at nitrogenoksider som i utgangspunkt er fjernet fra atmosfæren og omdannet til salpetersyre via påvirkning fra lys, som forsterkes av snø og is kan tilbakedannes til nitrogenoksid.

Tilbakedannelsen skjer via salpetersyring, HONO som gjenskapes til NO_x. Denne mekanismen kan i henhold til beregninger øke konsentrasjonene av ozon og NO_x i byområder med 20 % (Clemishaw 2006). Det kompliserte kretsløpet for hvordan nitrogenoksider som i utgangspunkt er fjernet fra atmosfæren og omdannet til salpetersyre HNO₃ tilbakedannes til nitrogenoksid vises i fig 2.3

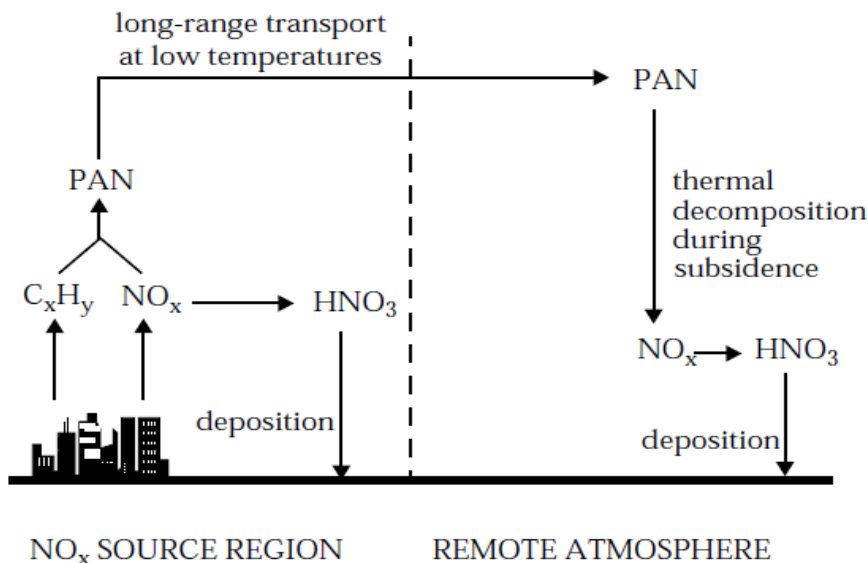


Figur 2.3: Økning av Nitrogenoksider på grunn av lys, snø og is. Kilde: Clemitshaw, 2006

2.1.4 Kilder til NO_x

Forbrenning av fossil energi bidrar (IPCC 2001) med ca 60 % av all NO_x i atmosfæren. Andre store kilder er forbrenning av bioenergi, naturlige utslipp fra jord og skog samt lyn.

Nitrogenoksider fjernes fra atmosfæren ved at de omdannes til salpetersyre, HNO₃ og ender opp som sur nedbør. Alternativt til at omdannelse til salpetersyre kan nitrogenoksider i atmosfæren omdannes til PAN, peroksydasetylnitrat. Spesielt på den nordlige halvkule og ved lave temperaturer kan PAN transporteres over lange avstander og kan siden at helt annet sted via termisk påvirkning gjenoppstå som nitrogenoxid eller langtransportert sur nedbør.



Figur 2.4: Langtransport av nitrogenoksider ved hjelp av PAN. Kilde: Johnson 2011

2.1.5 Stabil nitrogenoksid - N₂O

Lystgass, N₂O er stabil nitrogenoksid som ligner på NO_x men inngår ikke i NO_x-familien. På grunn av at NO₂-molekylet er meget stabil og langlivet er N₂O en klimagass som har en klimaeffekt som er ca 300 ganger sterkere enn CO₂. N₂O dannes hovedsakelig ved at bakterier i jord og vann danner denne gassen fra nitrogenforbindelser som kunstgjødsel. I stratosfæren kan N₂O omdannes til NO_x og den veien etter hvert skiller ut som salpetersyre og sur nedbør.

Lystgass, N₂O brukes som navnet antyder innen medisin for å redusere smerte.

I helt spesielt område for N₂O er som erstatning for luft i forbrenningsprosesser. En motor kan yte større effekt ved at lystgass inneholder mer oksygen enn luft og derved kan bidra til mer forbrenning av drivstoff. N₂O kan sprøytes inn i motoren til bensinbiler og i spesielle motorkretser brukes lystgass for å oppnå ekstrem akselerasjon under kort tid.

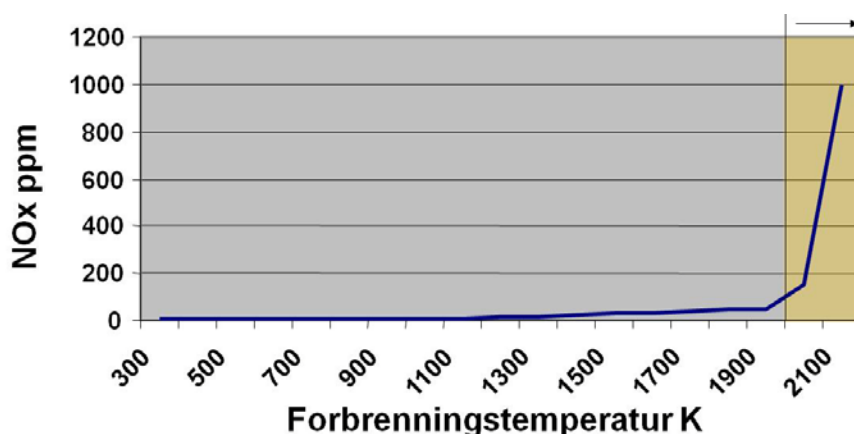
2.2 NO_x og motorteknologi

Utslippene av NO_x er avhengig av motorteknologi og hvilke rensesystemer som kan brukes for å fjerne NO_x fra avgassene.

2.2.1 Dannelse av NO_x i kjøretøyer

Nitrogenoksidenes kjemi er komplisert. Nitrogen, N og de to nitrogenoksidene NO og NO₂ reagerer med oksygenforbindelser og med hverandre. Nitrogenoksid, NO dannes hovedsakelig ved at luftens nitrogen reagerer med luftens oksygen og danner NO. NO oksideres så, avhengig av tilgang på oksygen og ozon, videre til NO₂. Dannelsen av nitrogenoksid beskrives av Zeldovitch ligning, men enkelt kan NO_x fra kjøretøy sies å dannes ved høy temperatur i forbrenningsmotorer. Mengden NO_x øker dramatisk ved temperaturer over 1900 K (ca 1700 °C).

Hovedkilden til NO_x i bymiljø er veitrafikk. De fastsatte grensene både for årsmiddel og for timemiddel av NO₂ i luften overskrides i store byer i Norge, når de klimatiske forholdene er ugunstige.



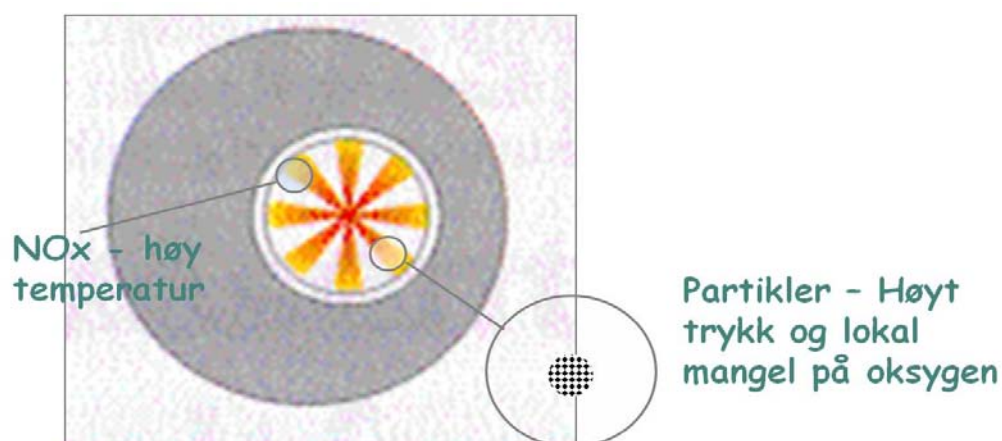
Kilde: Scania

Figur 2.5: Dannelse av NO_x som funksjon av temperatur i en forbrenningsmotor

Moderne kjøretøy med dieselmotorer har i 2011 vist seg å slippe ut betydelig mer nitrogenoksider enn tilsvarende kjøretøy som kan bruke treveiskatalysator for å rense avgassene. Utslippene av NO_x fra nye personbiler har blitt redusert i de tester som brukes for typegodkjenning av nye biler. Med de kjøremønstre som er typiske for bykjøring har det vist seg at kjøretøytiltakene for å redusere utslipp av NO_x fra dieselmotorer, ikke fungerer på en effektiv måte i bytrafikk.

Utslippene av NO_x fra personbilsparken blir store i og med at andelen dieselmotorer øker og at rundt 75 % av alle nye personbiler i Norge nå er dieselmotorer.

NO₂ fra dieselmotorer og konsentrasjonene av denne gassen i bygatene har økt i årene fra 2007. Andelen NO₂ av den samlede mengden NO_x-utslipp har økt på grunn av innføring av oksiderende katalysatorer og partikkelfiltre. Disse avgassrensningssystemene ikke bare forbrenner hydrokarboner og partikler til CO₂ men de har også den uønskede effekten at de oksiderer NO til NO₂. På den måten blir det mer direkte utslipp av NO₂ langs veiene.

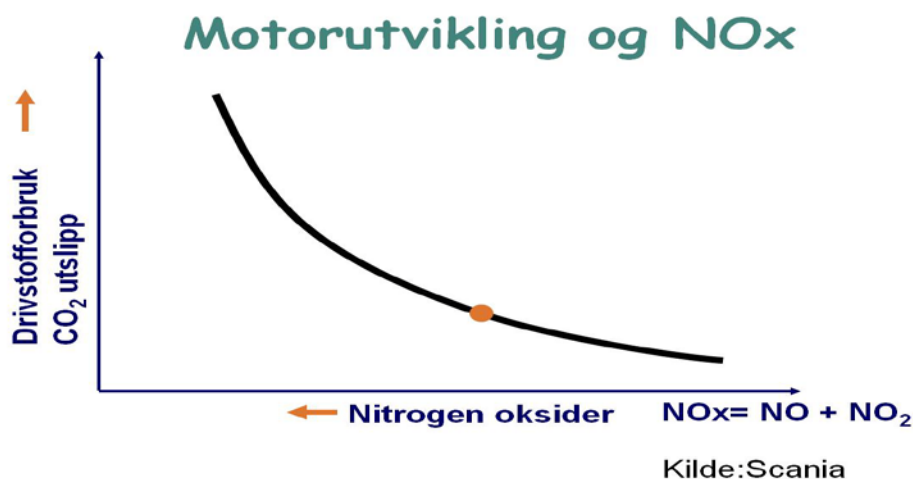


Figur 2.6: Brennkammer i en dieselmotor

Dieselmotorer er mer energieffektive enn de fleste andre typer forbrenningsmotorer, men lokal mangel på oksygen danner partikler og høy temperatur danner NO_x. Dannelsen av partikler og NO_x er utfordringer som krever spesielle tiltak. Høy temperatur gir generelt god og effektiv forbrenning.

Ved justering av forbrenningen i en dieselmotor er det generelt mulig å oppnå effektiv forbrenning, lavt drivstofforbruk og lavt utslipp av CO₂. Høy temperatur og effektiv forbrenning gir også redusert dannelsen av partikler i dieselmotoren. Ulempen er at høy temperatur som vist i Figur 2.5 og Figur 2.6 genererer større mengder NO_x.

Generelt er det et motsetningsforhold mellom lavt utslipp av NO_x og lavt utslipp av CO₂ i forbrenningsmotorer. Motsetningsforholdet mellom dannelse av CO₂ og NO_x vises i Figur 2.7. Motorutvikling og justeringer for effektivere forbrenning og lavere utslipp av CO₂ gir generelt høyere utslipp av NO_x.

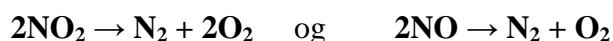


Figur 2.7: Motorutvikling og justeringer for effektivere forbrenning og lavere utslipp av CO₂ gir generelt høyere utslipp av NO_x - justering for lavere utslipp av NO_x gir høyere utslipp av CO₂.

2.2.2 Bensinbiler med treveiskatalysator

Bensinbiler har i utgangspunkt høye utslipp av NO_x fra motoren. Spesielt er utslippene høye ved mager forbrenning i gamle bensinmotorer med forgasserteknologi.

Avgassmålinger av en ny Toyota Avensis hos VTT viser at det nå er mulig å produsere bensinbiler med så nøyaktig regulering av blandingsforholdet mellom bensin og luft inn til motoren at bilens treveiskatalysator kan fjerne alle helseskadelig avgasser med stor nøyaktighet. Kjemisk reduksjon av NO_x i en treveiskatalysator skjer ved hjelp av katalytiske materialer på følgende måte:



Andelene NO₂ av de totale utslippene av NO_x fra bensinbiler er lave. Å drøfte utslippene av NO₂ fra moderne bensinbiler har liten hensikt da utslippene av den totale mengden NO_x er lave og de absolutte tallene for utslipp av NO₂ synes å være lavere enn 0,01 g/km under alle kjøreforhold (Vedlegg 1).

Utsliffsfaktorer og utviklingen i utslipp av NO_x og NO₂ for bensinbiler vises grafisk i kapittel 5.

2.2.3 Personbiler med dieselmotor

Dieslbiler har i utgangspunkt ikke høyere utslipp av NO_x fra motoren enn bensinbiler. Problemet er at det ikke er mulig å rense dieselavgassene ved hjelp av en treveiskatalysator. Reduserte utslipp av NO_x fra dieselmotorer for å klare typegodkjenningsskravene (se kapittel 4) har vært mulig å oppnå med diverse tiltak som forbedret geometri for å oppnå mer optimal forbrenning, optimalisering av innsprøyting av drivstoff, flere ventiler, optimalisering av motorstyring, bedre drivstoff og bedre smøremidler. I kapittel 5 viser vi at nye dieslbiler kun har oppnådd ubetydelige reduksjoner av i utslipp av NO_x i virkelig kø- og bykjøring.

Nye effektive partikkelfiltre som brenner opp partikler ble en nødvendighet for at nye personbiler med dieselmotor skulle klare avgasskravene Euro 5 fra 2009. De effektive partikkelfiltrene klarer å fjerne partiklene fra dieselavgassene på en

tilfredsstillende måte. Oksiderende katalysatorer og partikkelfiltre har derimot vist seg å ha den ulempen at de gir en kraftig økning av andelen NO₂ i utslippene av den samlede mengden NO_x. Andelen NO₂ er vanskelig å måle men synes å kunne ligge på opp mot 50 % av de samlede utslippene av NO_x.

Utslippsfaktorer og utviklingen i utslipp av NO_x og NO₂ for dieserbiler vises grafisk i kapittel 5.

2.2.4 Motorer til tunge kjøretøy

Tunge kjøretøy med dieselmotor har i prinsippet den samme motorteknologien som lette biler med dieselmotor. Til tross for at motorstørrelsen og ytelsen er forskjellige i forhold til vekt og størrelse har utslippene av NO_x utviklet seg på liknende måte for tunge kjøretøy som for personbiler med dieselmotor.

Motorer til bybusser kan i motsetning til Euro 5 diesel personbiler i mange tilfeller klare Euro V kravene til partikler uten effektive partikkelfiltre. Bruk av forskjellige teknologier for rensing av avgasser er derfor ofte en god forklaring på hvorfor utslippene av NO_x, NO₂ og PM kan være svært forskjellige mellom tunge kjøretøy og lette personbiler med dieselmotor. Det kan også være store forskjeller i utslipp mellom forskjellige typer av tunge kjøretøy og avhengig av forskjellige bruksområder.

Utslippsfaktorer og utviklingen i utslipp av NO_x og NO₂ for bybusser vises grafisk i kapittel 5 og utslippsfaktorer for alle typer kjøretøy finnes i vedlegg 1.

2.3 Dannelse av NO_x - kjøremåte og temperatur

I tillegg til dannelse ved høy temperatur øker også utslippene av NO_x fra dieselmotorer ved transiente belastninger, ved kjøring og ved lave temperaturer. Mekanismene for dette er komplekse og effektene kan variere i motorer hvor geometri, motorstyring og innsprøyting av drivstoff er forskjellige.

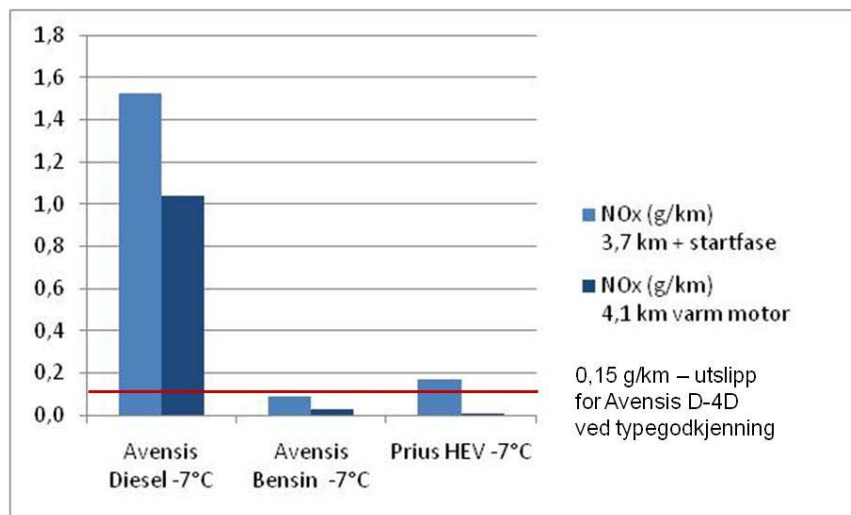
Ved kulde blir fordampingen ved innsprøyting av diesel dårligere og dieselstålene vil i større grad nå sylinderveggen (Wall wetting). Til tross for at dannelsen av termisk NO_x skulle bli redusert ved lavere temperaturer viser avgassmålinger at utslippene øker ved start i streng kulde. Det kan være flere årsaker til dette. Forbrenningen kan skje på andre måter med kaldt drivstoff, eventuelt lavere innsprøytingstrykk og under påvirkning fra kjemiske radikaler. Systemer for å redusere utslipp av NO_x kan eventuelt først starte å fungere etter at motoren har kjørt en stund.

Enkeltmålinger utført ved VTTs avgasslaboratorium i Finland vinteren 2011 har gitt oss fordypet innsikt i avgassutslipp fra bensin, diesel og hybridbiler. Figur 2.8 viser utslipp av NO_x fra de tre Euro 5 godkjente bilmodellene Toyota Avensis D-4D DPF, Toyota Avensis Avensis 1,8 l Valvematic bensin og Toyota Prius Hybrid. Kjøretøyene er testet med nedkjølt bil, ved kuldestart i -7 °C og ved kjøring av en bykjøresyklus (Hagman 2011).

Enkeltmålingene hos VTT (se fig 2.8) ga oss følgende informasjon:

- Utslippene av NO_x fra en ny moderne Euro 5 diesebil var 1,5 g/km ved kaldstart og kjøring de første 4 km av en bykjøresyklus

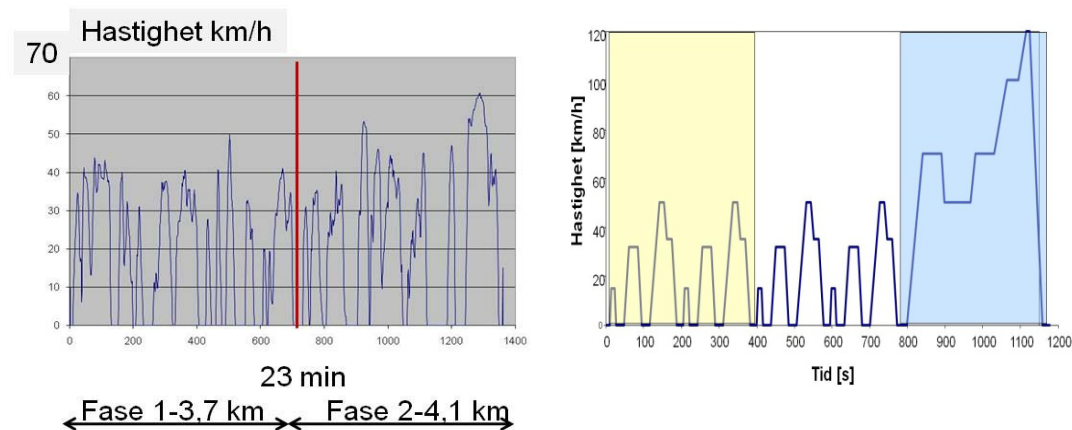
- Utslippene av NO_x fra en ny moderne Euro 5 dieselbil sank til 1,0 g/km ved kjøring av de resterende 4 km av bykjøresyklusen
- Utslippene av NO_x fra en ny Euro 5 bensinbil og en ny hybridbil var på 0,10 g/km respektive 0,18 g/km ved kaldstart og kjøring de første 4 km av en bykjøresyklus
- Utslippene av NO_x fra en ny Euro 5 bensinbil og en ny hybridbil sank til 0,03 g/km respektive 0,01 g/km ved kjøring av de resterende 4 km av bykjøresyklusen
- I forhold til typegodkjenningskravene var utslippene av NO_x fra dieselbilen høye og utslippene fra bensinbilen og hybridbilen var lave



Figur 2.8: Utslipp av NO_x fra tre Euro 5 godkjente bilmodeller med nedkjølt bil, kuldestart og kjøring av en bykjøresyklus - Toyota Avensis D-4D DPF, Toyota Avensis 1,8 l bensin og Toyota Prius Hybrid (Hagman 2011)

Typegodkjenningen er den vanlige kilden for informasjon om avgassutslipp. Typegodkjenningen skjer ut fra den ”snille” EDC kjøresyklusen, som kjøres ved temperaturen 23 °C.

For å kunne måle avgassutslipp fra en bil på en tilfredsstillende måte må man ha tilgang til et avgasslaboratorium. I avgasslaboratoriet kjøres strengt spesifiserte kjøresykluser og under hele syklusene samles avgassene opp. Etter avsluttet kjøresyklus analyseres de oppsamlede avgassene. Utslippene blir svært forskjellige avhengig av hvordan bilen kjøres (hvilken kjøresyklus som brukes).



Figur 2.9: Helsinki bykjøresyklus til venstre og EDC kjøresyklus til høyre

2.4 NO_x, NO₂ og renseteknologi

Avgiftsomleggingen i 2007 som stimulerer til kjøp av dieslbiler har ført til en nedgang i CO₂-utslippene fra nyere biler over hele landet. Det er et poeng å ta vare på denne gevinsten. Samtidig er det viktig å sikre folkehelsen. Teknologi for å redusere og fjerne NO_x finnes, men det er en utfordring å få disse teknologiene til å virke på en effektiv måte i virkelig trafikk.

- ”Motor-tuning” - regulering av innsprøytingen av drivstoff kan som vist i figur 2.7 redusere dannelsen av NO_x, men dette skjer gjerne på bekostning av økte utslipp av CO₂, høyere utslipp av PM og høyere utslipp av uforbrent drivstoff.
- EGR (Exhaust Gas Recirkulation) - Resirkulasjon av avgasser, kan brukes for å gi lavere forbrenningstemperatur og mindre dannelse av NO_x men ulempen er gjerne redusert maksimal motoreffekt.
- SCR (Selektiv Katalytisk Reduksjon) - Kjemisk reduksjon av NO_x til nitrogengass er en lovende teknologi som teoretisk gjør det er mulig med høy temperatur i motoren og effektiv forbrenning. Store mengder av NO_x som resultat av høy temperatur kan siden fjernes ved hjelp av innsprøyting av reduksjonsmidlet urea i en katalysator. Urea markedsføres under navnet ”AdBlue”. Systemet reguleres kontinuerlig ved at mengde urea som sprøytes inn tilpasses mengde NO_x i avgassene for best mulig rensesresultat.

Blå blir brukt som miljøfarge for dieslbiler. ”BlueMotion”, ”AdBlue” og ”Blue efficiency” er benevnelse på nye energieffektive og forhåpentlig også ren teknologi for dieslbiler. Effektive partikkelfiltre og NO_x-katalysatorer som er under utvikling eller allerede ferdige for levering, skal i tillegg til attraktive klimaegenskaper gi dieslbiler med rene avgasser. Volkswagen, Audi, Mercedes, BMW med flere kan allerede levere dieslbiler som klarer de strenge fremtidige (2014) Euro 6-kravene for utslipp av helseskadelige avgasser. Lave utslipp av NO_x er mulig med flere teknologier. Det avgjørende blir å avgassteste dieslbiler med ny avansert renseteknologi i kjøresykluser som tilsvarende virkelig trafikk, for å se at de faktisk har lave utslipp under alle kjøreforhold.

SCR-katalysatorsystemet, tank og rør for AdBlue-væsken trenger oppvarming og reguleringssystemene må være raske for at systemet skal fungere i kulde og bytrafikk. Enkelte avgassmålinger (Nylund, 2011 (avsnitt 5.5)) har vist at SCR i bybusser har varierende effekt og flere forskere er skeptiske til at SCR vil gi de ønskede reduksjonene av NO_x spesielt ved kjøring ved lav belastning og når det er kaldt.

Renseeffektene med de beskrevne teknologiene for å rense dieslavgasser fra NO_x i virkelig trafikk kan på nåværende tidspunkt ikke tallfestes på en sikker måte. De rensesystemer som er omtalt, og andre som ”Mazda Skyactive technology”, vil etter vår vurdering enkelt klare å rense avgassene på effektiv måte ved konstante turtall og konstant motorbelastninger.

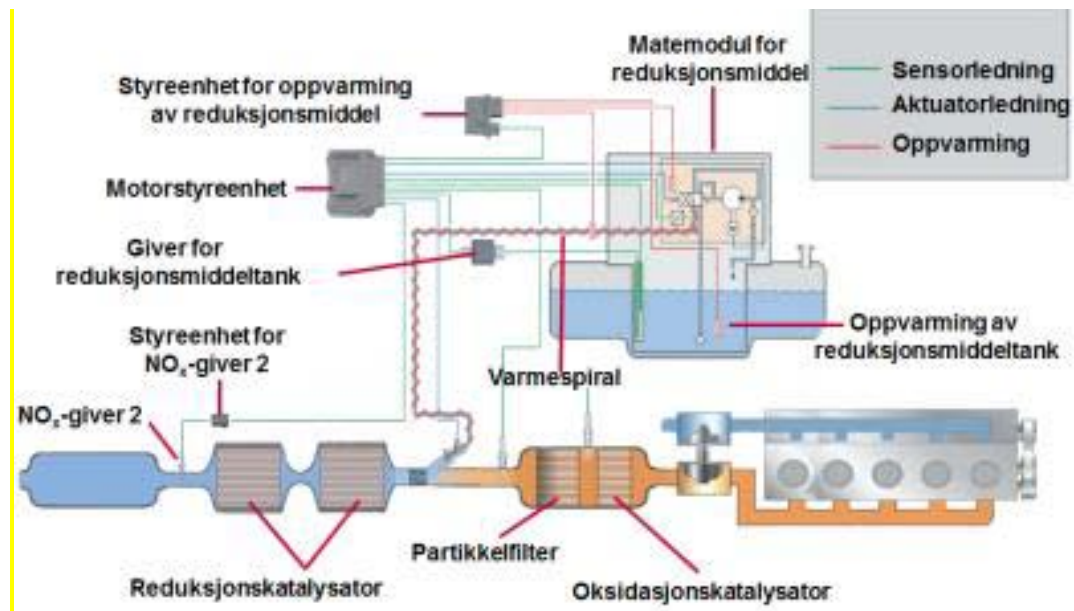
Enkelmålinger (avsnitt 5.5-5.7) av kjøretøy med Euro5/VI diesl teknologi viser at typegodkjenningsskravene med nå gjeldende typegodkjenningstester ikke synes å

være noe problem. utfordringene kommer ved kjøring i virkelig trafikk og ved kjøring av bykjøresykluser i avgasslaboratorier.

Vår vurdering er at enkelttestene viser at det er mulig å rense NO_x-utslippene fra kjøretøy med dieselmotorer slik at de i virkelig trafikk blir redusert med 70 prosent i forhold til utslippene fra dagens kjøretøy med dieselmotorer.

Når det gjelder NO₂ har vi ikke funnet noen enkelttester som viser hvilke reduksjoner som er mulige. Teknologisk vurderer vi at vi at reduksjoner med 70 prosent i forhold til utslippene fra dagens kjøretøy med dieselmotorer også her er mulige i 2014 når de nye Euro 6/VI kravene for avgassutslipp skal oppfylles.

Det er viktig at en renseteknologi fungerer effektivt under kjøring i virkelig trafikk. Hvordan en bil eller en motor typegodkjennes er avgjørende for hvor miljøvennlige kjøretøy er når det blir tatt i bruk. Ny teknologi må også følges opp, utslipp og luftkvalitet må måles og kontrolleres. Norges astma og allergiforbund (NAAF) slo, etter rapporter om problemer med NO₂, tidlig alarm om at noe var galt med utviklingen av NO₂-forurensning av luften i norske byer.



Figur 2.10: SCR – Selektiv katalytisk fjerning av NO_x er en lovende metode for å fjerne NO_x fra dieselavgasser (bilde VW/Audi)

3 Analyse av historiske måledata

3.1 Konsentrasjoner av NO_x og NO₂

Måledata av NO_x og NO₂ er analysert for perioden 2003 – 2010. I denne perioden har flere målestasjoner blitt lagt ned, flyttet eller kommet til. Derfor er det et begrenset utvalg av stasjoner å studere. Data fra disse må derfor analyseres med visshet om at datamaterialet er begrenset. Men vi har 8 stasjoner fordelt mellom Oslo, Bergen og Trondheim med rimelig god datadekning av samtidig NO₂ og NO_x i perioden. Disse er vist i Tabell 3.1.

Tabell 3.1: Liste over målestasjoner som er lagt til grunn for analyser i dette kapittelet.

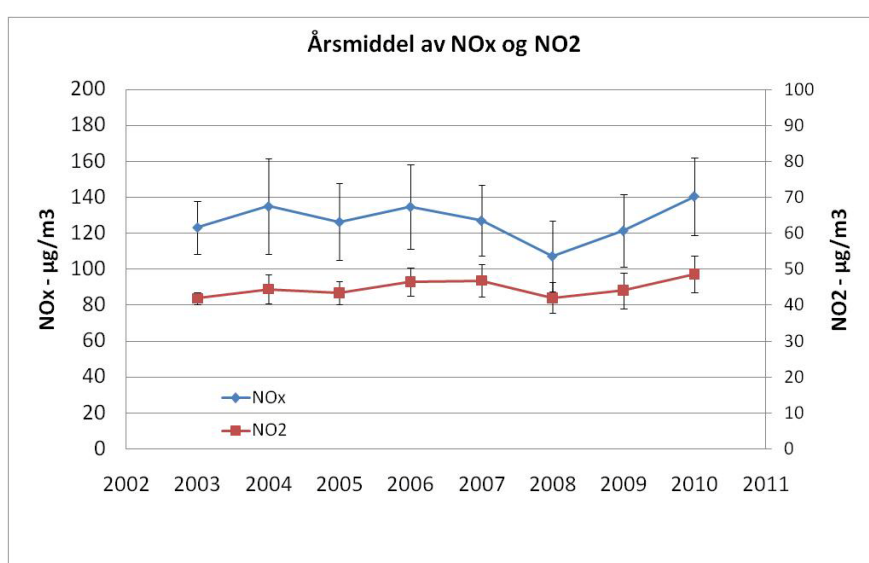
Målestasjon	By	Type	Data-dekning	Merknad
Alnabru	Oslo	Veinær stasjon	80 %	Ute av drift januar – september 2008
Kirkeveien	Oslo	Veinær stasjon	92 %	
Riksvei 4	Oslo	Veinær stasjon	54 %	Kun vinterdrift september – mai
Manglerud	Oslo	Veinær stasjon	86 %	
Elgeseter	Trondheim	Veinær stasjon	82 %	
Bakke Kirke	Trondheim	Veinær stasjon	82 %	Etablert høsten 2004
Danmarks plass	Bergen	Veinær stasjon	89 %	Ble flyttet ca 300 meter i 2009
Rådhuset	Bergen	Bybakgrunn	89 %	

Vi har analysert både årsmiddelkonsentrasjoner og de høyeste timemiddelkonsentrasjonene i perioden, og spesielt forholdet mellom konsentrasjon av NO₂ og NO_x.

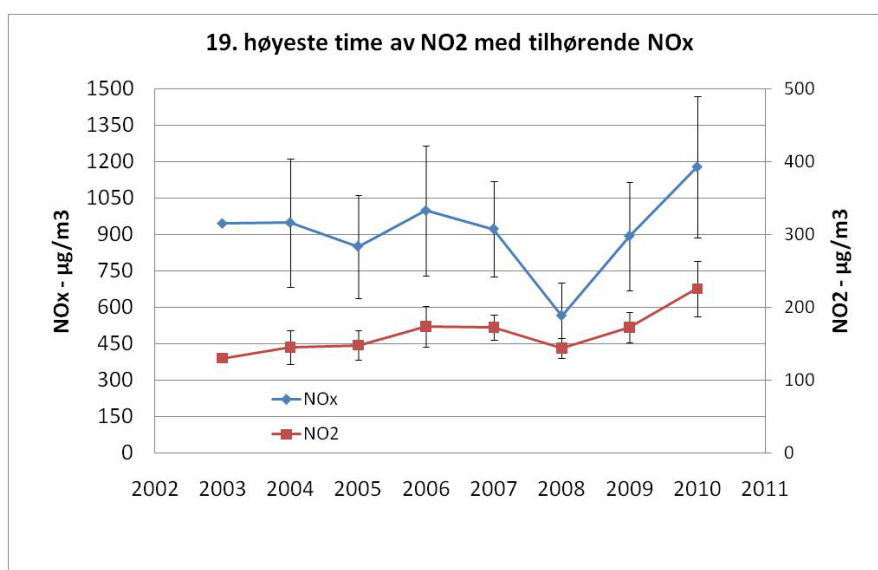
Konsentrasjoner i luft er bl.a. avhengig av utslippskvantum og atmosfærekjemi (samt de komponentene som inngår i denne kjemien). Likevel vil variasjon i spredningsforhold (meteorologi) fra år til år ha større effekt på konsentrasjonsnivået enn utslippsendringen. Som følge av dette var det i den aktuelle perioden lavere konsentrasjoner av NO₂ i 2008 enn de andre årene, og høyere konsentrasjoner av NO₂ i 2010 enn i de andre årene. Dette vises igjen i de følgende figurene og disse årene avviker fra gjeldende trend.

I Figur 3.1 er årsmiddel av NO_x og NO₂ for alle åtte stasjoner midlet. Når man tar hensyn til at 2008 og 2010 er avvikende i hver sin retning ser vi at årsmiddel av NO_x er svakt, avtagende i perioden. Det er derimot ikke mulig å se noen trend til endring av årsmiddel av NO₂. Det er også verdt å merke seg at årsmiddel av NO₂ er høyere enn grenseverdien tillater (40 µg/m³) i hele perioden.

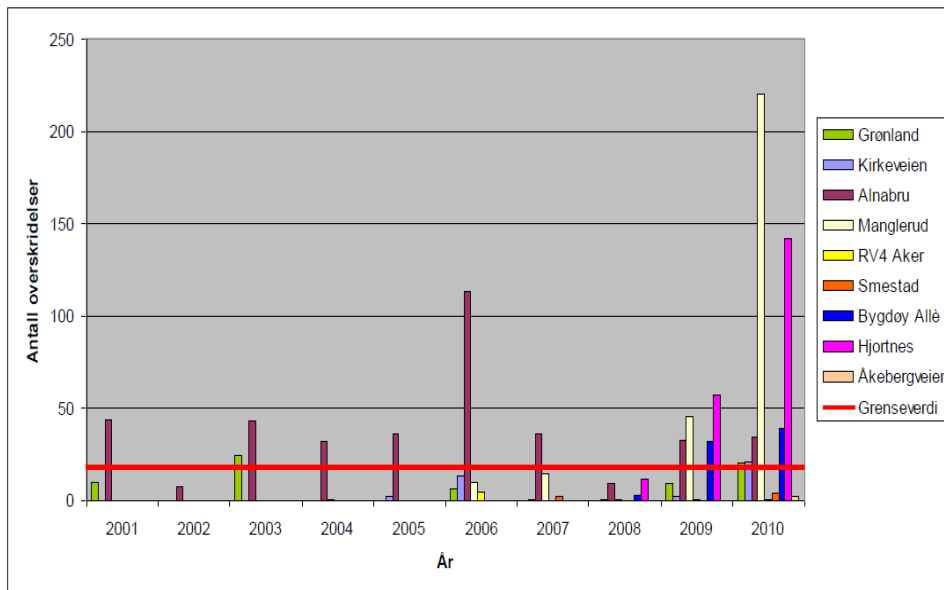
Figur 3.2 viser tilsvarende kurver for de høyeste timemiddelene. I denne figuren er det tatt utgangspunkt i den 19. høyeste timemiddel av NO₂ (ettersom denne er gjeldende for grenseverdien) og tilhørende NO_x-verdi. Deretter er det beregnet gjennomsnittskonsentrasjon mellom de åtte stasjonene. Denne størrelsen er mye mer varierende mellom årene og dette gir spesielt stort utslag i 2008 og 2010. For de høyeste timemiddelene er det vanskelig å trekke fram noen trend for NO_x. Men nivået av NO₂ er svakt økende i perioden, dette gjelder selv om vi ser bort fra 2010 som hadde avvikende høye konsentrasjoner. På grunn av begrenset datamateriale er det likevel usikkert om dette er en trend eller om det skyldes naturlig variasjon. Figuren viser at det bare er i 2010 at gjennomsnitt av de åtte stasjonene overskrider grenseverdien for 19. høyeste time (200 µg/m³), men også de andre årene har det vært overskridelser for noen av stasjonene, eksempel fra Oslo er vist i Figur 3.3.



Figur 3.1: NO_x og NO₂- gjennomsnitt av årsmiddel over alle 8 målestasjoner. Standardavvik for hvert år er lagt inn som usikkerhetsstolpe.



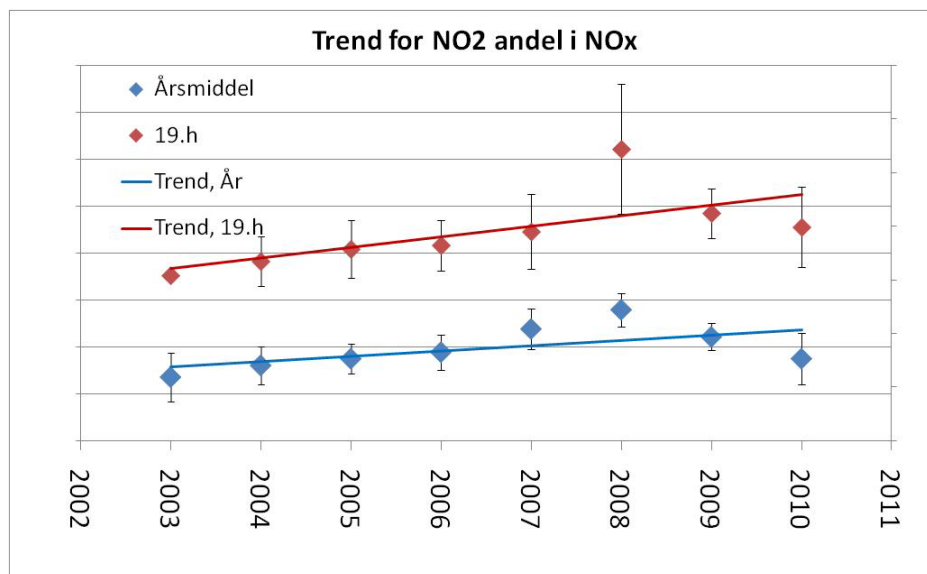
Figur 3.2: Gjennomsnitt verdi over alle 8 målestasjoner av 19. høyeste time av NO₂ og tilhørende NO_x-verdier. Standardavvik for hvert år er lagt inn som usikkerhetsstolpe.



Kilder: Statens vegvesen og Oslo kommune Bymiljøetaten

Figur 3.3: Antall tilfeller for stasjoner i Oslo der timemiddel overskrider 200 µg/m³. Grenseverdien tillater 18 overskridelser som er vist med rød horisontal linje.

I Figur 3.4 er forholdet mellom NO₂ og NO_x vist som en brøk, $\frac{NO_2}{NO_x}$. På grunn av hull i dataseriene var det nødvendig å først beregne forholdet for hver enkelt stasjon og normalisere disse før det ble beregnet gjennomsnitt mellom alle brøkene for alle målestasjonene. Ved denne metoden får vi en relativ trendkurve uten absolutt størrelse for brøkene. Figuren viser at NO₂-andelen i NO_x er økende i perioden. Men denne økningen er svært svak. For årsmiddel er økningen på bare 1 %, mens den er noe høyere, 4 %, for 19. høyeste time. Trenden er heller ikke entydig mellom alle målestasjonene, dette kan skyldes naturlig variasjon i spredningsforholdene. For årsmiddel utgjør NO₂ 29 % - 48 % av NO_x-utslippet, mens det utgjør 13 % - 43 % for 19. høyeste time.



Figur 3.4: Relativ trend for brøken NO₂/NO_x over alle 8 stasjoner. Kurven er relativ uten enhet på y-aksene. Brøken er svakt økende, ca 1 % relativ økning for årsmiddel og 4 % relativ økning for 19. høyeste time. Standardavvik for hvert brøk er lagt inn som usikkerhetsstolpe.

En gjennomgang av måledata viser at konsentrasjoner av NO₂ i norske byer ofte overskrider gjeldende grenseverdier, spesielt for årsmiddel. Analysen viser en svakt avtagende trend for konsentrasjon av NO_x og en svakt økende trend for konsentrasjon av NO₂. Det er usikkerhet knyttet til disse trendene, både fordi utviklingen har vært svært svak og fordi datagrunnlaget som analysen bygger på er begrenset til bare åtte år og åtte stasjoner. Likevel viser analysen at det ikke er noen positiv utviklingen og at utslipp av NO₂ må reduseres dersom grenseverdiene for årsmiddel og timemiddel skal nås i framtiden.

Årsmiddel av ozon på norske bakgrunnsstasjoner ligger i intervallet 50 – 70 µg/m³ (Ass et al.). Det er begrenset med måledata av ozon fra norske byer, men årsmiddel fra målestasjonene "Rådhuset" i Bergen og "Bærum" i Oslo ligger i intervallet 30 – 42 µg/m³ (2005 - 2010). Når konsentrasjon av NO er betydelig høyere enn konsentrasjoner av ozon vil dannelse av NO₂, som følge av kjemisk reaksjon mellom NO og ozon, bli begrenset av hvor mye ozon som er tilgjengelig. For timene med høyest NO₂-konsentrasjon er samtidig NO_x-konsentrasjonen ca 900 µg/m³ (Figur 3.2). Da er det mer enn tilstrekkelig NO til at all tilgjengelig ozon kan reagere med NO og danne NO₂. Dermed vil det være lite eller ingen bakkenært ozon igjen. Eventuell endring i NO-utslippet vil derfor ikke gi noen målbar effekt for høye timemiddelkonsentrasjoner av NO₂. Eventuell endring i primærutslippet av NO₂ vil naturligvis gi umiddelbart utslag for konsentrasjoner av NO₂. For årsmiddelkonsentrasjonen er ikke differansen mellom NO og ozon like stor, men likevel er konsentrasjonen av NO betydelig høyere enn konsentrasjonen av ozon. Derfor vil tilgjengelig ozon, også for årsmiddel, begrense hvor mye NO₂ som kan dannes kjemisk av disse to komponentene. Da vil også en eventuell endring av primærutslippet av NO₂ gi større effekt for årsmiddel av NO₂ enn en endring av NO-utslippet.

3.2 Ozonkonsentrasjoner

Konsentrasjon av NO₂ er summen av direkte utslippet NO₂ og NO₂ som dannes ved titreringseffekten ($\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$). I denne rapporten har vi gjort modellberegninger på utslipp og utslippstrend av både NO₂ og NO. I tillegg til trender av disse komponentene vil en eventuell trend av ozonkonsentrasjon påvirke NO₂-trender i fremtiden. For å vurdere fremtidig utvikling av NO₂-nivå er det derfor relevant å vurdere om nivå av bakkenært ozon endres over tid. Generelt vil titreringseffekten føre til at NO_x-utslipp gir en ozonreduksjon nær utslippene. Etter en viss tid/avstand vil fotokjemien gi en netto ozondannelse. Sommerstid er denne tiden/avstanden mye kortere enn om vinteren. Dermed vil vi anta at NO_x-utslipp gir økt ozonnivå om sommeren, men kan gi redusert nivå vinterstid.

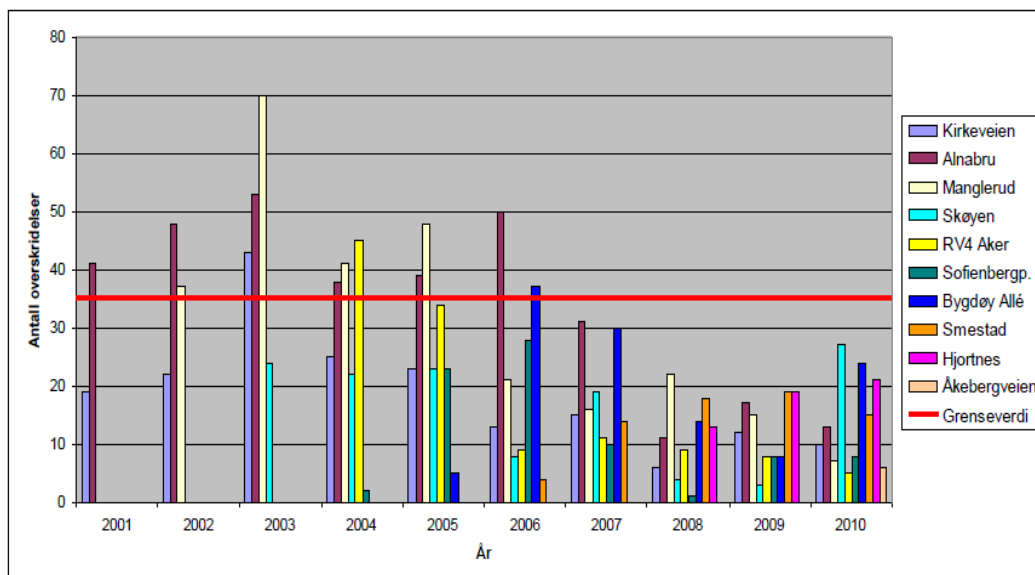
Det har vært betydelig reduksjoner av NO_x-utslippet i Europa de siste 10-20 årene. Det burde gi opphav til reduserte ozonnivåer om sommeren, og kanskje til noe økte nivåer vinterstid (i en viss avstand fra utslippene). Det er imidlertid vanskelig å finne igjen det samme i målinger fra bakgrunnsstasjoner. Nedadgående trender i ozon sees i noen områder i Europa, men ikke overalt og ikke i et entydig bilde. Vinterstid er det også økninger i ozon i noen områder, men ikke for Europa som helhet.

Ozonnivå styres av en rekke prosesser og det er vanskelig å se klare sammenhenger mellom antropogene utslipp av NO_x og VOC og målte konsentrasjoner på bakgrunnsstasjoner. Utviklingen av bakgrunnsnivået av ozon

rundt byene i Norge er det dermed ikke mulig å gi sikre prognoser for. Endringer i klima vil dessuten ha stor betydning for den framtidige trenden i tillegg til trenden som man forventer ut ifra utslippsendringer.

3.3 Konsentrasjoner av svevestøv

Noen år har det forekommet overskridelser for konsentrasjoner av svevestøv. Figur 3.5 viser imidlertid at antall overskridelser av PM₁₀ er avtagende og at det ikke har vært overskridelser de siste 4 årene. Det er grunn til å anta at dette skyldes gjennomføring av flere tiltak rettet mot svevestøv.



Kilder: Statens vegvesen og Oslo kommune Bymiljøetaten

Figur 3.5: Antall døgn hvor døgnmiddel av PM₁₀ overskrider 50 µg/m³ i Oslo i perioden 2001-2010. Grenseverdien tillater 35 overskridelser og er markert med en rød linje.

Svevestøv kommer fra flere kilder, består av forskjellig materialer og har varierende størrelse og effekter. Eksosutslipp er en kilde for svevestøv. Utslipp fra vedfyring og veislitasje, samt langtransportert svevestøv er andre signifikante kilder til forurenset luft i norske byer. I denne studien har oppgaven vært å fokusere på eksospartikler. Om vinteren utgjør bidrag fra eksosutslipp en mindre andel av det totale utslippet av svevestøv, dette er nærmere beskrevet i kapittel 6.5.

4 Euro-krav til utslipp fra kjøretøy

4.1 Euro-krav til kjøretøy

Alle nye biler og nye motorer til kjøretøy skal typegodkjennes. Euro kravene angir hvor store utslipp som nye personbiler og nye motorer til tunge kjøretøy maksimalt kan ha for å bli godkjent for salg i EUs medlemsland. Norge er assosiert til EU og bruker EUs direktiver for kjøretøy.

Avgassutslippene for typegodkjenning av personbiler skal måles under kjøring av nøyte spesifiserte kjøresykluser for personbiler (se kapittel 4.2). Avgassutslippene for typegodkjenning av motorer til tunge kjøretøy skal måles med nøyte spesifiserte motorbelastninger. Avgassene skal i begge tilfeller samles inn og innholdet analyseres etter avsluttet kjøring av kjøresyklus og motorbelastninger.

Når det gjelder NO_x er kravene blitt skjerpet betraktelig fra begynnelsen av 1990-tallet frem til dagens Euro 5 krav for personbiler og dagens Euro V krav for motorer til tunge kjøretøy. For å bli typegodkjente må nye kjøretøy og nye motorer tilfredsstille de krav som til enhver tid gjelder. Kravene som har vært gjeldende, er gjeldende og som vil bli gjeldende fra 2014 er vist i tabellene nedenfor (se tabell 4.1-4.3). Ved typegodkjenning må kjøretøyene og motorene gjennom så mange avgasstester at utslippene under de gitte forutsetninger er statistisk sikre. I tillegg er bilprodusentene pliktig å sørge for at biler som selges har utslipp som er i samsvar med lovkravene. Dersom det oppdages gjennom stikkprøvetester at en bilmodell har for høye utslipp, kan bilprodusenten bli pålagt å utbedre samtlige biler som er solgt.

Utslippene av nitrogenoksider fra personbiler og motorer blir målt i gram NO_x/km respektive gram NO_x/kWh. Luftkvalitet blir målt i mikrogram NO₂/m³ og det kan derfor synes rart at det er mengden NO_x som blir målt og vurdert ved avgassmålinger. Forklaringen er at det med de spesifiserte måle- og analysemetoder som brukes, er umulig å få repeterbare måleresultater av NO₂-utslipp fra biler og motorer. Som beskrevet i kapittel 2 er det komplisert kjemi og komplisert prosesser som styrer likevektsforholdene mellom nitrogen, nitrogenoksider og nedbryting av nitrogenoksider til salpetersyre.

Måling av avgasser i avgasslaboratorier må kunne gjennomføres med tilfredsstillende nøyaktighet og repeterbarhet. Problemet med måling av NO₂ er at det har stor betydning for hvor stor mengde NO₂ som registreres ved analyser etter avsluttet avgasstest, om luften inneholder mye oksygen og hvor lang tid det tar mellom avgassutslippene og analysen av avgassene.

Tabell 4.1: Utslippskrav for typegodkjenning av bensin personbiler i g/km.

Direktiv (registreringsår)	NO _x	PM	HC	CO	HC + NO _x
Euro 1 (1992, bensin)				2,72	0,97
Euro 2 (1996, bensin)				2,20	0,50
Euro 3 (2000, bensin)	0,15		0,20	2,30	
Euro 4 (2005, bensin)	0,08		0,10	1,00	
Euro 5 (2009, bensin)	0,06	0,005	0,10	1,0	
Euro 6 (2014, bensin)	0,06	0,005	0,10	1,0	

Tabell 4.2: Utslippskrav for typegodkjenning av diesel personbiler i g/km.

Direktiv (registreringsår)	NO _x	PM	HC	CO	HC + NO _x
Euro 1 (1992, diesel)		0,18		3,16	1,13
Euro 2 (1996, diesel)		0,08		1,06	0,70
Euro 3 (2000, diesel)	0,50	0,05		0,64	0,56
Euro 4 (2005, diesel)	0,25	0,025		0,50	0,30
Euro 5 (2009, diesel)	0,18	0,005		0,50	0,25
Euro 6 (2014, diesel)	0,08	0,005		0,50	0,17

Tabell 4.3: Utslippskrav for typegodkjenning av motorer til tunge kjøretøy i g/kWh.

Direktiv (registreringsår)	NO _x	PM	HC	CO	CO ₂
Euro 0 (≤1993)	17,0	0,65	1,5	5,6	Ingen
Euro I (1994-1996)	8,0	0,36	1,1	4,5	Ingen
Euro II (1997-2000)	7,0	0,15	1,1	4,0	Ingen
Euro III (2001-2006)	5,0	0,10	0,7	2,1	Ingen
Euro IV (2007-2008)	3,5	0,02	0,5	1,5	Ingen
Euro V (2009 -2014)	2,0	0,02	0,5	1,5	Ingen
Euro VI (2014-)	0,4	0,01	0,13	1,5	Ingen

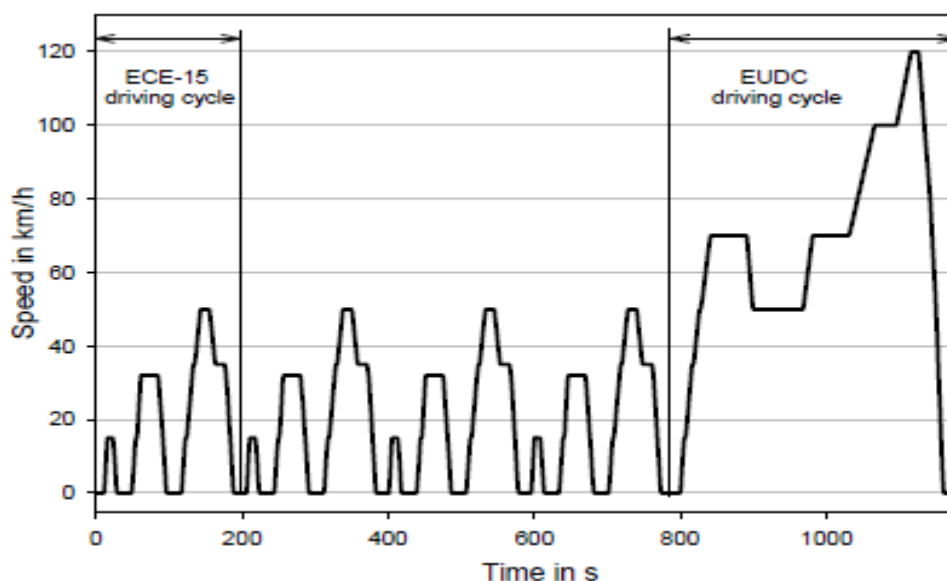
4.2 Nye testsykluser under utprøving

New European Driving Cycle (NEDC) er den kjøresyklus som nå brukes for typegodkjenning av personbiler i EU. I USA og Japan brukes andre kjøresykluser (se tabell 4.4). NEDC består av ulike faser som er ment å skulle fange opp både typisk bykjøring, og en del som skal representere kjøring på landevei med akselerasjoner og hastigheter opp til 120 km/h (se figur 4.1).

Tabell 4.4: Oversikt over noen kjøresykluser som brukes i typegodkjenningstester av lette kjøretøy. Kilde: Weiss m fl 2011.

	NEDC	ECE-15	US FTP-75	JTC 10-15	ARTEMIS urban
Område	EU	EU	USA	Japan	EU
Varighet (sek)	1180	780	1874	660	920
Lengde (km)	11	4	18	4	4,5
Gj. hastighet (km/t)	34	19	34	23	17,5
Max hastighet (km/t)	120	50	91	70	58

Kritikken mot kjøresyklusen NEDC og de fleste andre testsyklusene for typegodkjenning som brukes i dag, er blant annet at akselrasjonene i testene er for jevne og at de kun krever et begrenset utvalg av ulike motorbelastninger og turtall. NEDC syklusen fanger i liten grad opp faktisk forhold ved bytrafikk med lave hastigheter, høye turtall, kraftige akselrasjoner og retardasjoner (Weiss m fl 2011). Utslippene i faktisk bytrafikk kan derfor bli betraktelig høyere enn det typegodkjenningen til det aktuelle kjøretøyet viser. Dette er en av årsakene til at EU nå holder på med å utrede muligheten for å innføre mer relevante kjøresykluser for typegodkjenning av biler. Kjøresykluser som skal kunne benyttes for å teste ut at nye kjøretøy fra 2014 ikke bare tilfredsstiller kravene til Euro 6, men også har lave utslipp i virkelig trafikk.



Figur 4.1: Hastighetsprofil for New European Driving Cycle (NEDC).
Kilde: Weiss m fl 2011.

For nordiske forhold er det verd å merke seg at avgassutslippene ved start i nordisk kulde ikke fremkommer i de standardisert typegodkjenningstestene. NEDC testen blir utført på en slik måte at den inkluderer utslippene ved kaldstart med bilen, og motoren er da temperert til +23 °C. Utslippen er for alle motorer høyere ved kaldstart, enn ved start med driftsvarm motor. Avgassutslippene blir enda høyere ved kaldstart i nordisk kulde, som for test formål ofte er -7 °C.

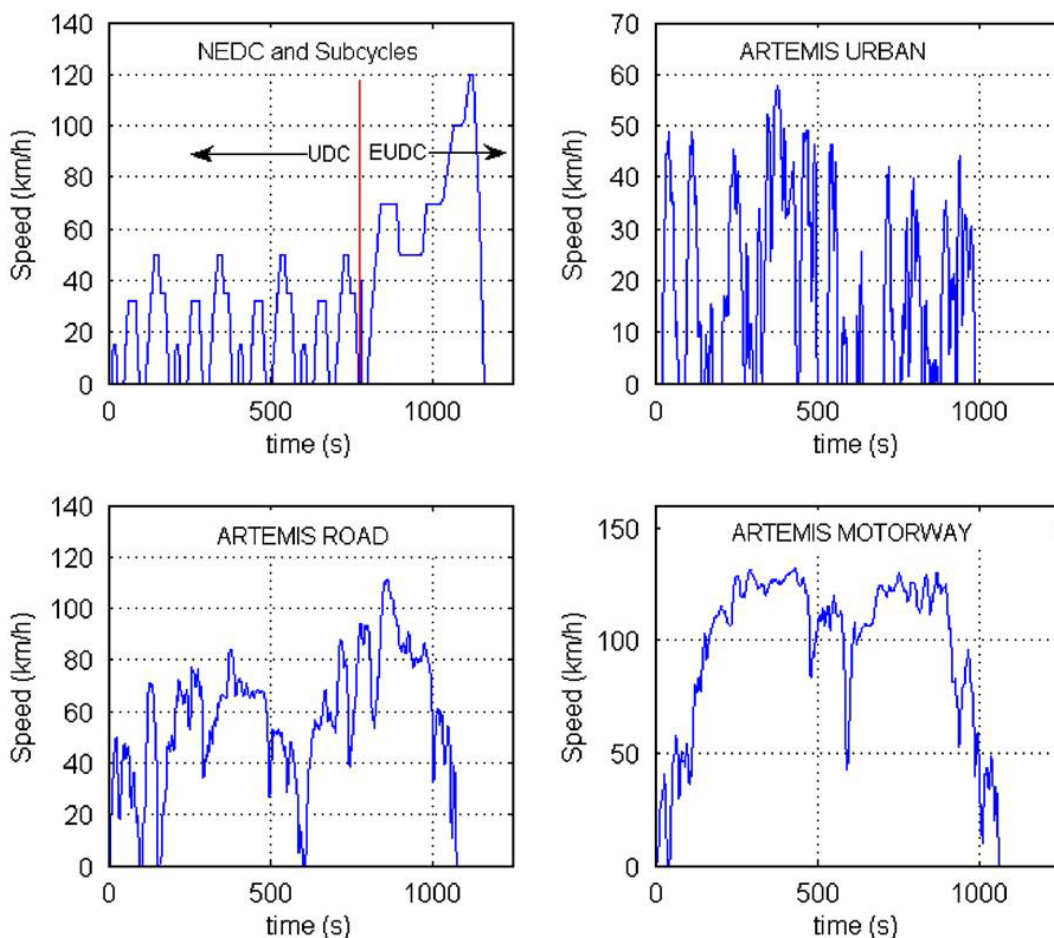
Det er særlig ved streng kulde og værphenomenet ”inversjon” at grenseverdiene for dårlig luftkvalitet blir overskredet i store byer i Norge.

Å skape en kjøresyklus som er representativ for den type kjøring man vil etterligne i et avgasslaboratorium er enkelt med en bil som instrumenteres med GPS og opptaksstyr for akselerasjon og hastighet. Helsinki bykjøresyklusen (se kapittel 2.3) som ble benyttet ved tester utført vinteren 2011 er et eksempel på en kjøresyklus som er typisk for hvordan personbiler kjører i sentrum av Helsinki. Å bli enige om en internasjonal kjøresyklus som kan brukes for typegodkjenning av lette kjøretøy over hele verden er mer komplisert. Det krever også betydelige ressurser å bygge opp kompetanse og avgasslaboratorier som kan teste lette og tunge kjøretøy under relevante kjøreforhold.

Artemis er et stort Europeisk samarbeidsprosjekt med målsetting om å kartlegge avgassutslipp og forurensing fra veitrafikk. Artemis har tatt frem kjøresykluser

som på en troverdig måte vil representere bykjøring, landeveiskjøring og motorveiskjøring. Artemis kjøresykluser er kandidat til å bli nye kjøresykluser for internasjonal avgasstesting og typegodkjenning av kjøretøy. Figur 4.2 viser Artemis kjøresykluser på en måte som gjør dem lette å sammenlikne med NEDC. Artemis kjøresykluser vil etter hva vi kan forstå brukes for å oppgi utslippsverdier som representerer virkelige kjøreforhold i Europa (European real World conditions, CADC)

Kontaktperson for HBEFAs modell for beregning av utslippsfaktorer, Mario Keller fra Infrac i Sveits er sentral i Artemis-prosjektet. For beregning av utslippsfaktorer henter HBEFA informasjon hovedsakelig fra sveitsiske og østerrikske avgasslaboratorier (se kapittel 5). Innfasing av Artemis testsykluser vil gjøre arbeidet med å få frem og dokumentere avgassutslipp enklere.



Figur 4.2: Hastighetsprofil for NEDC sammenlignet med Artemis kjøresykluser for bykjøring, landeveiskjøring og motorveiskjøring (Dieselnet)

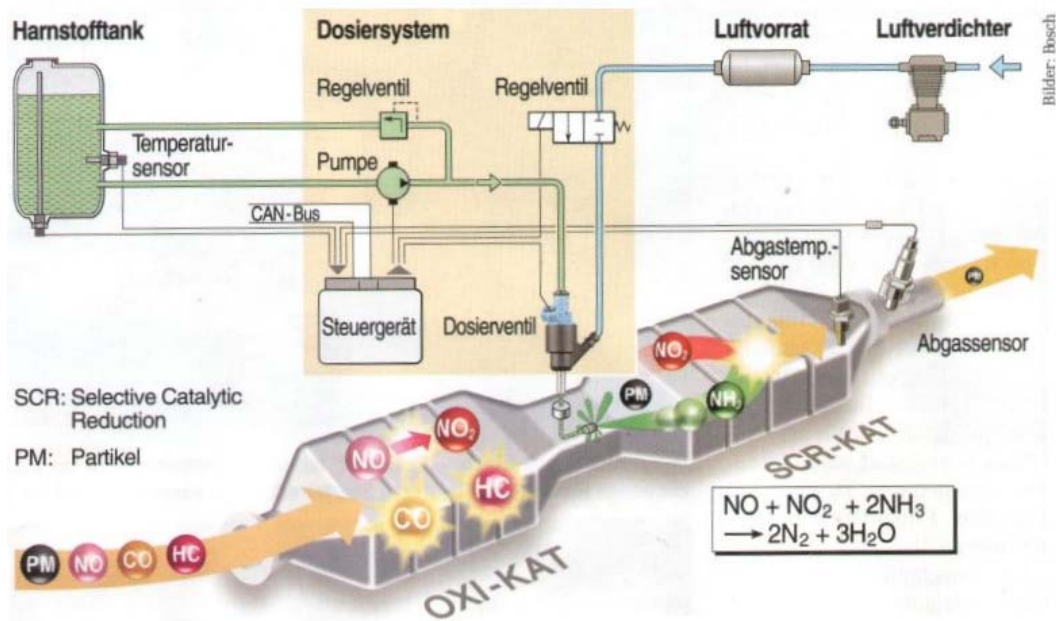
4.3 EUs politikk og videre strategi

EUs målsettingen med Auto Oil programmet og de gradvis skjerpede kravene til avgassutslipp fra kjøretøy var å fjerne alle problemer med helseskadelig luftforurensing i Europa. Fra og med 2009 ser det, med unntak fra utslipp av NO_x og NO₂, ut til at alle nye personbiler med dieselmotor kan ha akseptabelt lave nivåer av helseskadelige avgasser under alle kjøreforhold. Utslippene av NO_x og PM fra busser og andre tunge kjøretøy kan også være en utfordring som trenger

økt oppmerksomhet. Det er en kompliserende faktor at det er selve motorene til tunge kjøretøy som krever typegodkjenning. Den samme motoren vil gi forskjellige utslipp i tunge kjøretøy med forskjellig vekt og utstyr.

EU og myndighetene har nå blitt klar over at systemet for typegodkjenning av biler ikke har fungert som ønsket når det gjelder å redusere utslippene av NO_x fra kjøretøy med dieselmotorer. Representanter fra EU innser at det kan være vanskelig å skape kontrollsystemer som tvinger produsenter og eiere av kjøretøy å være miljøvennlige. EU ber produsenten av kjøretøy ("please") om å lage rensesystemer som faktisk gir lave utslipp i virkelig trafikk.

EU forlanger at alle kjøretøy skal ha "On Board Diagnostic systems" for å varsle om rensesystemene ikke virker som de skal. Videre forlanger EU at rensesystemene skal ha en spesifisert levetid. Et eksempel på krav er en kontrollsensor som skal overvåke konsentrasjonen av NO_x i avgassene til tunge kjøretøy. Hvis en spesifisert grense overskrides skal styringssystemet for motoren kun gi halv effekt av hva som er normalt. At rensesystemer med "Selective Catalytic Reduction" systemer fungerer godt og driftsikkert under alle kjøreforhold er en nøkkel for at det skal være mulig å oppnå både lave utslipp av CO₂ og lave utslipp av NO₂ fra kjøretøy med dieselmotorer.



Figur 4.3: SCR rensesystem med sensorer og kontrollsystemer som skal sørge for at utslippene av NO_x under alle forhold er lave. (Bilde Bosch)

5 Utslippsfaktorer

5.1 Forutsetninger

”Handbook of emission factors” (HBEFA), og den beregningsmodell som ligger til grunn for de HBEFAs utslippsfaktorer er, vårt utgangspunkt for beregninger av utslipp og luftkvalitet i denne rapporten. HBEFA bygger på en omfattende og anerkjent utslippsmodell for avgassutslipp fra kjøretøy (HBEFA 2009).

HBEFA dekker fem land, Tyskland, Østerrike, Sveits, Sverige og Norge. Utslipp fra både lette kjøretøy og tunge kjøretøy er målt i avgasslaboratorier med relevante tester og kjøremønster som i virkelig trafikk. Et stort antall ulike modeller av kjøretøy er testet under ulike kjøreforhold over flere år for å skaffe ny kunnskap og verifisere teoretiske beregninger.

Teoretisk kompetanse om forbrenningsmotorer og erfaringer med avgasstesting er av HBEFA brukt i en interaktiv prosess for å bygge opp en beregningsmodell for utslipp av klimagasser og lokalt forurensende avgasskomponenter fra kjøretøy og med forskjellige typer av drivstoff. Utslipp som er typiske for mange forskjellige kjøremønster og trafikksituasjoner kan simuleres med HBEFAs beregningsmodell.

Utslippsfaktorer som blir beregnet av utslippsmodellen HBEFA er verifisert med avgassmålinger i avgasslaboratorier til og med utslippsklassen Euro 4 for lette kjøretøy og utslippsklassen Euro IV for motorer til tunge kjøretøy. For utslipp fra kjøretøy med Euro 5 teknologi og motorer med Euro V teknologi har HBEFA ikke fått en grundig verifikasjon på at beregningene stemmer med avgassmålinger i virkelig trafikk. Enkeltmålinger og erfaringer med Euro 5 biler og tunge kjøretøy med Euro V motorer viser allikevel at beregningene synes å stemme relativt godt overens med HBEFAs beregninger. For utslipp fra kjøretøy med Euro 6 teknologi og motorer med Euro VI teknologi er HBEFA beregninger av avgassutslipp å betrakte som prognoser (Keller 2011). For kjøretøy med Euro 6 og Euro VI teknologi er det stort behov for fler avgasstester da foreløpige resultater fra enkeltmålinger viser store variasjoner.

HBEFA beregner blant annet utslipp av de to typene av regulerte avgassutslipp fra moderne kjøretøy, som i dominerende grad vurderes å kunne gi helseskadelige effekter. De to typene av avgassutslippene er nitrogenoksider, NO_x og eksospartikler, PM - målt i g/km. I våre kjøringer av HBEFA modellen har vi hentet ut data og utslippsfaktorer for representative typer kjøretøy og utslipp av NO_x, NO₂, PM og CO₂ under tre typiske kjøresituasjoner og for ulike utslippsklasser (Euro-klasser).

Vi har valgt 5 typer kjøretøy:

- Personbiler, bensin
- Personbiler, diesel
- Lette varebiler, diesel
- Lastebiler, diesel
- Bybusser, diesel

Fokuset i denne rapporten er utslipp fra kjøretøyer i bykjøring, med begrunnelse i at problemet med dårlig luftkvalitet er størst i byene Oslo, Trondheim og Bergen. I våre evalueringer har vi valgt å bruke typiske kjøresituasjoner som HBEFA angir typiske kjørehastigheter for og typiske utslippsfaktorer for de valgte typene av kjøretøy.

Tabell 5.1 viser valgte kjøresituasjoner med typiske gjennomsnittshastigheter for de ulike situasjonene. I beregningene av utslippsfaktorer er den hakkete kjøringen som kjennetegner køkjøring og den ujevne kjøringen med mange nedbremsinger og akselasjoner som kjennetegner bykjøring tatt med. For utslippsfaktorene ved kjøring på landevei forutsetter vi fri flyt i trafikken.

Tabell 5.1: Gjennomsnittshastighet (km/t) for valgte kjøresituasjoner.

	Personbil, bensin	Personbil, diesel	Lett lastebil	Tung lastebil	Bybuss
Køkjøring	13	13	13	13	13
Tett trafikk i by	30	30	30	29	30
Fri flyt –landevei	74	74	74	72	59

Beregnete utslippsfaktorer for NO_x og NO₂ i de ulike kjøresituasjonene og for de ulike typene av kjøretøy vises dels i form av figurer inkludert i dette kapitlet og presenteres i sin helhet i form av tabeller i Vedlegg 1. I vedlegg 1 oppgis også utslippsfaktorer for utslipp av CO₂ og EP (eksospartikler).

For å kunne vurdere de samlede utslippene av NO_x og NO₂ under kalde vinterdager med værtypen ”inversjon” har vi i tillegg til utslippsfaktorer estimert ekstra kaldstarttillegg av NO_x og NO₂ på kalde vinterdager. De estimerte ekstra kaldstarttilleggene fremgår av Vedlegg 2.

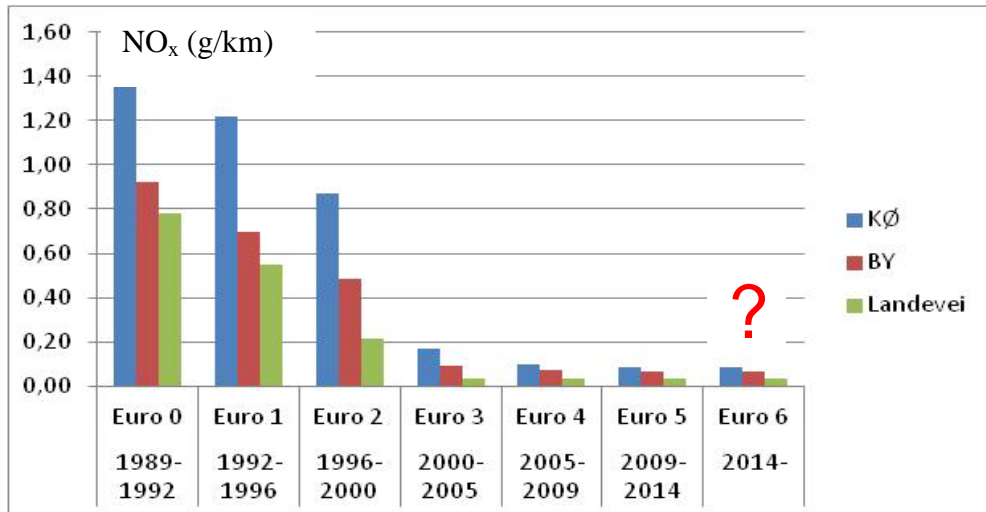
5.2 Utslippsfaktorer bensinbiler

Figur 5.1 viser utslippsfaktorer for NO_x fra bensinbiler under køkjøring, bykjøring og landeveiskjøring. Nye bensinbiler fikk fra og med 1989 treveiskatalysatorer, men det ser ut som det er først etter år 2000 som bensinbiler har fått lave utslipp av NO_x under alle typer kjøring.

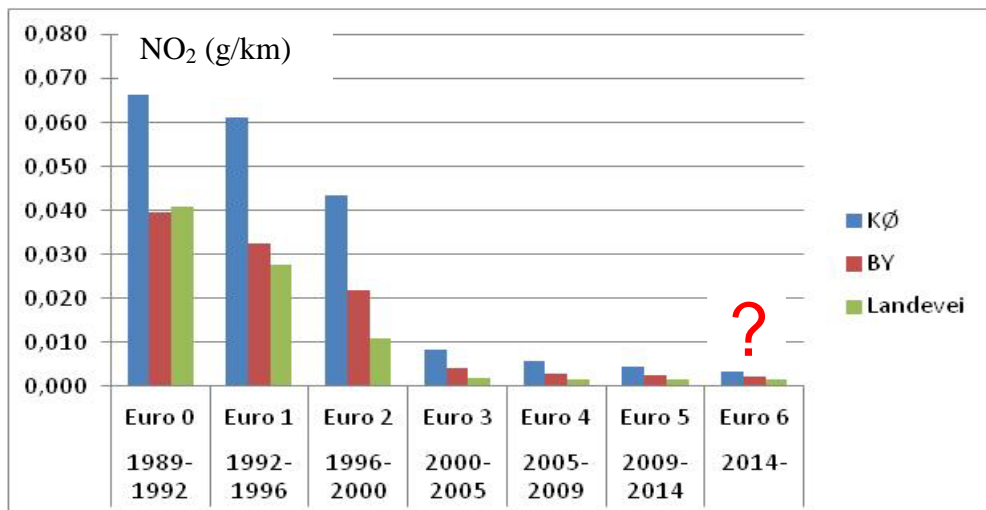
Fra og med år 2000 og Euro 3-teknologien har reguleringen av blandingsforholdet mellom drivstoff og luft blitt så raskt og nøyaktig at det har gitt mulighet for lave utslipp av NO_x under alle typer av kjøremønster. Våre enkeltmålinger av tre nye biler (kapittel 2) viste at bensinbiler og hybridbiler med bensinmotor som oppfyller Euro 5 kravene kan ha så lave utslipp med varm motor i virkelig bytrafikk at de i praksis kan sies å være nullutslippsbiler av NO_x og PM (Hagman 2011 og fig 2.8).

For bensinbiler er det usikkerhet i hvordan utslippsfaktorene for NO_x og PM vil kunne utvikle seg i negativ retning ved en eventuell økt innfasing av teknologi for direkte innsprøyting av bensin i sylindrene. En slik utvikling kan komme som konsekvens av ønsker om bedre energieffektivitet og lavere utslipp av CO₂ fra bensinbiler.

Figur 5.2 viser utslippsfaktorer for NO₂ fra bensinbiler under køkjøring, bykjøring og landeveiskjøring. Utslippene av NO₂ fra bensinbiler har utviklet seg stort sett i samsvar med utviklingen av NO_x-utslipp. Andelen NO₂ holder seg stabilt på godt under 10 prosent for nyere bensinbiler.



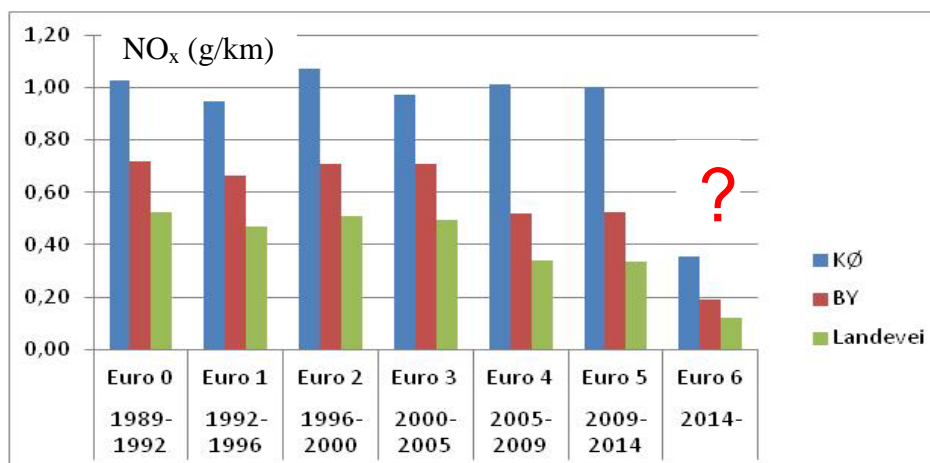
Figur 5.1: Utvikling i utslipp av NO_x fra nye personbiler med bensinmotorer under køkjøring, bykjøring og landeveiskjøring. Kilde: HBEFA



Figur 5.2: Utvikling i utslipp av NO₂ fra nye personbiler med bensinmotorer under køkjøring, bykjøring og landeveiskjøring. Kilde: HBEFA

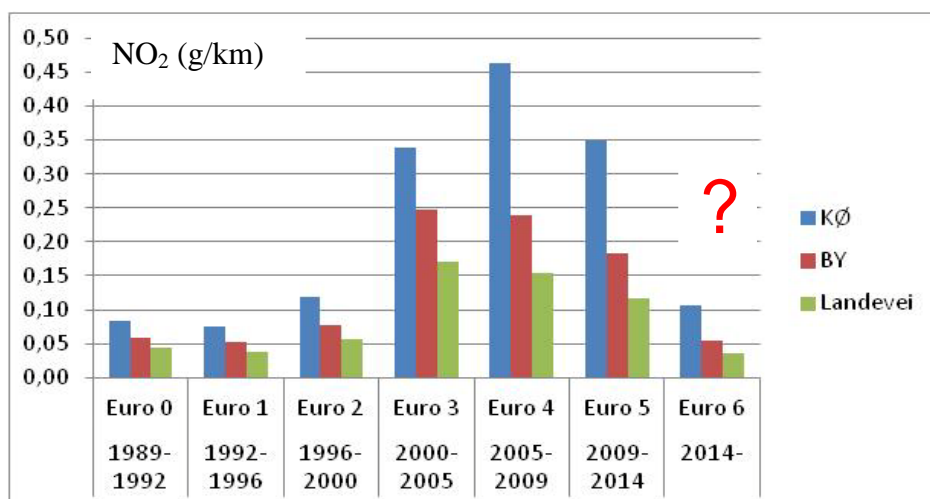
5.3 Utslippsfaktorer dieselbiler

Dieselbiler har i utgangspunkt ikke høyere utslipp av NO_x fra motoren enn bensinbiler. Figur 5.3 viser utslippsfaktorer for NO_x fra dieselbiler under kjøkjøring, bykjøring og landeveiskjøring. Nye dieselbiler har klart lavere utslipp av NO_x under kjøring i typegodkjenningstestsykluser og i noen grad under kjøring på landevei. I kjøkjøring er det vanskelig å se noen reduksjoner i utslipp av NO_x frem til og med Euro 5 biler.



Figur 5.3: Utvikling i utslipp av NO_x fra nye personbiler med dieselmotorer under kjøkjøring, bykjøring og landeveiskjøring. Kilde: HBEFA

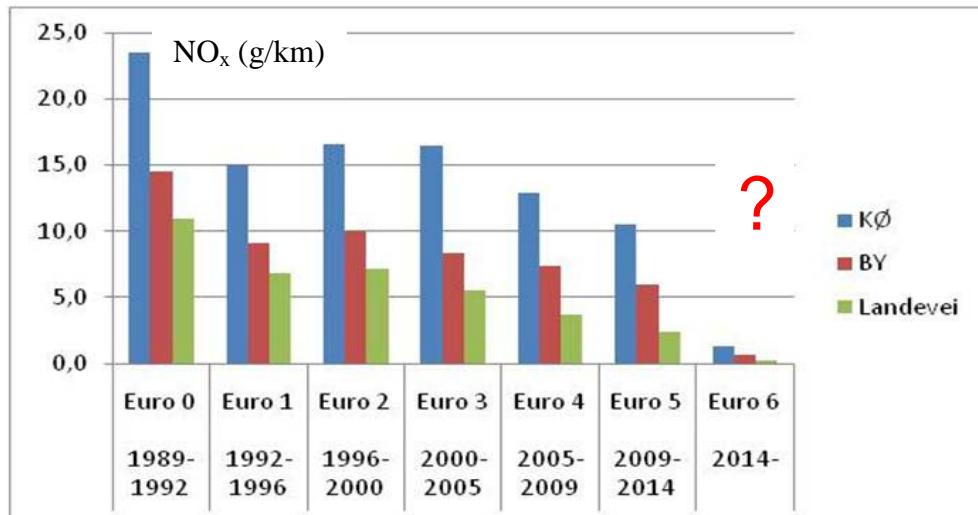
Figur 5.4 viser utslippsfaktorer for NO₂ fra dieselbiler under kjøkjøring, bykjøring og landeveiskjøring. Utslippene av NO₂ fra dieselbiler har forverret seg fra og med 1996. Den sannsynlige årsaken til den negative utviklingen er oksiderende katalysatorer og senere partikkelfiltre. Andelen NO₂ er vanskelig å måle men synes for diesel personbiler å kunne ligge på opp mot 50 % av de samlede utslippene av NO_x.



Figur 5.4: Utvikling i utslipp av NO₂ fra nye personbiler med dieselmotorer under kjøkjøring, bykjøring og landeveiskjøring. Kilde: HBEFA

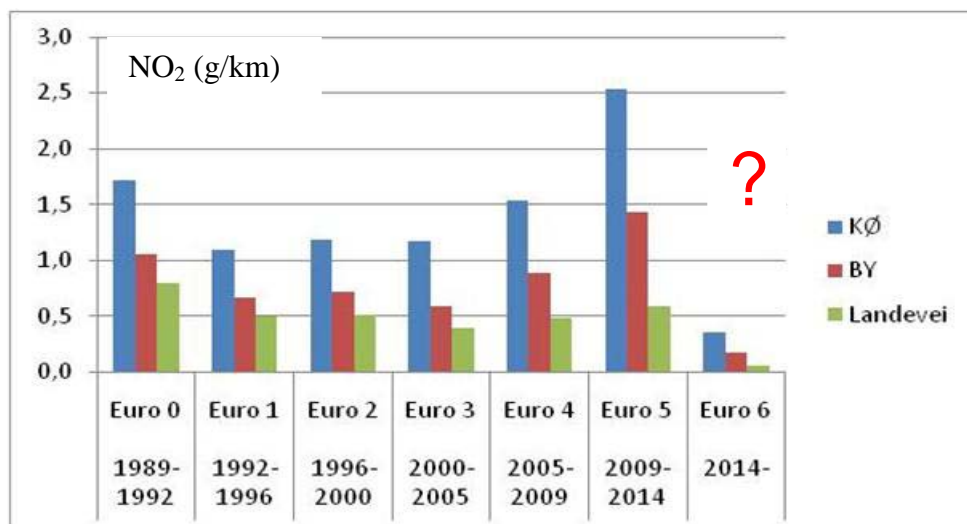
5.4 Utslippsfaktorer for tunge diesekjøretøy

For tunge kjøretøy har utslippene av NO_x utviklet seg på liknende måte som for personbiler med dieselmotorer. I figurene 5.5 og 5.6 viser vi utviklingen i utslipp av nitrogenoksider for bybusser, da denne typen kjøretøy har stor påvirkning på luftkvaliteten i store byer.



Figur 5.5: Utvikling i utslipp av NO_x fra nye bybusser med dieselmotorer under køkjøring, bykjøring og landeveiskjøring. Kilde: HBEFA

Motorer til tunge kjøretøy kan i motsetning Euro 5 diesel personbiler i mange tilfeller klare Euro V kravene for typegodkjenning uten partikkelfiltre. Dette er sannsynlig en årsak til at andelen NO₂ av NO_x-utslippene er lavere for tunge kjøretøy enn for nye personbiler med dieselmotorer og partikkelfiltre.



Figur 5.6: Utvikling i utslipp av NO₂ fra nye bybusser med dieselmotorer under køkjøring, bykjøring og landeveiskjøring. Kilde: HBEFA

I nye bybusser har det i motsetning til lastebiler for langtransport ofte blitt installert partikkelfiltre for å redusere utslippene av PM. Den økte bruken av partikkelfiltre i bybusser er fra og med 2005 den sannsynlige årsaken til at bybusser i motsetning til lastebiler har en sterk økning i utslipp av NO₂ (se Vedlegg 1).

5.5 Euro 5-6 og Euro V-VI teknologi

Produsentene av kjøretøy, EU og myndighetene er klar over at systemet for typegodkjenning av biler ikke har fungert som ønsket når det gjelder å redusere utslippene av NO_x fra kjøretøy med dieselmotorer. Den tyske motororganisasjonen ADAC har ved utslippsmålinger av prøveeksemplarer av Euro 6 dieserbiler, sett at disse kan ha høye utslipp av NO_x i virkelig trafikk. ADAC ser alvorlig på dette og forlanger at nye Euro 6 kjøretøy med dieselmotorer skal ha utslipp av NO_x som under alle kjøreforhold er 70 prosent lavere enn utslippene fra dagens nye dieselkjøretøy.

Hva Euro 5-6 biler med dieselmotorer og tunge kjøretøy med motorer som oppfyller Euro V-VI kravene vil slippe ut av NO_x og NO₂ vil ha avgjørende betydning for fremtidig luftkvalitet i store norske byer. Vi har etter nøye vurderinger og etter å ha innhentet informasjon fra enkelmålinger og vurdert avgassutslippene fra nye kjøretøy valgt å bruke HBEFAs estimater for utslipp fra Euro 5-6 biler med dieselmotorer og tunge kjøretøy med motorer som oppfyller Euro V-VI kravene.

For dypere å forstå og kunne vurdere HBEFAs utslippsfaktorer har vi hatt en samtale med Mario Keller i HBEFA (Keller 2011). Det ble da klart at HBEFA er meget interessert i å få gjennomført omfattende avgassmålinger med kjøretøy som er typegodkjente med Euro 5/V teknologi for å kunne verifisere at HBEFA modellen gir riktige utslippsfaktorer under alle kjøreforhold.

For utslippsklassene Euro 5 og Euro V har HBEFA ikke et tilstrekkelig stort antall måleresultater (fordi disse kjøretøyene og motorene er relativt nye på markedet, og en ikke har hatt tid/ressurser til å få teste dem) for å kunne verifisere de utslippsfaktorer som fremkommer av modellen.

- *HBEFAs utslippsfaktorer for Euro 5 biler og tunge kjøretøy med Euro V motorer baseres til stor del på modellberegninger, vurderinger og estimater, men blir verifisert av uavhengige enkelmålinger.*

Utslippsfaktorene for Euro 6 biler og tunge kjøretøy med Euro VI motorer kan ikke verifiseres før et stort antall kjøretøy er kjørt i avgasslaboratorier. For fremtidige utslipp fra kjøretøy foreligger en betydelig grad av usikkerhet. For Euro 6 biler og tunge kjøretøy med Euro VI motorer er usikkerheten større enn for den eksisterende kjøretøyparken hvor enkelttester har vist at avgassutslippene er i den samme størrelsen som fremkommer av HBEFA.

- *HBEFAs utslippsfaktorer for Euro 6 biler og tunge kjøretøy med Euro VI motorer, er basert på prognoser og teoretiske vurderinger.*

Utslippsfaktorene til HBEFA for Euro 6 biler og tunge kjøretøy med Euro VI motorer blir av TØI vurdert som optimistiske. Vi har valgt å bruke en optimistisk tilnærming, og vurderer at det vil være teknologisk mulig å redusere avgassutslipp i 2014 på en slik måte at de kan fungere etter EUs intensjoner. For enkelte personbilmodeller med dieselmotor, som klarer typegodkjenningsskravene på Euro 6-nivå, er det allerede vist at de også kan, men ofte ikke har, lave utslipp under andre kjøreforhold (Gauss 2011).

En samlet vurdering av informasjon fra nøkkelpersoner og et fåtall enkelmålinger av avgassutslipp fra kjøretøy med Euro 6 og Euro VI teknologi, har ført til at vi

har valgt å bruke HBEFAs estimater for fremtidige utslipp av NO_x og NO₂ fra kjøretøy med dieselmotorer.

Det foreligger få enkeltmålinger av utslipp fra Euro 6 biler med dieselmotorer. Behovet for flere enkeltmålinger av avgassutslipp fra Euro 6 biler og tunge kjøretøy med Euro VI motorer i med typiske bykjøringssykluser er stort. Det vil være til stor nytte, både med tanke på vurderinger av fremtidig luftkvalitet og med tanke på tidlige tilbakemeldinger til produsenter av kjøretøy, å få kjennskap til hva nye kjøretøy med nye dieselmotorene og avgassrensningssystemene har for utslippsfaktor i 2011-2012.

I de følgende avsnittene presenterer vi en stor del av den informasjon som har ført til at vi etter nøye vurderinger har valgt å bruke, de i et historisk perspektiv optimistiske estimatene for NO_x og NO₂-utslipp for fremtidige kjøretøy med dieselmotorer.

5.5.1 Informasjon fra BIL

Bilimportørenes forening (BIL) i Norge og direktør Erik Andresen har under prosjektets gang vært svært behjelpelig med å ta i bruk sine kontakter med bilindustrien og med å avklare spørsmål om utslipp av nitrogenoksider fra kjøretøy.

Etter presentasjonen av prosjektets hovedkonklusjoner (1. november 2011) har BILs søsterorganisasjon i Tyskland (VDA) informert om at de sammen med tyske myndigheter har hatt et omfattende prosjekt om NO₂ problematikken. Resultatene fra det tyske prosjektet er ikke publisert. VDA og deres ekspert på avgassutslipp Dr.-Ing. Jacob Seiler oppgir allikevel, i henhold til Erik Andresen, at de tyske resultatene og erfaringene i stor grad sammenfaller med TØIs hovedkonklusjoner. Informasjonen fra VDA kan sammenfattes:

- Euro 3, 4 og 5 dieslbiler har høye utslipp av NO_x og NO₂ under kjøring i virkelig trafikk.
- VDA opplyser at en endring som kan forklare de reduserte utslippene av NO₂ fra Euro 5 dieslbiler, er nye typer av partikkelfiltre med det katalytiske metallet palladium. Palladium reduserer NO_x-utslippene til NO₂ på en mindre aggressiv måte enn tidligere brukte katalytiske metaller. NO₂ andelen av de samlede NO_x-utslippene er derfor nå ca 30 prosent mot tidligere ca 50 prosent.
- For Euro 6 biler oppgir VDA at andelen NO₂ av de samlede NO_x-utslippene kan komme ned til ca 10 prosent.
- VDA vurderer at en ny global kjøresyklus for typegodkjenning av nye bilmodeller kan komme i 2014/2015.
- VDA oppgir at katalytisk kjemisk reduksjon, SCR og "Ad blue" vil kunne fungere i kulde på grunn av oppvarming, men at det kan være forskjeller mellom tunge kjøretøy og personbiler.

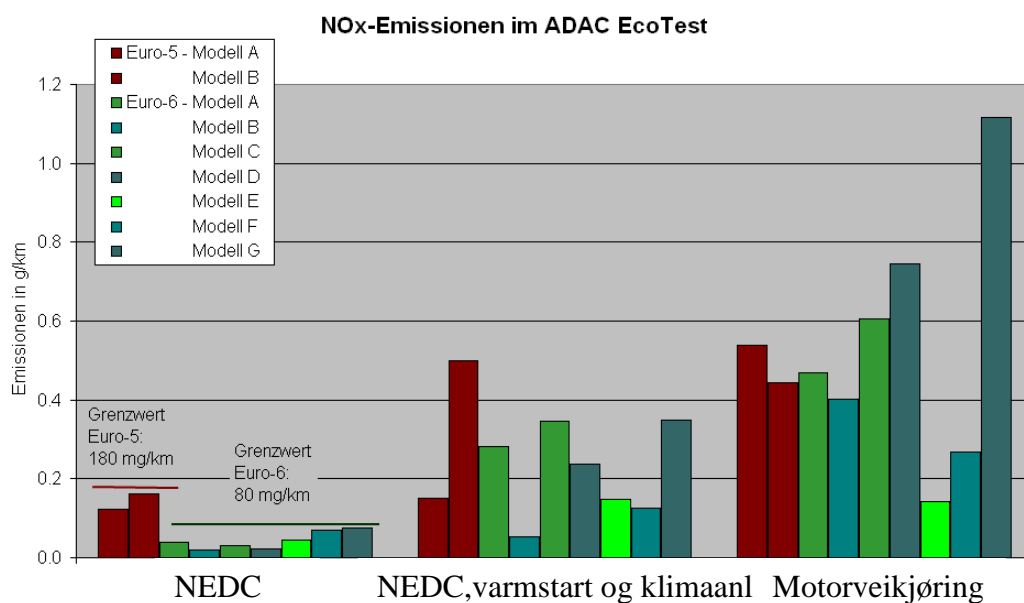
5.5.2 ADACs testing av 7 stk Euro 6 godkjente dieslbiler

Ved hjelp av Norges Automobilforbund (NAF), har vi klart å få kontakt med den tyske motororganisasjonen ADAC. ADAC har egen ekspertise på avgassutslipp og har testet 7 stk Euro 6 godkjente dieslbiler. Avgasstestene er gjennomført med typegodkjenningssyklusen NEDC, NEDC med varmstart og klimaanlegg samt

med ADACs egen testsyklus for kjøring på motorvei (140 km/h). Ingen av ADACs avgasstester kan direkte sammenlignes med våre utslippfaktorer fra HBEFA.

Erfaringer fra ADACs avgasstesting av 7 Euro 6 godkjente dieserbiler (Gauss 2011) tolker og sammenfatter vi slik:

- Alle Euro 6 bilene klarer grenseverdien på utslipp av 0,08 g/km NO_x ved kjøring av NEDC
- Det var kun ved kjøring av den standardiserte NEDC som Euro 6 bilene slapp ut klart mindre NO_x enn to samtidig testede Euro 5-dieserbiler.
- Ved kjøring av NEDC med varmstart av motoren og klimaanelegg på, hadde de 7 Euro 6 bilene relativt høye utslipp av NO_x - varierte fra 0,06 til 0,35 g/km
- Ved kjøring av ADACs motorveisyklus 140 km/h hadde bilene utslipp av NO_x som varierte fra 0,15 til 1,1 g/km
- Bilmodell E hadde lave utslipp av NO_x under alle de tre kjøresituasjonene og vil etter vår vurdering sannsynlig klare de utslippsnivåer som vi med HBEFA har beregnet for Euro 6 dieserbiler
- Bilmodell G klarte Euro6-kravet for typegodkjenning men hadde ellers høye utslipp av NO_x og vil etter vår vurdering sannsynlig ha utslipp som er klart høyere enn de vi med HBEFA har beregnet for Euro 6 dieserbiler



Figur 5.7: Utslipp av NO_x fra 2 Euro 5 godkjente dieserbiler (bune søyler) og 7 Euro 6-godkjente dieserbiler (grønne søyler). Kilde: Gauss 2011.

Med utgangspunkt i foreløpige erfaringer forlanger ADAC at alle nye Euro 6 biler med dieselmotorer skal ha utslipp av NO_x som under alle kjøreforhold er 70 prosent lavere enn utslippene fra dagens nye dieserbiler.

5.5.3 TNOs tester av 3 Euro 6 dieselbiler i Nederland

Det nederlandske forskningsinstituttet TNO har på oppdrag av myndighetene i Nederland avgasstestet 3 dieselbiler med Euro 6 teknologi (Vonk and Verbeek, 2010). Det brukte rensesutstyr for "Euro 6 teknologi" som var hentet fra dieselbiler solgt i USA. USA har foreløpig strengere krav til utslipp fra nye dieselbiler enn Europa. Det rensesutstyr som brukes i USA forventes å bli brukt for at dieselbiler skal klare de kommende Euro 6-kravene i Europa.

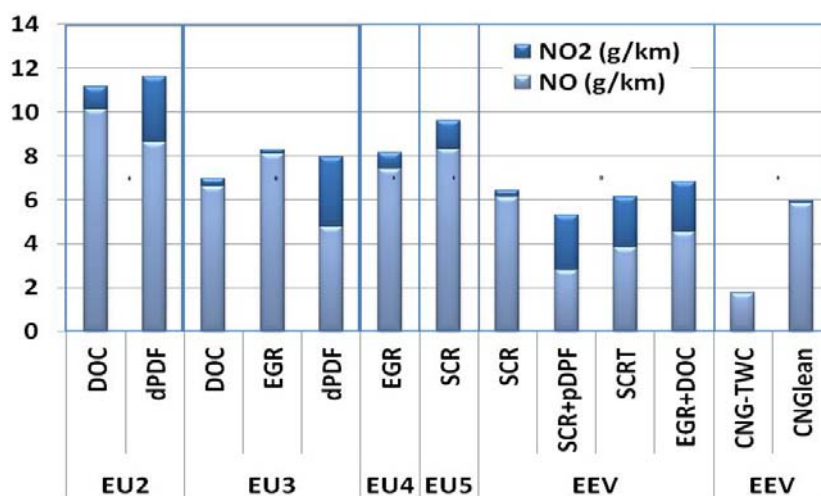
Testene ved TNO viste at:

- De testede dieselbilene med "Euro 6 teknologi" oppfylte kravene til typegodkjenning med NEDC – gjennomsnitt utslipp av NO_x var i gjennomsnitt for de 3 dieselbilne på 0,058 g/km
- De testede dieselbilene hadde med "Euro 6 teknologi" i virkelig trafikk (CADC som bygger på Artemis kjøresykluser) i gjennomsnitt utslipp av NO_x på 0,068 g/km.
- Det er mulig å oppnå lave utslipp av NO_x også ved andre tøffere og mer realistiske kjøresykluser enn den nå gjeldende kjøresyklusen for typegodkjenning.

5.5.4 VTTs testing av tunge kjøretøy

Finske Statens forskningsinstitutt VTT har et av Europas mest avanserte avgasslaboratorier. VTT og professor Nils-Olof Nylund er vår viktigste kilde for uavhengig informasjon av høy kvalitet når det gjelder avgassutslipp fra tunge og lette kjøretøy.

VTT har de senest 10 årene gjennomført en mengde avgasstester og bygget opp en unik kompetanse og erfaring med avgassutslipp fra blant annet bybussar. Bybussar blir av VTT testet med Braunschweig bykjøresyklus som representerer typisk kjøring i Europas store og mellomstore byer. Frem til og med Euro 3 motorer viser VTTs tester en klart nedadgående utvikling av NO_x-utslipp av i virkelig trafikk.

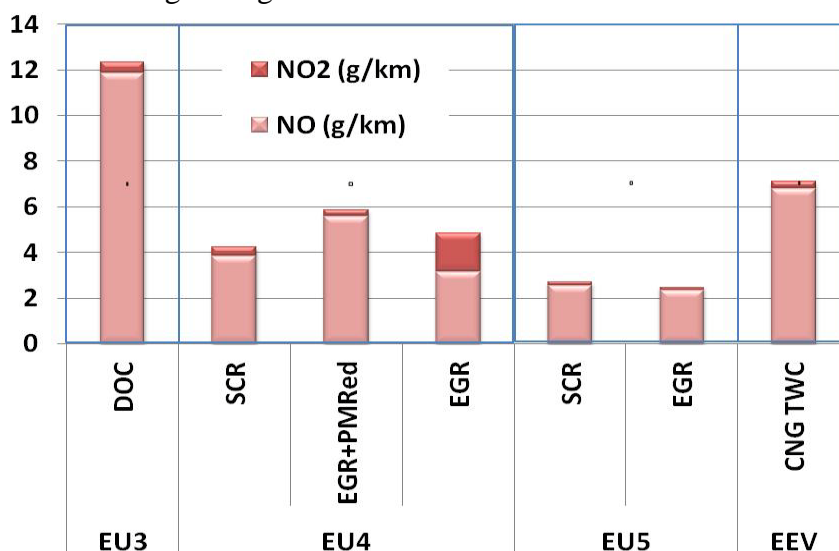


Figur 5.8: Utslipp av NO_x og NO₂ fra bybussar ved kjøring av Braunschweig bykjøresyklus. Kilde: Nylund 2011

For bybusser kan en av figur 5.8 trekke følgende konklusjoner:

- Innfasing av Euro 4 og Euro 5 motorer har ikke gitt reduksjoner i utslipp av NO_x, men en økning i utslipp av NO₂.
- Partikkelfiltre har gitt en økning i andelen NO₂ til 30-40 prosent av de totale utslippene av NO_x.
- Hverken avgassrensing med resirkulasjon av avgasser (EGR) eller katalytisk reduksjon har foreløpig gitt så lave utslipp av NO_x som fra gassbusser med treveiskatalysator (TWC).
- Vi vurderer at de av VTT oppgitte utslippsfaktorene for tunge kjøretøy stemmer godt overens med de utslippsfaktorer vi har beregnet med HBEFAs utslippsmodell.

Nils Olof Nylund viste ved vårt fagseminar i regi av dette prosjektet enkelte utslippsfaktorer for tunge lastebiler. Figur 5.9 viser utslippene av nitrogenoksider, relatert til lastebiler med motorer i forskjellige Euro-klasser mrd forskjellige systemer for rensing av avgassene.



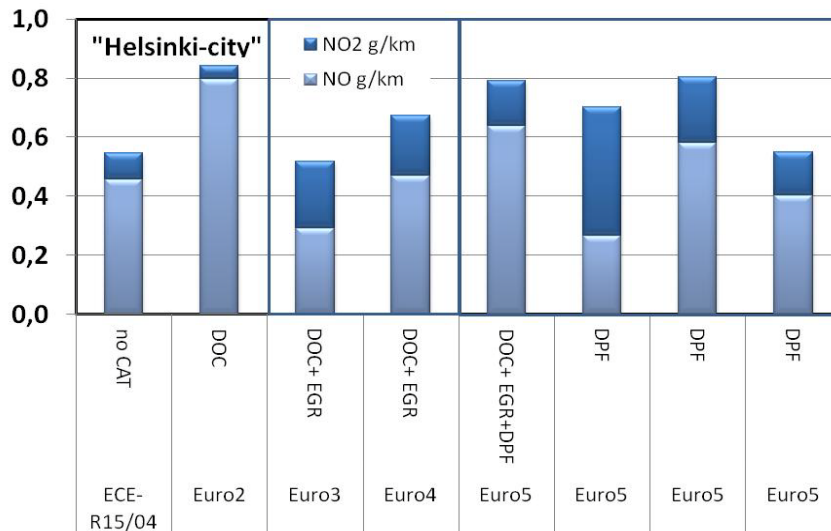
Figur 5.9: Utslipp av NO_x og NO₂ fra store lastebiler. Kilde: Nylund 2011

5.5.5 VTTs testing av personbiler

I kapittel 2 har vi beskrevet Helsinki bykjøresyklus og noen erfaringer vi kunne trekke fra enkelttester av Euro 5 personbiler med denne testen vinteren 2011.

Figur 5.10 viser av VTT oppgitte utslipp av nitrogenoksider fra dieselbiler med motorer som har forskjellige Euro klasser og forskjellige systemer for rensing av avgassene. Utslippsfaktorene i figur 5.10 gir etter vårt syn en bekreftelse på at HBEFAs beregningsmodell gir rimelig korrekte utslippsfaktorer for Euro 5 dieselbiler.

VTT vurderer at teknologi med direkte innsprøyting av bensin i bensinmotorer (FSI teknologi) kan være en utfordring og gi høyere utslipp av NO_x fra bensinbiler enn den nå dominerende teknologien med homogen forbrenning og treveiskatalysator. Enkeltmålinger viser at utslippene av NO_x fra en 2003 års bensinbil med FSI teknologi kan bli opp mot 0,3 g/km men at utslippene av NO₂ kun var 0,03 g/km ved kjøring av Helsinki bykjøresyklus (Nylund 2011).

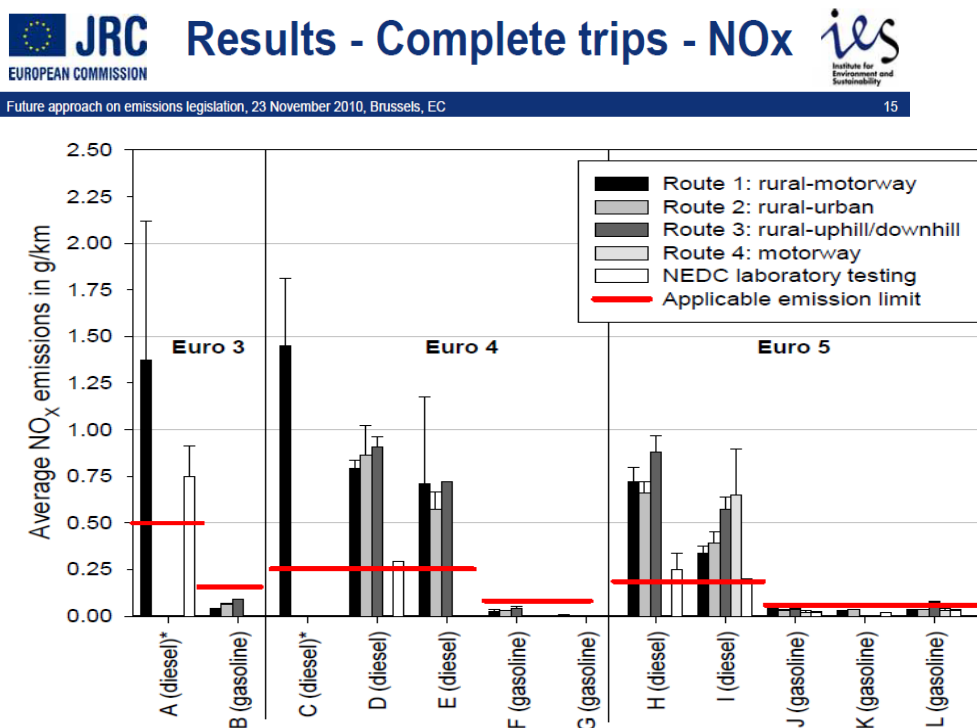


Figur 5.10: Utslipp av NO_x og NO₂ fra diesel personbiler ved testing med Helsinki bykjøresyklus. Kilde: Nylund 2011

5.5.6 Avgassmåling i biler under virkelig kjøring på vei

Måling av avgassutslipp har lenge av praktiske grunner kun vært mulig i avgasslaboratorier. Repeterbarhet av måleresultater ved avgasstesting er krevende, og det er kun i avgasslaboratorier under kontrollerbare betingelser, at det har vært mulig å oppnå akseptabel nøyaktighet.

Med ny måleteknikk har det etter hvert blitt mulig å ta med avgassmåleutstyr i biler og måle avgassutslippene på virkelig vei og under alle mulige kjøreforhold. Det nye måleutstyret for måling av avgasser under kjøring på vei kalles "Portable Emission Measurement Systems" (PEMS). EUs forskningscenter JRC har fått gjennomført avgassmålinger med PEMS (Weiss et al, 2011).



Figur 5.11: Utslipp av NO_x fra to Euro 3-5 godkjente dieserbiler. Kilde: Weiss 2011



Måleresultatene fra avgassmålingene med måleutstyr montert i bil, PEMS og kjøring på virkelig vei stemmer godt overens med resultater fra avgassmålinger gjennomført på rullende landevei i avgasslaboratorier.

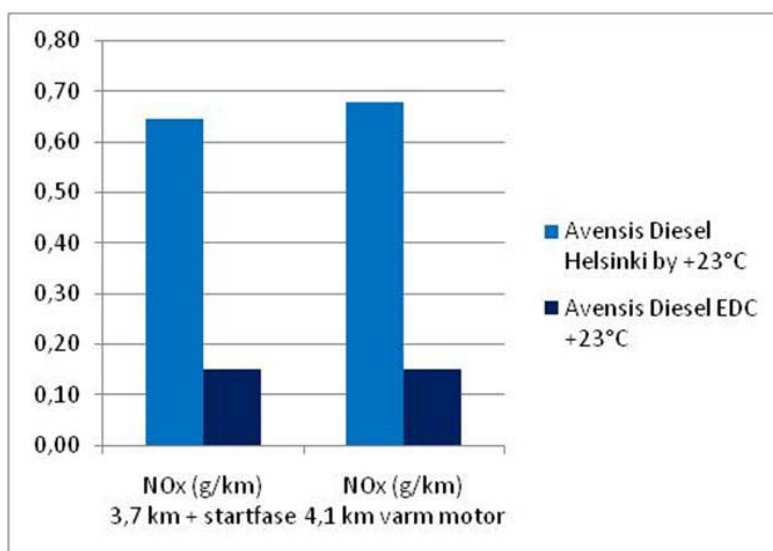
Figur 5.12: Avgassmålinger med måleutstyr i bil. Kilde: Weiss 2011

De av EUs JRC gjennomførte avgassmålingene med måleutstyr montert i bil:

- Bekrefter at utslippene av NO_x fra Euro 3-5 dieselbiler er høye i virkelig trafikk, og at de testede 3-5 dieselbilene under alle kjøreforhold hadde betydelig høyere utslipp enn hva som er oppgitt fra typegodkjenningen av disse bilene.
- Viser at utslippene av NO_x kan variere fra 0,3 til 1,4 g/km ved kjøring i virkelig trafikk og under forskjellige kjøreforhold.

5.6 Dieselkjøretøy og kulde

Helsinki bykjøresyklus er en kjøresyklus som gir et realistisk bilde av utslipp i virkelig bytrafikk. I tillegg bidrar kaldstart, kjøring og avgasstesting i nordisk kulde til å komplettere forståelsen av hva som kan skje i norske storbyer når det er sterk kulde og inversjon. Avgassutslippene ved kjøring av en typisk bykjøresyklus, kan sammenlignes med utslippene fra den offisielle EDC



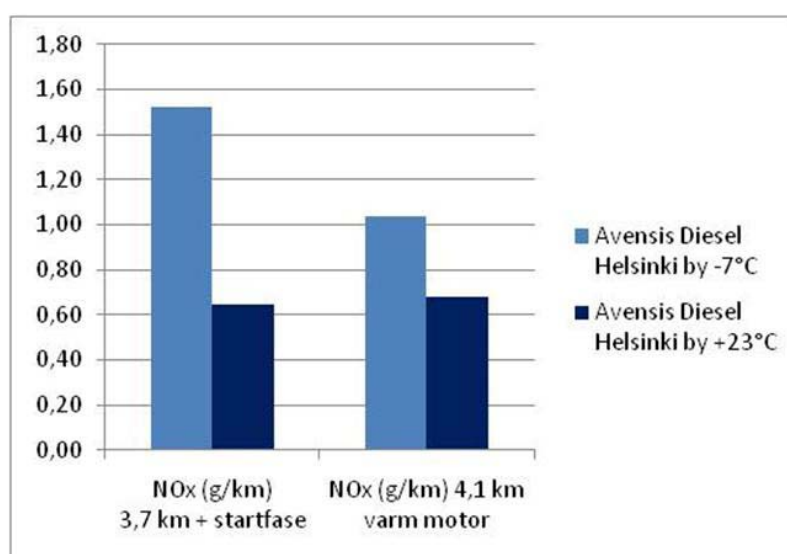
kjøresyklusen som benyttes for typegodkjenning av nye bilmodeller. Utslippene viser seg (se figur 5.13) å bli høyere, og å gi et mer realistisk bilde av hvor store utslippene er i virkelig trafikk.

Figur 5.13: Utslipp av NO_x fra en Toyota Avensis med dieselmotor ved kjøring av Helsinki bykjøresyklus sammenlignet med gjennomsnittet av EDC kjøresyklus og de offisielle utslippstallene

Ved avgasstestene hos VTT vinteren 2011 var det i tillegg til muligheten for å skille ut effekten av kjøresyklusen, som ga en økning av NO_x-utslippene med ca 400 prosent, mulig å skille ut effekten av å starte i sterk kulde.

De økte NO_x-utslippene av å starte og kjøre Helsinki bykjøresyklus med en ny dieselbil Helsinki bykjøresyklus i -7 °C sammenlignet med +23 °C fremgår av figur 5.14 og erfaringene var:

- At start og kjøring i -7 °C de første 4 km ga et ekstra utslipp av NO_x på ca 0,9 g/km sammenlignet med å starte ved +23 °C.
- Ved fortsatt kjøring av bysyklusen i sterk kulde synker utslippene av NO_x fra 1,5 g/km til 1,0 g/km.
- Ved testene hos VTT var effekten av å starte med kald bil i -7 °C sammenlignet med å starte ved +23 °C at utslippene av NO_x økte med til sammen ca 5 gram.

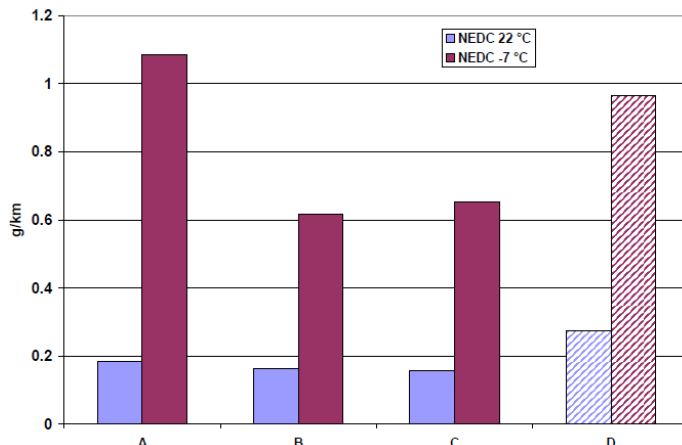


Figur 5.14: Utslipp av NO_x fra en Toyota Avensis med dieselmotor ved kjøring av Helsinki bysyklus og start i -7 °C sammenlignet med start ved +23 °C

Det er vanskelig å finne informasjon om avgassutslipp ved sterk kulde. EU JRC viser at typegodkjenningstesten (N)EDC gir betydelig høyere NO_x-utslipp om testen kjøres ved -7 °C enn om testen kjøres ved +22 °C (Martini 2010).

Det kan av figur 5.15 se ut som kaldstart ved -7 °C i seg selv øker utslippene av NO_x fra under 0,2 g/km til over 0,6 g/km ved kjøring av (N)EDC. Av dette trekker vi konklusjonen at det ekstra kaldstarttillegget ved start og kjøring av (N)EDC i -7 °C sammenlignet med å starte ved +23 °C er ca 5 g NO_x.

Med bakgrunn i våre erfaringer med start i kulde har vi spesifisert et ekstra starttillegg for NO_x-utslipp ved start i nordisk kulde som kan brukes ved samlede beregninger av utslipp og vurdering av luftkvalitet (Vedlegg 2).



Figur 5.15: Utslipp av NO_x fra 4 personbiler (Euro 4/5) med dieselmotor ved kjøring av NEDC kjøresyklus ved -7 °C og ved +22 °C. Kilde: Martin 2010

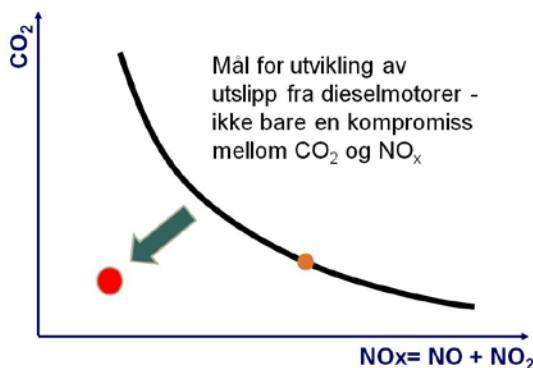
5.7 Kompletterende Euro 5-6 og Euro V-VI målinger

Kompetanse om motorteknologi, avgassutslipp og spredning av avgasser er nødvendig for å ta i bruk nye systemer for skatter og avgifter på kjøretøy og drivstoffer, og for å innføre hensiktsmessige tiltak for å redusere klimapåvirkningen og forbedre luftkvaliteten lokalt. Norge har siden 2002 ikke egne muligheter for å måle avgassutslipp fra kjøretøy under kjøring.

Den finske statens forskningsinstitutt, VTT har et meget kompetent og avansert miljø for avgasstesting av kjøretøy. Det var blant annet enkelte avgasstester hos VTT og mangeårige luftmålinger av NILU som på et tidlig stadium medførte at en oppdaget den potensielt faretruende utviklingen av NO₂-utslipp.

Målet med ny teknologi for kjøretøy med dieselmotorer er å oppnå lave utslipp av både CO₂ og NO₂ (se figur 5.16). Det er imidlertid nødvendig at vi evaluerer hva den nye teknologien faktisk leverer, og kontrollerer at de lovede forbedringene ikke bare finnes på papiret, men at utslippsreduksjonene faktisk gjenspeiles under kjøring i virkelig trafikk, og at effekten opprettholdes, selv etter at kjøretøyene har vært noen år i bruk. Gitt at Norge ikke skal etablere egne laboratorier for avgassmåling bør en for å dekke kunnskapsbehovet etablere en rammeavtale for eksternt samarbeid, og et nordisk samarbeid kan være hensiktsmessig.

I dette prosjektet har Vegdirektoratet bevilget ekstra midler for avgasstesting i



kulde av to diesel personbiler med Euro 6 rensesystemer. Det er i tillegg bevilget midler for avgasstesting av et tungt kjøretøy med Euro 6 motor. Testene er bestilt utført hos VTT i Helsinki. Dessverre har produksjonen og levering av de tre kjøretøyene blitt forsinket. Vi har derfor ikke fått testet dem i tid før fristene for levering av denne rapporten.

Figur 5.16: Motsetningsforholdet og kompromisset mellom CO₂ og NO_x må erstattes av lave utslipp av begge disse avgasskomponentene

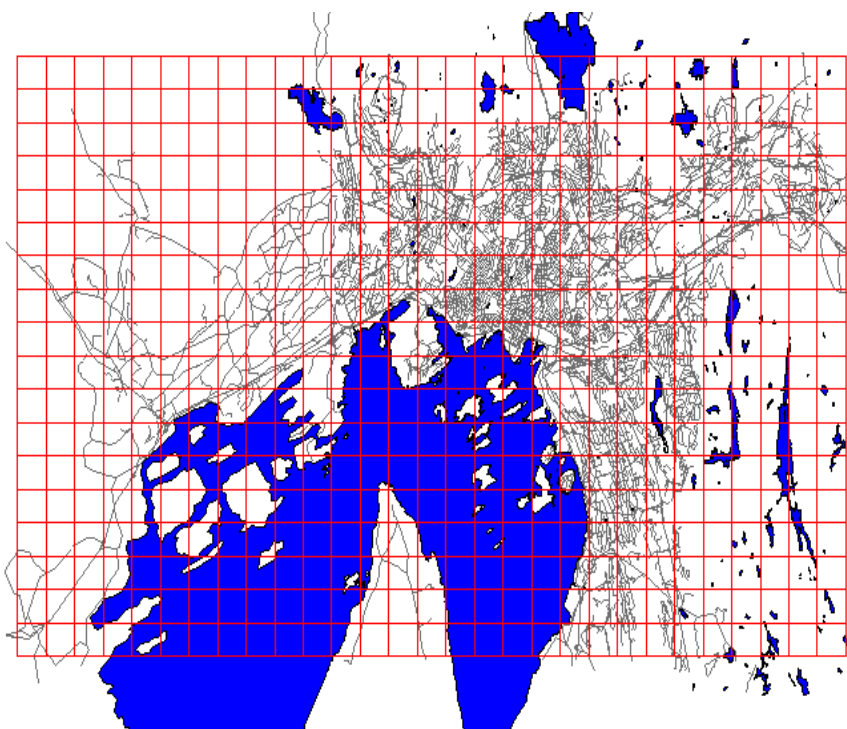
6 Beregninger - NO₂, NO_x, PM og CO₂

6.1 Inngangsdata og forutsetninger

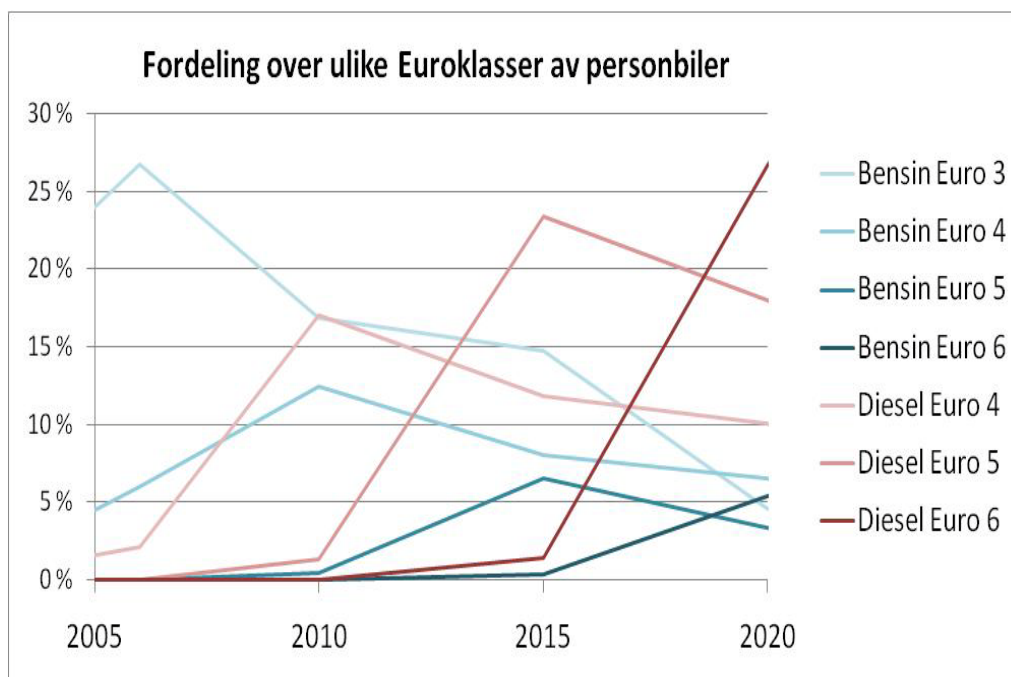
I dette prosjektet er det utført en flere utslippsberegninger, men det har ikke vært rom for å gjennomføre fullstendige spredningsberegninger. Utslippsberegningene er gjort for et modellområde som dekker det meste av bebodde og trafikkerte områder i Oslo og Bærum, se Figur 6.1. For gjennomføring av utslippsberegningene er det benyttet følgende inngangsdata:

- Veinett med alle relevante trafikkdata for Europaveier, Riksveier og Fylkesveier er levert fra Statens vegvesen, seksjon for Transportanalyse og miljø. Disse dataene kommer fra modellberegninger med Emme-Fredrik.
- Veinett med alle relevante trafikkdata for Kommunale veier er levert fra Nasjonal veidatabank (NVDB), Statens vegvesen.
- Fordeling av kjøretøy på ulike Euroklasser og fordeling mellom diesel- og bensindrevne biler er hentet fra Bil og Vei - Statistikk, Opplysningsrådet for Veitrafikken.
- Utslippsfaktorer for ulike kjøretøy er utarbeidet og framskaffet av TØI i dette prosjektet.
- I utslippsberegninger bakover i tid er endring av trafikkvolum hentet fra Bil og Vei - Statistikk, Opplysningsrådet for Veitrafikken.
- I utslippsberegninger framover i tid er det lagt til grunn en trafikkvekst på 1,2 %, dette er i samsvar med gjennomsnittsveksten i perioden 2002 – 2010
- Videre er det i perioden fram i tid antatt at bilparken har samme aldersfordeling som i 2010.
- Det er gjort beregninger for et referansealternativ som tar utgangspunkt i dagens utvikling hvor 70 % av nye personbiler som selges er dieslbiler.
- I beregningene ble det antatt at bilparken består av følgende kjøretøytyper:
 - Personbiler, bensin
 - Personbiler, diesel
 - Varebiler, diesel
 - Tungtransport, diesel
 - Busser, diesel

I prosjektgjennomføringa ble det innledningsvis utført utslippsberegninger både for hele modellområdet og for enkelte veilenker med høy trafikkbelastning, E18, E6 og Ring 3. Disse beregningene viste imidlertid tilsvarende resultater og trender, derfor ble det bare arbeidet videre med utslipp over hele gitteret, og det er vist i denne rapporten.



Figur 6.1: Modellområdet i Oslo og Bærum som ble benyttet i prosjektet er vist som rødt gitter. Veiløyper i modellområdet er vist som grå linjer.



Figur 6.2: Grafene viser antatt fordeling mellom ulike Euroklasser bensin/diesel i Stor-Oslo i løpet av 15 år. Fram til 2010 foreligger registrert statistikk og etter 2010 er det antatt utvikling under dagens gitte betingelser. Figuren viser bare en utvalg av de aktuelle Euroklassene.

6.2 Usikkerhet i beregningene

En simulering vil nødvendigvis inneholde metodiske forenklinger. I tillegg bygger utslippsberegningene på inngangsdata fra kilder som også inneholder usikkerhet. Usikkerhet i resultatene vil derfor være summen av de usikkerheter og forenklinger i flere ledd. Her følger en diskusjon av de mest relevante usikkerhetene:

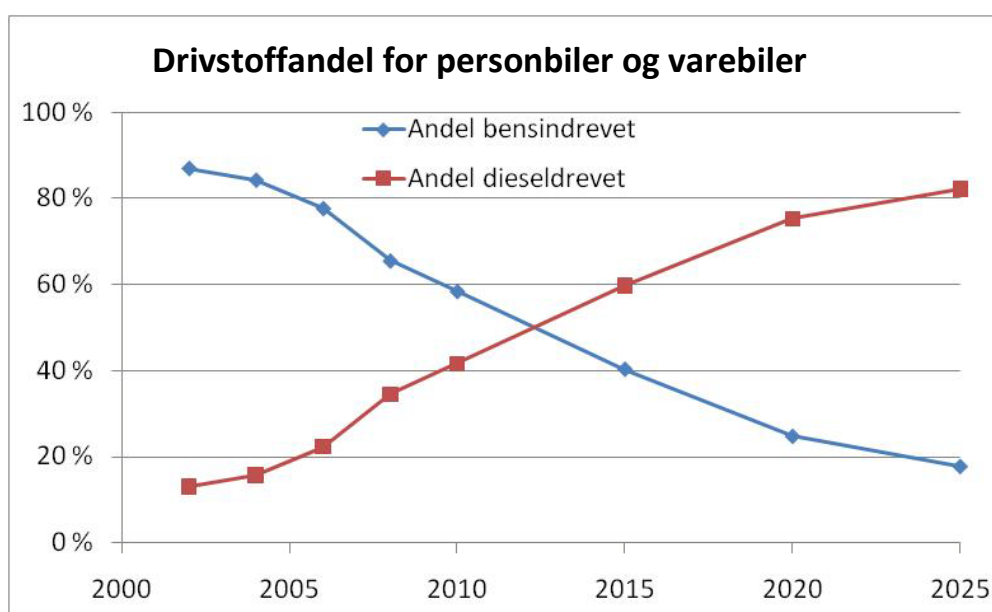
- Per dags dato er utslippsfaktorer for Euroklassene fram til Euro 4/IV godt testet og verifisert. Euro 5/V er derimot en ny kjøretøyklasse og utslippsfaktor fra denne er bare testet for noen få kjøretøy. Euro 6/VI blir introdusert i 2014 og det er enda færre tester for denne. Utslippsfaktorer for Euro 5/V er derfor litt usikre, mens faktorene for Euro 6/VI er enda mer usikre. I beregningene er HBEFAs faktorer for Euro 6/VI lagt til grunn, noe som er et optimistisk anslag. Beregnet trendutvikling etter introduksjon av Euro 6/VI blir først og fremst styrt av disse utslippsfaktorene, og dette er den desidert viktigste usikkerheten i beregningene (etter 2015).
- Det er antatt en årlig trafikkvekst på 1,2 %. Dette er et estimat som kun bygger på historisk utvikling, men som ikke trenger å bli tilfelle i fremtiden. Trafikkutvikling kan reguleres av flere forhold/tiltak som bompenger, bensin- og dieselpriiser, kollektivtilbud, eller veiutbygging. Dette gir en usikkerhet i framtidig trendutvikling for utslippene.
- Trafikkdata er hentet fra trafikkmodellen Emme-Fredrik og NVDB. Begge disse kildene inneholder usikkerheter. Blant annet er det usikkerhet knyttet til forholdet mellom trafikkvolumet av lette- og tunge kjøretøy. Dette påvirker ikke framtidstrenden, men det gir usikkerhet i forhold til hvor mye utslipp som skal tilskrives personbiler, varebiler og tungtransport.
- I fremtiden har vi antatt at aldersfordeling av bilparken er som i dag. Aldersfordeling (eller. nybilsalg) er imidlertid sterkt påvirket av politiske virkemidler som avgiftspolitik og vrakpant, samt ytre faktorer som husholdningsøkonomi og rentenivå. Dette er forhold som vi ikke har forutsetning til å inkludere i våre beregningene.
- Det er ikke lagt inn noen andel el-biler i disse beregningene. Det er en uttalt målsetning om at andelen el-biler skal øke i Norge. Dette vil gi et redusert utslipp i forhold til de forutsetningene som ligger i disse beregningene.
- I disse beregningene er det antatt at alle busser går på diesel. Allerede i dag går noen busser på mer miljøvennlig drivstoff. Resultatene gir dermed noe større bidrag fra busser relativt til andre kjøretøy enn hva som er tilfelle. Dette vil ikke gi stor utslag på trendutviklinga.
- I disse beregningene er det antatt at trafikkarbeid er fordelt i henhold til bilparken. Dette er en forenkling ettersom nyere kjøretøy har lengre kjørelengde enn eldre kjøretøy, og at dieslbiler generelt har noe lengre kjørelengde enn bensinbiler.

Dette er noen av de viktigste usikkerhetene i beregningene. Disse faktorene gir usikkerhet som kan slå ut i begge retninger og usikkerheten er størst for beregninger som ligger lengst inn i fremtiden. Likevel kan vi konkludere med at disse beregningene gir et godt bilde på hvordan luftkvaliteten vil utvikle seg i et referansealternativ hvor det ikke settes inn nye tiltak enn det som allerede er i dag.

6.3 Utslipp av NO₂ og NO_x

I flere byer i Norge blir ikke forurensningsloven overholdt med hensyn til konsentrasjoner av NO₂ i luft, og trafikk er største kilde til utslipp av NO₂. I Oslo antas det at 90 % av NO₂ utslippet kommer fra eksos fra kjøretøy (SFT 2008). Tidligere ble det antatt at nyere Euroklasser med strengere utslippskrav ville gi lavere utslipp og dermed også lavere konsentrasjoner av NO₂ i luft. Målinger viser derimot at dette ikke har vært tilfelle og ny viten omkring utslipp forklarer grunnen til dette, se kapittel 5. I denne studien er det blitt utført utslippsberegninger av NO_x og NO₂ både bakover- og framover i tid. Samt utslippsberegninger for lette- og tunge kjøretøy hver for seg.

Figur 6.3 viser historisk utvikling og forutsatt utvikling i forholdet mellom bensin- og dieseldrevne kjøretøy. Merk at i denne figuren er det summert både personbiler og varebiler (lette lastebiler).



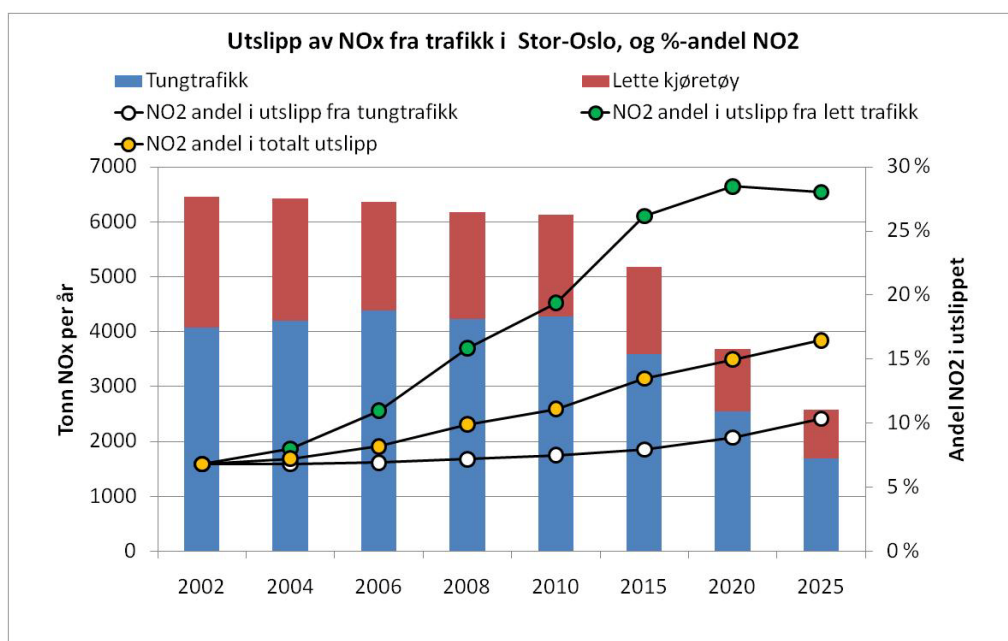
Figur 6.3: Historisk- og forutsatt drivstoffandeler i utslippsberegningene. Merk at andelen viser sum av både personbiler og varebiler.

Figur 6.4 viser beregnet utslipp av NO_x og hvor stor andel av NO_x-utslippet som er NO₂. Figuren skiller på lette- og tunge kjøretøy. Figuren viser at utslipp av NO_x har vært rimelig stabilt fram til 2010, og at det kan forventes en nedgang framover i tid. På den andre siden ser vi også at NO₂-andelen øker kraftig, og spesielt for lette kjøretøy som vil øke til nærmere 30 % i 2020.

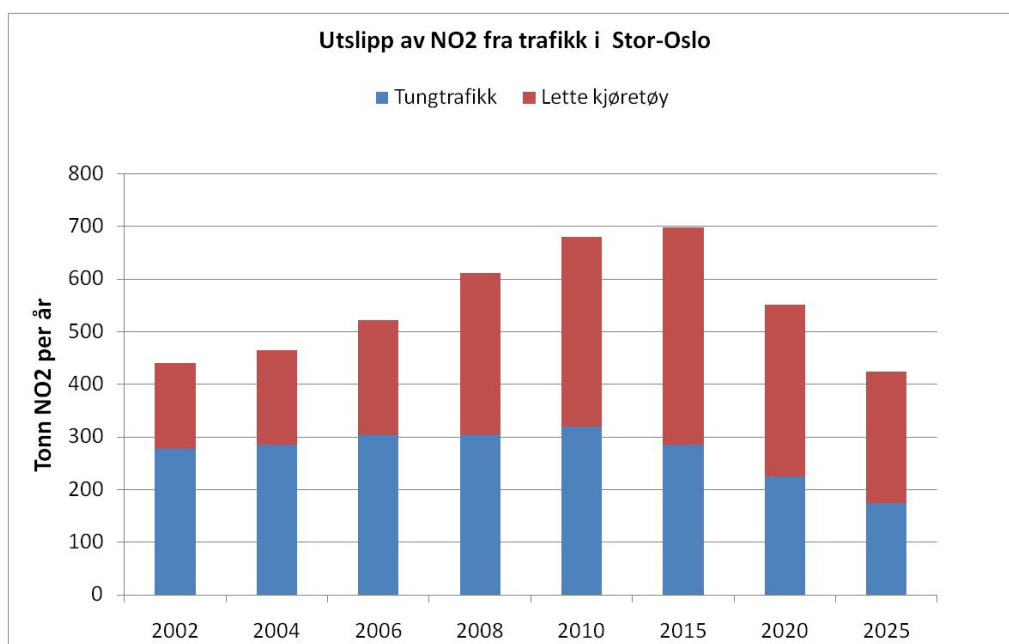
Figur 6.5 viser at vi kan forvente de største utslippene av NO₂ rett før Euro 6/VI fases inn i bilparken. I disse beregningene er det antatt at nybilsalget fortsatt domineres av dieslbiler slik at det i 2015 er 50 % av både bensin- og dieslbiler. Figur 6.5 viser at fra 2010 og fram til 2015 så øker NO₂-utslippet med ca 5 % til tross for at bilparken fornyes i perioden. Dette skyldes utelukkende at dieslbiler slipper ut mer NO₂ enn bensinbiler. Dersom det antas at andelen av bensinbiler i bilparken holdes konstant på 70 %, så ville utslipp av NO₂ i stedet blitt redusert med ca 12 % fra 2010 til 2015.

Figur 6.6 viser forhold mellom trafikkarbeid og NO₂-utslipp for ulike kjøretøystyper i 2010. Figuren viser at selv om bensinbilene utgjør hele 51 % av trafikkarbeidet i Stor-Oslo, så bidrar de bare med 7 % av NO₂-utslippet fra

bilparken. Figuren viser også at dieslbiler og varebiler bidrar mye mer til utslipp av NO₂, i sum slipper ca 46 %, til tross for at de i sum bare utgjør ca 31 % av trafikkarbeidet. Merk at varebiler er en sammensatt kjøretøysgruppe. Noen av disse er mindre kjøretøy som for all praktisk vurdering brukes som personbiler, mens andre kjøretøy av denne typen er ”små lastebiler” som grenser opp til tunge kjøretøy. Merk også at i dette diagrammet er det antatt at alle busser går på diesel og har utslipp som beskrevet i vedlegg 1.

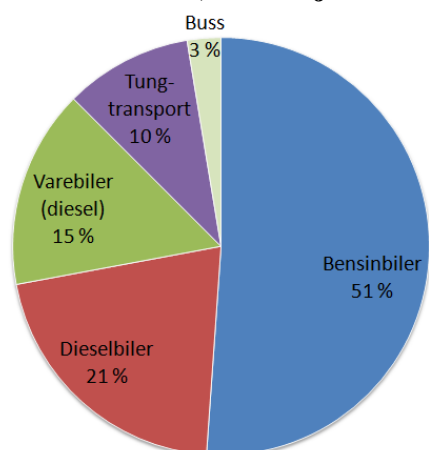


Figur 6.4: Historisk- og beregnet framtidigutslipp av NO_x i Stor-Oslo. Stolpene viser absolutt utslipp av NO_x, mens kurvene viser prosentandel av utslippet som er NO₂ (høyre vertikalakse).

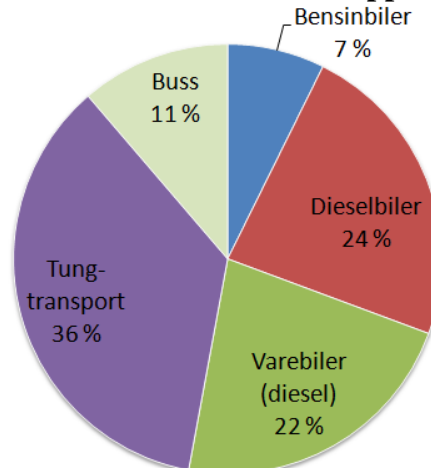


Figur 6.5: Historisk- og beregnet framtidigutslipp av NO₂ i Stor-Oslo. Stolpene viser absolutt utslipp av NO₂.

Trafikkarbeid, andel kjørte km



Andel av totalt NO₂-utslipp



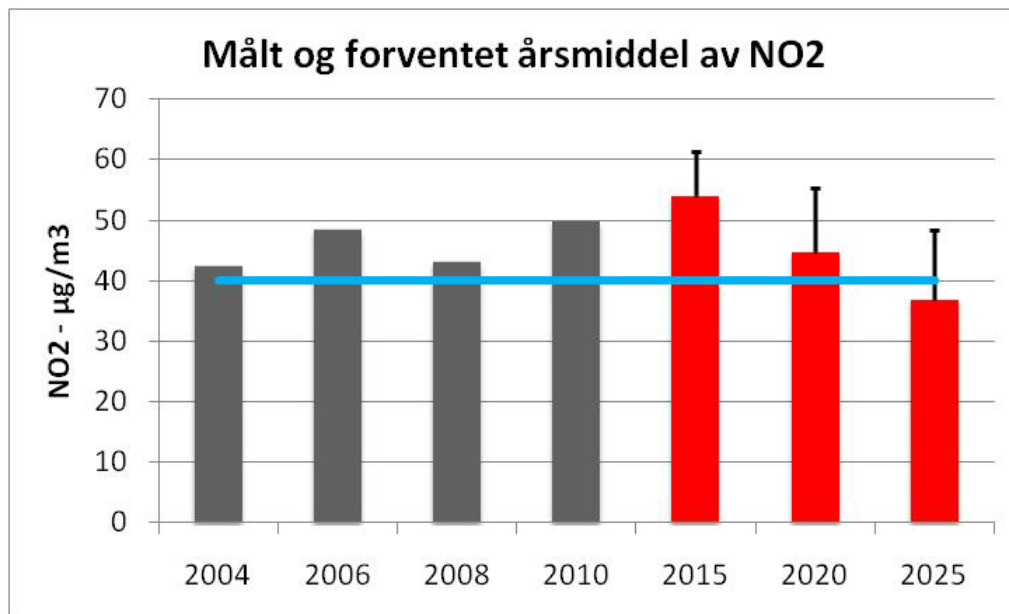
Figur 6.6: Diagrammet til venstre viser andel trafikkarbeid (andel av alle kjørte kilometer) for ulike kjøretøysklasser i Stor-Oslo i 2010. Diagrammet til høyre viser hvor stor andel av det totale NO₂-utslippet som hver kjøretøysklasse slipper ut.

6.4 Utsliffsforhold og beskrivelse av NO₂-konsentrasjoner

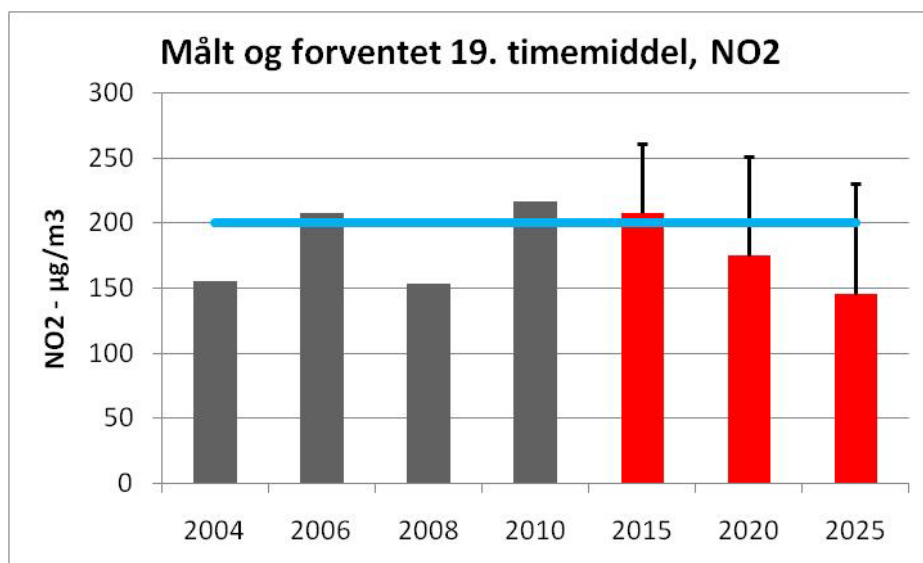
Ved å sammenstille måledata med samtidige utslippsberegninger kan vi beregne et forholdsforhold mellom utslipp og konsentrasjon, både for årsmiddel og for maksimale timemiddel. Denne utslippsfaktoren vil naturligvis ha en viss variasjon mellom årene. For fremtiden har vi også utslippsberegninger; og ved å bruke den beskrevne forholdsforholdet kan vi regne oss tilbake for å gi et overslag på framtidig forventede konsentrasjoner. En slik framskriving kan bare gjøres for å beskrive konsentrasjonsnivået generelt uten at vi kan beskrive hvilke områder lokalt i byene som rammes.

I dette tilfelle er øvelsen bare gjort for Stor-Oslo som generelt har hatt høyest konsentrasjonsnivå de siste årene, Figur 1.1. Trenden for framtidige konsentrasjoner vil imidlertid være den samme i andre byer ettersom forholdsfaktor mellom utslipp og konsentrasjon tilsvarer det som gjelder i Oslo, samt at forutsetningene for endring av framtidig utslipp er lik i alle byer. Men selv om trenden er den samme så vil det absolutte konsentrasjonsnivået variere mellom byene.

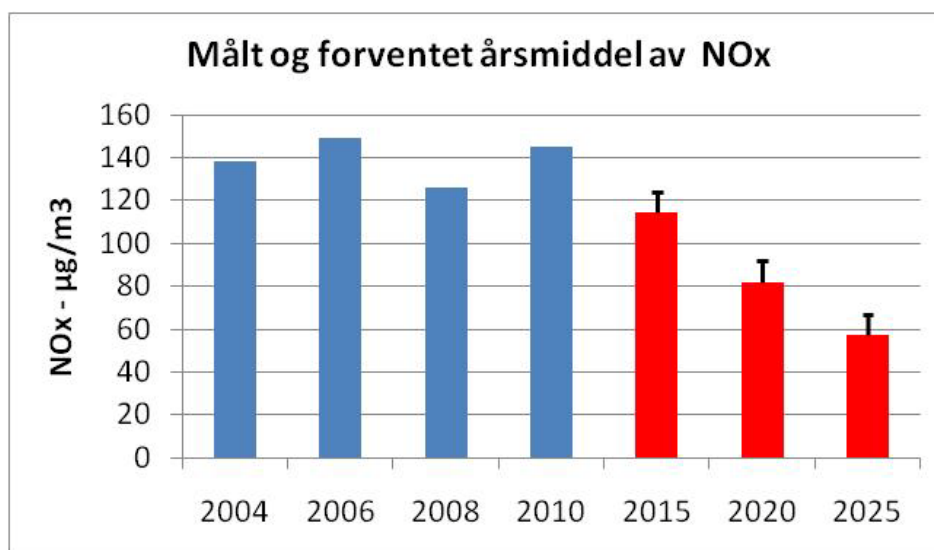
Figur 6.7 viser målt årsmiddelkonsentrasjon av NO₂ (grå stolper, 2004 - 2010) og forventet utvikling (røde stolper, 2015 - 2025) i Stor-Oslo. Figur 6.8 viser tilsvarende diagram for 19. høyeste timemiddel. Disse figurene viser at konsentrasjonsnivået av NO₂ vil øke fram til ca 2015. Deretter vil konsentrasjonsnivået avta svakt, men dette forutsetter at utslippsfaktorene for Euro 6/VI er så lave som antatt. Figurene viser også at konsentrasjonsnivået vil overskride grenseverdien av NO₂ i mange år fram i tid. Overskridelsene vil være størst og sikrest for årsmiddel. Også for timemiddel vil det forekomme overskridelser av grenseverdien i lang tid. Timemiddelkonsentrasjoner er mye mer sensitive for naturlig variasjon i meteorologiforholdene og derfor vil det forekomme noen år med mange overskridelser og noen år med lite overskridelser. På kort sikt, fram mot 2015, er det likevel sikkert at kan forventes et økende problem med høye timemiddelkonsentrasjoner av NO₂. Det kan ta lang tid å reversere denne trenden, selv etter at Euro 6/VI blir introdusert. Når man vurderer usikkerhet og naturlig variasjon, er det rimelig sannsynlighet for at overskridelser av både timemiddel og årsmiddel vedvarer frem mot 2025. Figur 6.9 og Figur 6.10 viser tilsvarende stolpediagram for NO_x-konsentrasjoner. Disse figurene viser at det forventes en raskere nedgang for NO_x-nivået.



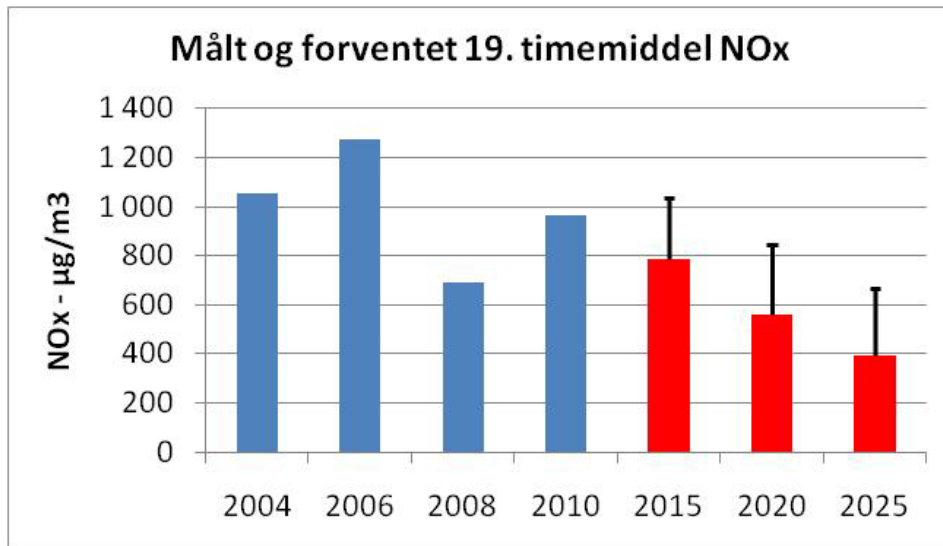
Figur 6.7: Årsmiddel av NO₂. Målte historiske konsentrasjoner er vist med grå søyer, og forventet utvikling er vist med røde søyler. Forurensingslovens grenseverdi er vist med blå linje.



Figur 6.8: Maksimal timemiddel (19. time) av NO₂. Målte historiske konsentrasjoner er vist med grå søyer, og forventet utvikling er vist med røde søyer. Forurensningslovens grenseverdi er vist med blå linje.



Figur 6.9: Årsmiddel av NO_x. Målte historiske konsentrasjoner er vist med blå søyer, og forventet utvikling er vist med røde søyer.



Figur 6.10: Maksimal timemiddel (19. time) av NO_x. Målte historiske konsentrasjoner er vist med blå søyer, og forventet utvikling er vist med røde søyer.

Tidligere har NILU utført spredningsberegninger for Norges astma og allergiforbund (NAAF) (Sundvor et al., 2011). Beregningene som er gjort for NAAF er en fullstendig spredningsberegning som i tillegg til utslipp også viser hvordan konsentrasjonsnivået er fordelt geografisk. Disse to studiene skiller seg mest ved at i beregningene for NAAF er det antatt at avviket man ser for Euro 0 til Euro 5 mellom typegodkjenningsskrav og utslipp i reelle kjøreforhold også vil gjelde Euro 6. Dette gir høyere utslippsfaktorer for Euro 6 enn i våre beregninger. Når det er benyttet ulike forutsetninger i disse to beregningene så skyldes det at det er usikkerhet i hva som blir realiteten i framtida, og det foreligger ikke verifiserte utslippsfaktorer per i dag.

Ettersom disse to studiene har ulike forutsetninger for framtidige utslipp, vil ikke resultatene være identiske. Spredningsberegningene for NAAF viser at konsentrasjonsnivå av NO₂ i 2025 er på samme nivå som i perioden 2008 – 2010. Dette er noe høyere enn det som vises i Figur 6.7 og Figur 6.8. Intervallet som ligger mellom resultatene i disse studiene illustrerer de usikkerheter som foreligger i slike beregninger når vi ikke har dokumenterte utslippsfaktorer for Euro 6.

Likevel er studiene sammenfallende ved at de begge viser at problemet med NO₂ er stort og vil vedvare i lang tid. Dette gjelder uavhengig av hvilke forutsetning som er valgt for framtidige utslipp fra Euro 6.

6.5 Utslipp av eksospartikler, EP

Svevestøv er en betegnelse på støv som er tilstrekkelig lite at det svever i lufta som en gass. Svevestøv kommer fra flere kilder, består av forskjellige materialer og har varierende størrelse og effekter. Her følger en kort oversikt:

- **EP (eksospartikler):** Partikler som slippes ut fra kjøretøy kalles gjerne eksospartikler (EP). Disse er vanligvis mindre enn 0,1 µm i diameter. Det måles ikke EP isolert i norske byer.
- **PM_{2,5}:** Alle partikler som har en diameter som er mindre enn 2,5 µm. EP er altså også PM_{2,5}. Viktigste kilde for PM_{2,5} er vedfyring, eksospartikler

og langtransportert tilførsel. PM_{2,5} blir målt på en rekke målestasjoner i norske byer.

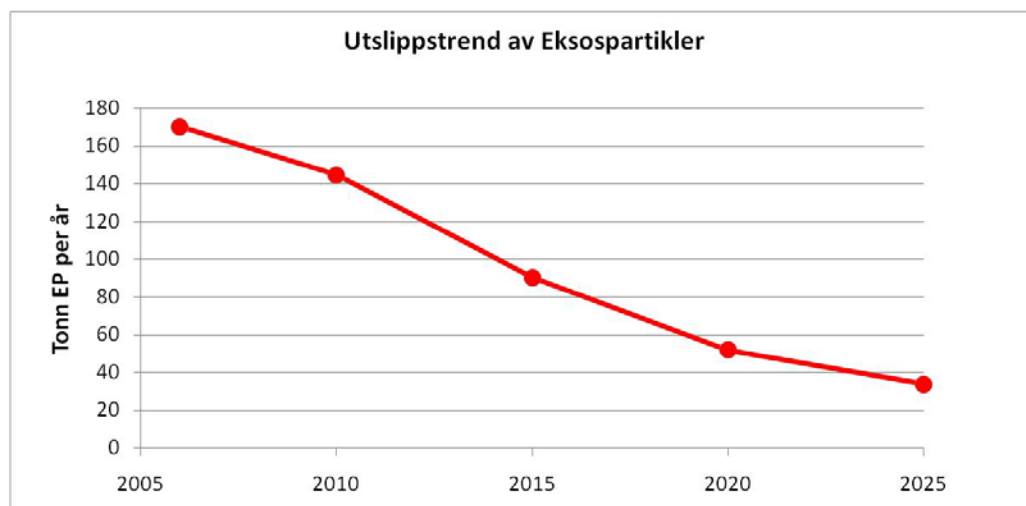
- **PM₁₀**, alle partikler med diameter mindre enn 10 µm. Alle partikler av typen EP og PM_{2,5} er derfor også PM₁₀. I tillegg til nevnte kilder er utslipp fra veislitasje en viktig kilde for PM₁₀. PM₁₀ blir målt på en rekke målestasjoner i norske byer.
- **PM**: Betegnelsen PM brukes gjerne om alle typer partikler i alle størrelser.

I denne studien har oppgaven vært å fokusere på utslipp fra kjøretøy, dvs. vi har gjennomført utslippsberegninger av eksospartikler (EP). Om vinteren utgjør EP ca 20 % av PM_{2,5} konsentrasjonen i norske byer, mens de resterende 80 % består av svevestøv fra vedfyring, langtransport og andre kilder. For konsentrasjoner av PM₁₀ vil andelen av EP være enda lavere ettersom også veislitasje gir store utslipp av PM₁₀.

For personbiler fram til og med Euro 4 slipper dieselbiler ut betydelig mer EP enn bensinbiler, 20 – 30 ganger mer. For personbiler i utslippsklasse Euro 5 er utslipp fra dieselbiler og bensinbiler sammenlignbare størrelser.

Figur 6.11 viser forventet framtidig utvikling for utslipp av EP for trafikk i Stor-Oslo fram til 2025. I utslippsberegningene har vi antatt at dieselbiler fortsatt dominerer nybilsalget. For NO₂-problematikken har vi sett at en dreining av bilparken fra bensinbiler til dieselbiler gir økte NO₂-utslipp i fremtiden. Tilsvarende trend ser vi ikke for EP. Figuren viser at utslipp av EP vil mer enn halveres i løpet av 10 år.

Merk at svevestøv av typen PM₁₀ og PM_{2,5} domineres av andre kilder som veislitasje eller vedfyring; denne modellberegningen sier ingenting om utslipp fra disse andre kildene. Vi kan derfor ikke beskrive noen forventet trend for utslipp fra disse komponentene.



Figur 6.11: Forventet utvikling av utslipp av EP i Stor-Oslo. Figuren viser at utslipp av EP vil gå nedover i fremtiden.

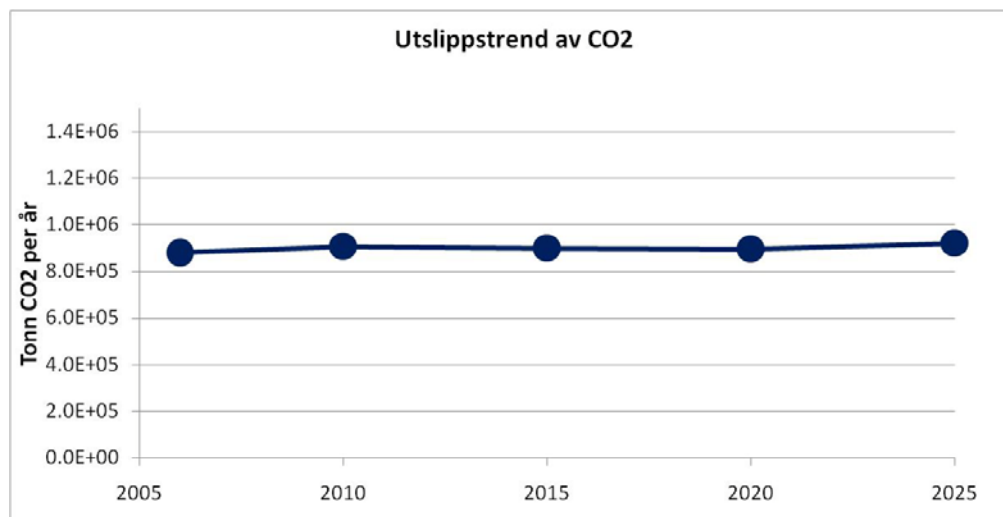
6.6 Utslipp av CO₂

Konsentrasjoner av NO₂ og partikler er et problem for lokal luftkvalitet, hovedsakelig i de større byene. Karbondioksid, CO₂, er imidlertid en klimagass som har relevans for klimaeffekter, men som ikke bidrar til lokal forurensing.

Basert på utslippsfaktorene fra Euro 5 i Vedlegg 1, ser vi at dieselpersonbiler har ca 25 % lavere utslipp av CO₂ enn bensinpersonbiler. En dreining av bilparken fra bensinbiler til dieslbiler gir derfor reduserte utslipp av CO₂. Den totale utslippsreduksjonen av CO₂ vil være mindre enn 25 % fordi dreiningen fra bensin til diesel gjelder bare for personbiler og til dels små varebiler. Tungtransporten går nesten utelukkende på diesel uansett. I tillegg har nyere kjøretøy lavere utslipp av CO₂ enn eldre kjøretøy. Utslipp av CO₂ er proporsjonalt med drivstoff-forbruk, bilprodusentene har i mange år jobbet for å redusere drivstoff-forbruk og dermed reduseres også CO₂-utslipp. Men de prosessene i motoren som reduserer CO₂-utslippet og drivstoff-forbruk har uheldig effekt på NO₂-utslippet for dieslbiler.

Figur 6.12 viser forventet utvikling av CO₂ utslipp fra kjøretøy i Stor-Oslo basert på utslippsfaktorer i Vedlegg 1. Denne kurva viser at utslippet av CO₂ vil ligge på ca samme nivå helt fram til 2025. I denne beregninga er det lagt inn en trafikkvekst på 1,2 %. Dersom det antas uendret trafikkvolumet i hele perioden, så viser beregningene at utslipp av CO₂ reduseres med ca 15 % fram til 2025. Dette viser at trend for utslipp per kjøretøy er nedadgående, både som følge av at det er flere dieslbiler og som følge av at nyere biler har lavere utslipp av CO₂ enn eldre biler.

I disse beregningene er det lagt til grunn at alle årsmodeller i hver Euroklasse har samme utslipp. I virkeligheten reduseres også utslippene hvert år innen hver Euroklasse. Dette gir spesielt stor usikkerhet, og overestimering, for fremtidige beregninger. EUs krav til fremtidig utslipp av CO₂ fra biler er at nybilparken skal ha utslipp på maksimalt 130 g/km i 2015 og det er foreslått et langsiktig mål for utslipp fra nye biler på 95 g/km innen 2020 (Europaportalen). Dette er faktorer som er lavere enn det som er benyttet i våre beregninger (Vedlegg 1).



Figur 6.12: Forventet utvikling av utslipp av CO₂ i Stor-Oslo.

7 Tiltak som kan redusere NO₂

Dieserbiler slipper ut atskillig mer NO_x enn bensinbiler. Partikkelproblemet er på nye dieserbiler løst ved at alle nye personbiler er nødt til å ha partikkelfilter for å klare Euro 5 kravene til typegodkjenning. Det man ikke har vært klar over før nylig, er at partikkelfiltrene øker den sterkt helseskadelige NO₂-komponenten i NO_x-utslippene med ca tre ganger i forhold til dieserbiler uten partikkelfilter eller oksiderende katalysatorer.

Avgiftsomleggingen som favoriserer dieserbiler er altså bra for det globale miljøet, men har hatt en skadelig bi-effekt for den lokale luftkvaliteten. Hva kan vi i Norge gjøre for at utslippene av NO₂ fra kjøretøy blir så lave at grensene for NO₂ konsentrasjonen i luften i fremtiden ikke overskrides?

7.1 Teknologiske tiltak

7.1.1 Bruk av motorvarmer

Utslipet av HC (uforbrent drivstoff), CO, PM (partikler), NO_x og CO₂ er høyere ved start av en kald enn ved start av en varm motor. Om kjøretøyet benytter elektrisk motorvarmer vil dette gi en liten, men klar reduksjon av alle typer avgassutslipp. Ved start i sterk kulde, som er typisk for dager med potensielt dårlig luftkvalitet, er nytten av elektrisk motorvarmer større enn ved start i normale temperaturer.

For å øke bruken av motorvarmere vil det blant annet kreves økt motivasjon og informasjonsvirksomhet. Et økt antall strømuttak kan monteres bla i parkeringshus i sentrum og på parkeringsplasser ved store arbeidsplasser. I tillegg til prioriterte plasser (ved strømuttakene) for elbiler kan det prioriteres plasser for alle biler med tilkoblingsmuligheter for elektrisk motorvarmer.

7.1.2 Miljøvennlige bybusser

For dagens situasjon har vi beregnet at bussene gir et signifikant bidrag til utslipp av NO₂, og at bussene slipper ut mer NO₂ enn alle bensinbiler til sammen, se Figur 6.6. Her har vi antatt at alle bussene er dieseldrevne. Det vil derfor være et nyttig og viktig virkemiddel å stimulere busselskapene til bruk av bybusser med lave utslipp av lokalt helseskadelige avgasskomponenter. I en differensiert kjøretøypark er det viktig at de minst forurensende kjøretøyene benyttes på ruter der befolkningen er mest utsatt. To typer teknologi for bybusser som både er økonomisk interessante og gir reduserte utslipp av NO_x er gassmotorer med treveiskatalysator og forskjellige former for hybrid fremdrift.

Nye gassbusser med treveiskatalysator er et tiltak som kan redusere utslippene av NO_x med minst 70 prosent. Utslippene av NO₂ kan fra gassbusser som bruker effektiv rensing med treveiskatalysator bli ned mot null. Med mindre effektiv regulering av blandingsforholdet mellom gass og luft kan enkelte gassbusser, på

liknende måte som eldre bensinbiler, ha relativt store utslipp av NO_x. Da gassbusser ikke har behov for partikkelfiltre er omdannelse av NO_x til NO₂ ikke et aktuelt problem.

Ulempen med gassbusser og treveiskatalysator er at energiforbruket øker med ca 25 prosent og at det med naturgass, som drivstoff i et livsløpsperspektiv ikke oppnås redusert klimapåvirkning. Med biometan fra avfall kan det i et livsløpsperspektiv oppnås store reduksjoner i klimapåvirkning takket være at biometan som drivstoff kan være tilnærmet klimanøytralt.

Etanolbusser, som foreløpig kun leveres av Scania, har ved tester vist seg å ha utslipp av NO_x på samme nivå som de beste diesellussene. Utslippene av PM er fra etanolbusser lavere enn fra tilsvarende dieselluss (Nylund, 2011).

Hybridbusser har også potensial til å redusere utslipp av NO_x med minst 70 prosent, men hva som blir realisert i virkelig bytrafikk er sterkt avhengig av hvilken motorteknologi, motorstørrelse og renseteknologi som velges for hybridbussene.

Fortsatt innføring av busser som har vist seg å være miljøvennlige i virkelig trafikk anses derfor som et effektivt tiltak både for å redusere årsmiddel- og timemiddelkonsentrasjoner av NO₂. Nye gassbusser kan ha så gode egenskaper at de representerer et tiltak som kan gjennomføres uten ulemper for publikum, bortsett fra noe høyere kostnader enn tradisjonelle dieselluss.

Brenselcellerbusser og helt elektriske busser har ikke utslipp av helseskadelige avgasser, men innføring i større omfang er på grunn av høy pris lite realistisk de nærmeste 5-10 årene.

7.1.3 Miljøvennlige drivstoff

Metangass, syntetisk diesel og andre drivstoff med en enkel molekylstruktur kan i forbrenningsmotorer redusere utslippene av helseskadelige avgasser sammenlignet med dagens kommersielle dieseldrivstoffer fra raffinert mineralolje. Alternative drivstoffer er allikevel kun miljøvennlige sammen med en mer eller mindre miljøvennlig motor.

- Reduksjonen av NO_x-utslipp ved bruk av et *syntetiske dieseldrivstoff* har vist seg å redusere utslippene av NO_x med 10-30 prosent (Nylund et al. 2011)
- Reduksjonen av NO_x-utslipp ved bruk av et *metan som drivstoff* har vist seg å redusere utslippene av NO_x med 10-30 prosent (Nylund. 2011)

7.2 Arealplanlegging og restriktive tiltak

7.2.1 Utfasing av eldre kjøretøyer

Eldre kjøretøyer har generelt sett et høyere utslipp enn nyere kjøretøyer. Utfasing av eldre kjøretøyer kan være aktuelt for å redusere NO_x utslippet særlig når det gjelder eldre bensindrevne personbiler, og tunge kjøretøyer. Når det gjelder dieseldrevne personbiler har partikkelutslippet blitt kraftig redusert med årene, mens utslippene av NO₂ har økt (se tabellene i Vedlegg 1).

Utfasing av eldre kjøretøyer har den fordel at det kan innføres forholdsvis raskt, men vil kreve en form for økt vrakpant om tiltaket skal monne. Ulempen er at tiltaket frem til 2014 sannsynligvis ikke vil ha særlig stor effekt på det økende utslippet av NO₂ fra dieseldrevne personbiler. I tillegg er den eldre bilparken dominert av bensinbiler, dersom eldre bensinbiler erstattes av nye Euro 5 dieselmotorer vil dette tiltaket virke mot sin hensikt. En Euro 5 dieselmotor slipper ut ca 7 ganger mer NO₂ enn gjennomsnittet av bensinbiler i klassene Euro 0 – Euro 3.

7.2.2 Økt bruk av elbiler, ladbare hybridbiler og hybridbiler

Overgang til hybrid fremdrift gjennom å kombinere forbrenningsmotorer med elektrisk fremdrift for å spare drivstoff vil kunne gi ca. 30 prosent lavere energiforbruk for bensinbiler og ca. 20 prosent lavere energiforbruk for dieselmotorer. Et mindre avgassvolum og annen motordrift for denne type biler kan gi muligheter for å redusere NO_x- og NO₂-utslippet men det er ikke nødvendigvis en slik sammenheng.

Økt bruk av personbiler som helt (elbiler) eller delvis (ladbare hybridbiler) er elektrisk drevne vil redusere utslippet av NO₂. Introduksjon av nye modeller av elbiler har de siste årene gjort at rekkevidde og størrelse har økt og utvalget har blitt større. Dette gjør at disse bilene kan nå kundegrupper som tidligere ikke har kunnet benyttet slike biler. Fra 2012 kommer også ladbare hybridbiler på markedet der eldriftsystemet kan tilføres energi fra batterier som lades med strøm fra nettet og slik kjøre på eldrift uten lokale utslipp i byer og forurensede områder.

Så langt har det vist seg at helt eller delvis elektriske biler er dyrere enn andre sammenlignbare personbiler. At innkjøpsprisen er høy er for folks valg ofte av større betydning enn lavere drivstoff- og driftkostnader. Elbiler er med dagens insentiver konkurransedyktige i store byer som Bergen og Oslo. Å beholde de gunstige insentivene og avgiftsordningene er nødvendig for en fortsatt økning i kjøpet av elbiler. En økt andel ladbare hybridbiler og hybridbiler kan være mulig å oppnå med færre insentiver og mindre kostbare avgiftsreduksjoner (Hagman et al 2011).

7.2.3 Tungbilnett

Et aktuelt tiltak for å redusere utslippet i de største byene er å etablere tungbilnett. Gjennomfartstrafikken kan med dette i større grad ledes utenom sentrum. Avhengig av hvilke krav til kjøretøyene en velger å innføre innenfor sonen, vil dette stimulere til økt bruk av lavutslippskjøretøyer innenfor sonen.

Tiltaket vil kreve en del planlegging før det kan gjennomføres. Det kreves også endringer i Veitrafikkloven, som nå kun tillater denne type tiltak i en kortere periode (som for eksempel strakstiltak/akuttiltak). Byene er avhengig av varelevering, og det er derfor viktig å velge løsninger som ikke øker varenes totale reisetid for mye.

7.2.4 Lavutslippssoner

Lavutslippssoner vil i utgangspunktet kunne gjelde alle kjøretøyene innenfor en gitt sone. Disse kan enten utformes som et forbud for kjøretøyer som ikke tilfredsstillende utslippskrav, eller i form av veiprisning, der de mest

forurensende kjøretøyene betaler mer for å kjøre innenfor sonen. Prisene kan tenkes gjort variable, dvs dyrere om vinteren og på dager med høy forurensning.

Det er en fordel om de kravene som stilles til kjøretøyene er så *teknologinøytrale* som mulig. Selv om nitrogenutslippet fra dieselskjøretøyer er høyt fra dagens kjøretøyer, er det fullt mulig at ny teknologi kan endre dette. Om Euro 6/VI kjøretøyene klarer å tilfredsstille kravene også i "virkelig" bytrafikk, bør dette tas hensyn til når det gjelder utformingen av kravspesifikasjoner. Kravene bør i størst mulig grad fange opp hva kjøretøyene slipper ut i faktisk bytrafikk, og være så fleksible at de kan endres om tester viser at nye modeller tilfredsstiller de eksisterende kravene (også i faktisk trafikk). Dette krever at det på forhånd er utført utslipstester som klarer å fange opp utslippet i faktisk trafikk.

For å gjennomføre dette kreves det omfattende planlegging og endringer i lovverket. Det er viktig å vurdere hva det skal koste de ulike typene kjøretøy å kjøre inn i sonen, basert på hvilke kriterier avgiftene skal settes, og i hvilken grad det er mulig å håndheve dette.

Et mindre omfattende versjon av tiltaket kan være å ved hjelp av eksisterende bomringer innføre økte avgifter på dager da det forventes at forurensningsnivået blir høyt. Muligheten for å innføre denne type tiltak er til utredning hos Samferdselsdepartementet. En slik variant blir mindre effektiv i og med at bare deler av bilparken passerer bomgrensesnittet.

7.2.5 Datokjøring

Datokjøring er et mulig tiltak for å redusere antallet kjøretøyer. For eksempel ved kun å tillate personbiler der nummerskiltet slutter på et partall å kjøre inn i sentrum på partallsdatoer, mens de med oddetall kan kjøre på oddetallsdatoer.

Da tiltaket ble prøvd ut i Bergen vinteren 2010 ble trafikkmengden den aktuelle dagen redusert med 25-30 prosent (Statens vegvesen 2010).

Ulempen med dette tiltaket er blant annet at hovedproblemet i forhold til NO_x utslippet er dieselsbilene, og det vil i mindre grad hjelpe å redusere antall personbiler. Flere hushold (og særlig der en i husholdet bruker bilen til jobben) har mer enn en bil. Da kan det for mange være mulig å tilpasse seg med hensyn til bilens nummerskilt.

Figur 6.6 viser at i dagens bilpark utgjør bensinbiler 51 % av trafikkarbeidet mens de bare bidrar med 7 % av det totale NO₂-utslippet. I teorien vil da datokjøring, isolert sett i forhold til bensinbiler, begrense ca fjerdedel av trafikken, men bare redusere NO₂-utslippet med 3,5 %. Datokjøring er derfor et tiltak som legger mye begrensinger på kjøretøy med lavt utslipp i dagens bilpark. Derfor er dette et svært lite effektivt tiltak i forhold til hvor mye det reduserer folks mobilitet i forhold til hvor mye det reduserer utslipp av NO₂.

Dette er også et tiltak som krever en del organisering, informasjonsvirksomhet og overvåkning, men som vil ha begrenset effekt på NO₂ utslippet. Dersom andelen av dieselskjøretøy øker, som følge av nybilsalget, vil effekten av tiltaket også øke.

Det kan også tenkes å kombinere datokjøring og tiltak forbud mot dieselsbiler som et litt mildere strakstiltak (dvs datokjøring kun for dieselskjøretøyer). Dette tiltaket vil naturligvis ha lavere effekt enn forbud mot alle dieselsbiler, men det vil gjøre

mindre inngrep i folks mobilitet. Håndhevelse og kontroll blir mer utfordrende enn ved datokjøring.

7.2.6 Forbud mot dieseldrevne personbiler

I dagens bilpark har nyere dieselbiler, tunge kjøretøy med dieselmotor og eldre bensinbiler høyt utslipp av NO₂. Et mulig tiltak kan derfor være å begrense bruken av kjøretøy med høyt utslipp av NO₂ på dager med høye NO₂-konsentrasjoner. Forbud mot bruk av dieseldrevne personbiler på dager der det er varslet høy forurensning kan være et aktuelt tiltak. Forbudet vil gjelde et begrenset antall steder i Norge, og kun noen få dager i løpet av vinterhalvåret.

Vegtrafikklovens §7 åpner for denne type midlertidige tiltak innenfor eksisterende regelverk. Men omfattende varslingsrutiner og kontrollrutiner må iverksettes. Bedre tilrettelegging for å ha hjemmekontor de aktuelle dagene kan også være en fordel.

Det vil være kommunene som eventuelt avgjør hvor ofte et slikt tiltak skal gjennomføres, men ut fra historiske måledata kan vi anta at et slikt tiltak kan være aktuelt 0 - 20 dager i løpet av vinterhalvåret. Men antallet dager forventes å reduseres hvis utslippsnivåene går ned i framtida. Figur 6.6 viser at i dagens bilpark utgjør dieselbiler 21 % av trafikkarbeidet mens de bidrar med hele 24 % av det totale NO₂-utslippet. Et slikt tiltak vil derfor være langt mer effektivt enn datokjøring med hensyn til hvor mye det reduserer folks mobilitet i forhold til hvor mye det reduserer utslipp av NO₂.

I tillegg vil tiltaket ha en langtidseffekt som kan være like viktig: Dersom det innføres forbud mot persondieselbiler noen dager i løpet av vinteren, så er det grunn til å tro at dette vil påvirke nybilsalget betydelig i de byer hvor dette er en aktuell problemstilling. Dermed kan trenden av økende andel dieselbiler i byene endres. De som er helt avhengig av å kjøre bil i byen hver dag, vil da kanskje velge å kjøpe en bensin-/hybridbil i stedet for dieselbil. Gitt at det blir innført forbud mot bruk av dieselbiler på dager med høy forurensning, vil dette kun være snakk om et begrenset antall dager i et begrenset område. De fleste vil derfor sannsynligvis fortsatt velge en dieselbil med lavt CO₂-utslipp og lavere engangsavgift.

Når dieselkjøretøyer i Euro 6/VI kommer på markedet, bør det utføres omfattende avgasstester. Gitt at utslippet fra disse kjøretøyene i motsetning til dagens dieselkjøretøyer tilfredsstiller kravene også i bytrafikk, bør det vurderes om disse skal få et unntak fra et eventuelt forbud.

7.2.7 Bruk av ekstrasusser i akutte situasjoner

Tiltak som datokjøring og forbud mot dieselbiler krever at de personene som rammes har et tilbud om alternative reisemåter. Det er da viktig at de alternative transportmåtene som tilbys i sum ikke har et høyere utslipp av NO₂ enn de kjøretøyene de skal erstatte. I resonnementet som følger sammenligner vi utslipp fra dieseldrevne busser og utslipp fra personbiler. For å kunne gi en oversiktlig sammenligning er NO₂-utslipp for både buss og personbiler midlet over klassene Euro 3 – 5, og også midlet over de ulike kjøremønstrene (køkjøring, bykjøring og landeveiskjøring, se kapittel 6.

Med en slik forutsetning blir utslippsforhold mellom buss og personbiler som følgende eksempel (avrundet til heltall):

- 1 buss har samme NO₂-utslipp som ca 4 dieserbiler
- 1 buss har samme NO₂-utslipp som ca 300 nyere bensinbiler

Denne sammenligningen er bare et eksempel ettersom ulike busstyper kan ha svært ulike utslipp, men sammenligningen viser at dersom det ukritisk settes inn busser for å kompensere mot datokjøring, eller andre tilsvarende tiltak, så kan det oppstå utilsiktede effekter som i verste fall kan øke det totale utslippet av NO₂. Før det eventuelt settes opp ekstrabusser bør det derfor, i hvert enkelt tilfelle, gjøres en analyse av denne problematikken.

I eksempelet som er gitt her vil datokjøring som blir kompensert med ekstrabusser, føre til at totalt NO₂-utslipp reduseres mer med datokjøring kun rettet mot dieselpersonbiler enn med datokjøring rettet mot alle personbiler. Men utslippene reduseres aller mest ved forbud mot bruk av alle dieselpersonbiler.

7.2.8 NO_x-komponent i engangsavgiften ved nybilkjøp

Endringene av engangsavgiften ved nybilkjøp, førte til at en økende andel personer har valgt å kjøpe diesel personbil. Dette har vært med på å redusere det totale utslippet av CO₂ fra personbilparken, samtidig som at det har hatt den uheldige virkningen at NO_x og NO₂ utslippet i byer har økt. For å reversere denne uheldige virkningen for den lokale luftkvaliteten, er det mulig å legge til en NO_x komponent i beregningen av engangsavgifter.

Det kan diskuteres om en høy NO_x-komponent i engangsavgiften for biler er et hensiktsmessig tiltak, da kunnskapsgrunnlaget på området er mangelfullt. Ulempen med en NO_x komponent er at det fortsatt er usikkert hvor mye ulike bilmodeller slipper ut av NO_x, og andelen av dette som slippes ut som NO₂ varierer mye. Det har til nå vist seg at dagens typegodkjenningstester i liten grad fanger opp hvor mye kjøretøyet faktisk slipper ut i virkelig bytrafikk. Å innføre differensierte NO_x avgifter basert på tall fra typegodkjenningstesten NEDC vil trolig gi for lave avgifter på dieserbiler. En annen ulempe med å innføre en NO_x komponent i engangsavgiften er at dette rammer alle kjøretøyene, uansett hvor mye og hvor den brukes. NO_x utslippet er i all hovedsak et byproblem, og da særlig vinterstid.

Det kan allikevel være rasjonelt med en NO_x-avgift for å påvirke bilprodusenter og importører. I dieselmotorer er det en nær sammenheng mellom CO₂-utslipp og NO_x-utslipp. Justeringer som gir lave CO₂-utslipp gir ofte høye NO_x-utslipp. For å få lavest mulige CO₂-avgifter er enkelte modeller trimmet slik at motorene er mest mulig klimavennlige, selv om dette fører til uforholdsmessig høye NO_x-utslipp. Det må være et mål at avgiftsstrukturen ikke skal gi slike utilsiktede effekter.

Tiltaket vil ha effekt i et lenger tidsperspektiv. Det vil gå flere år før effekten gjør seg gjeldende og det er lite effektivt med tanke på høy timemiddel.

7.2.9 Areal og transportplanlegging

Et av de mer langsiktige tiltakene er å redusere behovet for bilbruk ved hjelp av areal- og transportplanlegging. Fortetting langs kollektivknutepunkt og en aktiv parkeringspolitikk er aktuelle tiltak i denne sammenhengen.

7.2.10 Overgang til gange/sykkel og kollektivbruk

Fortsatt tilrettelegging for alternative reisemåter til personbilen er nødvendig. Omfattende utbygging av gang- og sykkelvegnettet, og godt vedlikehold av dette er viktig. Hyppige avganger og et godt utbygget kollektivnett, som bringer deg dit du ønsker på kortest mulig tid, er viktig for å opprettholde og øke andelen som reiser kollektivt til jobben (og ellers på døgnet).

7.3 Oversikt over aktuelle tiltak

Tabell 7.1 viser mulige tiltak som kan iverksettes for å redusere utslippet av NO₂. Tabellen gir anslag på hvor raskt tiltaket eventuelt kan iverksettes og hvor kompleks gjennomføringen forventes å bli. Det er også foretatt en enkel vurdering av tiltakenes mulige synergi med utslipp av CO₂ og EP.

Ofte er det nødvendig å iverksette flere tiltak for å oppnå ønsket effekt. Det er da viktig å vurdere synergien mellom de valgte tiltakene. For å oppnå optimal effekt av tiltakene er målrettet informasjon i forkant av tiltakene viktig, overvåkning av i hvilken grad man overholder aktuelle krav er også en viktig forutsetning.

Tabell 7.1: Tiltak for å redusere NO₂ utslippet fra kjøretøyene

Tiltak	Tid	Gjennomføring	NO ₂ virkning	CO ₂ og EP virkning
Utfasing av eldre kjøretøy	Middels	Forholdsvis enkelt	Begrenset	God
Økt bruk av motorvarmere	Kort	Forholdsvis enkelt	Begrenset	Begrenset
Miljøvennlige busser	Kort	Forholdsvis enkelt	God	God
Tungbilnett	Lang	Omfattende	God ¹	God ¹
Elbiler/hybridbiler	Middels	Middels	God	God
Miljøvennlige drivstoff	Kort	Forholdsvis enkelt	Middels	Lav/God
Lavutslippssoner	Lang	Omfattende	God ¹	God (EP) ¹
Tidsdifferensiert miljøprising (dager med høy forurensning)	Kort	Middels	God ¹	God ¹
Datokjøring (dager med høy forurensning)	Kort	Middels	Begrenset	Middels
Datokjøring (dager med høy forurensning), kun for dieslbiler	Kort	Middels	Middels	Usikkert ⁴
Forbud dieselskjøretøyer (dager med høy forurensning)	Kort	Middels	God	Usikkert ⁴
Bruk av ekstrabusser (dager med høy forurensning)	Kort	Enkel	Usikkert ²	Usikkert ²
NO _x komponent i engangsavgiften	Lang	Forholdsvis enkelt	Middels ³	Usikkert ⁴
ATP tiltak for å begrense bilavhengigheten	Lang	Omfattende	God	God
Sykel og kollektivtiltak	Kort/lang	Middels	Middels	Middels

¹ Avhengig av hvilke krav som stilles og kontrollmulighet.

² Avhengig av hvilke busstyper som settes inn, og hvor mange dieselpersonbiler den erstatter.

³ Avhengig av utformingen av avgiften.

⁴ Kan gi muligens gi økning av lokalt utslipp av CO₂, bør utredes nærmere.

8 Konklusjon

Stortinget la i 2007 om engangsavgiften slik at biler med lavt CO₂-utslipp fikk en betydelig avgiftslette. Dieselmotoren er gjennomgående mer energieffektiv enn bensinmotoren. Omleggingen førte dermed til at diesebilene ble merkbart billigere, og man fikk en sterk dreining av nybilsalget fra bensinbiler til dieserbiler. Dieserbiler utgjør nå over 70 prosent av personbilsalget.

Regjeringen har i forslaget til statsbudsjett for 2012 foreslått å innføre en NO_x-komponent i engangsavgiften på 22 kroner per mg/km.

Utslipp av NO_x i virkelig trafikk vil under gitte forhold være betydelig høyere enn det tallet som framkommer i typegodkjenningsregistret, og den skadelige NO₂-komponenten utgjør en høyere andel enn en tidligere har vært klar over. Dette tilsier en høyere avgiftssats enn det som er foreslått. Den stipulerte avgiften er såpass lav at den vil få liten betydning for publikums bilvalg.

Det vil være langt mer effektivt å rette tiltak direkte mot problemet, ved å åpne for at kommunene kan innføre forbud mot bruk av personbiler med dieseldrift på gitte tider og steder.

En analyse av måledata i norske byer i perioden 2003 – 2010 viser at konsentrasjon av NO₂ har vært svakt oppadgående mens konsentrasjon av NO_x har vært svakt nedadgående. Den årlige variasjonen som følge av spredningsforholdene er større enn utvikling av utslippsnivå. Måledata viser også at grenseverdien for årsmiddel av NO₂ overskrides alle år i flere byer. Timemiddelkonsentrasjon overskrides ofte (men ikke hvert eneste år) og overskridelser av timemiddel forekommer oftest i de største byene.

Utslippsberegninger viser at NO_x-utslippene vil være avtagende i fremtiden, mens NO₂-utslippene har vært økende og forventes å fortsatt øke fram mot ca år 2015, for deretter å avta noe. Ved å sammenstille målinger og utslippsberegninger får vi et anslag over forventet utvikling av NO₂-konsentrasjon. En slik sammenstilling viser at konsentrasjonsnivået vil overskride grenseverdien av NO₂ i mange år fram i tid. Overskridelsene vil være størst og sikrest for årsmiddel. Men også for timemiddel vil det forekomme overskridelser av grenseverdien i lang tid. På kort sikt, fram mot 2015, er det likevel sikkert at det kan forventes et økende problem med høye timemiddelkonsentrasjoner av NO₂. Det kan ta lang tid å reversere denne trenden, selv etter at Euro 6/VI blir introdusert. Når man vurderer usikkerhet og naturlig variasjon, kan overskridelser av både timemiddel og årsmiddel vedvare helt fram til 2025. Denne studien viser ikke hvilke områder lokalt i byene som rammes eller hvor mange personer som faktisk eksponeres for dårlig luftkvalitet. Dersom disse overskridelsene skal unngås, må det gjennomføres tiltak rettet mot konsentrasjoner av NO₂. Det er både behov for strakstiltak rettet mot akutte situasjoner med høyt timemiddel, men også langsiktige tiltak som ikke nødvendigvis gir umiddelbar effekt, men som vil bedre luftkvaliteten på lang sikt. Dette vil i så fall gjøre at det blir mindre behov for strakstiltak i fremtiden. Etersom det forventes høyest utslipp av NO₂ i årene

omkring 2015 er det også viktigst å gjennomføre tiltak som er egnet i et slikt tidsperspektiv. Det innebærer at langsiktige tiltak som for eksempel endrer nybilsalget trolig ikke alene er tilstrekkelig.

En gjennomgang av mulige tiltak viser at det er varierende hvor effektive de ulike tiltakene er, og noen kan til og med ha negativ effekt. Det mest effektive er tiltak som retter seg spesifikt mot de kjøretøyene som forurenses mest, per dags dato er det persondieselbiler, varebiler, tungtransport og buss. På den annen side ser vi at bensinbiler har svært lavt utslipp av NO₂, en begrensning av disse vil derfor bare gi en marginal effekt på luftkvaliteten. Beregninger viser også at utslipp av eksospartikler er avtagende. Vi kan ikke se at aktuelle tiltak rettet mot NO₂ vil få negative konsekvenser for utslipp av eksospartikler. Men noen tiltak som kan rettes mot NO₂ kan medføre økte utslipp av CO₂. Utslipp av CO₂ er lavere for dieselbiler enn for bensinbiler, utslipp av CO₂ er også lavere for de nyere Euroklasser.

Alle beregninger og konklusjoner i denne rapporten bygger på de utslippsfaktorer som er gitt i vedlegg 1. Per dags dato er bare et begrenset antall kjøretøy av typen Euro 5/V testet for reelt utslipp av NO₂ og NO_x. Når det gjelder kjøretøy av typen Euro 6/VI er det enda mer begrenset måledata til å underbygge de utslippsfaktorene som er benyttet. Det er derfor usikkerhet knyttet til disse faktorene. Denne usikkerheten blir videreført i alt videre arbeid med lokal luftkvalitet fordi utslippsfaktorene benyttes til utslippsberegninger, spredningsberegninger og vurdering av aktuelle tiltak. Tidligere erfaringer har vist at utslippsmålinger for enkelte biltyper kan avvike svært mye i forhold til de offisielle utslippskravene som ligger i typegodkjenningen. Det er derfor behov for å gjennomføre tester av utslipp for alle nye modeller og nye typer av kjøretøyene. Det er behov for å se på variasjon i utslippene mellom biler i samme Euroklasse. Det er også behov for oppfølgende utslippsmålinger etter hvert som kjøretøy og systemene for rensing av avgasser eldes.

Det vil også være nyttig å gjennomføre NO₂-målinger med UV-sensorer i trafikkerte områder. Dette vil gi supplerende kunnskap for å kartlegge reelle utslipp.

Myndigheten i Norge, produsentene av kjøretøy og EU har blitt klare over at systemet for typegodkjenning ikke har fungert som ønsket når det gjelder å redusere utslippene av NO_x fra kjøretøy med dieselmotorer. Med hensiktsmessige tester og rimelig strenge krav til utslipp er det vår vurdering at det er teknisk mulig å løse problemet med NO_x og NO₂ fra dieselbiler.

9 Referanser

- Amundsen, A. H., Klæboe, R. and Fyhri, A. 2008
Annoyance from vehicular air pollution: Exposure-relationships for Norway. *Atmospheric Environment*, vol 42, pp 7679-7688.
- Andresen, E. og Bilimportørenes forening. BIL i Norge, 2011
Informasjon formidlet fra BIL og bilimportører i Norge og fra VDA i Tyskland.
- Artemis <http://www.epa.gov/ttnchie1/conference/ei18/session6/andre.pdf>
- Clemmitshaw, K. C. 2006
Coupling between the tropospheric photochemistry of nitrous acid (HONO) and nitric acid (HNO₃). *Environmental Chemistry*, Vol. 3, No. 1, 2006, p. 31-34
- Colberg, C.A., Tona, B., A. Stahel, W., Meier, M. & Staehelin, J., 2005
Comparison of a road traffic emission model (hbefa) with emissions derived from measurement in the Gubrist road tunnel. Switzerland. *Atmospheric Environment*, 39, 4703-4714.
- Dieselnet <http://www.dieselnet.com/standards/cycles/artemis.php>
- Europaportalen
<http://www.regjeringen.no/nb/sub/europaportalen/eos-notatbasen/notatene/2007/des/co2-krav-personbiler.html?id=553584>
- Gauss C. ADAC Technik Zentrum. 2011
Presentasjon 21. Juli 2011 Messungen an Euro 5- und Euro 6-Pkw im ADAC EcoTest“
- Hagman, R. 2011
Hybrid- og bensinbiler er overlegent best for det lokale miljøet, Toyota presseseminar 12.04.2011, Høvikodden, Oslo
- Hagman, R. Assum, T., Amundsen, A.H., 2011
Srøm til biler, TØI rapport 1160/2011
- Hausberger, S., Rexeis, M., Zallinger, M. and Luz, R. 2009
Emission factors from the model PHEM for the HBEFA version 3. Graz University of Technology. Report no. I-20/2009
- Hausberger, S., Rexeis, M., Zallinger, M. and Luz, R. 2011
Emissionen und seine Datenbasis bei Euro 5 und Euro 6, Presentasjon 21.07 2011 Stuttgart
- HBEFA, 2009
Handbuch für emissionfaktoren des strassenverkehrs (Version 3.1. *Publisert som programvare på CD-ROM. Infrac AG, Bern*, Available from: www.hbefa.net

- Johnson, M. 2011
Foredrag og gjennomgang 26.09.2011. Fagseminar arrangert av NO_x prosjekt, KLIF og Statens vegvesen
- Keller, M. 2011
Telefonsamtale 50 min med HBEFAs faglige kontaktperson Mario Keller, Infrac, Sveits 25. august 2011 og oppfølgene korrespondanse på e-mail.
- Martini, G. 2011
Low Temperature Emissions of Euro 5 Passenger Cars, Workshop on approach on emissions legislation Brussels, 23 November 2010
- Nylund N-O. 2011
Foredrag og gjennomgang 26.09.2011. Fagseminar arrangert av NO_x prosjekt, KLIF og Statens vegvesen
- Nylund, N-O., Erkkilä, K., Ahtiainen, M., Murtonen, T., Saikkonen, P., Amberla, A. & Aatola. 2011
Optimized usage of NExBTL renewable fuel – OPTIBIO, Research Report VTT-R—04781-11
- Statens forurensningstilsyn 2008
Utslipp fra bensin- og dieselmotorer. Miljø- og helsekonsekvenser. Oslo, Statens forurensningstilsyn. TA-2438/2008.
- Statens vegvesen 2010
Registrering av trafikkforhold. Erfaring med strakstiltak ved ekstraordinær luftforurensning i Bergen vinteren 2010.
- Sundvor, S., Tarrasón, L. and Tønnesen, D. 2011
NO₂-beregninger for 2010 og 2025 i Oslo og Bærum - Bidrag fra dieselmotorer og mulige tiltak (OR 62/2011)
- Tiltakskatalog (TØI) 2011 <http://www.tiltakskatalog.no/>
- Vonk, W.A., and Verbeek R.P. 2010
”Skadelige utslipp fra dieselmotorer med Euro 6 teknologi”. TNO-rapport MON-RPT-2010-02278
- Weiss, M., Bonnel, P., Hummel, R., Manfredi, U., Colombo, R., Lanappe, G., Le Lijour, P. and Sculati, M. 2011
Analyzing on-road emissions of light-duty vehicles with portable emission measurement systems (PEMS). JRC Scientific and Technical Report. Brussels, European commission. EUR-24697-2011.
- Aas, W., Solberg, S., Manø, S. og Yttri, K. E. (2011)
Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør – Atmosfærisk tilførsel, 2010 (Statlig program for forurensningsovervåking, rapport 1099/2011)

Vedlegg 1: Utslippsfaktorer for ulike kjøretøytyper

Tabellene V.1.1a til V.1.5b inneholder de beregnede utslippsfaktorene for de fem kjøretøykategoriene nevnt i kapittel 5.2. Utslippsfaktorene er beregnet for Euroklassene 0-6, og ved ulike kjøremønstre i by. Vi har beregnet utslippsfaktorer for NO_x, NO₂, PM (partikler) og CO₂. Utslippsfaktorene er brukt i modelleringene av forventet utslipp i byene Oslo, Trondheim og Bergen, se kapittel 6.

Tabell V.1.1a: Personbiler med bensinmotor – NO_x utslipp

Salg (ny bil) År	Motorklasse	NO _x utslipp (g/km)			NO ₂ utslipp (g/km)		
		KØ	BY	Landevei	KØ	BY	Landevei
1989-1992	Euro 0	1,363	0,925	0,779	0,069	0,040	0,041
1992-1996	Euro 1	1,221	0,700	0,552	0,061	0,032	0,028
1996-2000	Euro 2	0,869	0,488	0,217	0,043	0,022	0,011
2000-2005	Euro 3	0,167	0,091	0,036	0,008	0,004	0,002
2005-2009	Euro 4	0,095	0,072	0,035	0,006	0,003	0,002
2009-2014	Euro 5	0,088	0,067	0,034	0,004	0,002	0,002
2014-	Euro 6	0,084	0,063	0,032	0,004	0,002	0,002

Tabell V.1.1b: Personbiler med bensinmotor – PM og CO₂ utslipp

Salg (ny bil) År	Motorklasse	PM utslipp (g/km)			CO ₂ utslipp (g/km)		
		KØ	BY	Landevei	KØ	BY	Landevei
1989-1992	Euro 0	0,0050	0,0037	0,0023	395	229	163
1992-1996	Euro 1	0,0046	0,0034	0,0021	403	234	167
1996-2000	Euro 2	0,0049	0,0042	0,0026	372	216	154
2000-2005	Euro 3	0,0028	0,0019	0,0012	360	209	149
2005-2009	Euro 4	0,0010	0,0007	0,0007	346	201	143
2009-2014	Euro 5	0,0009	0,0006	0,0006	322	187	133
2014-	Euro 6	0,0009	0,0007	0,0005	314	182	130

Tabell V.1.2a: Personbiler med dieselmotor – NO_x utslipp

Salg (ny bil) År	Motorklasse	NO _x utslipp (g/km)			NO ₂ utslipp (g/km)		
		KØ	BY	Landevei	KØ	BY	Landevei
1989-1992	Euro 0	1,028	0,721	0,524	0,083	0,059	0,043
1992-1996	Euro 1	0,948	0,664	0,467	0,076	0,053	0,037
1996-2000	Euro 2	1,071	0,709	0,509	0,118	0,078	0,056
2000-2005	Euro 3	0,973	0,709	0,493	0,339	0,246	0,171
2005-2009	Euro 4	1,011	0,521	0,338	0,463	0,239	0,155
2009-2014	Euro 5	1,000	0,523	0,335	0,350	0,183	0,117
2014-	Euro 6	0,355	0,188	0,119	0,106	0,055	0,036

Tabell V.1.2b: Personbiler med dieselmotor – PM og CO₂ utslipp

Salg (ny bil) År	Motorklasse	PM utslipp (g/km)			CO ₂ utslipp (g/km)		
		KØ	BY	Landevei	KØ	BY	Landevei
1989-1992	Euro 0	0,2185	0,1235	0,0960	297	182	130
1992-1996	Euro 1	0,1789	0,1131	0,1000	257	158	113
1996-2000	Euro 2	0,1435	0,0804	0,0725	273	167	119
2000-2005	Euro 3	0,0523	0,0373	0,0286	284	174	124
2005-2009	Euro 4	0,0314	0,0173	0,0123	264	162	116
2009-2014	Euro 5	0,0043	0,0017	0,0010	242	149	106
2014-	Euro 6	0,0043	0,0017	0,0010	235	144	103

Tabell V.1.3a: Lette lastebil med dieselmotor – NO_x utslipp

Salg (ny bil) År	Motorklasse	NO _x utslipp (g/km)			NO ₂ utslipp (g/km)		
		KØ	BY	Landevei	KØ	BY	Landevei
1989-1992	Euro 0	1,624	1,409	1,194	0,130	0,113	0,095
1992-1996	Euro 1	1,467	1,264	1,051	0,117	0,101	0,084
1996-2000	Euro 2	1,328	1,129	0,900	0,146	0,124	0,099
2000-2005	Euro 3	1,098	1,019	0,757	0,384	0,356	0,264
2005-2009	Euro 4	0,848	0,659	0,627	0,374	0,291	0,277
2009-2014	Euro 5	0,856	0,620	0,576	0,300	0,217	0,202
2014-	Euro 6	0,304	0,221	0,186	0,091	0,066	0,056

Tabell V.1.3b: Lette lastebil med dieselmotor – PM og CO₂ utslipp

Salg (ny bil) år	Motorklasse	PM utslipp (g/km)			CO ₂ utslipp (g/km)		
		KØ	BY	Landevei	KØ	BY	Landevei
1989-1992	Euro 0	0,5221	0,3328	0,2666	293	230	194
1992-1996	Euro 1	0,2557	0,1651	0,1372	287	224	187
1996-2000	Euro 2	0,1689	0,1068	0,0842	279	216	177
2000-2005	Euro 3	0,0662	0,0487	0,0379	289	205	157
2005-2009	Euro 4	0,0522	0,0292	0,0288	311	212	174
2009-2014	Euro 5	0,0050	0,0021	0,0015	305	200	167
2014-	Euro 6	0,0045	0,0019	0,0015	295	191	150

Tabell V.1.4a: Tung lastebil med dieselmotor – NO_x utslipp

Salg (ny bil) År	Motorklasse	NO _x utslipp (g/km)			NO ₂ utslipp (g/km)	
		KØ	BY	Landevei	KØ	BY
1989-1992	Euro 0	16,504	10,938	8,660	1,202	0,797
1992-1996	Euro 1	11,925	7,795	6,110	0,869	0,568
1996-2000	Euro 2	15,547	10,019	7,536	1,108	0,714
2000-2005	Euro 3	14,229	8,836	6,501	1,011	0,628
2005-2009	Euro 4	13,915	7,426	3,719	1,282	0,722
2009-2014	Euro 5	10,495	5,336	2,249	0,899	0,481
2014-	Euro 6	1,916	0,779	0,240	0,536	0,218

Tabell V.1.4b: Tung lastebil med dieselmotor – PM og CO₂ utslipp

Salg (ny bil) År	Motorklasse	PM utslipp (g/km)			CO ₂ utslipp (g/km)		
		KØ	BY	Landevei	KØ	BY	Landevei
1989-1992	Euro 0	0,9088	0,5181	0,3294	1384	858	552
1992-1996	Euro 1	0,6434	0,3582	0,2253	1204	744	510
1996-2000	Euro 2	0,3129	0,1874	0,1866	1357	846	569
2000-2005	Euro 3	0,4061	0,2245	0,1339	1556	963	619
2005-2009	Euro 4	0,1002	0,0424	0,0332	1368	880	579
2009-2014	Euro 5	0,0904	0,0385	0,0297	1235	796	532
2014-	Euro 6	0,0069	0,0040	0,0027	1243	798	534

Tabell V.1.5a: Bybuss med dieselmotor – NO_x utslipp

Salg (ny bil) År	Motorklasse	NO _x utslipp (g/km)			NO ₂ utslipp (g/km)		
		KØ	BY	Landevei	KØ	BY	Landevei
1989-1992	Euro 0	23,472	14,534	10,991	1,710	1,059	0,801
1992-1996	Euro 1	15,077	9,129	6,797	1,098	0,665	0,495
1996-2000	Euro 2	16,514	9,967	7,198	1,177	0,710	0,513
2000-2005	Euro 3	16,442	8,345	5,508	1,168	0,593	0,391
2005-2009	Euro 4	12,866	7,387	3,730	1,535	0,885	0,484
2009-2014	Euro 5	10,507	5,936	2,445	2,530	1,430	0,591
2014-	Euro 6	1,269	0,620	0,207	0,355	0,174	0,058

Tabell V.1.5b: Bybuss med dieselmotor – PM og CO₂ utslipp

Salg (ny bil) År	Motorklasse	PM utslipp (g/km)			CO ₂ utslipp (g/km)		
		KØ	BY	Landevei	KØ	BY	Landevei
1989-1992	Euro 0	1,4800	0,7404	0,3999	1746	1050	716
1992-1996	Euro 1	0,6464	0,3701	0,2236	1427	852	620
1996-2000	Euro 2	0,3167	0,1860	0,1199	1357	830	617
2000-2005	Euro 3	0,2999	0,1964	0,1102	1421	881	641
2005-2009	Euro 4	0,0696	0,0335	0,0202	1187	797	627
2009-2014	Euro 5	0,0083	0,0041	0,0025	1215	815	639
2014-	Euro 6	0,0075	0,0046	0,0030	1223	824	636

Vedlegg 2: Ekstra kuldestarttillegg

Kaldstart innebærer at en motor startes uten foregående varmkjøring. Både ved start i +23°C og ved start i -7°C har vi kaldstart av en forbrenningsmotor.

Kulde (-7°C) viste seg ved avgasstester hos VTT vinteren 2011 å øke kaldstartutslippene av NO_x fra dieselbilen med ca. 50 % i forhold til kaldstart i varme (+23°C).

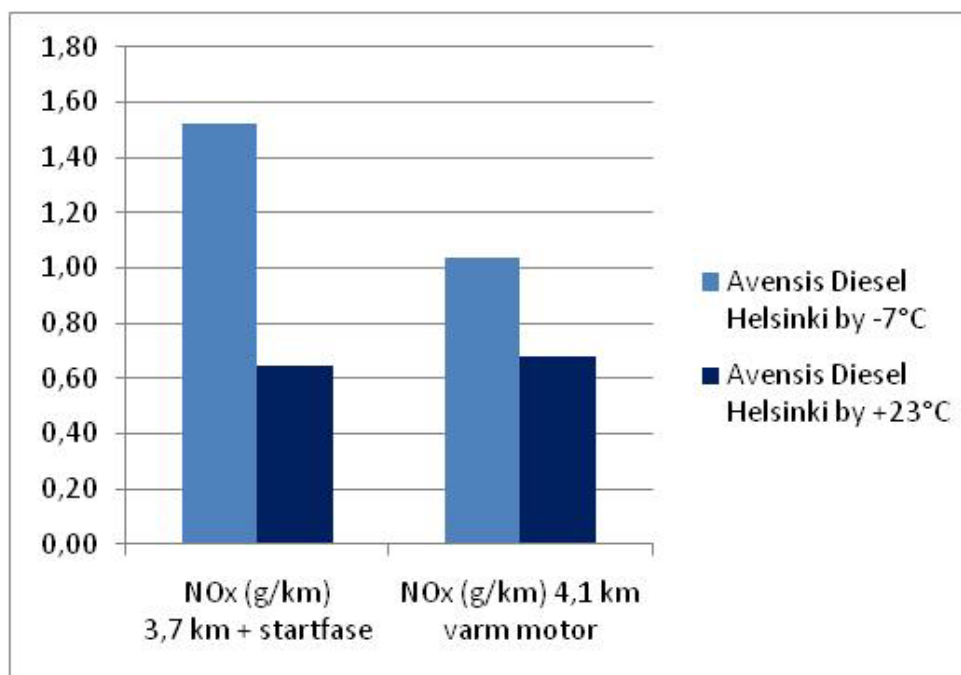
Med bakgrunn i nye målinger fra VTT (Hagman, 2011) estimerer vi et ekstra kuldestarttillegg for lette dieselbiler av alle Euroklasser til 5 g NO_x og 1 g NO₂ for vintermånedene desember, januar og februar i Norge. At vi estimerer kaldstarttillegget av NO₂ til kun 1 g begrunner vi med at partikkelfiltret ved start er kaldt og i en startfase i ikke i så stor grad vil omdanne NO til NO₂.

For andre måneder estimerer vi ikke noen ekstra kuldestarttillegg.

For tunge kjøretøy estimerer vi, uten andre data enn erfaringene med de nye målingene med en personbil, et ekstra kuldestarttillegg for alle Euroklasser til 10 g NO_x og 2 g NO₂ for vintermånedene desember, januar og februar i Norge.

For andre måneder og andre kjøretøytyper estimerer vi ikke noen ekstra kuldestarttillegg.

Kuldestarttilleggene er inkludert i våre beregninger i kapittel 6, og kommer i tillegg til utslippsfaktorene gitt i Vedlegg 1.



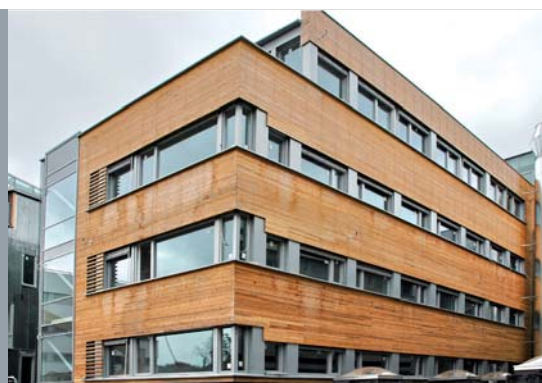
Figur V.2.1: Sammenligning av utslipp ved kaldstart og kjøring av Helsinki bysyklus ved temperaturene -7°C respektive +23°C

Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gaustadalléen 21
NO 0349 Oslo

Telefon: 22 57 38 00
Telefaks: 22 60 92 00
E-post: toi@toi.no

www.toi.no

**Transportøkonomisk institutt (TØI)
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning**

TØI er et anvendt forskningsinstitutt, som mottar basisbevilgning fra Norges forskningsråd og gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag for næringsliv og offentlige etater. TØI ble opprettet i 1964 og er organisert som uavhengig stiftelse.

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et tverrfaglig miljø med rundt 70 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet utgir tidsskriftet Samferdsel med 10 nummer i året og driver også forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside www.toi.no.

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se www.ciens.no). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forsknings-samarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafikk sikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transporter og generell transportøkonomi.

Transportøkonomisk institutt krever opphavsrett til egne arbeider og legger vekt på å opptre uavhengig av oppdragsgiverne i alle faglige analyser og vurderinger.