

VURDERING AF MULIGHED FOR FREMRYKNING AF OVERHOLDELSE AF WHO'S RETNINGSLINJER FOR LUFTKVALITET

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 620

2024



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

VURDERING AF MULIGHED FOR FREMRYKNING AF OVERHOLDELSE AF WHO'S RETNINGSLINJER FOR LUFTKVALITET

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 620

2024

Thomas Ellermann
Steen Solvang Jensen

Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 620
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Vurdering af mulighed for fremrykning af overholdelse af WHO's retningslinjer for luftkvalitet
Forfattere:	Thomas Ellermann og Steen Solvang Jensen
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Oktober 2024
Redaktion afsluttet:	September 2024
Faglig kommentering:	Claus Nordstrøm (sammenfatning, kapitel 1-4) og Matthias Ketzel (sammenfatning, kapitel 5-6), Morten Winther (afsnit 6.1 og 6.4) og Ole-Kenneth Nielsen (afsnit 6.2 og 6.3)
Kvalitetssikring, DCE:	Lars Moeslund Svendsen (sammenfatning, kapitel 1-4) og Vibeke Vestergaard Nielsen (sammenfatning, kapitel 5-6)
Sproglig kvalitetssikring:	Vibeke Vestergaard Nielsen
Ekstern kommentering:	Miljøministeriet. Kommentarerne findes her: https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_600-699/KommentarerSR/SR620_komm.pdf
Finansiel støtte:	Miljøministeriet
Bedes citeret:	Thomas Ellermann og Steen Solvang Jensen, 2024. Vurdering af mulighed for fremrykning af overholdelse af WHO's retningslinjer for luftkvalitet. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 67 s. - Videnskabelig rapport nr. 620.
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Denne rapport vurderer forskellige muligheder for fremrykning af overholdelse af WHO's retningslinjer for luftkvalitet fra 2021. Fokus er på NO ₂ , PM _{2,5} og PM ₁₀ . Først analyseres udviklingstendenser på målestationerne under det nationale måleprogram for luftkvalitet, og resultaterne ekstrapoleres ud i fremtiden ud fra fremskrivning af nationale emissioner. Fremtidig luftkvalitet belyses også ud fra modelberegninger. Endvidere svares der på en række spørgsmål stillet af Miljø- og Ligestillingsministeriet om mulighederne for fremrykning af overholdelse af WHO's retningslinjer inden for elektrificering af bilparken, regulering af privat boligopvarmning, omstilling af energisektoren, regulering af international skibstrafik og betydning af det nye luftkvalitetsdirektiv.
Emneord:	Fremtidig luftkvalitet, WHO's retningslinjer, luftkvalitetsdirektiv, elektrificering, boligopvarmning, energisektor, skibstrafik.
Layout:	Majbritt Ulrich
Foto forside:	Stephan I. Bernberg
ISBN:	978-87-7156-xxx-x
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	67

Indhold

Sammenfatning og konklusion	2
1 Indledning	12
1.1 Baggrund for projektet	12
1.2 Nye retningslinjer fra WHO og forslag til nye grænseværdier fra EU	13
1.3 Notatets opbygning	13
2 Udviklingstendenser for målinger af NO₂	15
2.1 WHO's retningslinjer og EU's grænseværdier for kvælstofdioxid	15
2.2 Kvælstofdioxid i 2023 sammenlignet med målsætninger	16
2.3 Udviklingstendens og prognoser	20
3 Udviklingstendenser for målinger af PM_{2,5}	25
3.1 WHO's retningslinjer og EU's grænseværdier for PM _{2,5}	25
3.2 PM _{2,5} i 2023 sammenlignet med målsætninger	25
3.3 Korrektion for vintersaltning og naturlige kilder til PM _{2,5}	29
3.4 Udviklingstendens og prognoser	30
4 Udviklingstendenser for målinger af PM₁₀	34
4.1 WHO's retningslinjer og EU's grænseværdier for PM ₁₀	34
4.2 PM ₁₀ i 2023 sammenlignet med målsætninger	34
4.3 Korrektion for vintersaltning og naturlige kilder til PM ₁₀	37
4.4 Udviklingstendens og prognoser	38
5 Modellering af fremtidig luftkvalitet	41
5.1 Fremtidig luftkvalitet baseret på NAPCP	41
5.2 Fremtidig luftkvalitet baseret på nordisk projekt	44
6 Muligheder for fremrykkelse af overholdelse af WHO's retningslinjer	45
6.1 Potentiale ved hurtigere elektrificering af bilparken	45
6.2 Potentiale ved øget regulering af opvarmning af private boliger	49
6.3 Betydning af omstilling af energisektoren i lyset af krigen i Ukraine	54
6.4 Betydning af reguleringen af international skibstrafik	57
6.5 Betydning af det nye luftkvalitetsdirektiv for regulering af emissioner	60
Litteratur	65

Sammenfatning og konklusion

DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi har i sommeren og tidligt efterår 2024 gennemført et projekt for Miljøministeriet med henblik på at vurdere Danmarks muligheder for at overholde WHO's retningslinjer for luftkvalitet (WHO, 2021) herunder om det er muligt at gennemføre tiltag til at fremrykke overholdelsen af WHO's retningslinjer (se kapitel 1.1).

Projektet er opdelt i to dele, hvor første del er baseret på sammenligning mellem de omfattende målinger i det nationale luftkvalitetsovervågningsprogram under NOVANA og WHO's retningslinjer fra 2021 (kapitel 2-4). Anden del er baseret på analyse ud fra beregninger med DCE's luftkvalitetsmodeller og emissionsopgørelser (kapitel 5-6).

Det er besluttet, at projektet afgrænses til at omfatte analyser og vurderinger for PM_{2,5} (fine partikler – massen af partikler under 2,5 mikrometer), PM₁₀ massen af partikler under 10 mikrometer) og NO₂ (kvælstofdioxid), som alle tre er luftforureningskomponenter med betydning for de helbredsskadelige effekter af luftforureningen i Danmark, dog med langt den største helbredsbyrde knyttet til PM_{2,5}. WHO har også angivet retningslinjer for svovldioxid, carbonmonoxid og ozon, men vurdering af mulighederne for overholdelse af retningslinjerne for disse tre luftforureningskomponenter vurderes ikke relevant. For svovldioxid og carbonmonoxid hænger dette sammen med, at WHO's retningslinjer allerede overholdes i Danmark (Ellermann et al., 2024). For ozon overholdes retningslinjerne derimod ikke, men ozon er et problem på en stor geografisk skala, og langt de fleste lande i Europa har problemer med overholdelse af WHO's retningslinjer for ozon. PM_{2,5} kommer i stor grad fra langtransporteret luftforurening, og er derfor ligeledes ikke alene et dansk problem, men ozonproblematikken er i langt højere grad et regionalt europæisk/globalt problem og ikke et problem, som kan løses ved dansk indsats.

Notatet har fokus på retningslinjerne fra WHO (WHO, 2006; 2021), men EU's gældende grænseværdier og forslag til nyt luftkvalitetsdirektivs grænseværdier for 2030 (EU, 2008; 2024) bliver også inddraget i vurderingen af niveauerne.

Kvælstofdioxid

WHO's retningslinje for årsmiddelværdien af kvælstofdioxid er reduceret fra 40 µg/m³ til 10 µg/m³ i forbindelse med revisionen af retningslinjerne i 2021 (WHO, 2021), hvilket er en markant skærpelse. Målingerne fra 2023 viser, at årsmiddelværdierne er under denne retningslinje ved målestationerne i bybaggrund, forstad og landbaggrund. For gademålestationerne er årsmiddelkoncentrationerne over retningslinjen undtagen i Odense, hvor årsmiddelværdien er på samme niveau som retningslinjen. Denne forskel mellem Odense og de tre øvrige byer skyldes formentligt den omfattende trafikomlægning i Odense centrum, som har medført mindre biltrafik.

Målingerne ved målestationerne i 2023 peger derfor på, at størstedelen af den danske befolkning eksponeres for luftforurening med kvælstofdioxid, som ligger lavere end WHO's retningslinje fra 2021 for langtidseksponering for kvælstofdioxid. Kun ved de meste trafikerede gader ses eksponering af befolkningen for årsmiddelkoncentrationer over WHO's retningslinje.

For WHO's nye retningslinje for korttidseksponering for kvælstofdioxid baseret på døgnmiddelværdier ses samme billede som for årsmiddelværdierne. Ved alle gademålestationerne ligger 99%-fraktilen af døgnmiddelværdierne over retningslinjen (Tabel 1), men gademålestationen i Odense har dog en mindre overskridelse end de andre gadestationer. For alle de øvrige stationer, er måleresultaterne på eller under 99%-fraktilen.

De nye forslag til grænseværdier for kvælstofdioxid i EU overholdes allerede i 2023 ved alle målestationer bortset fra gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard i København, hvor grænseværdien for årsmiddelkoncentrationerne er overskredet med omkring 10 %. Grænseværdierne træder først i kraft fra 2030, og inden da forventes årsmiddelkoncentrationerne ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard at være faldet til under grænseværdien.

Der er målt et stort fald i koncentrationerne af kvælstofdioxid ved alle målestationerne i Danmark. Ekstrapolation af årsmiddelkoncentrationerne ved gademålestationerne ud fra prognoser for udledningerne af kvælstofoxider viser, at dette fald vil fortsætte frem mod 2040. For gademålestationen i Odense, så overholdes WHO's retningslinje allerede i 2023, og koncentrationerne forventes at komme til at ligge på under det halve af retningslinjen fra omkring 2035. I Aalborg ligger årsmiddelkoncentrationerne under retningslinjen for årsmiddelkoncentrationerne fra omkring 2030 og i Aarhus fra omkring 2032. Ved en af de mest trafikerede gader i København (H.C. Andersens Boulevard) forventes årsmiddelkoncentrationerne at ligge under retningslinjen for årsmiddelkoncentrationerne fra omkring 2035. Der er betydelig usikkerhed på denne type fremskrivninger.

Fine partikler, PM_{2,5}

WHO's retningslinje for årsmiddelværdien af PM_{2,5} er reduceret fra 10 µg/m³ til 5 µg/m³ i forbindelse med revisionen af retningslinjerne i 2021 (Tabel 1) (WHO, 2021). I 2023 lå årsmiddelværdierne ved alle målestationer over WHO's retningslinje fra 2021, mens WHO-retningslinjen fra 2006 var overholdt ved alle målestationerne.

Tabel 1. Oversigt over WHO's retningslinjer for fine partikler, PM₁₀ og kvælstofdioxid fra 2006 og 2021 (WHO, 2006 og 2021), EU's nugældende grænseværdier fra 2008 (EU, 2008) og de foreslåede nye grænseværdier, som forventes gældende i 2030 (EU, 2024). For korttidseksponering for fine partikler og kvælstofdioxid er WHO-retningslinjerne for døgnmiddelværdierne fastlagt på basis af 99%-fraktilen svarende til højest 3-4 overskridelser af den angivne værdi per kalenderår. EU's grænseværdi for korttidseksponering for fine partikler (PM_{2,5}) er angivet ved en døgnmiddelværdi, som må overskrides et vist antal gange per kalenderår. For kvælstofdioxid er EU's grænseværdi for korttidseksponering angivet ved en time- eller døgnmiddelværdi, som må overskrides et vist antal gange per kalenderår.

	WHO's retningslinjer			EU's grænseværdier			
	2006 µg/m ³	2021 µg/m ³	Antal overskridelser	2008 µg/m ³	Antal overskridelser	2024 µg/m ³	Antal overskridelser
Fine partikler							
<i>Langtidseksponering</i>							
Årsmiddelværdi	10	5		25		10	
<i>Korttidseksponering</i>							
Døgnmiddelværdi	25*	15*	3-4*			15	18
PM₁₀							
<i>Langtidseksponering</i>							
Årsmiddelværdi	20	15		40		20	
<i>Korttidseksponering</i>							
Døgnmiddelværdi	50*	45*	3-4*	50	35	45	18
Kvælstofdioxid							
<i>Langtidseksponering</i>							
Årsmiddelværdi	40	10		40		20	
<i>Korttidseksponering</i>							
Timemiddelværdi	200	200		200	18	200	3
Døgnmiddelværdi		25*	3-4*			50	18

*99%-fraktilen, hvilket betyder, at den angivne værdi må overskrides svarende til 3-4 gange per kalenderår

Ved gademålestationerne ligger årsmiddelværdierne omkring 40-70 % over retningslinjen, mens årsmiddelværdierne ligger mellem 25 og 40 % over ved målestationerne i bybaggrund, forstad og landbaggrund. En bybaggrundsmålestation er placeret i byområder i en vis afstand fra lokale kilder, herunder vejtrafik. I Danmark er disse målestationer placeret på et højt tag eller i forbindelse med en park. En forstadsmålestation er placeret i typisk forstadsområde eller parcelhusområde, hvor der kan være et betydeligt bidrag fra brændefyring. En landbaggrundsmålestation er placeret uden for byerne i et område uden væsentlige lokale kilder. Disse målestationer betegnes også som regionale baggrundsmålestationer. Koncentrationer målt ved en bybaggrundsmålestation er på påvirket af emissioner fra udlandet, Danmark og byens emissioner og det samme ved en forstadsmålestation, men sen landbaggrundsmålestation mest er påvirket af emissioner fra udlandet og Danmark dvs. langtransporteret luftforurening.

Der er dermed tale om en relativt geografisk jævn fordeling af overskridelserne, om end overskridelserne er lidt højere ved gademålestationerne end ved de øvrige målestationer. Årsagen til dette billede er, at en meget stor del af PM_{2,5} kommer fra langtransport af PM_{2,5}, hvoraf udenlandske kilder udgør en betydelig andel. Ved gademålestationerne kommer der også PM_{2,5} fra den lokale vejtrafik, men relativt set så udgør dette bidrag en langt mindre andel end sammenlignet med kvælstofdioxid.

WHO's retningslinjer for korttidseksponering for PM_{2,5} (Tabel 1) er overskredet ved alle målestationerne, og det gælder både for den gamle og den nye retningslinje for døgnmiddelværdierne. Ligesom for årsmiddelværdierne, så er overskridelserne relativt ensartede ved alle målestationerne om end, der er

lidt større overskridelser ved gademålestationerne end ved de øvrige målestationer. Årsagen er, at en stor del af PM_{2,5} er langtransporteret med luften og dermed jævnt fordelt over landet. Når der ses episoder med høje koncentrationer, så skyldes disse episoder i langt de fleste tilfælde meteorologiske forhold, som øger langtransport af forurenede luft fra udlandet til Danmark.

De nye forslag til grænseværdier for PM_{2,5} i EU (Tabel 1) overholdes allerede i 2023 ved alle målestationer.

I luftkvalitetsdirektivet er det muligt at fratække bidrag fra naturlige kilder og vintersaltning af vejene, hvilket WHO's retningslinjer ikke forholder sig til. Hvis årsmiddelværdierne for PM_{2,5} korrigeres for bidrag fra naturlige kilder og vintersaltning af vejene, som det er muligt ved afgørelse af overholdelse af grænseværdier, så overholdes WHO-retningslinjen for årsmiddelværdierne af PM_{2,5} ved en enkelt gademålestation, mens der er overskridelse ved de tre øvrige. Størst forskel ses ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard, hvor den korrigerede årsmiddelværdi ligger omkring 30 % over retningslinjen for årsmiddelværdierne.

Målingerne af årsmiddelkoncentrationerne for PM_{2,5} viser et betydeligt fald i koncentrationerne ved alle målestationerne. Faldet er ensartet, hvilket skyldes, at PM_{2,5} stammer fra langtransporteret PM_{2,5}, hvoraf den største andel stammer fra udenlandske kilder.

Ved opdeling af PM_{2,5} i gadebidrag, bybaggrundsbidrag og landbaggrundsbidrag ses, at landbaggrundsbidraget er langt det største, mens bybaggrundsbidraget er det mindste, og gadebidraget er lidt højere end bybaggrundsbidraget.

Det er ikke muligt at udarbejde den samme form for ekstrapolation af målingerne af koncentrationerne for PM_{2,5} som for kvælstofdioxid, hvilket hænger sammen med, at PM_{2,5} kommer fra mange forskellige typer af kilder, og at en stor del af PM_{2,5} dannes via de kemiske reaktioner i luften. Derfor anvendes DCE's luftkvalitetsmodeller til fremskrivning af koncentrationerne for PM_{2,5} frem mod 2030.

For gadebidraget er det dog muligt at ekstrapolere udviklingstendensen baseret på målingerne og prognoserne for udledningerne fra vejtrafikken, som er den eneste kilde til gadebidraget for PM_{2,5}. Prognoserne for udviklingen fra 2022 frem til 2040 peger på et fald på omkring 10 % i PM_{2,5} fra vejtrafik fra 2022 og frem til 2040 på landsplan. Dette fald er en kombination af stigende trafik og indfasningen af el-køretøjerne. Ved målestationerne i byerne har trafikken imidlertid været nogenlunde konstant over en længere årrække, så der kan forventes et lidt større fald frem mod 2040.

Hvis den samlede luftforurening med PM_{2,5} på de stærkt trafikerede gader skal bringes ned til eller under WHO's retningslinje for årsmiddelværdien af PM_{2,5}, så skal faldet hovedsageligt komme fra et fald i landbaggrundsbidraget, da bybaggrundsbidraget er lille og gadebidraget kun forventes at falde lidt. Det er landbaggrundsbidraget, som skal reduceres for, at det er muligt at komme under WHO's retningslinje.

Landbaggrundsbidraget kommer for langt hovedparten fra udenlandske kilder, så en overholdelse af WHO's retningslinjer på gadeniveau vil komme til

at afhænge af det internationale samarbejde om reduktion af udledninger i EU, Europa og på globalt plan.

PM₁₀

WHO's retningslinje for årsmiddelværdien af PM₁₀ er reduceret fra 20 µg/m³ til 15 µg/m³ (Tabel 1) i forbindelse med revisionen af retningslinjerne i 2021 (WHO, 2021). I 2023 lå årsmiddelværdierne ved alle målestationer under WHO's retningslinje fra 2021, bortset fra gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard. Her lå årsmiddelværdien på 20 µg/m³ og dermed blev retningslinjen fra 2006 overholdt, men årsmiddelværdien lå omkring 33 % over retningslinjen fra 2021. WHO's retningslinje for korttidseksponering for PM₁₀ var overholdt i 2023 ved alle målestationerne.

Målingerne ved målestationerne i 2023 peger derfor på, at den generelle danske befolkning eksponeres for luftforurening med PM₁₀, som ligger lavere end WHO's retningslinjer fra 2021. Kun ved de allermest trafikerede gader eksponeres befolkningen for koncentrationer over WHO's retningslinjer for PM₁₀.

Hvis årsmiddelværdierne for PM₁₀ korrigeres for bidrag fra naturlige kilder og vintersaltning af vejene, så overholdes retningslinjen for årsmiddelværdierne af PM₁₀ ved alle målestationerne inklusive gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard.

De nye forslag til grænseværdier for PM₁₀ i EU (Tabel 1) (EU, 2024) overholdes allerede i 2023 ved alle målestationer.

Målingerne af årsmiddelkoncentrationerne for PM₁₀ viser et betydeligt fald i koncentrationerne ved alle målestationerne. Faldet er ensartet, fordi PM₁₀ hovedsageligt stammer fra langtransporteret PM₁₀, hvoraf den største andel kommer fra udenlandske kilder.

Ved opdeling af PM₁₀ i gadebidrag, bybaggrundsbidrag og landbaggrundsbidrag ses, at landbaggrundsbidraget er langt det største, mens bybaggrundsbidraget er det mindste. Gadebidraget udgør en mere betydelig andel end tilfældet var for PM_{2,5}. Årsagen er, at der kommer et større bidrag til PM₁₀ fra vej-, dæk- og bremseslid, end der gør for PM_{2,5}.

Som for PM_{2,5} er det ikke muligt at udarbejde den samme form for ekstrapolation af målinger af koncentrationerne for PM₁₀ som for kvælstofdioxid. Fremskrivning af koncentrationerne af PM₁₀ gøres i stedet med DCE's luftkvalitetsmodeller.

Der er ikke udarbejdet prognoser for udledningerne af PM₁₀ fra vejtrafik frem mod 2040, men det er givet, at gadebidraget fra PM₁₀ vil følge en tilsvarende udvikling som for PM_{2,5}. Derfor forventes det, at gadebidraget for PM₁₀ vil falde lidt mod 2040 ved gademålestationerne, hvor trafikken forventes at være konstant.

Hvis den samlede luftforurening med PM₁₀ på de stærkt trafikerede gader skal bringes ned til eller under WHO's retningslinje for årsmiddelværdien af PM₁₀, så skal faldet hovedsageligt komme fra et fald i landbaggrundsbidraget, da bybaggrundsbidraget er lille, og gadebidraget forventes svagt stigende baseret på nuværende prognoser for udledningerne. Landbaggrundsbidraget kommer for langt hovedparten fra udenlandske kilder, så en overholdelse af WHO's retningslinjer ved trafikale hotspots som H.C. Andersens Boulevard

vil komme til at afhænge af det internationale samarbejde om reduktion af udledninger i EU, Europa og på globalt plan.

Modelleret fremtidig luftkvalitet i 2030

Modelberegninger af den fremtidige luftkvalitet i 2030 er tidligere udført i et projekt for Miljøministeriet om Nationalt program for reduktion af luftforurening - NAPCP (Jensen et al., 2023a) samt et nordisk projekt (Jensen et al., 2023b). Begge projekter er baseret på fremskrivning af emissioner ud fra eksisterende vedtagne tiltag, også på engelsk kaldet "frozen policy". Der er gennemført beregninger for NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀.

Begge projekter viser faldende koncentrationer i bybaggrund. Koncentrationerne af NO₂ i bybaggrund i 2030 i København vil være under WHO's retningslinje på 10 µg/m³, men lidt over WHO's retningslinje for PM_{2,5} på 5 µg/m³, også selvom bidraget fra naturlige kilder fratrækkes. Da der både er usikkerhed i modelberegningerne og bidraget fra naturlige kilder i fremtiden, er der også usikkerhed om koncentrationerne af PM_{2,5} vil være omkring WHO's retningslinje eller lidt over i 2030. Målingerne af PM₁₀ er allerede under WHO's retningslinje på 15 µg/m³ og vil også være det i 2030 pga. faldende koncentrationer.

Det er kun NAPCP-projektet, som har beregnet gadekoncentrationer for PM_{2,5} for 99 gader i København, og disse falder også frem mod 2030. I 2030 må det forventes, at en del trafikerede gader overskrider WHO's retningslinje på 10 µg/m³. Næsten alle gader må forventes at overskride WHO's retningslinjer for PM_{2,5} på 5 µg/m³, da bybaggrund er tæt på 5 µg/m³. I 2030 må en del gader formodes at overskride WHO's retningslinje på 15 µg/m³.

Potentiale ved hurtigere elektrificering af bilparken

Miljøministeriets spørgsmål: Hvad vil en hurtigere elektrificering af bilparken betyde?

Elbiler har ingen NO_x-udstødning, så hvis der kun var elektriske køretøjer i de 99 trafikerede gader i København i 2030 ville der ikke være overskridelser af WHO's retningslinje, da bybaggrundskoncentrationen er under retningslinjen.

For partikeludstødning er billedet lidt mere kompleks. Sammenlignes en gennemsnitlig elbil med en gennemsnitlig benzin/dieselbil med Euronorm 6, har elbiler lidt større udledninger af partikler fra vej- og dækslid, men markant lavere udledninger fra bremseslid, og selvfølgelig intet udstødningsbidrag. Samlet set fører elbiler til lavere partikeludledninger fra udstødning og ikke-udstødning i forhold til fossilbiler. I procent er den samlede PM_{2,5}-udledning for elbiler omkring 18 % lavere set i forhold til fossilbiler. For Jagtvej i København i 2022 udgør vejtrafikkens samlede partikelbidrag fra udstødning og ikke-udstødning omkring 1,3 µg/m³ på gadeniveau, som kunne reduceres med omkring 18 % ved overgang til elektriske køretøjer svarende til en reduktion på omkring 0,23 µg/m³.

Potentiale ved øget regulering af opvarmning af private boliger

Miljøministeriets spørgsmål: Hvilket potentiale er der i forhold til opvarmning af private boliger, herunder yderligere regulering af brændeovne og øget udbredelse af varmepumper?

Der er en politisk målsætning om at udfase fossil individuel boligopvarmning med gas- og oliefyr i 2035 (Regeringen, 2022). Analysen fokuserer på NO_x og partikler, da en yderligere reduktion heri ville kunne føre til hurtigere opfyldelse af WHO's retningslinjer for NO₂ og PM_{2,5}.

Naturgasfyr udgør 10 % af NO_x-emissionerne og tilnærmelsesvis 0 % (0,03 %) af partikelemissionen, og oliefyr udgør 16 % af NO_x-emissionerne og tilnærmelsesvis 0 % (0,3%) af partikelemissionen i forhold til de samlede emissioner for privat boligopvarmning i 2021. I forhold til de totale danske emissioner fra alle kilder udgør privat boligopvarmning med gas- og oliefyr kun 0,6 % for NO_x og 0,2 % for PM_{2,5}. Disse emissioners bidrag til baggrundskoncentration af NO₂ og PM_{2,5} i Danmark er derfor marginale.

I forbindelse med udfasning af gas- og oliefyr vil effekten heraf afhænge af de alternative opvarmningsformer, som der skiftes til. Dette er belyst ved at sammenligne emissionsfaktorer per energienhed for forskellige opvarmningsformer.

Udskiftning af gasfyr vil føre til højere NO_x-emissioner, da emissionsfaktorerne er højere for alternative opvarmningsformer (varmepumper, pillefyr, fjernvarme), mens udskiftning af oliefyr til varmepumper tyder på lavere NO_x-emissioner, mens NO_x-emissionerne vil være højere for pillefyr og fjernvarme. Samlet set er der ikke nogen entydig gevinst for reduktion af emissionen af NO_x ved udfasning af olie- og gasfyr.

Gasfyr har lavere partikelemissioner end varmepumper, og langt lavere emissioner end fx pillefyr og også lavere emissioner end fjernvarme på træpiller. Så alle alternativer vil føre til højere partikelemissioner ved udfasning af gasfyr. Kun varmepumper har potentiale for i fremtiden at have lavere partikelemissioner i takt med den grønne omstilling af strømproduktionen. Oliefyr har højere emissioner end varmepumper, så udskiftning af oliefyr med varmepumpe vil føre til lavere partikelemissioner og det samme gælder ved skift til fjernvarme fra kraftværk. Skiftes oliefyr til fjernvarmeværk eller individuel brændefyring vil partikelemissionerne stige.

Da emissionerne fra gas- og oliefyr udgør en mindre del af de samlede emissioner fra privat boligopvarmning, og udgør en endnu mindre del af de samlede danske emissioner fra alle kilder, og der ikke er entydige gevinster for NO_x og partikler ved udskiftning til alternativerne vil hurtigere udskiftning heller ikke bidrage til hurtigere opfyldelse af WHO's retningslinjer for luftkvalitet. Det er kun overgang til varmepumper, som på sigt vil kunne bidrage til gevinster for NO_x og partikler i takt med endnu mere sol- og vindenergi i den fremtidige strømproduktion. Samlet vurderes udfasning af gas- og oliefyr at have marginal indflydelse på luftkvaliteten af NO₂ og PM_{2,5}.

Brændeovne bruges hovedsageligt som en sekundær varmekilde, mens træpillefyr bruges som primær varmekilde. I den nationale emissionsopgørelse for 2021 står brændeovne og træpillefyr for hhv. 65 % og 13 % af partikelemissionen fra privat boligopvarmning og hhv. 31 % og 37 % af NO_x-emissionen.

Alle kommuner har mulighed for at forbyde ældre brændeovne fra før 2008 i områder med kollektiv varmeforsyning. DCE har tidligere for Odense Kommune estimeret effekt heraf (Jensen et al, 2022). Den største effekt af forbuddet ses for partikelemissionerne, hvor der estimeres en reduktion på 52 % for både PM₁₀ og PM_{2,5}. For NO_x estimeres en reduktion på 3 %.

Forbud mod ældre brændeovne har væsentligt effekt for især partikelemissionen, men hvordan vil det påvirke luftkvaliteten? Dette er belyst i samme undersøgelse for Odense Kommune. Brændeovnes bidrag til bybaggrundsluftforureningen som middel over Odense Kommune i 2019 blev beregnet til 0,24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for $\text{PM}_{2,5}$ og 0,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for NO_2 , og udgør det maksimale potentiale for regulering af brændeovne. Forbuddet mod ældre brændeovne blev estimeret til at reducere koncentrationen i bybaggrundsluften med omkring 0,13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for $\text{PM}_{2,5}$ og 0,002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for NO_2 .

Brændeovnes bidrag til bybaggrundsluftforureningen er også blevet beregnet for Københavns Kommune for 2022, hvor den som middel over Københavns Kommune var 0,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for $\text{PM}_{2,5}$ og 0,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for NO_2 , hvilket udgør det maksimale potentiale for regulering af brændeovne (Jensen et al., 2024a). Københavns Kommune har færre brændeovne per indbygger end Odense Kommune og mindre brændeforbrug, da stort set hele kommunen har kollektiv varmforsyning.

Som det fremgår af ovenstående, er potentialet for regulering af brændeovne omkring 0,24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for baggrundsluften af $\text{PM}_{2,5}$ i Odense Kommune og omkring 0,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i Københavns Kommune, og omkring halvdelen kan realiseret ved forbud mod ældre brændeovne før 2008, mens reduktionen for NO_2 er meget lille. Regulering af brændeovne har derfor et vist potentiale for at fremrykke overholdelse af WHO's retningslinjer for $\text{PM}_{2,5}$.

Betydning af omstilling af energisektoren i lyset af krigen i Ukraine

Miljøministeriets spørgsmål: Hvilken betydning omstillingen af energisektoren har, blandt andet set i lyset af krigen i Ukraine (skift væk fra naturgas – måske flere vindmølleparker)?

Problemstillingen er sammenlignelig med spørgsmålet omkring udfasning af gasfyr i Danmark. Spørgsmålet er belyst ved at analysere, hvor meget naturgas udgør i den danske emissionsopgørelse og udenlandske emissionsopgørelser inden for de forskellige sektorer. Dette er gjort for at illustrere potentialet for reduktion af emissionerne, og for at kunne diskutere mulige effekter ved skift til andre teknologier som kraftværk/fjernvarme samt sol- og vindenergi. Som en indikator for udenlandske emissioner er Tyskland taget som eksempel. Endvidere er anvendt luftkvalitetsberegninger for bidraget fra energisektoren i Europa til baggrundskoncentrationen over Danmark.

Hvis de tyske emissioner knyttet til naturgas inden for energisektoren tages som pejlemærke for naturgassens bidrag til emissioner i Europa kan koncentrationsbidraget til Danmark skønnes ud fra dette. Tyske emissioner knyttet til naturgas udgjorde 29 % og 2 % for hhv. NO_x og $\text{PM}_{2,5}$ i forhold til den tyske energisektor. Dvs. koncentrationsbidraget til Danmark knyttet til udenlandsk naturgas er 29 % af 0,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lig 0,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for NO_2 og 2 % af 0,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lig 0,005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for $\text{PM}_{2,5}$. Disse koncentrationsbidrag er under alle omstændigheder marginale, men vil øges, hvis naturgas bliver erstattet af andre fossile eller biomassebaserede brændsler, og kun reduceres ved erstatning med sol- og vindenergi.

Betydning af reguleringen af international skibstrafik

Miljøministeriets spørgsmål: Hvilken betydning har reguleringen af international skibstrafik, herunder betydningen af usikkerhed om effekten af Tier III regulering i NECA-områder?

Den europæiske del af NECA-området (NO_x Emission Control Areas) omfatter Nordsøen og Østersøen. Det er IMO (International Maritime Organization), som fastsætter emissionskravene til skibe. Skibe efter emissionsnormer kaldet Tier 0, I, II, og III, hvor emissionskravene løbende er blevet skærpet.

Tier 3 for den europæiske del af NECA gælder for skibe køllagt efter den 1. januar 2021, og stiller krav om 80 % reduktion i NO_x-emission i forhold til Tier 1. Disse reduktioner kan opnås gennem installation af SCR (Selective Catalytic Reduction). SO₂ er også reguleret ved hjælp af lovkrav til det maksimalt tilladte svovlindhold i brændstoffet, som blev reduceret fra 1,5 % til 0,1 % d. 1. januar 2015. Svovlkrav gælder alle skibe uanset køllægningsdato. En sideeffekt heraf er, at dette også reducerer partikelemissionen.

Modelberegninger viser, at skibe bidrager til ca. 26 % af NO₂-koncentrationen som gennemsnit over Danmark i 2022 og til ca. 12 % af PM_{2,5}-koncentrationerne. Dette svarer til omkring 1,2 µg/m³ for NO₂ og omkring 0,7 µg/m³ for PM_{2,5}. Da der er tale om en gennemsnitskoncentration over Danmark er koncentrationsniveauer ikke geografisk jævnt fordelt men højere tæt på skibsruterne omkring Danmark og lavere længere væk. Dette udgør derfor potentialet for bidrag til målopfyldelse af WHO's retningslinjer ved regulering af skibstrafikken, hvor både den hidtidige regulering samt den nye Tier III-regulering vil have en effekt.

Som følge af Tier III-regulering fra 2021 og tidligere regulering forventes en gradvis reduktion af NO_x-emissionen fra skibstrafik i de danske områder på lang sigt, efterhånden som de ældre skibe udfases. Målinger af skibes emission i drift har vist, at skibe i danske farvande sejler relativt langsomt og med lav motorbelastning. Tier III-skibe vil i stor udstrækning benytte SCR-katalysatorer til at nedbringe NO_x-emissionen, og for disse skibe vil der nok stadig være forøgede NO_x-emissioner ved de laveste sejlhastigheder, svarende til meget lav motorbelastning, hvor røggastemperaturen er lav, og SCR-katalysatoren derfor har en ringe virkningsgrad. Den fulde effekt af Tier III-reguleringen slår derfor formodentligt ikke igennem pga. af de relativt lave sejlhastigheder og lav motorbelastning for skibe i danske farvande.

Regulering af skibsemmissioner vha. Tier III-krav vil fortsat bidrage til overholdelse af WHO-retningslinjer for koncentrationen af NO₂ i fremtiden, men det er uden for national lovgivning at fremrykke overholdelse, da emissioner reguleres gennem IMO. Den fulde effekt af regulering af svovlindholdet i brændstoffet og deraf reduktion af koncentrationsbidrag af SO₂ og partikler indtraf allerede i 2015, så der kan ikke forventes yderligere reduktion af koncentrationen af PM_{2,5} i fremtiden som følge af Tier III.

Betydning af det nye luftkvalitetsdirektiv for regulering af emissioner

Miljøministeriets spørgsmål: Hvilken betydning udviklingen har i andre lande, herunder om det nye luftkvalitetsdirektiv vil give en effekt ud over det, der følger af NEC (og vores NAPCP)?

NAPCP står på engelsk for NAPCP - National Air Pollution Control Programme) og på dansk for Nationalt program for reduktion af luftforurening. DCE har for Miljøministeriet gennemført beregninger for den fremtidige luftkvalitet i 2030 baseret på allerede vedtagne politiske tiltag dvs. Energistyrelsens basisfremskrivning af emissioner ("frozen policy"). I forudsætningerne for beregningerne er brugt krav stillet i henhold til EU-direktivet fra 2016 om

nationale reduktionsforpligtelser (NEC-direktivet - National Emission Ceilings). De gældende emissionskrav for de enkelte medlemslande i 2030 er lagt til grund eller medlemslandenes egne fremskrivninger, hvis disse er under emissionskravene.

Hvilken potentiel effekt, yderligere emissionsreduktioner i andre europæiske lande som følge af det reviderede luftkvalitetsdirektiv kan forventes at få for baggrundskoncentrationen i Danmark, er belyst ud fra EU-Kommissionens konsekvensvurdering af forslag til luftkvalitetsdirektiv (Impact Assessment Report). EU-Kommissionen har undersøgt tre forskellige scenarier for målopfyldelse af WHO-retningslinjer (Partial alignment, Closer alignment, Full alignment) og gennemført beregninger af baggrundskoncentrationerne over Europa i bl.a. 2030. "Full alignment" betyder, at de nye grænseværdier skal opfylde WHO's retningslinjer i 2030, "Closer alignment" betyder, at nye grænseværdier skal være tæt på at opfylde WHO's retningslinjer i 2030, og "Partial alignment" betyder højere grænseværdier, der kun delvist opfylder WHO's retningslinjer. Der er også regnet på et maksimalt teknologiscenarie, som kræver yderligere tiltag (MTFR). MTFR-scenariet minimerer emissionerne ved at tage hensyn til alle tilgængelige end-of-pipe-teknologier uanset omkostninger og repræsenterer således den maksimale emissionsreduktion, der kan opnås med tekniske foranstaltninger. På engelsk står MTFR for Maximum Technical Feasible Reduction.

Beregningerne viser, at både Partial -, Closer - og Full alignment fører til, at der ikke modelleres overskridelse af baggrundskoncentrationer af PM_{2,5} i 2030 i forhold til WHO's retningslinje i Danmark, hvilket er en forbedring i forhold til basisscenariet i 2030, hvor der var overskridelser i baggrundskoncentrationerne i Sønderjylland. Det viser, at de forudsætninger om emissioner, som ligger bag ved disse scenarier, har lavere emissioner end i basisscenariet, og dermed forudsætter yderligere emissionstiltag for at opfylde et revideret luftkvalitetsdirektiv. De yderligere emissionstiltag vil være større i Full alignment i forhold til Partial alignment, men det er ikke muligt at udtrække disse forskelle af baggrundsmaterialet, og kvantificere betydningen for Danmark. Det samme gælder for MTFR-scenariet, hvor emissionsreduktionen vil være endnu større.

1 Indledning

1.1 Baggrund for projektet

Dette notat er udarbejdet i forbindelse med et projekt som DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi har gennemført for Miljøministeriet i sommeren og tidligt efterår af 2024. Formålet med projektet er at vurdere Danmarks muligheder for at overholde WHO's retningslinjer for luftkvalitet fra 2021 (WHO, 2021) herunder om det er muligt at gennemføre tiltag til at fremrykke overholdelsen af WHO's retningslinjer.

Miljøministeriet har stillet følgende spørgsmål:

- Hvornår forventes det, at WHO's retningslinjer for luftkvalitet overholdes på henholdsvis baggrundslokationer og i hele landet (inklusive hotspots som for eksempel trafikerede gader)?
- Hvilken betydning har korrektion for bidrag fra naturlige kilder og vintersaltning af veje? Dette er kun relevant for PM_{2,5} og PM₁₀.
- Hvad vil en hurtigere elektrificering af bilparken betyde?
- Hvilket potentiale er der i forhold til opvarmning af private boliger, herunder yderligere regulering af brændeovne og øget udbredelse af varmepumper.
- Hvilken betydning har omstillingen af energisektoren, blandt andet set i lyset af krigen i Ukraine (skift væk fra naturgas - måske flere vindmølleparker)?
- Hvilken betydning har reguleringen af international skibstrafik, herunder betydningen af usikkerhed om effekten af Tier 3 regulering i NECA-områder?
- Hvilken betydning har udviklingen i andre lande, herunder om det nye luftkvalitetsdirektiv vil give en effekt ud over det, der følger af NEC (og vores NAPCP)?

Det er besluttet, at projektet afgrænses til at omfatte analyser og vurderinger for NO₂ (kvælstofdioxid), PM_{2,5} (fine partikler), PM₁₀ og kvælstofdioxid, som alle tre er luftforureningskomponenter med betydning for de helbredsskadelige effekter af luftforureningen i Danmark dog med langt den største helbredsbyrde knyttet til PM_{2,5}.

Projektet er opdelt i to dele, hvor første del er baseret på resultaterne fra de omfattende målinger af NO₂, PM_{2,5}, PM₁₀ i det danske luftkvalitetsovervågningsprogram under NOVANA (Ellermann et al., 2024a,b). Målingerne sammenlignes med WHO's retningslinjer, og det vurderes i hvilket omfang luftkvaliteten i Danmark overholder retningslinjerne. Anden del er baseret på resultaterne fra eksisterende beregninger med DCE's luftkvalitetsmodeller af den fremtidige luftkvalitet i 2030, og forsøger også at give en vurdering af betydningen for luftkvaliteten af NO₂ og PM_{2,5} af de reguleringer, som Miljøministeriets spørgsmål adresserer.

1.2 Nye retningslinjer fra WHO og forslag til nye grænseværdier fra EU

WHO kom i 2021 med en række nye retningslinjer for luftkvalitet for de vigtigste luftforureningskomponenter med helbredsskadelige effekter for mennesker (WHO, 2021). Disse nye retningslinjer er baseret på den nyeste forskning om de helbredsskadelige effekter ved eksponering for luftforurening med blandt andet PM_{2,5} (fine partikler), PM₁₀ og kvælstofdioxid. Opdateringen af retningslinjerne har medført en væsentlig nedsættelse af retningslinjerne for både langtids- og korttidseksponering for disse luftforureningskomponenter. Retningslinjerne fra WHO er fagligt baserede anbefalinger, og de er ikke bindende.

EU er i færd med at revidere luftkvalitetsdirektivet, som angiver bindende grænseværdier for blandt andet PM_{2,5} (fine partikler), PM₁₀ og kvælstofdioxid (EU, 2024). Et af målene med revisionen er at opnå bedre overensstemmelse mellem retningslinjerne fra WHO og EU's grænseværdier. Forslaget til nyt EU-luftkvalitetsdirektiv lægger derfor op til en nedsættelse af de nugældende grænseværdier fra 2008 (EU, 2008), hvor forslaget til grænseværdier for 2030 dog ikke er helt så lave, som de nye retningslinjer fra WHO. Det revideret luftkvalitetsdirektiv forventes vedtaget i slutningen af 2024.

1.3 Notatets opbygning

Målinger

Notatet indeholder et kapitel for hver af luftforureningskomponenterne, hvor de seneste målinger fra 2023 (Ellermann et al., 2024a) sammenlignes med WHO's retningslinjer fra både 2006 og 2021 for langtids- og korttidseksponering for disse luftforureningskomponenter. Langtidseksponeringen vurderes på basis af årsmiddelværdier, mens korttidseksponeringen vurderes på basis af time- eller døgnmiddelværdier.

Notatet har fokus på retningslinjerne fra WHO, men EU's gældende grænseværdier, og forslaget til nye grænseværdier for 2030 (EU, 2008; 2024) bliver også inddraget i vurderingen af niveauerne.

I forbindelse med vurdering af overholdelse af EU's målsætninger for luftkvalitet er det tilladt at fratække bidragene af naturlige kilder inden vurdering af overholdelsen af målsætningerne. Ligeledes er det muligt at fratække bidraget fra saltning og grusning af vejene om vinteren, hvor der under danske forhold primært anvendes saltning. Dette er relevant for PM_{2,5} og PM₁₀, hvor der er et stort bidrag fra disse kilder. I forbindelse med WHO's retningslinjer omtales ikke en tilsvarende mulighed for fratækning af naturlige kilder og bidrag fra vintersaltning. Selv om WHO ikke omtaler muligheden for at korrigere for disse bidrag, så er det besluttet både at vurdere muligheden for overholdelse af WHO's retningslinjer uden og med fratækning af de naturlige bidrag og bidrag fra vintersaltning. Dette vil dog kun blive gjort for årsmiddelværdierne, da det inden for rammerne af dette projekt ikke har været muligt at gennemføre tilsvarende analyse for døgnmiddelværdierne af PM_{2,5} og PM₁₀.

Der er også gennemført en vurdering af udviklingstendenserne for koncentrationerne for hver af de tre luftforureningskomponenter, og i det omfang det er muligt, er der udarbejdet et skøn over den forventede udviklingstendens frem mod 2040. Målet med dette er at vurdere mulighederne for over-

holdelse af retningslinjerne i løbet af den kommende årrække, såfremt luftkvaliteten ikke allerede overholder WHO's retningslinjer. Vurderingen er baseret på en ekstrapolation af målingerne frem mod 2040 ud fra DCE's prognoser for udviklingen i udledningerne (Nielsen et al., 2023).

Analyse ud fra modelberegninger og emissionsopgørelser

Den anden del er baseret på de seneste modelberegnete fremskrivninger af luftkvaliteten samt eksisterende analyser, som kan bidrage til at svare på de stillede spørgsmål.

Den fremtidige luftkvalitet i 2030 er belyst i et NAPCP-projekt for Miljøministeriet (Jensen et al, 2023a) samt i et nordisk projekt (Jensen et al, 2023b). Begge disse projekter ligger til grund for en vurdering af, hvad luftkvaliteten i baggrundsluften og i gader i 2030 forventes at være i forhold til WHO-retningslinjer baseret på modelberegninger. Disse beregninger er baseret på allerede vedtagne politiske tiltag dvs. Energistyrelsens basisfremskrivning af emissioner ("frozen policy").

Miljøministeriet øvrige spørgsmål om mulig effekt af yderligere tiltag, og hvordan dette kunne have betydning for opfyldelse af WHO's retningslinjer herunder fremskyndelse af opfyldelsen er diskuteret med udgangspunkt i analyser ude fra emissionsopgørelser og tidligere gennemførte luftkvalitetsberegninger, da det ikke har været muligt inden for projektets rammer at gennemføre nye luftkvalitetsberegninger.

2 Udviklingstendenser for målinger af NO₂

2.1 WHO's retningslinjer og EU's grænseværdier for kvælstofdioxid

WHO skærpede i 2021 deres anbefalede retningslinje for langtidseksponering for kvælstofdioxid fra 40 µg/m³ i 2006 til 10 µg/m³ i 2021 (WHO, 2021). For korttidseksponering for kvælstofdioxid opretholdes retningslinjen for time-middelværdien af kvælstofdioxid, som angiver at timemiddelværdierne ikke må overskride 200 µg/m³ i et kalenderår. Der indføres yderligere en retningslinje af hensyn til korttidseksponeringen, som er baseret på døgnmiddelværdierne af kvælstofdioxid. Denne retningslinje angiver, at 99%-fraktilen af døgnmiddelværdierne ikke må overskride 25 µg/m³ i et kalenderår. Retningslinjerne er vejledende.

EU har i forbindelse med revision af luftkvalitetsdirektivet lagt op til en nedsettelse af grænseværdierne for langtidseksponering for kvælstofdioxid, hvilket betyder, at årsmiddelværdien foreslås reduceret fra 40 til 20 µg/m³ (EU, 2024). For korttidseksponering skærpes grænseværdien for timemiddelværdien, idet antallet af overskridelser af 200 µg/m³ reduceres fra 18 til 3 gange per kalenderår (EU, 2024). EU's grænseværdier er lovpligtigt bindende, og de nuværende grænseværdier skal være overholdt fra 2010, mens de foreslåede nye grænseværdier vil være gældende fra 2030. De foreslåede grænseværdier er planlagt vedtaget i EU i efteråret 2024.

Tabel 2.1 giver en oversigt over WHO's retningslinjer fra 2006 (WHO, 2006) og 2021 (WHO, 2021), de gældende grænseværdier (EU, 2008) og de foreslåede nye grænseværdier for 2030 (EU, 2024).

Tabel 2.1. Oversigt over WHO's retningslinjer for kvælstofdioxid fra 2006 og 2021 (WHO, 2006 og 2021), EU's nugældende grænseværdier fra 2008 (EU, 2008) og de foreslåede nye grænseværdier, som forventes gældende i 2030 (EU, 2024). For korttidseksponering er retningslinjerne for døgnmiddelværdien fastlagt på basis af 99%-fraktilen svarende til 3-4 overskridelser af den angivne værdi per kalenderår. For korttidseksponering er EU's grænseværdier angivet ved en værdi (time- eller døgnmiddelværdi), som må overskrides et vist antal gange per kalenderår.

	WHO's retningslinjer			EU's grænseværdier			
	2006 µg/m ³	2021 µg/m ³	Antal overskridelser	2008 µg/m ³	Antal overskridelser	2024 µg/m ³	Antal overskridelser
<i>Langtidseksponering</i>							
Årsmiddelværdi	40	10		40		20	
<i>Korttidseksponering</i>							
Timemiddelværdi	200	200		200	18	200	3
Døgnmiddelværdi		25*	3-4*			50	18

*99%-fraktilen, hvilket betyder, at den angivne værdi må overskrides svarende til 3-4 gange per kalenderår

2.2 Kvælstofdioxid i 2023 sammenlignet med målsætninger

Tabel 2.2 og Figur 2.1–2.5 giver oversigt over luftkvaliteten for kvælstofdioxid i 2023 sammenholdt med retningslinjerne fra WHO og grænseværdierne fra EU for alle målestationer i det nationale luftkvalitetsovervågningsprogram. Målestationerne er opdelt i fire typer:

- **Gademålestationer:** Målestationer placeret ved stærkt trafikerede gader, som repræsenterer den højeste forventede eksponering, som befolkningen udsættes for i de danske byer
- **Bybaggrundsmålestationer:** Målestationer placeret i områder, der ikke direkte er påvirket af udledninger fra større lokale kilder som for eksempel en stærkt trafikeret vej. De danske målestationer er placeret højt på et tag (København, Odense, Aalborg) eller i udkant af parkområde (Aarhus). Denne type målestationer giver information om den generelle befolknings-eksponering for luftforurening i byområder.
- **Forstadsmålestationer:** Målestationer i placering i forstadsområder i parcelhusområder. Denne type målestationer giver information om den typiske eksponering for luftforurening i boligområder i forstæderne.
- **Landbaggrundsmålestationer:** Målestationer placeret udenfor byerne og i områder uden større lokale kilder som for eksempel større husdyrproduktion. Denne type målestationer giver information om den generelle befolknings-eksponering for luftforurening i landområder.

I 2023 lå årsmiddelværdierne for alle målestationer under WHO's retningslinjer fra 2006 og under den nugældende grænseværdi fra EU (Tabel 2.2 og Figur 2.1). I forhold til det nye forslag til EU-grænseværdi for årsmiddelværdierne, så overholdes det ved målestationerne i bybaggrund, forstad og landbaggrund. Ved gademålestationerne ses overskridelse ved H.C. Andersens Boulevard, som er en af de meste trafikerede gader i Danmark, mens årsmiddelværdierne ved de øvrige tre målestationer ligger under forslaget til ny grænseværdi. Grænseværdien forventes først at skulle være overholdt i 2030. Da der forventes et relativt stort fald i kvælstofdioxidkoncentrationerne i den kommende årrække (Afsnit 2.3), så forventes der ikke at være problemer med overholdelse af det nye EU- forslag til grænseværdi for årsmiddelkoncentrationerne.

WHO's retningslinje for årsmiddelværdien af kvælstofdioxid ligger på kun 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, hvilket er det halve af den forventede EU-grænseværdi gældende for 2030. På trods af dette, så ligger årsmiddelværdierne under denne retningslinje ved målestationerne i bybaggrund, forstad og landbaggrund. For gademålestationerne ligger årsmiddelkoncentrationerne over retningslinjen undtagen i Odense, hvor årsmiddelværdien ligger på samme niveau som retningslinjen. Denne forskel mellem Odense og de tre øvrige byer skyldes formentlig den omfattende trafikomlægning i Odense centrum, som har medført mindre trafik.

Målingerne ved målestationerne i 2023 peger derfor på, at den generelle danske befolkning eksponeres for luftforurening med kvælstofdioxid, som ligger lavere end WHO's retningslinje fra 2021 for langtidseksponering for kvælstofdioxid. Kun ved de meste trafikerede gader ses hotspots, hvor befolkningen eksponeres for årsmiddelkoncentrationer over WHO's retningslinje.

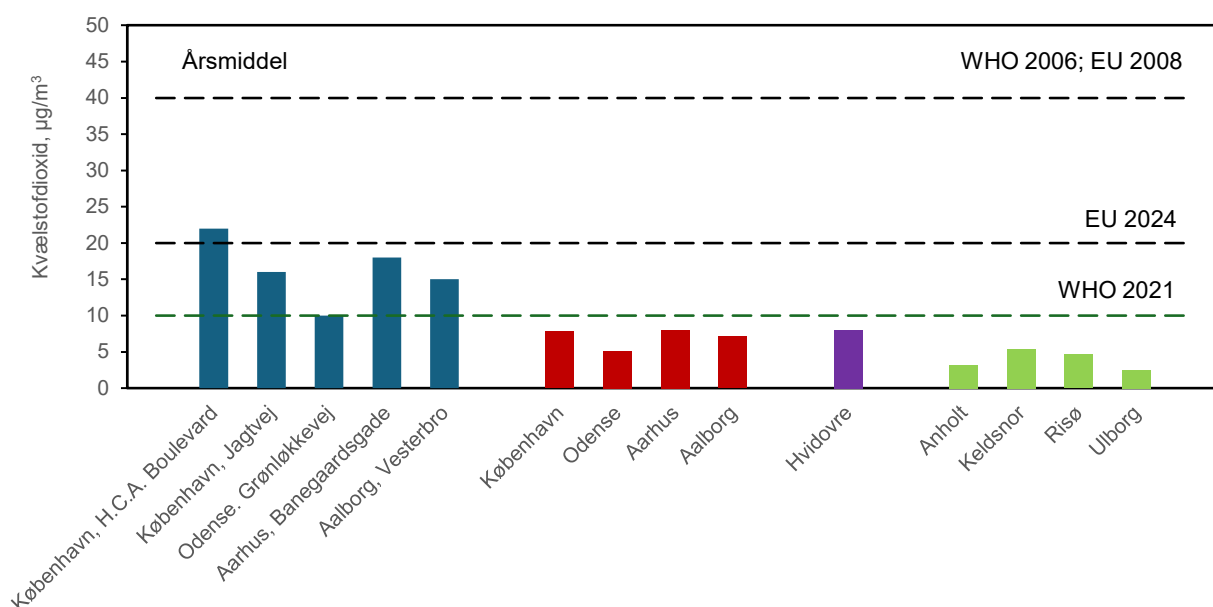
Tabel 2.2. Sammenligning mellem måleresultater for kvælstofdioxid fra de danske målestationer i 2023 og WHO's retningslinjer fra 2006, 2021 (WHO, 2006 og 2021) og EU's grænseværdier fra 2008 og de nye som forventes vedtaget i 2024 (EU, 2008, 2024). De gældende grænseværdier skal være overholdt fra 2010, mens de nye grænseværdier forventes at skulle overholdes fra 2030.

	Årsmiddel µg/m ³	Maksimal timemiddelværdi µg/m ³	Døgnmiddel 99%-fraktil µg/m ³	Døgnmiddel 18. højeste µg/m ³
WHO 2006	40	200		
WHO 2021	10	200	25#	
EU 2008	40	200*		
EU 2024	20	200**		50*
<i>Gade</i>				
København, H.C.A. Boulevard	22	129	43	37
København, Jagtvej	16	86	36	29
Odense, Grønløkkevej	10	81	28	20
Aarhus, Banegaardsgade	18	81	38	34
Aalborg, Vesterbro	15	104	39	31
<i>Bybaggrund</i>				
København	7,8	57	23	16
Odense	5,1	57	18	13
Aarhus	8,0	85	24	19
Aalborg	7,1	68	24	15
<i>Forstad</i>				
Hvidovre	8,0	62	25	18
<i>Landbaggrund</i>				
Anholt	3,2	51	12	8,7
Keldsnor	5,4	94	21	16
Risø	4,7	44	15	12
Ulborg	2,5	36	10	5,7

* Må ikke overskrides mere end 18 gange per kalenderår.

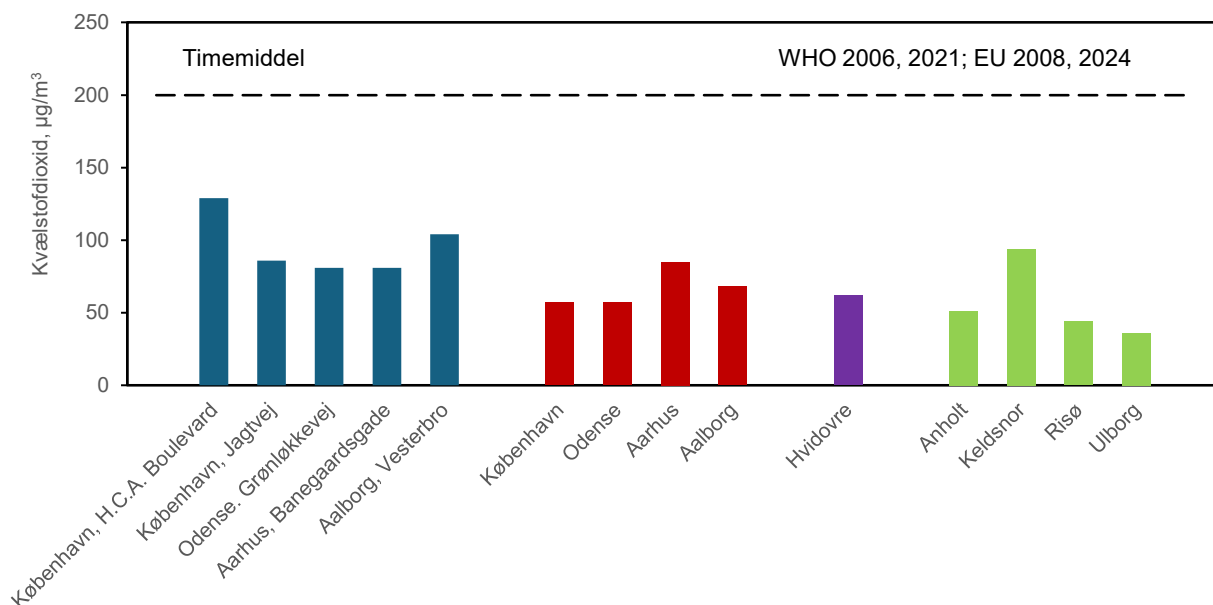
** Må ikke overskrides mere end 3 gange per kalenderår.

99%-fraktil, hvilket svarer til højst 3-4 overskridelser per kalenderår.



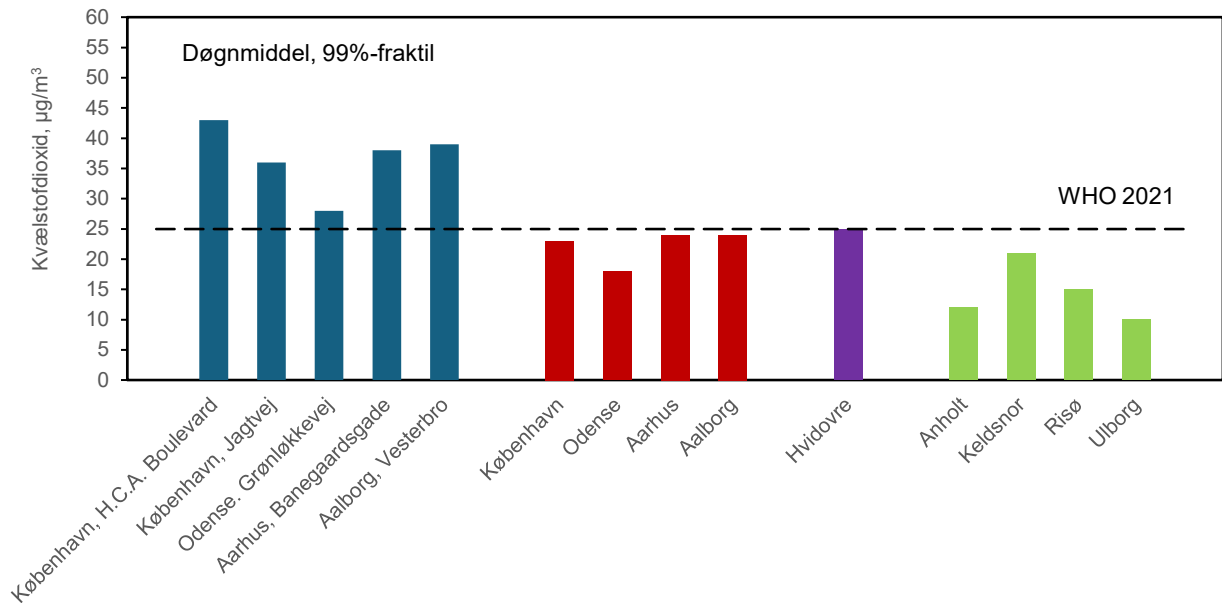
Figur 2.1. Årsmiddelværdier for kvælstofdioxid i 2023 ved målestationerne i det danske luftkvalitetsovervågningsprogram under NOVANA (Ellermann et al., 2024a) sammenlignet med WHO's retningslinjer fra 2006 og 2021 (WHO, 2006 og 2021), EU's nuværende grænseværdier (EU, 2008) og de forventede nye grænseværdier gældende fra 2030 (EU, 2024). Gademålestationer er angivet med blå søjler, bybaggrundsmålestationer med rødbrune søjler, forstad med lilla søjler og landbaggrundsmålestationer med grønne søjler.

Figur 2.2 viser den højeste timemiddelværdi for kvælstofdioxid ved alle målestationerne i 2023 sammenholdt med WHO's retningslinjer og EU's grænseværdier for timemiddelværdi. Retningslinjerne og grænseværdierne er defineret på lidt forskellig vis. WHO's retningslinjer angiver, at timemiddelværdierne ikke må overskride 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i et kalenderår (WHO, 2021). EU's gældende grænseværdi angiver, at 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ højest må overskrides 18 gange, mens den foreslåede nye grænseværdi angiver kun tre tilladte overskridelser (EU, 2024). Som det fremgår af Figur 2.2, så ligger selv den højeste timemiddelværdi væsentligt under de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, så derfor overholdes retningslinjer med stor margin, og de forventede nye grænseværdier ved alle målestationerne.



Figur 2.2. Den højeste timemiddelværdi for kvælstofdioxid i 2023 ved målestationerne i det danske luftkvalitetsovervågningsprogram under NOVANA (Ellermann et al., 2024a) sammenlignet med WHO's retningslinjer fra 2006 og 2021 (WHO, 2006, 2021), EU's nuværende grænseværdier (EU, 2008) og de forventede nye grænseværdier gældende fra 2030 (EU, 2024). Gademålestationer er angivet med blå søjler, bybaggrundsmålestationer med rødbrune søjler, forstad med lilla søjler og landbaggrundsmålestationer med grønne søjler.

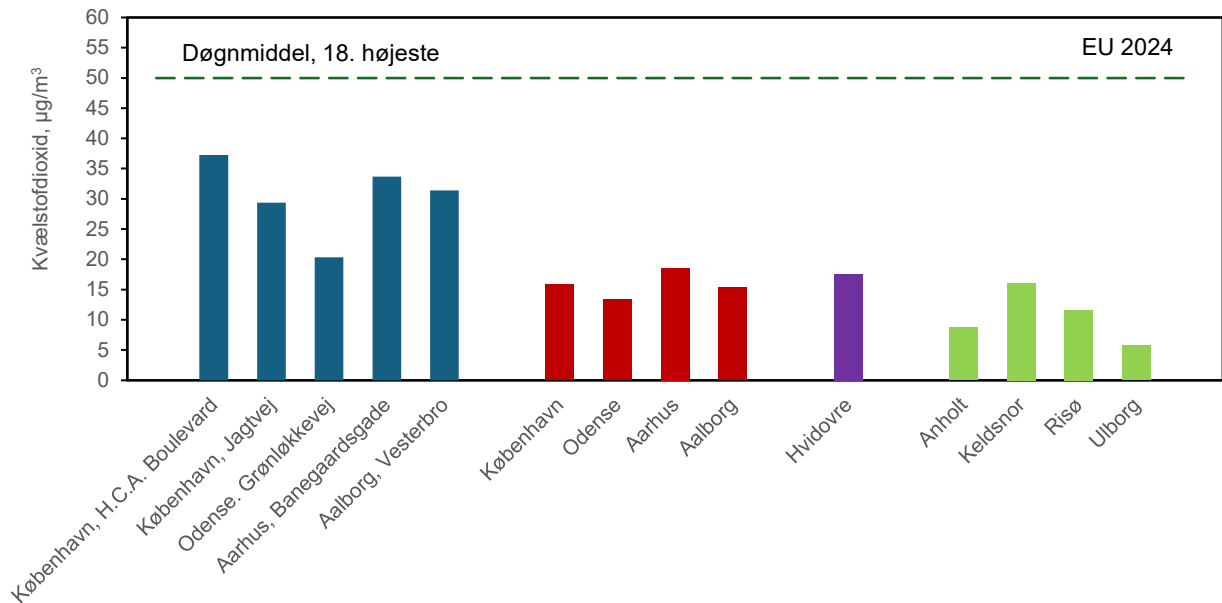
Ved den seneste revision indførte WHO en ny retningslinje for korttidseksponering for kvælstofdioxid baseret på døgnmiddelværdierne, hvor 99%-fraktilen ikke må overskride 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i et kalenderår (WHO, 2021), hvilket er en betydeligt skarpere retningslinje end den hidtidige retningslinje baseret på timemiddelværdien. Figur 2.3 viser 99%-fraktilen målt ved de danske målestationer i 2023. Ved gademålestationerne ligger 99%-fraktilen over retningslinjen, men under ved alle øvrige målestationer. Der ses derfor i store træk samme billede som for retningslinjen for årsmiddelværdien, bortset fra at der ved gademålestationen i Odense måles en 99%-fraktil, som kun er lidt over retningslinjen (omkring 10 % højere).



Figur 2.3. 99%-fraktilen for døgnmiddelværdierne for kvælstofdioxid for 2023 ved målestationerne i det danske luftkvalitetsovervågningsprogram under NOVANA (Ellermann et al., 2024a) sammenlignet med WHO's retningslinjer fra 2021 (WHO, 2021). Gademålestationer er angivet med blå søjler, bybaggrundsmålestationer med rødbrune søjler, forstad med lilla søjler og landbaggrundsmålestationer med grønne søjler.

I forslaget til nyt EU-luftkvalitetsdirektiv har EU ligeledes valgt at introducere en ny grænseværdi for korttids eksponeringen for kvælstofdioxid baseret på døgnmiddelværdierne. EU's foreslåede grænseværdi angiver, at døgnmiddelværdierne for kvælstofdioxid ikke må overskride $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mere end 18 gange per kalenderår. Man kan ikke umiddelbart sammenligne EU's forslag til grænseværdi med retningslinjerne fra WHO, da de er baseret på forskellige parametre for døgnmiddelkoncentrationerne. På trods af denne forskel så er det relativt tydeligt, at EU's forslag tillader betydeligt højere døgnmiddelværdier end retningslinjen for døgnmiddelværdien fra WHO (EU, 2024; WHO, 2021).

Figur 2.4 viser den 18. højeste målte døgnmiddelværdi i 2023. Som det fremgår, ligger denne værdi betydeligt under $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ved samtlige målestationer, hvilket viser at Danmark allerede overholder det nye forslag til grænseværdi baseret på døgnmiddelkoncentrationer.



Figur 2.4. 18. højeste døgnmiddelværdi for kvælstofdioxid i 2023 ved målestationerne i det danske luftkvalitetsovervågningsprogram under NOVANA (Ellermann et al., 2024a) sammenlignet med de forventede nye grænseværdier gældende fra 2030 (EU, 2024). Gademålestationer er angivet med blå søjler, bybaggrundsmålestationer med rødbrune søjler, forstad med lilla søjler og landbaggrundsmålestationer med grønne søjler.

2.3 Udviklingstendens og prognoser

Målinger

Kvælstofdioxid stammer fra udledningerne af kvælstofoxider fra forbrændingsprocesser, hvor udledninger fra vejtrafik, andre mobile kilder, fossil energiindustri og landbrug er de væsentligste kilder i Danmark (Ellermann et al., 2024b). Ved at sammenholde udviklingstendens for målte niveauer af kvælstofdioxid med prognoser for udviklingen i udledningerne af kvælstofoxider kan man ekstrapolere den kommende udvikling i koncentrationerne af kvælstofdioxid og om, hvornår det vil være muligt at overholde WHO's retningslinjer for kvælstofdioxid.

Vi har valgt kun at lave denne vurdering for retningslinjerne for årsmiddelværdierne målt ved gademålestationer og ikke for døgnmiddelværdierne. Dette hænger sammen med, at der i store træk ses samme billede for de to retningslinjer, idet begge retningslinjer overholdes for målestationerne i bybaggrund, forstad og landbaggrund, mens begge retningslinjer overskrides ved gademålestationerne. Dog er der overholdelse for årsmiddelværdierne for gademålestationen i Odense, som per 2023 lige netop er kommet på niveau med retningslinjen for årsmiddelværdien.

Vurdering af den fremtidige udvikling i årsmiddelkoncentrationerne af kvælstofdioxid ved gademålestationerne er udført ved at benytte en metode, hvor koncentrationerne opdeles i tre bidrag:

- **Gadebidraget:** Bidraget fra vejtrafikken på den gadestrækning, hvor målestationen er placeret. Gadebidraget estimeres ved forskellen mellem årsmiddelværdierne ved gademålestationen og bybaggrundsmålestationen.
- **Bybaggrundsbidraget:** Byens mere generelle bidrag til luftforureningen med kvælstofdioxid. Bybaggrundsbidraget stammer fra de mange forskel-

lige kilder i byen. Udledninger fra vejtrafik er ansvarlig for mere end halvdelen af koncentrationsniveauet og fossil energiindustri er den næstvigtigste kilde til bybaggrundsbidraget i København (Jensen et al., 2024a).

- **Landbaggrundsbidraget:** Bidrag fra kilder uden for byerne og den langtransporterede kvælstofdioxid fra nationale og udenlandske kilder og international skibstrafik.

Fordelen ved denne opdeling er blandt andet, at man nemmere kan sammenligne udviklingstendens for de målte bidrag med udviklingstendens for udledningerne fra de forskellige typer af kilder.

Figur 2.5 viser den målte udvikling i perioden 2014-2023 for gademålestationerne i de seneste 10 år opdelt i gadebidrag, bybaggrundsbidrag og landbaggrundsbidrag. Alle tre bidrag er faldet markant i de seneste 10 år.

Gadebidraget er det største bidrag, hvilket tydeligt ses ved H.C. Andersens Boulevard i København. Ved gademålestationerne ses meget forskelligt gadebidrag, hvilket afspejler trafikmængden og omgivelserne (for eksempel bygningerne og vejbredden) ved gademålestationerne. Til gengæld er der stort set samme udviklingsforløb for alle målestationer.

Bybaggrundsbidraget var tilbage i 2014 omtrent af samme størrelse ved alle gademålestationerne, og der ses stort set samme udviklingstendens, og et relativt fald, der minder meget om det fald, der ses for gadebidraget. Odense adskiller sig dog væsentligt fra dette mønster, hvilket skyldes trafikoplægningen i Odense centrum.

Landbaggrundsbidraget varierer i størrelse mellem de fire landbaggrundsstationer, hvilket skyldes den geografiske variation i baggrundskoncentrationerne for kvælstofdioxid hen over landet. Da Risø ligger tæt på København, så er Risø anvendt i forbindelse med beregning af bybaggrundsbidraget for København. Der ligger ikke landbaggrundsstationer tæt på de tre andre byer, så derfor er landbaggrundsbidraget estimeret ud fra middelværdien af målingerne ved de fire landbaggrundsstationer. Det er også denne middelværdi, som er anvendt til at estimere bybaggrundsbidraget for Odense, Aarhus og Aalborg.

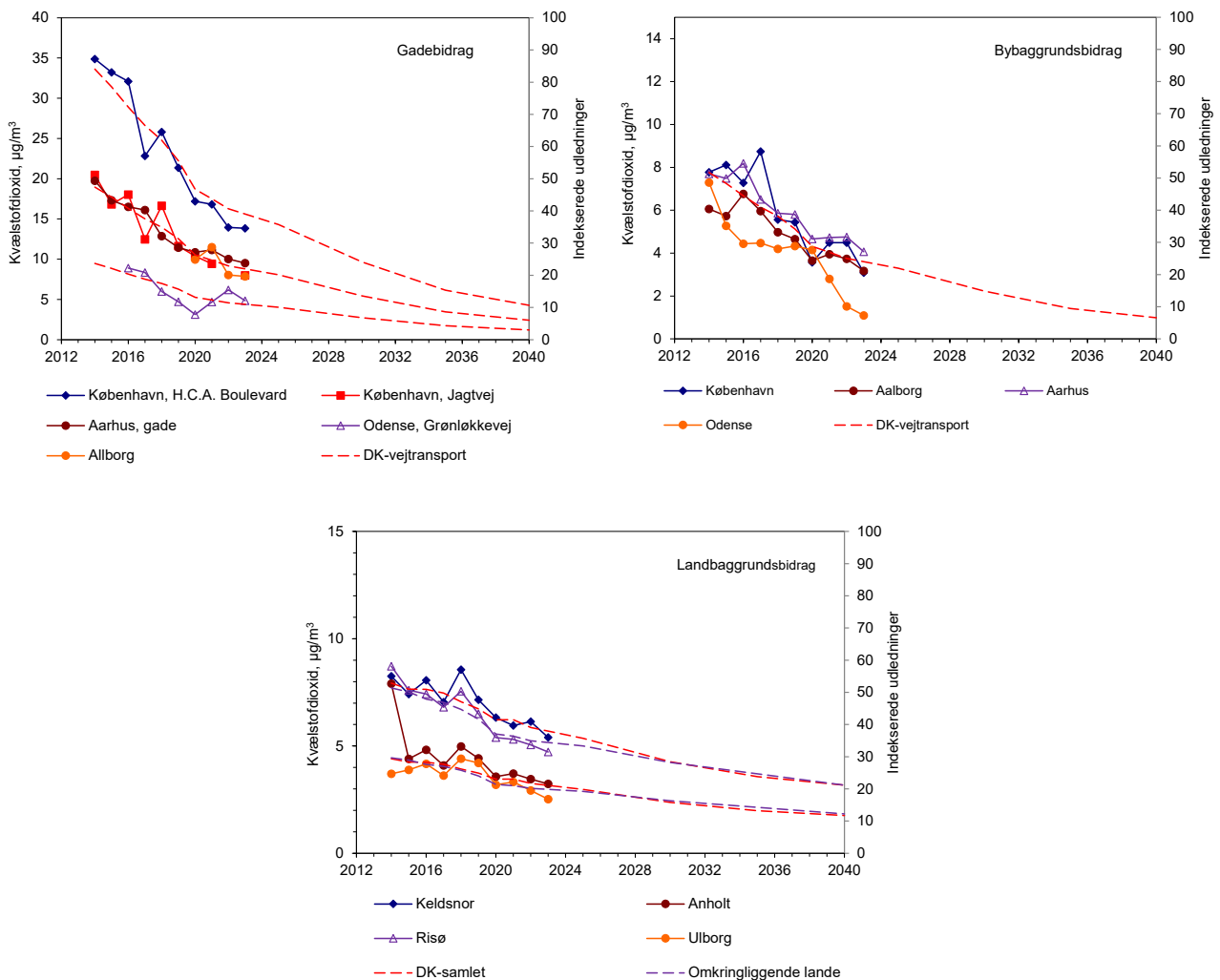
Figur 2.5 viser også udviklingen i perioden 2014-2023 og prognoser for udledningerne af kvælstofoxider (Nielsen et al., 2023). Udviklingen for gadebidraget er sammenlignet med udviklingen for udledningerne fra vejtrafik på nationalt plan, hvilket hænger sammen med, at vejtrafikken er den væsentligste kilde til gadebidraget for kvælstofdioxid. For alle gademålestationerne ses god overensstemmelse mellem udviklingen i gadebidraget og udledningerne fra vejtrafik. Prognoserne for udviklingen af udledningerne af kvælstofoxider fra vejtrafikken forventes derfor at give et relativt pålideligt bud på, hvordan udviklingstendensen for gadebidraget må forventes at blive. På basis heraf vurderes det at gadebidraget formentligt vil blive reduceret til omkring en fjerdedel fra 2022 til 2040.

Den væsentligste kilde til bybaggrundsbidraget er udledningerne fra vejtrafik (Jensen et al., 2024a), så derfor er udviklingen i bybaggrundsbidraget sammenlignet med udviklingen for udledningerne fra vejtrafikken i hele Danmark. Her ses også en god sammenhæng, når der ses bort fra Odense, hvor det ekstra store fald skyldes trafikoplægningen i bymidten. Derfor forventes ligeledes et fald i bybaggrundsbidraget til omkring en fjerdedel frem mod

2040. I København er energisektoren den næststørste kilde til bybaggrundsbidraget (Jensen et al, 2024) og udledningerne fra denne sektor forventes på landsplan at falde med omkring 40 % fra 2022 til 2040 (Nielsen et al., 2023). Den samlede ændring fra 2022 til 2040 er derfor lidt mindre end vurderet alene på baggrund af prognoserne for faldet i udledningerne fra vejtrafikken.

Kvælstofdioxid i landbaggrund stammer mere bredt fra alle de danske kilder med et bidrag fra udenlandske kilder og navnlig et stort bidrag fra skibstrafik. Derfor er der i Figur 2.5 foretaget en sammenligning af udviklingen for koncentrationerne af kvælstofdioxid med ændringerne i de samlede udledninger fra danske kilder og kilder i de omkringliggende lande. Den relativt ens udvikling for udledningerne fra danske kilder og kilderne i de omkringliggende lande skyldes den fælles regulering af udledningerne inden for EU. Der ses en god overensstemmelse mellem udviklingen i koncentrationerne og udledningerne, hvilket indikerer, at prognoser for disse udledninger vil kunne anvendes til at vurdere den fremtidige udvikling i koncentrationerne i landbaggrundsbidraget.

Skibstrafikken spiller imidlertid også en stor rolle, men der foreligger ikke nær så gode opgørelser over udledningerne og prognoserne for udledningerne fra skibstrafik som for de landbaserede kilder. Geels et al. (2021) har udarbejdet prognoser for udviklingen i udledningerne fra skibstrafik i Norden, som viser, at der kan forventes et betragteligt fald i udledningerne frem mod 2030 og 2050, hvor prognoserne angiver en halvering af udledningerne i 2050. Dette svarer omtrent til de forventede ændringer i de samlede udledninger fra danske kilder og udledningerne i de omkringliggende lande. Derfor er det valgt at anvende udviklingen i udledningerne fra danske kilder og udledningerne i de omkringliggende kilder, som proxy for den fremtidige udvikling i koncentrationerne af kvælstofdioxid i landbaggrund.



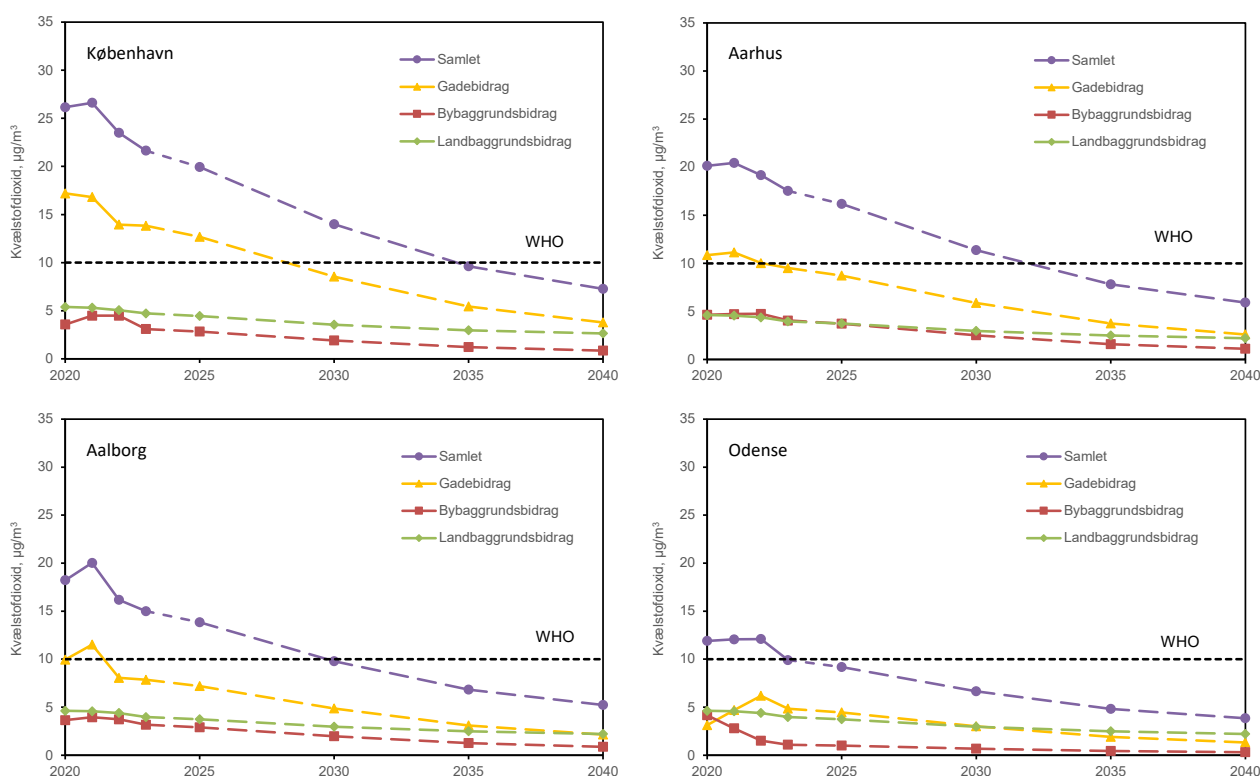
Figur 2.5. Udviklingen for årsmiddelkoncentrationen af kvælstofdioxid ved målestationerne i de seneste 10 år (2014-2023) sammenlignet med udviklingen og prognoser for udviklingen frem til 2040 (Ellermann et al., 2024a; Nielsen et al., 2023). De målte koncentrationer er opdelt i gadebidrag, bybaggrundsbidrag og landbaggrundsbidrag. Udviklingstendens for udledningerne er angivet på indekseret form. De er skaleret individuelt for de enkelte målestationer, så de visuelt passer bedst muligt til de målte årsmiddelkoncentrationer. Udviklingstendens for gadebidrag og bybaggrundsbidrag er sammenlignet med udviklingstendens og prognoser for udledningerne af kvælstofoxider fra vejtrafik i Danmark, mens udviklingstendens for landbaggrundsbidrag er sammenlignet med udviklingstendens for den samlede danske udledning af kvælstofoxider og den samlede udledning fra de omkringliggende lande (Storbritanien, Tyskland, Polen og Sverige). Udledningerne fra de omkringliggende lande er fra EMEPs emissionsdatabase (CEIP, 2024). For gadebidraget minder resultaterne fra Jagtvej og Aarhus - og Aalborg gade meget om hinanden, så derfor sammenlignes disse samlet med de skalerede udledninger fra vejtrafik. For bybaggrundsbidrag minder udviklingen for København, Aarhus og Aalborg om hinanden, så derfor sammenlignes disse samlet med den skalerede udvikling for udledningerne. For landbaggrundsbidrag minder Keldsnor og Risø om hinanden, så derfor sammenlignes de samlet med udviklingen for udledningerne fra danske kilder og de omkringliggende lande. Tilsvarende gælder for landbaggrundsbidrag fra Anholt og Ulborg.

Figur 2.6 viser fremskrivningerne for årsmiddelkoncentrationerne af kvælstofdioxid for de tre delbidrag og summen af disse ved gademålestationerne i København, Aarhus, Aalborg og Odense. For København er der taget udgangspunkt i resultaterne for H.C. Andersens Boulevard, hvor der er målt de højeste koncentrationer. Denne gademålestation anses for at repræsentere gadestrækninger med noget af den højeste forurening som ses fra vejtrafik i Danmark, idet det er en af de meste trafikerede gadestrækninger i landet.

Fremskrivningerne tager udgangspunkt i de målte årsmiddelkoncentrationer i 2023. Koncentrationen for 2024-2040 er herefter beregnet ved at gange de målte koncentrationer med den relative forventede ændring baseret på de

ovenfor beskrevne prognoser for udviklingen i udledningerne af kvælstofoxiderne frem mod 2025, 2030, 2035 og 2040.

Figur 2.6 angiver også WHO's opdaterede retningslinje for årsmiddelkoncentrationerne af kvælstofdioxid fra 2021 (WHO, 2021). Som allerede tidligere nævnt, så er WHO's retningslinje allerede overholdt i 2023 ved gademålestationen i Odense, og koncentrationerne forventes at komme til at ligge på under det halve af retningslinjen fra omkring 2035. I Aalborg ligger årsmiddelkoncentrationerne under retningslinjen for årsmiddelkoncentrationerne fra omkring 2030 og i Aarhus fra omkring 2032. Selv ved en af de mest trafikerede gader i København (H.C. Andersens Boulevard), så forventes årsmiddelkoncentrationerne at ligge under retningslinjen for årsmiddelkoncentrationerne fra omkring 2035.



Figur 2.6. Målte årsmiddelkoncentrationer for kvælstofdioxid fra 2020 til 2023 (fuldt optrukken linje) og ekstrapolation frem til 2040 (stiplet linje) for gademålestationerne i København (H.C. Andersens Boulevard), Aarhus (Banegaardsgade), Aalborg (Vesterbro) og Odense (Grønløkkevej). Figurene viser de samlede årsmiddelkoncentrationer samt gadebidrag, bybaggrundsbidrag og landbaggrundsbidrag. Endvidere angives WHO's retningslinje for årsmiddelkoncentrationerne for kvælstofdioxid fra 2021 (WHO, 2021). Landbaggrund for København er fra målestationen ved Risø, mens landbaggrund for de tre øvrige byer er gennemsnit af måleresultaterne fra landbaggrundsmålestationerne ved Risø, Keldsnor, Anholt og Ulborg.

3 Udviklingstendenser for målinger af PM_{2,5}

3.1 WHO's retningslinjer og EU's grænseværdier for PM_{2,5}

WHO reducerede i 2021 deres anbefalede retningslinje for langtidseksponering overfor PM_{2,5} fra 10 µg/m³ i 2006 til 5 µg/m³ i 2021 (WHO, 2021). Retningslinjen vedrørende korttidseksponering blev ligeledes strammet, idet retningslinjen for 99%-fraktilen af døgnmiddelværdierne for PM_{2,5} blev reduceret fra 25 til 15 µg/m³ (WHO, 2021).

I forbindelse med revision af luftkvalitetsdirektivet har EU lagt op til en nedsettelse af grænseværdierne for langtidseksponering for PM_{2,5} fra 25 til 10 µg/m³ (EU, 2024). EU har indtil videre ikke haft en grænseværdi for korttidseksponeringen for PM_{2,5}, men i det nye forslag til EU's luftkvalitetsdirektiv lægges op til indførelse af en ny grænseværdi baseret på døgnmiddelværdierne for PM_{2,5}. Den nye grænseværdi forventes fastlagt, så døgnmiddelværdierne ikke må overskride 25 µg/m³ mere end 18 gange i et kalenderår (EU, 2024). De foreslåede grænseværdier forventes vedtaget i EU i efteråret 2024.

Tabel 3.1 giver en oversigt over WHO's retningslinjer fra 2006 og 2021 (WHO, 2006 og 2021), de nugældende grænseværdier (EU, 2008) og de foreslåede nye grænseværdier for 2030 (EU 2024).

Tabel 3.1. Oversigt over WHO's retningslinjer for PM_{2,5} fra 2006 og 2021 (WHO, 2006 og 2021), EU's nugældende grænseværdier fra 2008 (EU, 2008) og de foreslåede nye grænseværdier, som forventes gældende i 2030 (EU, 2024). For korttidseksponering er retningslinjerne for døgnmiddelværdierne fastlagt på basis af 99%-fraktilen svarende til højst 3-4 overskridelser af den angivne værdi per kalenderår. EU's grænseværdi for korttidseksponering for PM_{2,5} er angivet ved en døgnmiddelværdi, som må overskrides et vist antal gange per kalenderår.

	WHO's retningslinjer			EU's grænseværdier			
	2006 µg/m ³	2021 µg/m ³	Antal overskridelser	2008 µg/m ³	Antal overskridelser	2024 µg/m ³	Antal overskridelser
<i>Langtidseksponering</i>							
Årsmiddelværdi	10	5		25		10	
<i>Korttidseksponering</i>							
Døgnmiddelværdi	25*	15*	3-4*			15	18

*99%-fraktilen, hvilket betyder, at den angivne værdi må overskrides svarende til 3-4 gange per kalenderår

3.2 PM_{2,5} i 2023 sammenlignet med målsætninger

Tabel 3.2 og Figur 3.1–3.3 giver oversigt over luftkvaliteten for PM_{2,5} i 2023 sammenholdt med retningslinjerne fra WHO og grænseværdierne fra EU for alle målestationerne i det nationale luftkvalitetsovervågningsprogram.

I 2023 var der desværre tekniske vanskeligheder med målingerne af PM_{2,5} ved de danske målestationer, hvilket skyldtes levering af partikelfiltre med en for dårlig kvalitet. Dette medførte, at resultaterne fra omtrent de fire første måneder er blevet erstattet med objektive estimater af de manglende data. Årsagerne til disse problemer og metoden anvendt til estimering af de manglende døgnmiddelværdier er beskrevet i Ellermann et al. (2024a). Det vurderes, at de objektive estimater er af tilstrækkelig god kvalitet til at give en korrekt beskrivelse af niveauerne i 2023 sammenholdt med retningslinjer og grænseværdier.

Tabel 3.2. Sammenligning mellem måleresultater for PM_{2,5} fra de danske målestationer i 2023 og WHO's retningslinjer fra 2006, 2021 (WHO, 2006 og 2021), EU's grænseværdier fra 2008 og de nye som forventes vedtaget i 2024 (EU, 2008, 2024). De gældende grænseværdier skal være overholdt fra 2010, mens de nye grænseværdier forventes at skulle overholdes fra 2030.

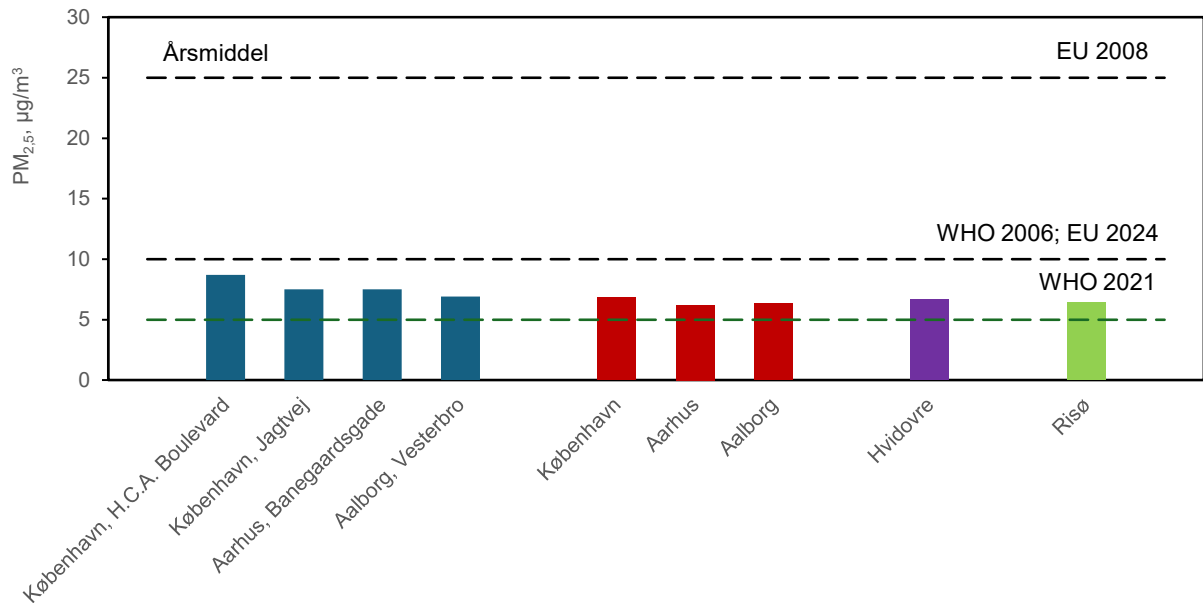
	Årsmiddel µg/m ³	Døgnmiddel 99%-fraktil µg/m ³	Døgnmiddel 18. højeste µg/m ³
WHO 2006	10	25[#]	
WHO 2021	5	15[#]	
EU 2008	25		
EU 2024	10		25*
<i>Gade</i>			
København, H.C. Andersens Boulevard	8,7	34	19
København, Jagtvej	7,5	31	17
Aarhus, Banegaardsgade	7,5	29	17
Aalborg, Vesterbro	6,9	27	16
<i>Bybaggrund</i>			
København	6,8	26	16
Aarhus	6,2	24	15
Aalborg	6,3	26	14
<i>Forstad</i>			
Hvidovre	6,7	24	15
<i>Landbaggrund</i>			
Risø	6,4	25	14

[#] 99%-fraktil, hvilket svarer til 3-4 overskridelser per kalenderår

* Må højest overskrides 18 gange per kalenderår

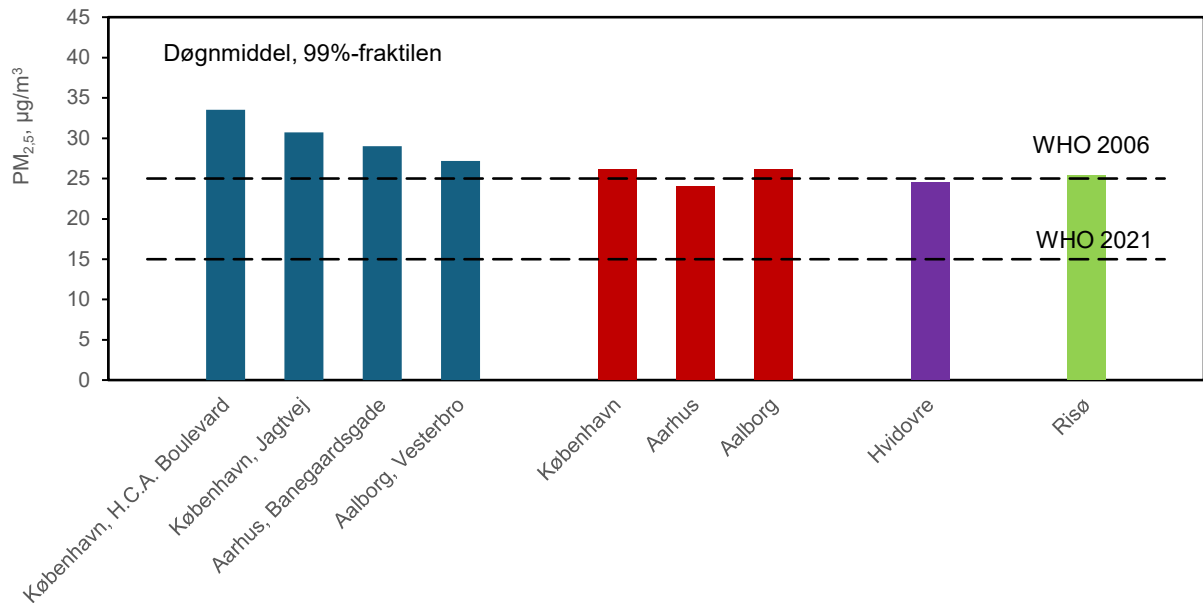
I 2023 lå årsmiddelværdierne fra alle målestationer under WHO's retningslinjer fra 2006 og under den nugældende grænseværdi fra EU (Tabel 3.2 og Figur 3.1) og det med en relativt god margin. Årsmiddelværdierne overholder også allerede det nye forslag til EU-grænseværdi ved alle målestationerne. WHO's retningslinje for årsmiddelværdien af PM_{2,5} fra 2021 ligger på kun 5 µg/m³, og her ligger årsmiddelværdierne alle over retningslinjen.

Ved gademålestationerne ligger årsmiddelværdierne omkring 40-70 % over WHO-2021-retningslinjen, mens årsmiddelværdierne ligger mellem 25 og 40 % over ved målestationerne i bybaggrund, forstad og landbaggrund. Der er dermed tale om en geografisk relativt jævn fordeling af overskridelserne, om end overskridelserne ligger lidt højere ved gademålestationerne end ved de øvrige målestationer. Årsagen til dette billede er, at en stor del af PM_{2,5} kommer fra langtransport af PM_{2,5} hvoraf udenlandske kilder udgør en betydelig andel. Der kommer også PM_{2,5} fra den lokale vejtrafik ved gademålestationerne, men relativt set så udgør dette bidrag en langt mindre andel end sammenlignet med kvælstofdioxid.



Figur 3.1. Årsmiddelværdier for $PM_{2,5}$ i 2023 ved målestationerne i det danske luftkvalitetsovervågningsprogram under NOVANA (Ellermann et al., 2024a) sammenlignet med WHO's retningslinjer fra 2006 og 2021 (WHO, 2006 og 2021), EU's nuværende grænseværdier (EU, 2008) og de forventede nye grænseværdier gældende fra 2030 (EU, 2024). Gademålestationer er angivet med blå søjler, bybaggrundsmålestationer med rødbrune søjler, forstad med lilla søjler og landbaggrundsmålestation med grøn søjler.

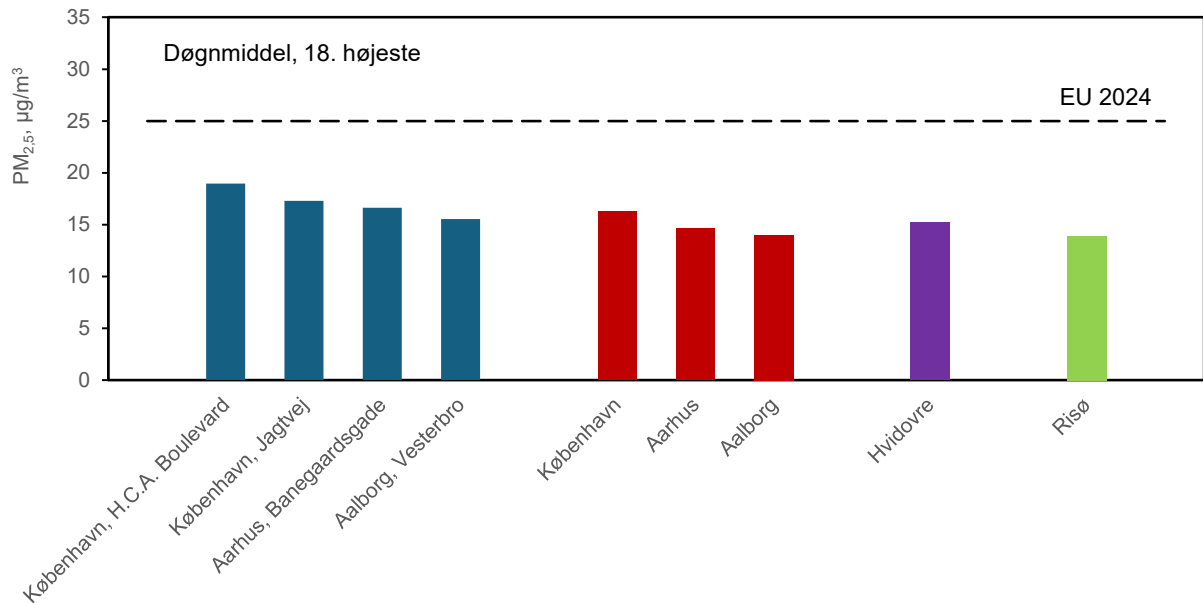
WHO's retningslinjer for korttidseksponering for $PM_{2,5}$ er fastlagt ud fra 99%-fraktilen af døgnmiddelværdierne, som i retningslinjerne fra 2006 ikke måtte overskride $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Denne værdi er skærpet til $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i retningslinjerne fra 2021. Figur 3.2 viser 99%-fraktilen af døgnmiddelværdierne målt ved de danske målestationer i 2023. Ved de fleste målestationer ligger 99%-fraktilen over den gamle retningslinje og alle målestationer ligger over den nye retningslinje. Ligesom for årsmiddelværdierne, så er 99%-fraktilen stort set den samme på alle målestationer, hvilket igen hænger sammen med, at en stor del af $PM_{2,5}$ er langtransporteret med luften og dermed jævnt fordelt over landet. Når der ses episoder med høje koncentrationer, så skyldes disse episoder i langt de fleste tilfælde meteorologiske forhold, som begunstiger langtransport af forurenede luft fra udlandet til Danmark og disse episoder dækker oftest hele landet. En anden faktor kan være bidrag til $PM_{2,5}$ fra for eksempel saltning af veje om vinteren, men dette sker oftest også på de samme tidspunkter af året, da der generelt set ikke er meget store forskelle mellem de meteorologiske forhold i de forskellige dele af Danmark.



Figur 3.2. 99% fraktile for døgnmiddelværdierne for PM_{2,5} for 2023 ved målestationerne i det danske luftkvalitetsovervågningsprogram under NOVANA (Ellermann et al., 2024a) sammenlignet med WHO's retningslinjer fra 2006 og 2021 (WHO, 2006 og 2021). Gademålestationer er angivet med blå søjler, bybaggrundsmålestationer med rødbrune søjler, forstad med lilla søjler og landbaggrundsmålestationer med grønne søjler.

I forslaget til nyt EU-luftkvalitetsdirektiv har EU valgt at introducere en ny grænseværdi for korttids eksponeringen for PM_{2,5} baseret på døgnmiddelværdierne (EU, 2024). EU's foreslåede grænseværdi angiver, at døgnmiddelværdierne for PM_{2,5} højst må overskride 25 µg/m³ 18 gange per kalenderår. Figur 3.3 viser den 18. højeste målte døgnmiddelværdi, og som det fremgår ligger denne værdi betydeligt under 25 µg/m³ ved samtlige målestationer. Danmark overholder dermed allerede denne grænseværdi, selv om den først træder i kraft i 2030.

WHO's retningslinje for døgnmiddelværdien af PM_{2,5} er skarpere end det nye forslag til grænseværdi for EU, hvilket ses af, at WHO's retningslinje fra 2021 overskrides ved alle målestationer, mens EU's forslag til ny grænseværdi overholdes med god margin på alle målestationerne. Hvis man går lidt mere ned i detaljerne, så er forskellen mellem overholdelsen af EU's forslag til ny grænseværdi, og den manglende overholdelse af WHO's retningslinjer mindre end det tilsyneladende ser ud. Det hænger sammen med den måde som grænseværdien og WHO's retningslinjer er defineret på sammenholdt med, at der i episoderne med de høje døgnmiddelværdier kan være væsentligt højere koncentrationer end man normalt måler under mere typiske forhold. Overskridelsen af WHO's retningslinje for døgnmiddelværdierne fra 2021 skyldes således kun 35 dage i 2023 med episoder med høje koncentrationer ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard og 13 dage med episoder med høje koncentrationer ved landbaggrundsmålestationen ved Risø. Antallet af overskridelser er gældende for 2023, hvor der er en lidt forhøjet usikkerhed på de præcise antal overskridelser grundet de ovenfor beskrevne problemer med filtrene til partikelopsamling. Der vil ud over dette være mindre variationer mellem årene grundet de naturlige variationer for de meteorologiske forhold, men selv om de præcise antal overskridelser kan variere mellem årene, så ændrer det ikke på den overordnede konklusion draget på basis af tallene for 2023.

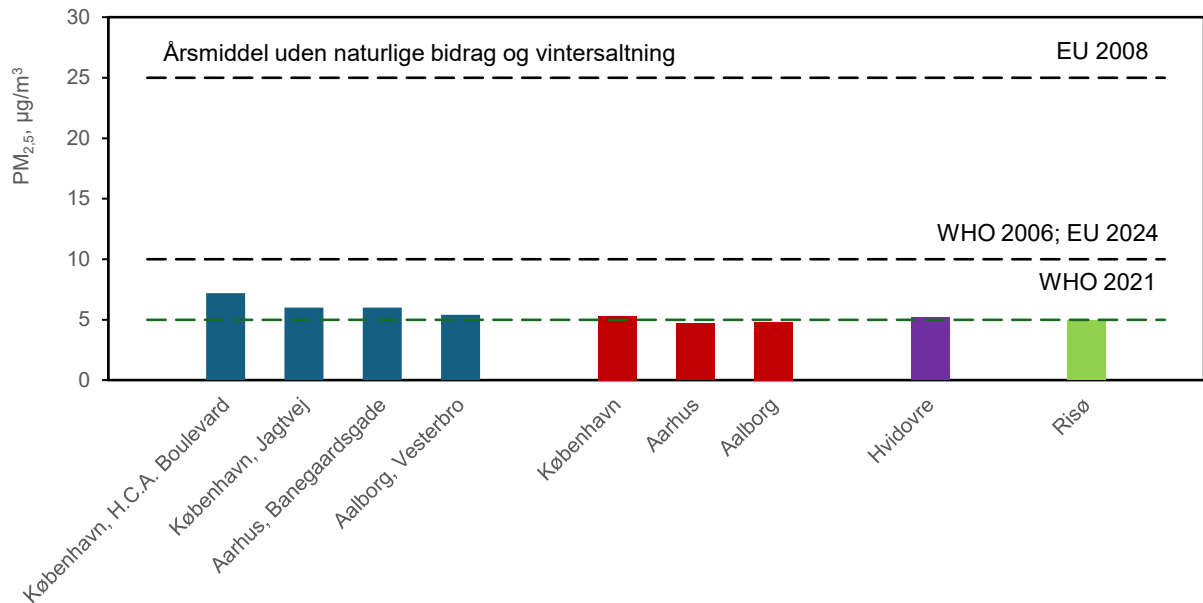


Figur 3.3. Den 18. højeste døgnmiddelværdi for PM_{2,5} i 2023 ved målestationerne i det danske luftkvalitetsovervågningsprogram under NOVANA (Ellermann et al., 2024a) sammenlignet med de forventede nye grænseværdier gældende fra 2030 (EU, 2024). Gademålestationer er angivet med blå søjler, bybaggrundsmålestationer med rødbrune søjler, forstad med lilla søjler og landbaggrundsmålestationen med grøn søjle.

3.3 Korrektion for vintersaltning og naturlige kilder til PM_{2,5}

EU's luftkvalitetsdirektiv specificerer, at det er muligt at korrigere for de naturlige bidrag til PM_{2,5} og bidrag fra vintersaltning af vejene, inden der laves vurdering om overholdelse af grænseværdierne (EU, 2024). Årsagen til dette er, at der er tale om bidrag, som det er svært at regulere og svært at gøre noget ved uden risiko for store konsekvenser for vejtrafikken. WHO har ikke angivet lignende betragtninger, men det er besluttet, at der i forbindelse med notatet også laves en sammenligning mellem WHO's nye retningslinjer og niveauerne for PM_{2,5} efter korrektion for de naturlige bidrag og bidrag fra vintersaltning.

I forbindelse med et tidligere projekt for Miljøministeriet (Ellermann et al., 2023) anvendte DCE en kombination af målinger og modelberegninger til at bestemme bidraget fra naturlige kilder og fra vintersaltning. Disse undersøgelser angav, at der for PM_{2,5} i gennemsnit for et år kunne korrigeres med 1,5 µg/m³. Figur 3.4 viser de målte årsmiddelværdier ved målestationerne efter korrektion med 1,5 µg/m³. Når der korrigeres for disse bidrag kan niveauerne i bybaggrund, forstad og landbaggrund reducere årsmiddelværdierne, så retningslinjen bliver overholdt, idet værdierne afrundes til heltal inden de sammenlignes med retningslinjerne. På gademålestationerne overholdes retningslinjen for årsmiddelværdierne ved en enkelt gademålestation, mens der er overskridelse ved de tre øvrige. Størst forskel ses ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard, hvor den korrigerede årsmiddelværdi ligger omkring 30 % over retningslinjen for årsmiddelværdierne. Ved vurdering af effekten af korrektion for det naturlige bidrag og bidrag fra vintersaltning, skal det tages med i betragtning, at der er stor usikkerhed på fastlæggelsen af bidraget fra disse kilder. Usikkerhederne er beskrevet nærmere i Ellermann et al. (2023).



Figur 3.4. Årsmiddelværdier for PM_{2,5} ved målestationerne i 2023 efter korrektion for naturligt bidrag og vintersaltning sammenlignet med WHO's retningslinjer fra 2006 og 2021 (WHO, 2006 og 2021), EU's nuværende grænseværdier (EU, 2008) og de forventede nye grænseværdier gældende fra 2030 (EU, 2024). Gademålestationer er angivet med blå søjler, bybaggrundsmålestationer med rødbrune søjler, forstad med lilla søjler og landbaggrundsmålestation med grøn søjle.

3.4 Udviklingstendens og prognoser

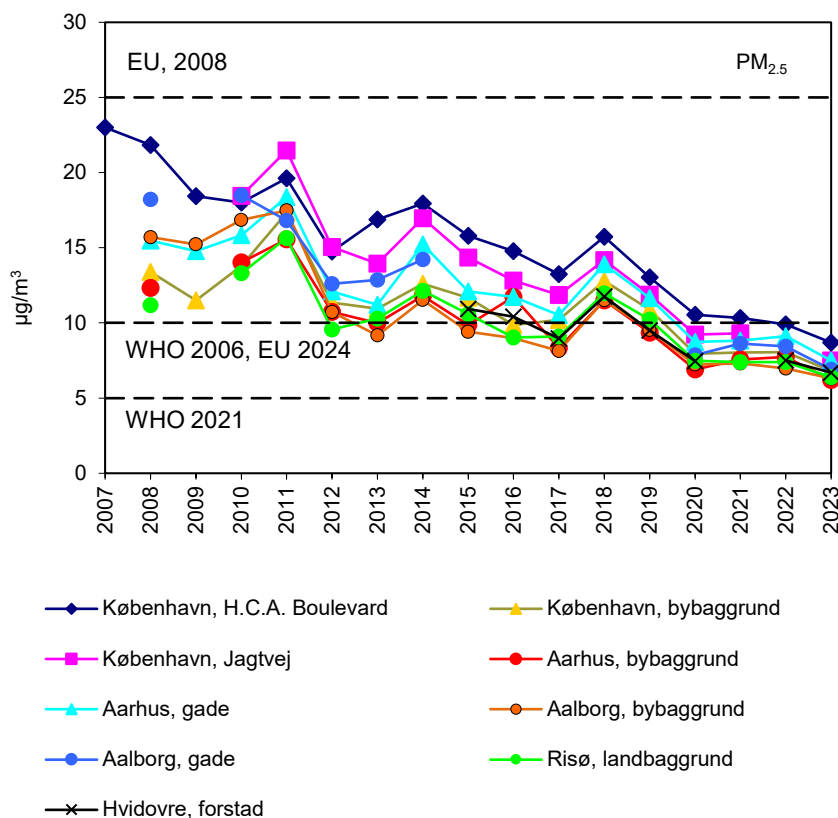
PM_{2,5} stammer fra direkte udledninger af partikler fra blandt andet forbrændingsprocesser, hvor boligopvarmning med fast brændsel udgør en stor del af de direkte udledte partikler (Ellermann et al., 2024b). Vejtrafikken bidrager også til de direkte udledte partikler, hvor en del stammer fra udstødningen og en stadig større andel stammer fra slitage af dæk, bremses og vejen. Den største del af PM_{2,5} kommer imidlertid fra de kemiske reaktioner i atmosfæren, som omdanner gasser i luften til luftbårne partikler. Gasserne kommer fra udledninger fra både menneskeskabte (for eksempel forbrændingsprocesser, industri og landbrug) og naturlige kilder (for eksempel udledninger fra vegetation). Resultaterne fra beregninger med DCE's luftkvalitetsmodeller viser, at omkring 15 % af PM_{2,5} i Danmark stammer fra direkte udledte partikler (kaldet primære partikler), mens resten er sekundære partikler dannet via de kemiske reaktioner i atmosfæren ud fra gasser udledt fra menneskeskabte kilder eller kommer fra naturlige kilder (Ellermann et al., 2024b).

For kvælstofdioxid er det muligt at vurdere den fremtidige udviklingstendens ud fra prognoser for udledningerne af kvælstofoxiderne, som er kilden til den luftbårne kvælstofdioxid (Afsnit 2.3). For PM_{2,5} er det imidlertid ikke muligt at lave en tilsvarende vurdering ud fra prognoserne for udledningerne. Det hænger sammen med, at den luftbårne PM_{2,5}, som beskrevet ovenfor, kommer fra et komplekst samspil mellem de direkte udledte primære partikler, udledning af mange forskellige slags gasser og de kemiske reaktioner i atmosfæren.

I forbindelse med dette projekt vil der derfor benyttes beregninger med DCE's luftkvalitetsmodeller til at vurdere den fremtidige udviklingstendens for PM_{2,5}.

Figur 3.5 viser udviklingen i perioden 2007-2003 for PM_{2,5} ved samtlige 9 målestationer, hvor der måles PM_{2,5}. For alle målestationerne ses et fald i koncen-

trationer siden begyndelsen af målingerne i 2007/2008. I 2023 er årsmiddelværdierne faldet så meget, at de målte årsmiddelværdier overholder den nuværende EU-grænseværdi, EU's forslag til ny grænseværdi for 2030 og WHO's tidligere retningslinje for årsmiddelværdierne fra 2006. Faldet er størst for gademålestationerne og mindst i bybaggrund og landbaggrund. Dette har givet den konsekvens, at der i 2023 kun er 36 % forskel mellem den højeste årsmiddelværdi ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard og den mindste ved landbaggrundsmålestationen ved Risø.



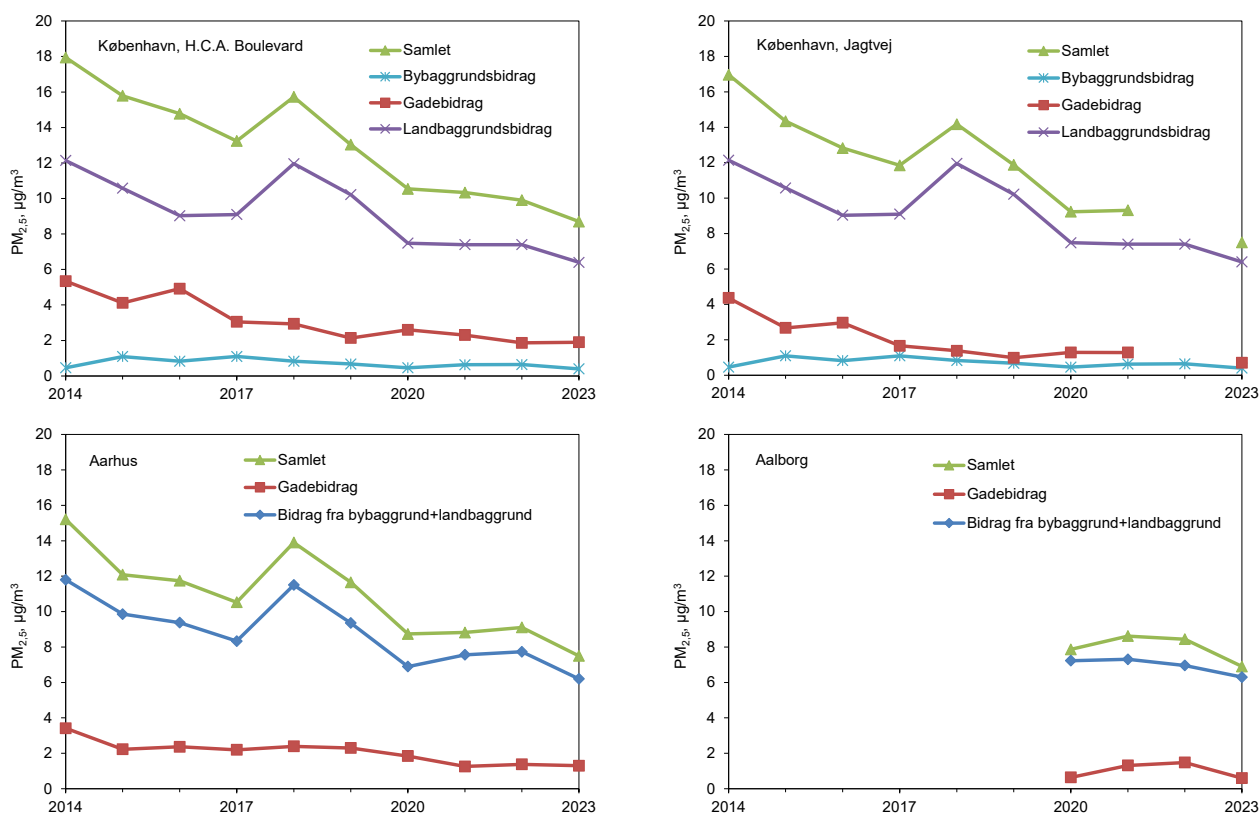
Figur 3.5. Udviklingen for årsmiddelkoncentrationerne af $PM_{2.5}$ ved målestationerne i det danske luftkvalitetsovervågningsprogram under NOVANA i perioden 2007-2023 (Ellermann et al., 2024a) og WHO's retningslinjer for årsmiddelkoncentrationerne fra 2006 og 2021 (WHO, 2006 og, 2021) samt EU's nuværende grænseværdi (EU, 2008) og den foreslåede nye grænseværdi (EU, 2024).

Hvis der korrigeres for bidragene fra de naturlige kilder og vintersaltning, så ligger årsmiddelværdierne i bybaggrund, forstad og landbaggrund på niveau med WHO's retningslinje fra 2021, mens niveauerne på gademålestationerne fortsat ligger over WHO's retningslinje for årsmiddelværdien (Figur 3.4).

Figur 3.6 viser udviklingen fra de seneste 10 år for årsmiddelværdierne for $PM_{2.5}$ ved de fire gademålestationer, hvor der måles $PM_{2.5}$. Figuren viser også gadebidraget, bybaggrundsbidraget og landbaggrundsbidraget, hvor landbaggrundsbidraget omfatter det store bidrag til $PM_{2.5}$ fra udenlandske kilder (Ellermann et al., 2024b). For gademålestationerne i Aarhus og Aalborg er der dog ingen landbaggrundsmålestation i nærheden, og derfor har det ikke været muligt at opdele i bybaggrundsbidrag og landbaggrundsbidrag.

Ved de to gademålestationer i København ses, at bybaggrundsbidraget er det mindste, gadebidraget er noget større, og det er landbaggrundsbidraget som udgør langt hovedparten. Gadebidraget er omtrent dobbelt så stort ved H.C.

Andersens Boulevard som på Jagtvej, hvilket hænger sammen med, at trafikintensiteten er langt større på H.C. Andersens Boulevard end på Jagtvej. I Aarhus og Aalborg kan der kun beregnes et samlet bybaggrunds- plus landbaggrundsbidrag, men her gælder det også, at landbaggrundsbidraget udgør langt størstedelen af $PM_{2,5}$ ved de to gademålestationer.



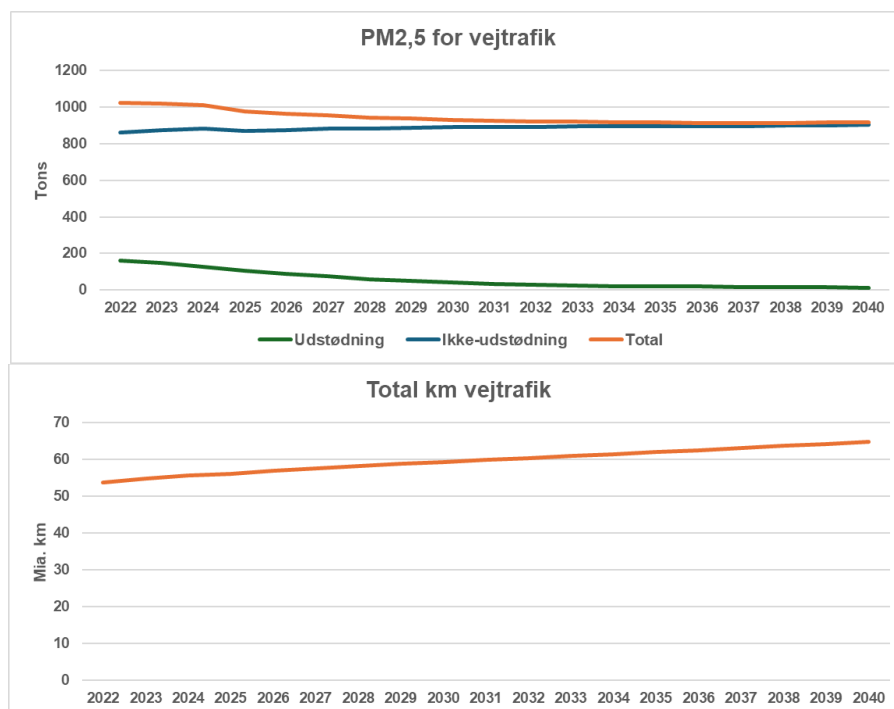
Figur 3.6. Udvikling årsmiddelværdierne for $PM_{2,5}$ gennem de seneste 10 år ved gademålestationerne i København, Aarhus og Aalborg samt gadebidraget, bybaggrundsbidraget og landbaggrundsbidraget. I Aarhus og Aalborg vises summen af bybaggrundsbidraget og landbaggrundsbidraget, da der mangler målinger i landbaggrund i nærheden af Aarhus og Aalborg.

Figur 3.7 viser prognose for de direkte udledninger fra vejtrafik i Danmark samt prognose for trafikken.

Prognoserne for udviklingen fra 2022 frem til 2040 peger på et fald på omkring 10 % i $PM_{2,5}$ fra vejtrafik fra 2022 og frem til 2040 på landsplan. Dette fald er en kombination af stigende trafik og indfasningen af el-køretøjerne. Stigende trafik giver alt andet lige mere ikke-udstødning, men flere el-køretøjer giver samlet mindre udstødning og ikke-udstødning i forhold til fossilbiler. For el-personbiler i forhold til fossilbiler er det omkring 18 % mindre samlet udstødning og ikke-udstødning (se Tabel 6.1).

På nationalt plan forventes trafikken at stige, men stigningen er ikke jævnt fordelt på vejnettet. For de trafikerede bygader, hvor DCE har luftkvalitetsmålestationer i København, Aarhus, Odense og Aalborg og for de 99 gader i København og 26 gader i Aalborg, som DCE laver årlige modelberegninger for, har trafikken været nogenlunde konstant over mange år (Ellermann et al., 2024). For disse gader med konstant trafik vil en overgang til elbiler føre til en reduktion af $PM_{2,5}$ -gadekoncentrationsbidraget på omkring 18 %, men da baggrundsbidraget er meget højt fra andre danske og udenlandske kilder, vil den samlede procentvise partikkelkoncentrationsreduktion være betydeligt mindre, men dog bidrage lidt til målopfyldelse af WHO's retningslinjer for

Hvis den samlede luftforurening med PM_{2,5} på de stærkt trafikerede gader skal bringes ned til eller under WHO's retningslinje for årsmiddelværdien af PM_{2,5}, så skal faldet også ledsages af et fald i landbaggrundsbidraget. Landbaggrundsbidraget kommer for langt hovedparten fra udenlandske kilder, så en overholdelse af WHO's retningslinjer på gadeniveau kommer til at afhænge af det internationale samarbejde om reduktion af udledninger i EU, Europa og på globalt plan.



Figur 3.7. Øverst: Prognose for udledningerne af PM_{2,5} fra vejtrafik frem mod 2040 på landsplan. Prognoserne er opdelt i bidrag fra udstødning og ikke-udstødning (vej-, dæk- og bremseslid). Nederst: Prognose for udvikling i vejtrafikkens kørte km (Nielsen et al., 2023; personlig kommunikation, Winther, 2024).

4 Udviklingstendenser for målinger af PM₁₀

4.1 WHO's retningslinjer og EU's grænseværdier for PM₁₀

WHO reducerede i 2021 deres anbefalede retningslinje for langtidseksponering overfor PM₁₀ fra 20 µg/m³ i 2006 til 15 µg/m³ i 2021 (WHO, 2021). Retningslinjen vedrørende korttidseksponering blev ligeledes strammet, idet retningslinjen for 99%-fraktilen af døgnmiddelværdierne for PM₁₀ blev skærpet fra 50 til 45 µg/m³ (WHO, 2021). Disse stramninger af retningslinjerne er langt mindre end for PM_{2,5}.

I forbindelse med revision af luftkvalitetsdirektivet har EU lagt op til en nedsettelse af grænseværdierne for langtidseksponering for PM₁₀, hvilket betyder, at årsmiddelværdien foreslås reduceret fra 40 til 20 µg/m³ (EU, 2024). EU's grænseværdi for korttidseksponeringen for PM₁₀ angav, at døgnmiddelværdierne for PM₁₀ måtte overskride 50 µg/m³ 35 gange i løbet af et kalenderår (EU, 2008). Denne grænseværdi forventes strammet så det nye forslag angiver, at døgnmiddelværdierne højest må overskride 45 µg/m³ 18 gange i et kalenderår (EU, 2024). Det vurderes overvejende sandsynligt, at de foreslåede grænseværdier bliver vedtaget i EU i efteråret 2024.

Tabel 4.1 giver en oversigt over WHO's retningslinjer fra 2006 og 2021 (WHO, 2006 og 2021), de nugældende grænseværdier (EU, 2008) og de foreslåede nye grænseværdier for 2030 (EU, 2024).

Tabel 4.1. Oversigt over WHO's retningslinjer for PM₁₀ fra 2006 og 2021 (WHO, 2006 og 2021), EU's nugældende grænseværdier fra 2008 (EU, 2008) og de foreslåede nye grænseværdier, som forventes gældende i 2030 (EU, 2024). For korttidseksponering er retningslinjer for døgnmiddelværdien fastlagt på basis af 99%-fraktilen svarende til 3-4 overskridelser af den angivne værdi per kalenderår. For korttidseksponering er EU's grænseværdi angivet ved en værdi (døgnmiddelværdi), som må overskrides et vist antal gang per kalenderår.

	WHO's retningslinjer			EU's grænseværdier			
	2006 µg/m ³	2021 µg/m ³	Antal overskridelser	2008 µg/m ³	Antal overskridelser	2024 µg/m ³	Antal overskridelser
<i>Langtidseksponering</i>							
Årsmiddelværdi	20	15		40		20	
<i>Korttidseksponering</i>							
Døgnmiddelværdi	50*	45*	3-4*	50	35	45	18

*99%-fraktilen, hvilket betyder, at den angivne værdi må overskrides svarende til 3-4 gange per kalenderår

4.2 PM₁₀ i 2023 sammenlignet med målsætninger

Tabel 4.2 og Figur 4.1-4.3 giver oversigt over luftkvaliteten for PM₁₀ i 2023 sammenholdt med retningslinjerne fra WHO og grænseværdierne fra EU for alle målestationer i det nationale overvågningsprogram, hvor koncentrationerne af PM₁₀ bliver målt.

Ligesom for PM_{2,5}, så var der i 2023 desværre tekniske vanskeligheder med målingerne af PM₁₀ ved de danske målestationer, hvilket skyldtes levering af filtre til opsamling af partikler med en for dårlig kvalitet. Dette har medført, at resultaterne fra omtrent de fire første måneder er blevet erstattet med indikative målinger af døgnmiddelværdierne. Årsagerne til disse problemer er grundigt beskrevet i Ellermann et al., (2024a). De indikative målinger er foretaget med samme metode som de faste akkrediterede målinger af PM₁₀, der

normalt indgår i måleprogrammet. Grundet den dårligere kvalitet af partikel-filtrene, så har det ikke været muligt at opnå den samme høje kvalitet, som DCE normalt har på målingerne af PM₁₀. De indikative måleresultater har derfor større usikkerhed end de normale akkrediterede målinger, men kvaliteten vurderes, at være tilstrækkelig god til at give en korrekt beskrivelse af niveauerne af PM₁₀ i 2023 sammenholdt med retningslinjer og grænseværdier.

Tabel 4.2. Sammenligning mellem måleresultater for PM₁₀ fra de danske målestationer i 2023 og WHO's retningslinjer fra 2006, 2021 (WHO, 2021), EU's grænseværdier fra 2008 og de nye som forventes vedtaget i 2024 (EU, 2008, 2024). De gældende grænseværdier skal være overholdt fra 2010, mens de nye grænseværdier forventes at skulle overholdes fra 2030.

	Årsmiddel µg/m ³	Døgnmiddel 99%-fraktil µg/m ³	Døgnmiddel 35. højeste µg/m ³	Døgnmiddel 18. højeste µg/m ³
WHO 2006	20	50#		
WHO 2021	15	45#		
EU 2008	40		50*	
EU 2024	20			45**
<i>Gade</i>				
København, H.C.A. Boulevard	20	36	32	37
København, Jagtvej	14	26	24	27
Aarhus, Banegaardsgade	14	26	22	26
Odense, Grønløkkevej	14	23	21	23
<i>Bybaggrund</i>				
København	12	23	19	23
<i>Landbaggrund</i>				
Risø	11	20	18	20
Keldsnor	13	24	20	24

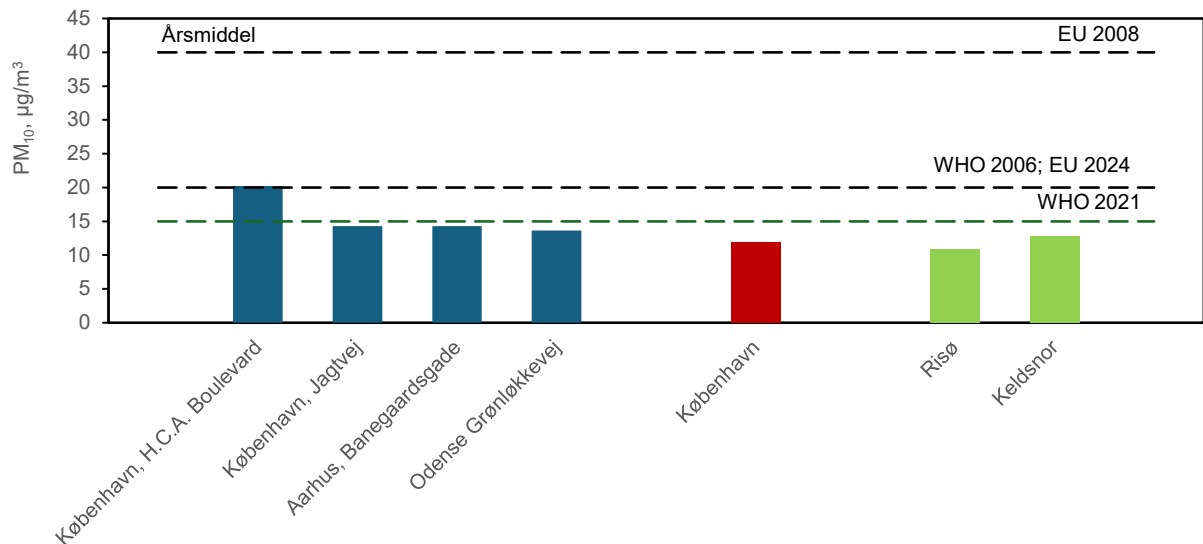
99%-fraktil, hvilket svarer til 3-4 overskridelser per kalenderår

* Må højst overskrides 35 gange per kalenderår

** Må højst overskrides 18 gange per kalenderår

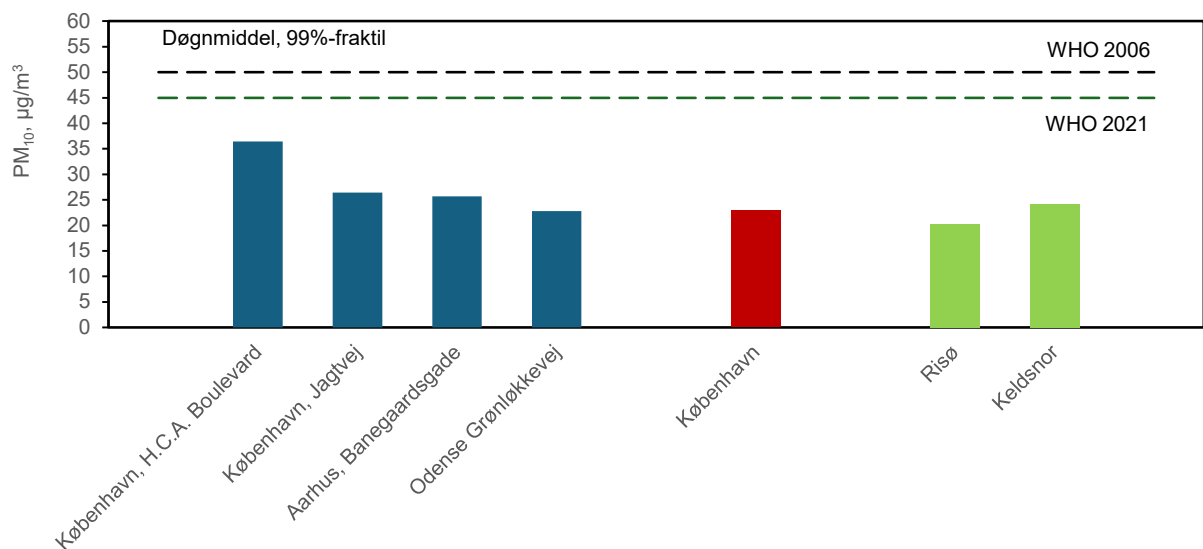
I 2023 lå årsmiddelværdierne for alle målestationer under WHO's retningslinjer fra 2006 og under den nugældende grænseværdi fra EU (Tabel 4.2 og Figur 4.1) og det med en relativt god margin set i forhold til grænseværdien om end det kun lige er akkurat, at der er overholdelse ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard. Årsmiddelværdierne overholder også allerede det nye forslag til EU-grænseværdi ved alle målestationerne. WHO's retningslinje for årsmiddelværdien af PM₁₀ ligger på 15 µg/m³ og her ligger årsmiddelværdierne under retningslinjen i bybaggrund, landbaggrund og ved tre af de fire gademålestationer. Kun ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard, en af de mest trafikerede bygader i Danmark, ligger årsmiddelværdien over retningslinjen for årsmiddelværdien.

Det betyder, at den generelle befolkning i byerne og i landbaggrund ikke udsættes for PM₁₀ i niveauer over WHO's retningslinje for langtidseksponering for PM₁₀. Ved trafikale hot-spots vil eksponeringen ligge over WHO's retningslinje lige, som det ikke kan udelukkes, at der vil kunne være overskridelser i særlige lokalområder.



Figur 4.1. Årsmiddelværdier for PM₁₀ i 2023 ved målestationerne i det danske overvågningsprogram under NOVANA (Ellermann et al., 2024a) sammenlignet med WHO's retningslinjer fra 2006 og 2021 (WHO, 2021), EU's nuværende grænseværdier (EU, 2008) og de forventede nye grænseværdier gældende fra 2030 (EU, 2024). Gademålestationer er angivet med blå søjler, bybaggrundsmålestation med brun søjle og landbaggrundsmålestationer med grønne søjler.

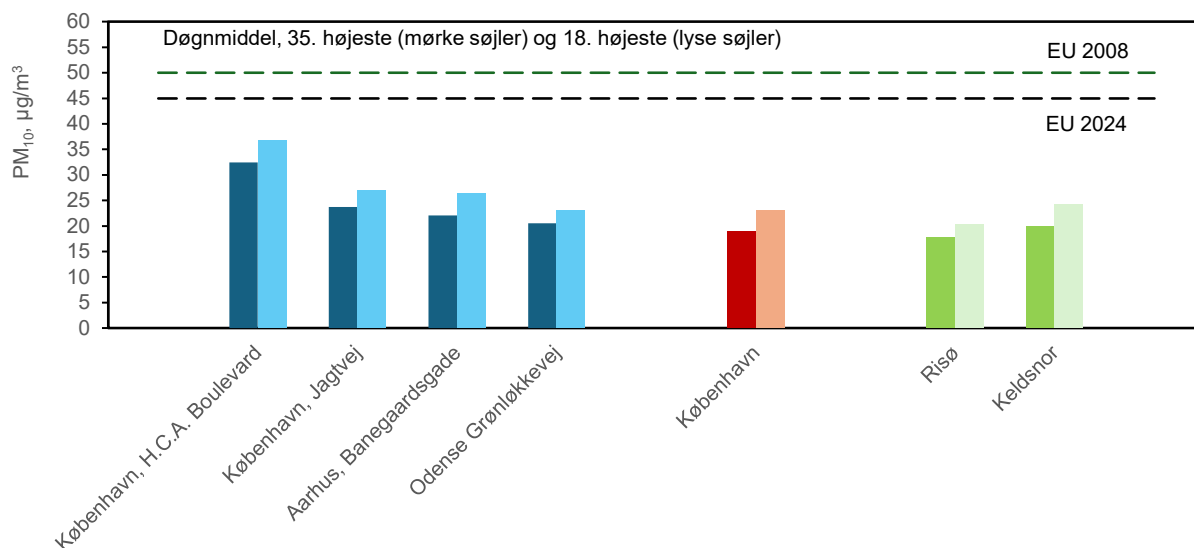
WHO's retningslinje for korttids eksponering for PM₁₀ er fastlagt ud fra 99%-fraktilen, som i retningslinjerne fra 2006 ikke måtte overskride 50 µg/m³. Denne værdi er skærpet til 45 µg/m³ i retningslinjerne fra 2021. Figur 4.2 viser 99%-fraktilen for de danske målestationer i 2023. Ved alle målestationer ses, at 99%-fraktilen ligger under både den gamle og den nye retningslinje og det med en relativt stor margin.



Figur 4.2. 99% fraktilen for døgnmiddelværdierne for PM₁₀ for 2023 ved målestationerne i det danske overvågningsprogram under NOVANA (Ellermann et al., 2024a) sammenlignet med WHO's retningslinjer fra 2006 og 2021 (WHO, 2006 og 2021). Gademålestationer er angivet med blå søjler, bybaggrundsmålestation med brun søjle og landbaggrundsmålestationer med grønne søjler.

Til forskel fra PM_{2,5}, så var der allerede fastlagt en EU-grænseværdi for korttids eksponeringen for PM₁₀ baseret på døgnmiddelværdierne (EU, 2008). Denne grænseværdi er angivet ved, at døgnmiddelværdierne i et kalenderår højst må overskride 50 µg/m³ 35 gange. EU's forslag til ny grænseværdi er

strammet på to måder. Dels er koncentrationen nedsat til $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og dels er antallet af tilladte overskridelser reduceret fra 35 til 18 gange per kalenderår. Figur 4.3 viser derfor både den 35. højeste og den 18. højeste målte døgnmiddelværdi i 2023. Den 35. højeste døgnmiddelværdi skal sammenlignes med $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (den øverste stiplede linje) og den 18. højeste døgnmiddelværdi skal sammenlignes med $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (den nederste stiplede linje). Luftkvaliteten med hensyn til PM_{10} i Danmark overholder derfor både den nuværende og den forventede nye grænseværdi for korttidseksposering for PM_{10} ved alle de nationale målestationer og det endda med relativt god margin.



Figur 4.3. Målt PM_{10} i forhold til nugældende og kommende EU-grænseværdier. 35. højeste (mørke søjler) og 18. højeste (lyse søjler) døgnmiddelværdi for PM_{10} i 2023 ved målestationerne i det danske overvågningsprogram under NOVANA (Ellermann et al., 2024a) sammenlignet med den nugældende grænseværdi for døgnmiddelværdierne af PM_{10} (EU, 2008) og den forventede nye grænseværdier gældende fra 2030 (EU, 2024). Den nuværende grænseværdi fastlægger, at døgnmiddelværdierne i et kalenderår højest må overskride $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 35 gange og forslaget til ny grænseværdi angiver, at døgnmiddelværdierne højest må overskride $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 18 gange om året. Gademålestationer er angivet med blå søjler, bybaggrundsmålestation med brun søjle og landbaggrundsmålestationer med grønne søjler.

4.3 Korrektion for vintersaltning og naturlige kilder til PM_{10}

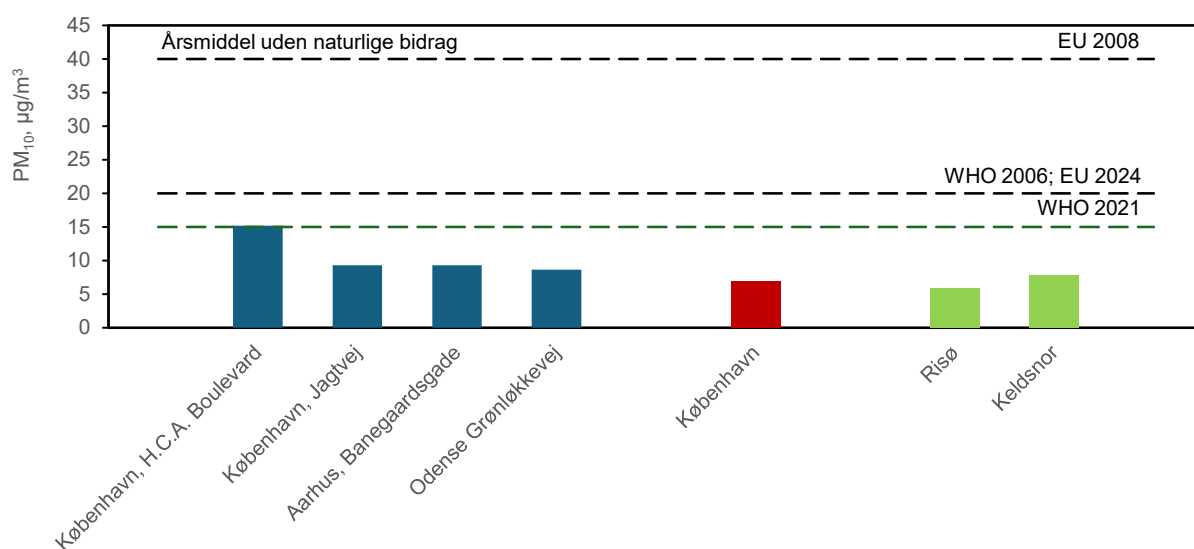
Som for $\text{PM}_{2,5}$, så fastlægger EU's luftkvalitetsdirektiv, at det er muligt at korrigere for de naturlige bidrag til PM_{10} og bidrag fra vintersaltning af vejene inden der laves vurdering om overholdelse af grænseværdierne (EU, 2024). Årsagen til dette er, at der er tale om bidrag, som det er svært at regulere og undgå uden store konsekvenser for vejtrafikken. WHO har ikke angivet lignende betragtning, men Miljøministeriet har anmodet om, at der i forbindelse med notatet også laves en sammenligning mellem WHO's nye retningslinjer og niveauerne for PM_{10} efter korrektion for de naturlige bidrag og bidrag fra vintersaltning.

I forbindelse med tidligere projekt for Miljøministeriet (Ellermann et al., 2023) anvendte DCE en kombination af målinger og modelberegninger til at bestemme bidraget fra naturlige kilder og fra vintersaltning. Disse undersøgelser angav, at der for PM_{10} i årligt gennemsnit kunne korrigeres med $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hvilket er betydeligt større end for $\text{PM}_{2,5}$. Denne betydeligt større korrektion skyldes, at PM_{10} også omfatter de lidt grovere partikler mellem 2,5 og $10 \mu\text{m}$, og for disse partikelstørrelser er der et langt større bidrag fra naturligt forekommende havsalt og salt fra vintersaltning af vejene.

Figur 4.4 viser de målte årsmiddelværdier for PM₁₀ ved målestationerne efter korrektion med 5 µg/m³. Når der korrigeres for disse bidrag kommer selv årsmiddelværdien ved H.C. Andersens Boulevard under retningslinjen for årsmiddelværdien fra 2021.

Ved vurdering af effekten af korrektion for det naturlige bidrag og bidrag fra vintersaltning skal det tages med i betragtning, at der er stor usikkerhed på fastlæggelsen af bidraget fra disse kilder. Usikkerhederne er beskrevet nærmere i Ellermann et al. (2023).

Det skal også tages med i betragtning, at den geografiske variation af havsalt i PM₁₀ varierer betydeligt i Danmark, og at der for eksempel ved Vestkysten kan ses væsentligt forhøjet PM₁₀ som følge af høje bidrag fra havsalt. Størrelsen af havsaltsbidragene ved Vestkysten er ved at blive undersøgt, og det har derfor ikke været muligt at tage disse aspekter med i betragtning i dette notat.



Figur 4.4. Årsmiddelværdier for PM₁₀ ved målestationerne i 2023 efter korrektion for naturligt bidrag og vintersaltning sammenlignet med WHO's retningslinjer fra 2006 og 2021 (WHO, 2006 og 2021), EU's nuværende grænseværdier (EU, 2008) og de forventede nye grænseværdier gældende fra 2030 (EU, 2024). Gademålestationer er angivet med blå søjler, bybaggrundsmålestationer med rødbrune søjler og landbaggrundsmålestationer med grønne søjler.

4.4 Udviklingstendens og prognoser

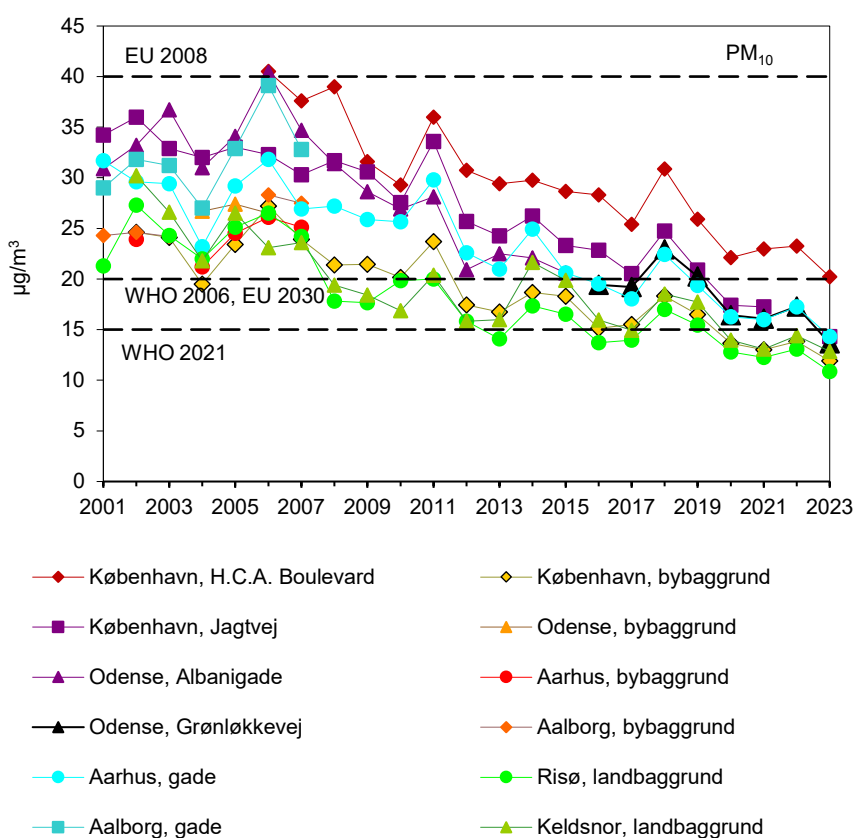
PM₁₀ omfatter alle partikler større end 10 µm og derfor er PM_{2,5} indeholdt i PM₁₀. PM_{2,5} udgør omtrent halvdelen af PM₁₀ (Ellermann et al., 2024a), så derfor gælder betragtningerne om kilderne til PM_{2,5} også for PM₁₀. Den grove del af PM₁₀, hvilket vil sige de større partikler med diameter mellem 2,5 og 10 µm, stammer i høj grad fra kilder som vej-, dæk- og bremseslid, havsalt, jordstøv, vintersaltning.

I forbindelse med dette projekt vil der ligesom for PM_{2,5} derfor benyttes beregninger med DCE's luftkvalitetsmodeller til at vurdere den fremtidige udviklingstendens for PM₁₀. Nedenfor præsenteres nogle betragtninger vedrørende udviklingstendensen for langtidseksponeringen for PM₁₀ baseret på analyse af målinger og den fremtidige udvikling for gadebidraget til PM₁₀, idet gadebidraget alene stammer fra de direkte udledninger fra vejtrafikken.

Figur 4.5 viser udviklingen for PM₁₀ i perioden 2001-2023 ved samtlige målestationer, hvor der er blevet målt PM₁₀. For alle målestationerne ses et ensartet

fald i koncentrationerne siden begyndelsen af målingerne i 2001 og koncentrationerne er frem til 2023 faldet så meget, at de målte årsmiddelværdier overholder den nuværende EU-grænseværdi og EU's forslag til ny grænseværdi for 2030. WHO's retningslinje for årsmiddelværdierne fra 2021 overholdes også ved alle målestationerne undtagen ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard. Dog udgør naturlige kilder og vintersaltning en stor andel af PM₁₀, og hvis der ses bort fra bidragene fra de naturlige kilder og vintersaltning, så ligger årsmiddelværdierne ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard på niveau med WHO's retningslinje fra 2021.

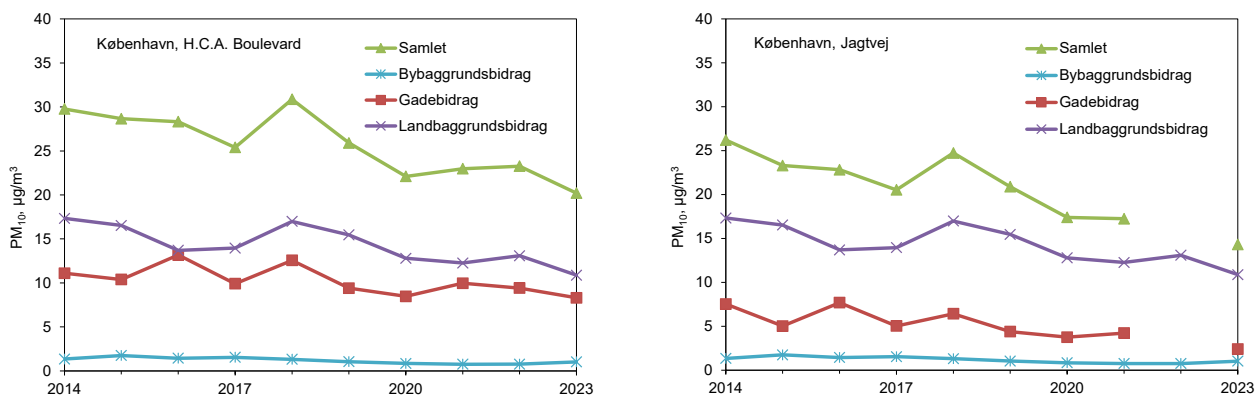
Faldet er lidt større ved gademålestationerne end i bybaggrund og landbaggrund. I 2023 er der omkring 85 % forskel mellem den højeste årsmiddelværdi ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard og den mindste ved landbaggrundsmålestationen ved Risø. Det er noget større end set for PM_{2,5}, hvilket hænger sammen med, at vejtrafikken på H.C. Andersens Boulevard bidrager mere til PM₁₀ end til PM_{2,5}.



Figur 4.5. Udvikling 2001-2023 for årsmiddelkoncentrationerne af PM₁₀ ved målestationerne i det danske luftkvalitetsovervågningsprogram under NOVANA (Ellermann et al., 2024a) og WHO's retningslinjer for årsmiddelkoncentrationerne fra 2006 og 2021 (WHO, 2006 og 2021) samt EU's nuværende grænseværdi (EU, 2008) og den foreslåede nye grænseværdi (EU, 2024).

Figur 4.6 viser udviklingen for de seneste 10 år for årsmiddelværdierne for PM₁₀ ved de to gademålestationer i København, hvor det er muligt at beregne gadebidraget, bybaggrundsbidraget og landbaggrundsbidraget. Dette er desværre ikke muligt for Aarhus og Odense, da der ikke måles PM₁₀ i bybaggrund andre steder end i København.

Ved de to gademålestationer udgør landbaggrundsbidraget den største andel. De udenlandske kilder til PM₁₀ indgår i landbaggrundsbidraget. Gadebidraget er det næststørste bidrag og udgør i 2023 omkring 40 % på H.C. Andersens Boulevard og omkring 20 % på Jagtvej. Bybaggrundsbidraget er langt det mindste og udgør i 2023 kun 5-8 % af den samlede PM₁₀. Gadebidraget er omtrent dobbelt så stort ved H.C. Andersens Boulevard som på Jagtvej, hvilket hænger sammen med, at trafikintensiteten er langt større på H.C. Andersens Boulevard end Jagtvej.



Figur 4.6. Udviklingen i årsmiddelværdierne for PM₁₀ gennem de seneste 10 år ved gademålestationerne i København samt gadebidraget, bybaggrundsbidraget og landbaggrundsbidraget.

Gadebidraget, som stammer fra udledningerne fra vejtrafikken, er faldet siden 2014, men resultaterne fra de seneste år giver en indikation på, at faldet ikke sker så hurtigt længere og måske helt er standset. Tilsvarende blev observeret for PM_{2,5} (Figur 4.6). For H.C. Andersens Boulevard ses omtrent samme niveau siden 2019. Det er lidt sværere at vurdere ud fra målingerne på Jagtvej, da der mangler målinger fra 2021 grundet omfattende vejarbejde i det meste af 2021 (Ellermann et al., 2024b). Ved vurdering af tendensen de seneste år skal det tages med i betragtning, at niveauet var lidt lavere i 2020 grundet covid-19-restriktionerne og endeligt bliver det interessant at følge udviklingen de næste år, så der kan komme en mere sikker vurdering af tendensen.

DCE har ikke lavet prognoser for udviklingstendensen for udledningerne af PM₁₀ fra vejtrafik frem mod 2040. Udviklingen vil være påvirket af flere el-biler, som giver mindre udstødning og bremseslid, men mere vej- og dækslid. Stigende trafik vil alt andet lige, give mere ikke-udstødning, som betyder mere for PM₁₀ end PM_{2,5} (Figur 4.7).

Der forventes derfor, at gadebidraget til PM₁₀ vil øges svagt frem mod 2040. Hvis det samlede niveau for PM₁₀ inklusiv det naturlige bidrag og bidrag fra vintersaltning på de stærkt trafikerede gader (som H.C. Andersens Boulevard) skal bringes i overensstemmelse med WHO's retningslinje for årsmiddelværdien af PM₁₀, så skal faldet hovedsageligt komme fra et fald i landbaggrundsbidraget, da bybaggrundsbidraget er lille. Landbaggrundsbidraget kommer for langt hovedparten fra udenlandske kilder, så en overholdelse af WHO's retningslinjer på gadeniveau kommer til at afhænge af det internationale samarbejde om reduktion af udledninger i EU, Europa og på globalt plan.

5 Modelling af fremtidig luftkvalitet

I det følgende opsummeres modelberegninger af den fremtidige luftkvalitet i 2030 ud fra et projekt for Miljøministeriet om Nationalt program for reduktion af luftforurening - NAPCP (Jensen et al, 2023a) samt et nordisk projekt (Jensen et al, 2023b). Begge disse projekter anvendes til en vurdering af, hvad luftkvaliteten i baggrundsluften og i gader i 2030 forventes at være i forhold til WHO-retningslinjer.

5.1 Fremtidig luftkvalitet baseret på NAPCP

DCE har i et projekt for Miljøministeriet modelleret den forventede udvikling i luftkvaliteten fra 2020 til 2030 for den regionale luftforurening med DEHM, bybaggrundsforureningen med DEHM-UBM og gadekoncentrationerne med DEHM-UBM-AirGIS (Jensen et al., 2023a). Fremskrivningen af emissioner er baseret på basisscenariet for Danmark opstillet af Energistyrelsen for 2030. Dette er en fremskrivning baseret på eksisterende vedtagne tiltag, også på engelsk kaldet "frozen policy". På engelsk kaldes basisfremskrivningen: WM – "With Measures". Der er gennemført beregninger for NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀.

Udvikling i bybaggrundskoncentrationer

Luftkvalitetsberegninger er gennemført for placeringen af bybaggrundsmålestationerne i de fire byer København, Aarhus, Odense og Aalborg, samt for gadekoncentrationen af 99 gader i København.

I Tabel 5.1 er resultaterne opsummeret for bybaggrund i 2020 og 2030.

Tabel 5.1. Modellerede årsmidler af bybaggrundskoncentrationer af NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀ beregnet med DEHM/UBM.

By	Bybagrundsstation	2020			2030			Forskel		
		NO ₂ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	NO ₂ (%)	PM _{2,5} (%)	PM ₁₀ (%)
København	H.C. Ørsted Institutet	11,5	6,7	11,3	6,9	6,0	10,5	-39	-11	-7
Odense	Rådhus	10,3	6,8	12,2	7,0	6,1	11,4	-32	-11	-6
Aarhus	Botanisk Have	10,8	6,5	12,4	7,1	5,8	11,8	-34	-10	-5
Aalborg	Østerbro	9,5	5,8	12,1	7,4	5,3	11,6	-23	-9	-5

Bybaggrundskoncentration for NO₂ i København

Målingerne på bybaggrundstationen i København i 2020 var 9,0 µg/m³, så modellen overvurderer lidt, da modellen estimerer 11,5 µg/m³ for NO₂.

Bybaggrundskoncentrationen for NO₂ er modelleret til at blive reduceret med 39 % fra 2020 til 2030. I 2030 er niveauet på 6,9 µg/m³, som er langt under nuværende grænseværdi på 40 µg/m³, den foreslåede grænseværdi på 20 µg/m³ i det nye luftkvalitetsdirektiv, og også under WHO's retningslinjer på 10 µg/m³.

Modelberegningerne for NO₂ i 2030 ligger på 6,9-7,4 µg/m³ for bybaggrundstationerne, dvs. lidt højere end ekstrapolation af målinger (se Figur 2.6), men det er som nævnt, fordi modellen overestimerer lidt.

Bybaggrundskoncentration for PM_{2,5} i København

Målinger af PM_{2,5} i 2020 på bybaggrundsstationen i København viste 8 µg/m³, og modellen estimerer 6,7 µg/m³, så modellen underestimerer lidt.

Bybaggrundskoncentrationen for PM_{2,5} er modelleret til at blive reduceret med 11 % fra 2020 til 2030. I 2030 er niveauet på 6,0 µg/m³, som er langt under den nuværende grænseværdi på 25 µg/m³, under foreslået grænseværdi på 10 µg/m³ i nyt luftkvalitetsdirektiv, men over WHO's retningslinjer på 5 µg/m³.

Ifølge EU's forslag til nyt luftkvalitetsdirektiv er det muligt at fratække bidrag fra naturlige kilder såsom havsalt og bidrag fra vegetation, fx dannelse af SOA (Sekundære Organiske Aerosols) i atmosfæren ud fra emissioner fra fx terpener fra vegetation. SOA er en del af PM_{2,5}. Dette bidrag er estimeret til at være 1,5 µg/m³ (se afsnit 1.3).

Kombinationen af en modelunderestimering på omkring 1,3 µg/m³, og et fradrag af bidraget fra naturlige kilder på 1,5 µg/m³ ser ud til at lande på et niveau lidt over WHO-målsætningen på 5 µg/m³ for bybaggrundsstationerne i 2030, men der er en vis usikkerhed på dette estimat, da der både er usikkerhed på størrelsen af manglende masse i modelberegningerne og bidrag fra naturlige kilder i fremtiden.

Det er ikke muligt at ekstrapolere målinger af PM_{2,5} og PM₁₀ på samme måde som for NO₂ pga. det komplekse samspil mellem de direkte udledte primære partikler, udledning af mange forskellige slags gasser og de kemiske reaktioner i atmosfæren (se afsnit 1.4).

Bybaggrundskoncentration for PM₁₀ i København

Målinger af PM₁₀ i 2020 på bybaggrundsstationen i København viste 14 µg/m³, og modellen estimerer 11,3 µg/m³. Modellen underestimerer således med omkring 2,7 µg/m³, hvilket også bidrager til usikkerhed på det beregnede niveau i 2030.

Bybaggrundskoncentrationen for PM₁₀ er modelleret til at blive reduceret med 7 % fra 2020 til 2030.

Det nye forslag til luftkvalitetsdirektiv giver ligesom det gældende direktiv mulighed for at fratække PM₁₀ fra naturlige kilder og PM₁₀ fra saltning af veje om vinteren. Denne option har ikke været anvendt i Danmark i de seneste år, da det ikke har været nødvendigt for overholdelse af de eksisterende grænseværdier (Ellermann, 2023).

Koncentrationerne er langt under den nuværende grænseværdi for årsmiddel på 40 µg/m³, den foreslåede nye grænseværdi på 20 µg/m³ i det nye luftkvalitetsdirektiv, og også under WHO-retningslinjen på 15 µg/m³.

Udvikling i gadekoncentrationer i København i 2030

I Tabel 5.2 er vist beregnede gennemsnitlige koncentrationer samt min. og maks. for 99 udvalgte gadestrækninger i København (Jensen et al., 2023a). Det er de samme gader, som der foretages beregninger for hvert år under Det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet. Beregningerne er udført med modelsystemet DEHM-UBM-AirGIS. "Gade" betegner således gadekoncentrationer, "Byb." er bybaggrundskoncentrationer (DEHM-UBM) og "Reg." er

regionale koncentrationer (DEHM). Bemærk at der her er justeret for manglende masse for PM_{2,5} og PM₁₀.

Ændringer af gadekoncentrationen for de 99 gader afspejler derfor den forventede effekt pga. reduktion i emissionerne fra trafikken og udviklingen i bybaggrundskoncentrationen beregnet med DEHM-UBM.

Tabel 5.2. Beskrivende statistik for udvikling i koncentrationer for 99 gader i København.

Stof	Statistik	Basis 2020			2030 WM*			Forskel (%)		
		Gade	Byb.	Reg.	Gade	Byb.	Reg.	Gade	Byb.	Reg.
NO ₂	Gns.	22,8	11,0	5,3	11,3	7,2	4,3	-51	-35	-19
NO ₂	Maks.	36,7	15,7	5,3	16,3	11,8	4,3	-56	-25	-19
NO ₂	Min.	13,2	9,8	5,2	8,5	6,6	4,3	-36	-33	-18
PM _{2,5}	Gns.	10,2	8,8	8,3	9,0	7,9	7,3	-12	-11	-12
PM _{2,5}	Maks.	11,5	9,1	8,4	10,1	8,2	7,4	-12	-11	-12
PM _{2,5}	Min.	9,1	8,6	8,3	8,1	7,7	7,3	-11	-11	-12
PM ₁₀	Gns.	18,6	14,8	14,3	17,4	13,8	13,3	-7	-7	-7
PM ₁₀	Maks.	22,6	15,5	14,5	21,3	14,5	13,5	-6	-6	-7
PM ₁₀	Min.	15,6	14,3	14,2	14,6	13,3	13,1	-7	-7	-7

*Fremskrivning baseret på eksisterende vedtagne tiltag, også på engelsk kaldet "frozen policy". På engelsk kaldes basisfremskrivningen: WM – With Measures.

For NO₂ falder den gennemsnitlige gadekoncentration for de 99 gader i København fra 23 µg/m³ i 2020 til 11 µg/m³ i 2030 i basisscenarioet. Reduktionerne i gadekoncentrationerne er primært drevet af reduktionen i emissionen fra trafikken i den pågældende gade, men baggrundskoncentrationerne reduceres også. I 2030 må det forventes, at en del gader overskrider WHO's retningslinje på 10 µg/m³, da min. er 8,5 µg/m³ og maks. 16 µg/m³. Gadekoncentrationerne i 2030 er langt under den nuværende grænseværdi på 40 µg/m³ og under den foreslåede grænseværdi på 20 µg/m³ i det nye luftkvalitetsdirektiv.

For PM_{2,5} falder den gennemsnitlige gadekoncentration fra 10 µg/m³ i 2020 til 9 µg/m³ i 2030 i basisscenarioet. Alle gader må forventes at overskride WHO's retningslinjer på 5 µg/m³, da min. er 8,1 µg/m³ og maks. 10,1 µg/m³. Gadekoncentrationerne i 2030 er langt under den nuværende grænseværdi på 25 µg/m³ og den nye foreslåede grænseværdi på 10 µg/m³ i det nye luftkvalitetsdirektiv, hvis der korrigeres for bidrag fra naturlige kilder og fra vintersaltning (1,5 µg/m³).

For PM₁₀ falder den gennemsnitlige gadekoncentration fra 19 µg/m³ i 2020 til 17 µg/m³ i 2030 i basisscenarioet. I 2030 må en del gader formodes at overskride WHO's retningslinje på 15 µg/m³, da min. er 15 µg/m³ og maks. 21 µg/m³. Gadekoncentrationerne i 2030 er langt under den nuværende grænseværdi på 40 µg/m³ og under den foreslåede grænseværdi på 20 µg/m³ i det nye luftkvalitetsdirektiv, hvis der korrigeres for bidrag fra naturlige kilder og fra vintersaltning (1,5 µg/m³).

For PM_{2,5} og PM₁₀ er den procentvise reduktion ikke så stor som for NO₂. Det skyldes, at det kun er partikeludstødningen, som reduceres, og ikke-udstødningen er uændret. Ikke-udstødning er vejslid, dækslid og bremseslid, og udgør en langt større del end udstødningsdelen. Endvidere udgør baggrundsfureningen en langt større andel af forureningen for partikler end for NO₂.

5.2 Fremtidig luftkvalitet baseret på nordisk projekt

DCE har gennemført et projekt for Arbejdsgruppen for klima og luft under Nordisk Ministerråd, som bl.a. belyste fremtidig luftkvalitet i forhold til WHO's retningslinjer (Jensen et al., 2023b). Bybaggrundskoncentrationer i 2030 blev modelleret i udvalgte byer i Norden, herunder København, med DEHM og UBM. Koncentrationerne af NO₂ og PM_{2,5} blev modelleret til en reduktion fra 2019 til 2030, mens koncentrationerne af O₃ var svagt stigende. Faldet i koncentrationer skyldes det forventede fald i emissionerne. Stigningen i O₃ forventes på grund af kemi i atmosfæren, hvor emissioner af NO_x (nitrogenoxider) fører til lavere ozonkoncentrationer. Efterhånden som NO_x-emissionerne falder, vil ozonkoncentrationerne stige i bybaggrunden. Derudover forventes ozonkoncentrationerne at stige pga. langtransport.

I projektet viste observerede niveauer af NO₂ i 2021 på bybaggrundsmålestationen i København og den modellerede reduktion i koncentrationerne frem til 2030, at NO₂ vil ligge under WHO's retningslinje på 10 µg/m³ i 2030. For PM_{2,5} kan København ligge lidt over WHO's retningslinje på 5 µg/m³ i 2030. Konklusionerne er derfor enslydende med vurderingerne i NAPCP gengivet i forrige afsnit.

Alle udvalgte nordiske byer, herunder København, har koncentrationsniveauer for ozon, der overstiger WHO's retningslinje i både 2019 (observationer) og 2030 for maksimal ozon (modelleret). Modellerede maksimale ozonkoncentrationer viser et meget lille fald frem mod 2030 og de gennemsnitlige ozonkoncentrationer stiger en smule. Maksimale ozonkoncentrationer er defineret som gennemsnit af daglige maksimale 8-timers gennemsnitlige ozonkoncentrationer i de seks på hinanden følgende måneder med den højeste seks måneders løbende gennemsnitlige ozonkoncentration. Ozon indgår ikke i NAPCP-projektet. Ozon er et globalt og europæisk problem, som kræver reduktioner i de stoffer, som bidrager til dannelse af ozon i atmosfæren (NO_x, VOC, CO).

6 Muligheder for fremrykkelse af overholdelse af WHO's retningslinjer

I dette kapitel adresseres de spørgsmål, som Miljøministeriet har stillet om potentialerne for yderligere regulering med henblik på tidligere at kunne overholde WHO's retningslinjer. Vurderingerne er overslag, da analyserne er baseret på eksisterende viden, og det har ikke inden for projektets rammer været muligt at foretage nye luftkvalitetsberegninger eller meget detaljerede analyser.

6.1 Potentiale ved hurtigere elektrificering af bilparken

Dette afsnit forsøger at svare på Miljøministeriets spørgsmål om, *hvad vil en hurtigere elektrificering af bilparken betyde?*

Forventet udvikling i elbiler

I 2023 er der omkring 200.000 elbiler og 123.000 pluginhybridbiler ud af en bilpark på omkring 2,8 mio. personbiler. Rene elbiler udgør således omkring 7 % af personbilparken i 2023. Af nysalget udgør rene elbiler omkring halvdelen (Statistikbanken). Derudover importeres mange brugte elbiler fra udlandet. I første halvdel af 2024 blev der importeret 24.000 elbiler, mens nysalget i samme periode var 39.000 (fdm.dk)

Klimarådet kom i 2020 med en rapport om, hvordan Danmark kunne opnå en reduktion på 70 % i den samlede udledning af drivhusgasser i 2030 i forhold til 1990, med et måltal på 1 mio. elbiler (Klimarådet, 2020), mens Elbilkommissionen i deres rapport i 2020 opererede med fire scenarier på 500.000, 600.000, 750.000 og 1 mio. elbiler (Elbilkommissionen, 2020). Med de seneste års udvikling i nysalget, og hvis denne udvikling fortsætter, er det realistisk at nå den høje ende af disse scenarier med 750.000 til 1 mio. elbiler i 2030, da nysalget af personbiler er omkring 200.000-220.000 om året.

Personbilparken er steget med omkring 50 % de seneste 20 år fra 2003 til 2023, dvs. med omkring 910.000 personbiler (statistikbanken) og forventes fortsat at stige i fremtiden. Så på trods af flere elbiler er der også blevet markant flere fossilbiler.

I forhold til hele køretøjsparken i 2023 udgør personbiler 87 %, varebiler 11 %, lastbiler 0,9 % og busser 0,4 %. Potentialet er derfor størst for personbiler, da emissionerne per kørt km ikke er så forskellig for de forskellige køretøjskategorier.

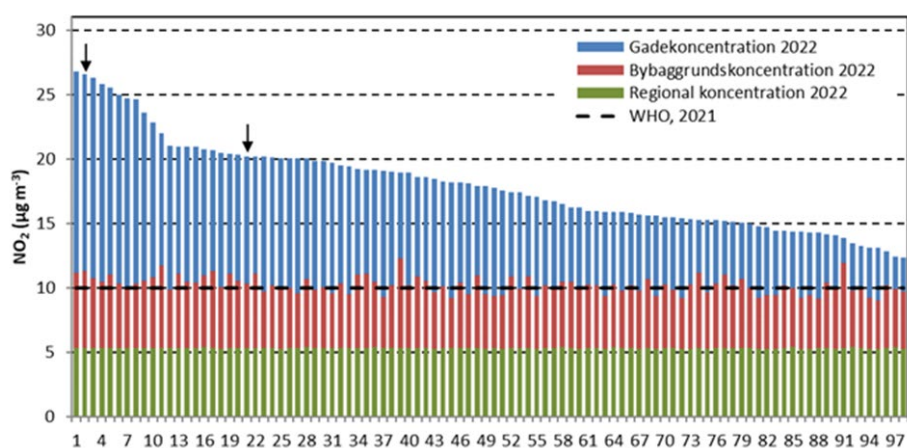
Elbiler og betydning for WHO målopfyldelse af NO₂

Elbilens store fordel er, at den ikke har udstødning, og den vil derfor bidrage til forbedring af luftkvaliteten især i byerne. Da købet af en elbil erstatter købet af en anden ny fossilbil, som skal opfylde Euronorm 6, er emissionsbesparelsen kun den emission, som en Euronorm 6 bil bidrager med, hvilket er relativt lidt og desuden ikke varierer så meget mellem køretøjskategorierne selvom emissionen er højere for tunge køretøjer end for lette køretøjer.

Elbiler bruger strøm, så det har betydning, hvor og hvordan denne produceres. Elproduktion på kraftværker bidrager kun lidt til den lokale luftforurening pga. rensning og høje skorstene, og der vil derfor, alt andet lige, være en

luftforureningsmæssig fordel i at flytte luftforurening fra gadeniveau til skorstensniveau. Elproduktionen vil i stigende grad bidrage med endnu mindre luftforurening ved overgang til vedvarende energikilder som vind og sol, og det samme vil varmeproduktion med varmepumper, geotermi mv., mens forbrænding af biomasse fortsat vil være forbundet med luftforurening.

I Figur 6.1 er vist modellerede NO₂-koncentrationer for 99 gader i København i 2022. Den blå del af søjlerne i figuren er bidraget fra vejtrafikken i de enkelte gader. Det ses, at WHO's retningslinje for NO₂ på 10 µg/m³ er overskredet for alle gaderne i 2022. Hvis alle køretøjer var elektriske ville det "blå" gadebidrag forsvinde, og alle gaders NO₂-luftkoncentration ville ligge på omkring 10 µg/m³, som er bybaggrundskoncentrationen. Hvis alle køretøjer var elektriske ville bybaggrundskoncentrationen (røde del af søjlerne) også falde noget, og den regionale baggrundskoncentration ville også falde lidt, hvilket ville bidrage yderligere til at overholde WHO's retningslinjer for NO₂-koncentrationen. Beregninger for 2030 for disse gader med allerede vedtagne tiltag viste, at det må forventes, at en del gader overskrider WHO's retningslinjer på 10 µg/m³ for NO₂-koncentrationen, da min. er 8,5 µg/m³ og maks. 16 µg/m³ (se kapitel 5). Yderligere elektrificering af køretøjerne vil derfor bidrage til at fremrykke tidspunktet for overholdelsen af WHO's retningslinjer i trafikerede gader.

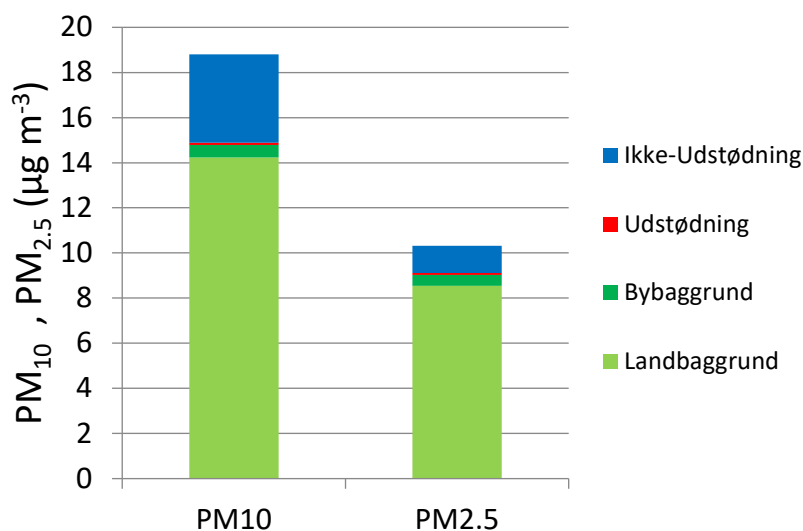


Figur 6.1. Årsmiddelkoncentrationer for kvælstofdioxid i 2022 for 99 udvalgte gadestørrelser i København baseret på modelberegninger. Bidraget fra trafikken i gaderne er baseret på gadeluftkvalitetsmodellen OSPM® (blå farve). Bybaggrundsbidraget (røddelig farve) er baseret på beregninger med baggrundsmodellen UBM med input fra den regionale lang-transportmodel DEHM (grøn farve). Værdien for en gadestørrelse er for den side af gaden, der har den højeste årsmiddelkoncentration af de to sider. Men for gader med en målestation er det den side, hvor stationen er placeret. Pile angiver gadestørrelser med en målestation. Fra Ellermann et al., (2024).

Elbiler og betydning for WHO-målopfyldelse af PM_{2,5}

For trafikens partikelforurening er bidraget domineret af ikke-udstødning. Ikke-udstødningsbidraget kommer fra vej-, dæk-, og bremseslid. Dette er illustreret i Figur 6.2 for Jagtvej i 2022 for trafikens bidrag til PM₁₀- og PM_{2,5}-koncentrationen, underopdelt på udstødning og ikke-udstødning. Ikke-udstødningsdelen udgør langt den største del af partikelmassen fra trafikken, og den har ikke været reguleret. For PM_{2,5} er det hhv. omkring 7 % og 93 %. De seneste år er udstødningsdelen faldet markant pga. brugen af partikelfiltre, og den relative emissionsandel af ikke-udstødningen er derfor steget. Der

vurderes at være betydelig større usikkerhed på ikke-udstødningsdelen i forhold til udstødningsdelen af partikler, da udstødningsdelen af partikler kan måles på biler i både laboratorium og under kørsel i aktuel trafik, mens det er noget mere vanskeligt at måle ikke-udstødningsdelen og dens delkomponenter.



Figur 6.2. Kildebidrag for udstødning og ikke-udstødning for partikler for Jagtvej i København i 2022 (Jensen et al., 2024a).

Partikeludstødningen er over tid blevet mindre som konsekvens af den løbende udskiftning af bilparken, som betyder, at flere og flere køretøjer får partikelfilter. Miljøzonerne i København, Aarhus, Odense, og Aalborg, som regulerer emissionerne fra den tunge trafik, varebiler og ældre dieselpersonbiler har også bidraget til reducerede partikelemissioner i disse byer. Endelig er der gradvist kommet flere elbiler i trafikken, som ikke har noget udstødningsbidrag.

Tidligere vurderinger tydede på, at overgangen til elbiler samlet set ville føre til ingen eller kun lille reduktion af PM_{2,5}- og PM₁₀-emissionen. Den reducerede partikeludstødning ville blive opvejet af en stigning i partikelemissionsbidraget fra ikke-udstødning, da elbiler er så tunge, at deres højere vej- og dækemissioner ikke kan opvejes af et mindre emissionsbidrag fra bremseslid. Dette er anført i tidligere vurderinger, hvor en gennemsnitlig elbil sammenlignes med en gennemsnitlig benzin- eller dieselbil (Timmers & Achten, 2016).

I den nationale emissionsopgørelse er elbilers partikelemissioner fra ikke-udstødning implementeret efter anbefalingerne i COPERT-emissionsmodellen. I Tabel 6.1 er vist et udtræk fra den nationale emissionsopgørelse, hvor partikelemissionsfaktorerne for udstødning og ikke-udstødning sammenlignes mellem fossilpersonbiler og elpersonbiler. Fossilbiler er her diesel- og benzinbiler med Euronorm 6, da dette er den seneste Euronorm, og da disse køretøjer erstattes ved køb af nye elbiler.

Tabel 6.1. Sammenligning mellem en gennemsnitlig fossilpersonbil med Euronorm 6 og en gennemsnitlig elpersonbil i 2022 baseret på den national emissionsopgørelse (personlig kommunikation, Winther, 2024a).

Biltype	Udledning	PM _{2,5} (g/km)
Fossil Euronorm 6	Bremseslid	0,0033
Fossil Euronorm 6	Vejslid	0,0039
Fossil Euronorm 6	Dækslid	0,0043
Fossil Euronorm 6	Udstødning	0,0012
I alt fossil Euronorm 6		0,0127
Elbil	Bremseslid	0,0010
Elbil	Vejslid	0,0045
Elbil	Dækslid	0,0048
Elbil	Udstødning	-
I alt elbil		0,0104
Forskel fossil/elbil i procent		-18%

Som det fremgår af Tabel 6.1 har elbiler lidt større udledninger af partikler fra vej- og dækslid, men markant lavere udledninger fra bremseslid, og selvfølgelig intet udstødningsbidrag. Samlet set fører elbiler til lavere partikeludledninger fra udstødning og ikke-udstødning i forhold til fossilbiler. I procent er den samlede PM_{2,5}-udledning for elbiler omkring 18 % lavere set i forhold til fossilbiler (Euronorm 6).

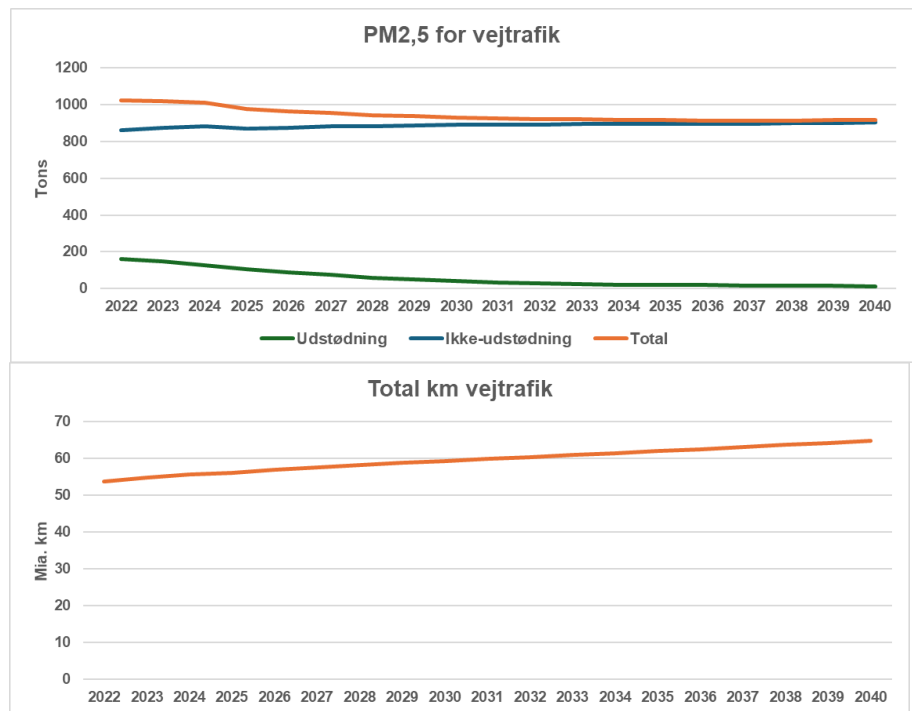
Både udstødnings- og ikke-udstødningspartikler er helbredsskadelige, men nogle undersøgelser tyder på, at partikler fra udstødning er mere helbreds-skadelig end partikler fra ikke-udstødning (Rohr & Wyzga, 2012). Der kan derfor godt være nogle helbredsmæssige fordele i at elektrificere bilparken, selvom koncentrationen af PM_{2,5} kun påvirkes i mindre grad.

På det foreliggende vidensgrundlag forventes elektrificering derfor kun at føre til mindre reduktioner af de samlede partikeludledninger af udstødning og ikke-udstødning, når én fossilbil sammenlignes med én elbil.

Figur 6.3 viser prognose for de direkte udledninger fra vejtrafik i Danmark samt prognose for trafikken.

Prognoserne for udviklingen fra 2022 frem til 2040 peger på et fald på omkring 10 % i PM_{2,5} fra vejtrafik fra 2022 og frem til 2040 på landsplan. Dette fald er en kombination af stigende trafik og indfasningen af el-køretøjerne. Stigende trafik giver alt andet lige mere ikke-udstødning, men flere el-køretøjer giver samlet mindre udstødning og ikke-udstødning i forhold til fossilbiler. Det kræver således en reduktion af selve trafikken for yderligere at reducere trafikens bidrag til ikke-udstødningspartikler.

Den samlede partikelemissionsudvikling vil, alt andet lige, føre til et lavere bidrag fra vejtrafikken til PM_{2,5}-koncentrationen i baggrundsluften. Da der også er andre danske kilder til partikelkoncentrationen end vejtrafik, og da partikelbidraget er meget stort fra udlandet forventes der kun en marginal reduktion i PM_{2,5}-koncentrationen i baggrundsluften pga. den fremskrevne udvikling i partikelemissionerne fra vejtrafik.



Figur 6.3. Øverst: Prognose for udledningerne af PM_{2,5} fra vejtrafik frem mod 2040 på landsplan. Prognoserne er opdelt i bidrag fra udstødning og ikke-udstødning (vej-, dæk- og bremseslid). Nederst: Prognose for udvikling i vejtrafikkens kørte km (Nielsen et al., 2023; personlig kommunikation, Winther, 2024).

På nationalt plan forventes trafikken at stige, men stigningen er ikke jævnt fordelt på vejnettet. Stigningen er størst på motorvejsnettet og på de overordnede veje. I de centrale dele af byerne, hvor koncentrationerne også er størst, gøres der en indsats ved mange forskellige initiativer for at begrænse trafikstigningen. For de trafikerede bygader, hvor DCE har luftkvalitetsmålestationer i København, Aarhus, Odense og Aalborg og for de 99 gader i København og 26 gader i Aalborg, som DCE laver årlige modelberegninger for, har trafikken været nogenlunde konstant over mange år (Ellermann et al., 2024). For disse gader med konstant trafik vil en overgang til elbiler føre til en reduktion af PM_{2,5}-gadekoncentrationsbidraget på omkring 18 %, men da baggrundsbidraget er meget højt fra andre danske og udenlandske kilder, vil den samlede procentvise partikkelkoncentrationsreduktion være betydeligt mindre, men dog bidrage lidt til målopfyldelse af WHO's retningslinjer for PM_{2,5}-koncentrationen, ligesom en hurtigere indfasning af elbiler vil kunne bidrage til en hurtigere målopfyldelse af WHO's retningslinjer for PM_{2,5}-koncentrationen i byerne. Såfremt hele Danmark og udlandet går over til elbiler vil dette også reducere baggrundsforureningen.

For Jagtvej i København i 2022 udgør vejtrafikkens samlede partikelbidrag fra udstødning og ikke-udstødning omkring 1,3 µg/m³ på gadeniveau, som kunne reduceres med omkring 18 % ved overgang til elektriske køretøjer svarende til en reduktion på omkring 0,23 µg/m³.

6.2 Potentiale ved øget regulering af opvarmning af private boliger

Dette afsnit søger at svare på følgende spørgsmål stillet af Miljøministeriet: *Hvilket potentiale er der i forhold til opvarmning af private boliger, herunder yderligere regulering af brændeovne og øget udbredelse af varmepumper?*

Tidligere udfasning af fossil individuel boligopvarmning

Der er en politisk målsætning om at udfase fossil individuel boligopvarmning med gas- og oliefyr i 2035 (Regeringen, 2022). Der er omtrent 400.000 boliger, der opvarmes med naturgas, og omtrent 50.000 med oliefyr. Med de tiltag, der allerede er aftalt politisk, skønnes der at være ca. 200.000 husstande, der opvarmes med gasfyr i 2030 faldende til ca. 100.000 husstande i 2035 (Regeringen, 2022). Den politiske målsætning er primært begrundet i klimahensyn, og skal understøtte klimalovens målsætning om 70 % reduktion af drivhusgasser i 2030 i forhold til 1990, men tiltagene har også betydning for emissioner af NO_x og partikler. Analysen fokuserer på NO_x og partikler, da en yderligere reduktion heri ville kunne føre til hurtigere opfyldelse af WHO's retningslinjer for NO₂ og PM_{2,5}.

I Tabel 6.2 er vist de samlede emissioner fra privat boligopvarmning og deres procentvise fordeling på brændselstype baseret på udtræk fra den nationale emissionsopgørelse fra 2021. Privat boligopvarmning er den del af boligopvarmningen, som ikke er dækket af fjernvarme.

Tabel 6.2. Samlede emissioner fra privat boligopvarmning og deres procentvise fordeling på brændselstype i 2021 (Nielsen et al., 2023).

Brændselstype	NO _x (tons)	PM _{2,5} (tons)	NO _x (procent)	PM _{2,5} (procent)
Brænde	1089	3940	31%	65%
Halm	477	1342	13%	22%
Træpiller	1317	774	37%	13%
Gasolie	197	19	6%	0%
Petroleum	0	0	0%	0%
Naturgas	344	2	10%	0%
LPG	41	0	1%	0%
Biogas	2	0	0%	0%
Bionaturgas	96	1	3%	0%
I alt	3564	6077	100%	100%

Det fremgår af Tabel 6.2, at naturgasfyr udgør 10 % af NO_x-emissionerne og tilnærmelsesvis 0 % (0,03 %) af partikelemissionen, og at oliefyr udgør 6 % af NO_x-emissionerne og tilnærmelsesvis 0 % (0,3%) af partikelemissionen i forhold til de samlede emissioner for privat boligopvarmning.

De totale danske emissioner fra alle kilder udgør i 2021 92,2 tusinde tons og 12,2 tusinde tons for hhv. NO_x og PM_{2,5} (Nielsen et al., 2023). Dvs. at privat boligopvarmning med naturgas- og oliefyr udgør 0,6 % for NO_x og 0,2 % for PM_{2,5} af de totale danske emissioner fra alle kilder.

I forbindelse med udfasning af naturgas- og oliefyr vil effekten heraf afhænge af de alternative opvarmningsformer, som der skiftes til. Dette kan belyses ved at sammenligne emissionsfaktorer per energienhed for forskellige opvarmningsformer. I Tabel 6.3 er vist emissionsfaktorer per energienhed for privat boligopvarmning fra individuelle anlæg, dvs. gas- og oliefyr og brændefyringsanlæg baseret på den nationale emissionsopgørelse fra 2021. Til sammenligning er også givet emissionsfaktorer for kollektiv forsyning, hvor træpiller anvendes, som udgør en væsentlig del af den kollektive energiforsyning i takt med udfasning af fossile brændsler.

Hvordan udfasning af gas- og oliefyr vil påvirke emissioner af NO_x og partikler afhænger af, hvilken teknologi der skiftes til. Reelt er der tre alternativer: varmepumper, brændefyring (fx træpillefyr) eller fjernvarme. Fjernvarme vil kun være et alternativ, hvor det er muligt at udvide eksisterende fjernvarme.

I Tabel 6.3 er vist emissionsfaktorer for individuel og kollektiv varmeforsyning. Individuel varmeforsyning er gas/olfiefyr, brændefyring og varmepumper.

Tabel 6.3. Emissionsfaktorer for individuel og kollektiv varmeforsyning i 2021 (Nielsen et al., 2023).

NO_x, g/GJ	Naturgas/olie	Træ	Strøm^a
Gasfyr	18	-	-
Olfiefyr	52	-	-
Individuel varmepumpe	-	-	30
Brændeovn (før 1990)	-	50	-
Svanemærket (fra 2017)	-	75	-
Gns. brændeovn	-	74	-
Pillekedel/ovn	-	80	-
Kraftværker (træpiller)	-	81	-
Fjernvarmeværker (træpiller)	-	90	-
PM_{2,5}, g/GJ	Naturgas/olie	Træ	Strøm
Gasfyr	0,1	-	-
Olfiefyr	5	-	-
Individuel varmepumpe	-	-	1
Brændeovn (før 1990)	-	930	-
Svanemærket (fra 2017)	-	118	-
Gns. brændeovn	-	269	-
Pillekedel/ovn	-	47	-
Kraftværker (træpiller)	0,1 (antaget kedel)	1,3	-
Fjernvarmeværker (træpiller)	0,1	10	-

^a Baseret på Energinet.dk's miljødeklaration for 2022 samt varmepumpers energieffektivitet. Se beskrivelse i teksten.

Miljøbelastningen fra varmepumper er ikke lokal men knyttet til strømproduktionen, som bliver baseret på mere og mere vedvarende energi som sol og vind uden emissioner men også træpiller med emissioner fra kraftværker.

Energinet.dk beregner miljøbelastningen ved strømproduktion i Danmark. Dette kan gøres på forskellige måder betegnet som Miljødeklaration eller Timedeklaration. Miljødeklarationen angiver brændselsfordelingen samt de tilhørende miljøpåvirkninger ved forbrug af en kWh el i det forgangne år og er således en god indikator for den grønne omstilling af elsystemet i Danmark. Miljødeklarationen giver et billede af den teoretiske selvforsyningsgrad, hvor dansk elproduktion og forbrug balanceres time for time, korrigeret for handel med nabolande og nettab. Timedeklarationen bruges til bestemmelse af den reelle sammensætning af el i stikkontakten på timebasis opdelt i Danmarks to prisområder: Øst-og vestdanmark. Miljødeklarationen har tidligere været benyttet som deklARATION for den reelle el i stikkontakten, men Energinet.dk anbefaler brugen af timedeklarationen (Energinet.dk, 2023). Desværre beregner Energinet.dk kun CO₂ for timedeklarationen, og derfor er det valgt at anvende miljødeklarationen, som også beregner for NO_x og partikler, trods dens begrænsninger, og den usikkerhed der er knyttet hertil.

Miljøforholdene opgøres med den såkaldte 125 %- og 200 %-metode. Forskellen mellem 125 %-metoden og 200 %-metoden ved miljødeklaration af strøm

ligger i, hvordan miljøpåvirkningerne fordeles mellem el- og varmeproduktion på kraftvarmeverker. Der er valgt 125 %-metoden, som fordeles miljøpåvirkningerne mellem el og varme baseret på en varmekoefficiensgrad på 125 %. Det betyder, at en større del af miljøpåvirkningen tilskrives varmeproduktionen, hvilket resulterer i en lavere miljøpåvirkning pr. kWh.

Energinet.dk har beregnet miljøbelastningen ved strømproduktion i 2022 til 0,33 g/kWh for NO_x og 0,01 g/kWh for partikler i Miljødeklarationen (Energinet.dk, 2022), hvilket svarer til hhv. 92 g/GJ for NO_x og 3 g/GJ for partikler. I takt med endnu mere sol og vind i strømproduktionen kan emissionsfaktorerne forventes at blive reduceret yderligere i fremtiden. I det omfang strømproduktionen stammer fra kraftværker eller fjernvarmeverker vil der være en høj skorsten, som fortynder emissionerne, og dermed fører til mindre eksponering i forhold til emissioner fra lave kilder som individuelle gas- og olie-fyr.

Varmepumper bruger strøm til at producere varme. Effektiviteten heraf afhænger af mange forhold, men en effektivitet på 3, dvs. 1 kWh strøm bliver til 3 kWh varme er et konservativt bud (Energistyrelsen, 2020). Justeres ovenstående emissionsfaktorer for varmepumpers energieffektivitet bliver miljøbelastningen ved strøm 30 g/GJ for NO_x og 1 g/GJ for partikler.

Som det fremgår af Tabel 6.3 tyder det på, at udskiftning af gasfyr vil føre til højere NO_x-emissioner, da emissionsfaktorerne er højere for alternative opvarmningsformer, mens udskiftning af olie-fyr til varmepumper tyder på lavere NO_x-emissioner, mens NO_x-emissionerne vil være højere for pillefyr og fjernvarme. Samlet set er der ikke nogen entydig gevinst for reduktion af emissionen af NO_x ved udfasning af olie- og gasfyr.

For partikler er billedet mere komplekst. Gasfyr har lavere emissioner end varmepumper, og langt lavere emissioner end fx pillefyr og også lavere emissioner end fjernvarme på træpiller. Så alle alternativer vil føre til højere partikelemmissioner ved udfasning af gasfyr. Kun varmepumper har potentiale for i fremtiden at have lavere partikelemmissioner i takt med den grønne omstilling af strømproduktionen. Oliefyr har højere emissioner end varmepumper, så udskiftning af olie-fyr med varmepumpe vil føre til lavere partikelemmissioner, og det samme gælder ved skift til fjernvarme fra kraftværk. Skiftes olie-fyr til fjernvarmeverk eller individuel brændefyring vil partikelemmissionerne stige.

Da emissionerne fra gas- og olie-fyr udgør en mindre del af de samlede emissioner fra privat boligopvarmning, og en endnu mindre del af de samlede danske emissioner fra alle kilder, og der ikke er entydige gevinster for NO_x og partikler ved udskiftning til alternativerne vil hurtigere udskiftning heller ikke bidrage til hurtigere opfyldelse af WHO's retningslinjer for luftkvalitet. Det er kun overgang til varmepumper, som på sigt vil kunne bidrage til gevinster for NO_x og partikler i takt med endnu mere sol og vind i den fremtidige strømproduktion. Samlet vurderes udfasning af gas- og olie-fyr at have marginal indflydelse på luftkvaliteten af NO₂ og PM_{2,5}.

Potentiale ved yderligere regulering af brændefyring

Som det fremgår af Tabel 6.2, så står brændeovne og træpillefyr for hhv. 31 % og 37 % af NO_x-emissionen og hhv. 65 % og 13 % af partikelemmissionen fra privat boligopvarmning. Erstatte en gns. brændeovn med varmepumpe halveres NO_x-emissionen, mens den stiger lidt, hvis den erstattes med fjernvarme. For partikelemmissionen er billedet helt anderledes, hvor erstatning af

en gns. brændeovn og træpillefyr med varmepumpe reducerer partikelemissionen med en faktor hhv. 269 og 47, og den reduceres ved overgang til fjernvarme fra kraftværk eller fjernvarmeværk med en faktor hhv. 207 og 27. Der er således et stort potentiale for reduktion af især partikelemissionen fra brændefyring.

Der er forskellige anlægstyper for brændefyring: Brændeovne, anden ovn (fx pejse), kedler med/uden akkumuleringstank til varmt vand samt pillekedler/ovne. I Tabel 6.3 er kun vist emissionsfaktorer for de ældste brændeovne, de nyeste Svanemærkede brændeovne samt pillefyr for at illustrere spændet i emissioner, hvor ældre ovne har langt højere emissionsfaktorer for partikel-emission end nyere ovne/pillefyr. Der er ikke så stor forskel på emissionsfaktorer for NO_x fra brændeovne, og her gælder det omvendte af partikler, idet de ældre ovne har lavere NO_x-emissioner end de nye. Dette skyldes, at de nyere ovne forbrænder med lidt højere temperaturer, og dannelse af NO_x ud fra luftens indhold af frit kvælstof er afhængig af forbrændingstemperaturen.

Alle kommuner har mulighed for at forbyde ældre brændeovne fra før 2008 i områder med kollektiv varmeforsyning. DCE har tidligere for Odense Kommune estimeret effekt heraf (Jensen et al, 2022). Det antages, at 30 % nedlægges og 70 % erstattes med en ny brændeovn, hvilket er samme antagelser, som Miljøministeriet lægger til grund. Samlet vil antallet af brændeovne falde med omkring 15 %, og det samme vil brændeforbruget. Den største effekt af forbuddet ses for partikelemissionerne, hvor der estimeres en reduktion på 52 % for både PM₁₀ og PM_{2,5}. For NO_x estimeres en reduktion på 3 %. Generelt er der en større emission af NO_x fra nyere ovne, da forbrændingen i disse typer sker ved en højere temperatur. At der alligevel ses en lille reduktion skyldes reduktionen af brændeforbruget som følge af nedlæggelse af 30 % af de brændeovnene, der er omfattet af forbuddet. BC-emissionen antages som den eneste at stige som følge af forbuddet. Stigningen er estimeret til 3 % og skyldes, at emissionsfaktorerne for de to ældste ovntyper er lavere end for de øvrige ovntyper. For SO₂ anvendes samme emissionsfaktor for alle ovntyper, da emissionen afhænger af brændslet frem for ovntypen, og dermed estimeres en reduktion på 15 % svarende til reduktionen af brændeforbruget. Samme procentvise reduktioner kan forventes i andre kommuner. Miljøstyrelsen har senere erfaret, at ved ejerskifte nedlægges omkring 50 % af brændeovnene og omkring 50 % udskiftes med nye brændeovne. Hvis disse forudsætninger også lægges til grund for vurdering af effekten af forbud mod ældre brændeovne før 2008, vil effekten være endnu større end angivet ovenfor.

Roskilde Kommune er den første kommune, som har besluttet at forbyde ældre brændeovne før 2008. For at tiltaget skal have større effekt skal mange kommuner tilslutte sig eller det skal gøres til et nationalt krav.

Forbud mod ældre brændeovne har væsentligt effekt for især partikelemissionen, men hvordan vil det påvirke luftkvaliteten? Dette er belyst i en tidligere undersøgelse for Odense Kommune (Jensen et al., 2020). Brændeovnes bidrag til bybaggrundsluftforureningen som middel over Odense Kommune i 2019 blev beregnet til 0,24 µg/m³ for PM_{2,5} og 0,08 µg/m³ for NO₂, og udgør det maksimale potentiale for regulering af brændeovne. Forbuddet mod ældre brændeovne blev estimeret til at reducere koncentrationen i bybaggrundsluften med omkring 0,13 µg/m³ for PM_{2,5} og 0,002 µg/m³ for NO₂.

Brændeovnes bidrag til bybaggrundsluftforureningen er også blevet beregnet for Københavns Kommune for 2022, hvor den som middel over Københavns

Kommune var $0,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for $\text{PM}_{2,5}$ og $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for NO_2 , hvilket udgør det maksimale potentiale for regulering af brændeovne (Jensen et al., 2024a). Københavns Kommune har færre brændeovne per indbygger end Odense Kommune og mindre brændeforbrug, da stort set hele kommunen har kollektiv varmforsyning.

Som det fremgår af ovenstående, er potentialet for regulering af brændeovne omkring $0,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for baggrundsluften af $\text{PM}_{2,5}$ i Odense Kommune og omkring $0,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i Københavns Kommune, og omkring halvdelen kan realiseret ved forbud mod ældre brændeovne før 2008, mens reduktionen for NO_2 er meget lille. Regulering af brændeovne har derfor et vist potentiale for at fremrykke overholdelse af WHO's retningslinjer for $\text{PM}_{2,5}$.

Ud over ovenstående mulighed for forbud mod ældre brændeovne før 2008, har DCE også et virkemiddelkatalog til reduktion af luftforurening, som bl.a. gennemgår en række forskellige virkemidler over for brændeovne og deres effekt (Jensen et al., 2024b).

6.3 Betydning af omstilling af energisektoren i lyset af krigen i Ukraine

Dette afsnit forsøger at svare på Miljøministeriets spørgsmål om, *hvilken betydning omstillingen af energisektoren har, blandt andet set i lyset af krigen i Ukraine (skift væk fra naturgas – måske flere vindmølleparker)?*

I tidligere svar på spørgsmål (se afsnit 0) er det belyst, hvilken betydning det vil få at udskifte naturgas med alternative energiteknologier inden for privat boligopvarmning. Det følgende vil belyse, hvor meget naturgas udgør i den nationale emissionsopgørelse inden for de forskellige sektorer, som vil illustrere potentialet, og mulige effekter ved skift til andre teknologier som kraftværk/fjernvarme samt sol og vind vil blive diskuteret.

Det vil også blive illustreret, hvor meget energisektoren bidrager til baggrundskoncentrationen i København for at illustrere potentialet her.

Endvidere vil det blive belyst, hvor meget energisektoren, herunder naturgas, betyder for baggrundskoncentrationerne i Danmark.

Andel af naturgas i dansk energisektor

I Tabel 6.4 er vist danske emissioner af NO_x og $\text{PM}_{2,5}$ knyttet til naturgas inden for energisektoren baseret på et udtræk fra den nationale emissionsopgørelse for 2021. Der er følgende forbehold, som dog gør, at data kan bruges som illustration. Der er en del kraftværker, der måler NO_x kontinuert i skorstenen, og disse emissioner anvendes i emissionsopgørelsen. Emissionen stammer fra alle de anvendte brændsler, f.eks. anvender de fleste affaldsforbrændingsanlæg en smule naturgas som støttebrændsel. Der er også kraftværker, som anvender en blanding af forskellige brændsler, eller hvor to ovnlinjer er koblet på samme skorsten. De NO_x -emissioner, som medtages, er de emissioner, hvor der er direkte viden om, at de er knyttet til naturgas, og dertil er lagt bidrag fra punktkilder, hvor naturgas anvendes som hovedbrændsel. Da partikelemissionen er lille for naturgas indgår kun de emissioner, som udelukkende er knyttet til naturgas.

Tabel 6.4. Danske emissioner af NO_x og PM_{2,5} fra naturgas inden for energisektoren (GNF 1A) i 2021 (Nielsen, 2024).

	NO_x (tons)	PM_{2,5} (tons)
Offentlig el- og fjernvarmeproduktion	936	1,6
Olieraffinaderier	3018	0,8
Fremstillingsvirksomheder	1265	2,2
Handel & Service	320	1,0
Land- og skovbrug	67	0,2
I alt	5606	5,8

De totale danske emissioner fra alle kilder udgør i 2021 92,2 tusinde tons og 12,2 tusinde tons for hhv. NO_x og PM_{2,5} (Nielsen et al., 2023). Dvs. at danske emissioner knyttet til naturgas inden for energisektoren udgør 6 % og 0,05 % for hhv. NO_x og PM_{2,5} i forhold til de totale danske emissioner fra alle kilder.

Erstatning af naturgas i kraftværker, fjernvarmefabrikker og anden strøm- og varmeproduktion kan tænkes at være bionaturgas, træpiller, varmepumper (kun varme) eller ikke-emitterende teknologi som solceller og vindmøller (strøm) og geotermi (kun varme). Bionaturgas formodes ikke at give nogen ændringer i emissionerne.

Emissioner af NO_x knyttet til naturgas fra energisektoren udgør 6 % af de samlede danske emissioner fra alle kilder, og rummer derfor et potentiale til fremrykning af overholdelse af WHO's retningslinjer for NO₂. Ved overgang til strøm- og varmeproduktion baseret på træpiller vil emission af NO_x øges, hvorimod de ikke-emitterende teknologier helt vil fjerne emissionerne undtagen emissioner knyttet til forbrugt strømforbrug ved varmepumpe og geotermi.

Emissioner af PM_{2,5} knyttet til naturgas fra energisektoren er helt marginale, og udgør derfor ikke et potentiale til hurtigere målopfyldelse af WHO's retningslinjer, og nogle af alternativerne vil ligefrem føre til højere emissioner af PM_{2,5}, som fx strøm- og varmeproduktion baseret på træpiller.

DCE har i en rapport for Københavns Kommune bl.a. beregnet koncentrationsbidrag fra de forskellige kilder inden for Københavns Kommune til bybaggrundsluftforureningen over København (Jensen et al., 2024a). I 2022 bidrager energisektoren til 0,89 µg/m³ af NO₂-koncentrationen, hvilket udgør det maksimale potentiale ved overgang til ikke-emitterende teknologi, mens overgang til træpiller vil forøge NO_x-emissionen. Hvorvidt hurtigere udfasning af naturgas i energisektoren kan fremrykke overholdelse af WHO's retningslinjer for NO₂ afhænger derfor af hvilken teknologi, som erstatter naturgas.

Andel af naturgas i udenlandske energisektorer

Som det fremgår af den danske opgørelse, er det ikke ligetil at opgøre emissioner af NO_x og PM_{2,5} tilknyttet naturgas inden for energisektoren. Derfor vil det være for omfattende at gøre dette for alle europæiske lande. Derfor er Tyskland udvalgt, da det er et stort land nær Danmark, og som bruger meget gas herunder russisk gas, som der er en række initiativer for at reducere bl.a. støttet af EU under programmet RePowerEU. Data for Tysklands emissioner i 2021 er hentet fra deres officielle rapportering foretaget d. 14/2-2024

(<https://www.ceip.at/status-of-reporting-and-review-results/2024-submission>). Emissionerne bliver ikke rapporteret pr. brændsel, men kun det samlede brændselsforbrug. På baggrund af Tysklands dokumentationsrapport er det muligt at finde emissionsfaktorer, der kan hjælpe med at lave en opgørelse for naturgas. For en del af kategorierne angiver Tyskland i deres dokumentationsrapport afledte emissionsfaktorer, som er anvendt. For partikler angiver de TSP, som er antaget at være PM_{2,5} for naturgas. For nogle af kategorierne er emissionsfaktorerne ikke tilgængelige, og der er derfor anvendt Tier 1-emissionsfaktorer fra EMEP/EEA Guidebook, som en proxy til at fordele emissionerne med. Dette er i praksis gjort ved at beregne emissionen ved anvendelse af Tier 1-emissionsfaktorerne, og derefter skalere denne værdi med forholdet mellem den beregnede emission og den rapporterede emission for kategorien. Der er således en række usikkerheder knyttet til forsøget med at opgøre emissioner fra naturgas, og estimatet skal derfor tages som en indikation af niveauet til vurdering af, hvor stor en andel naturgas udgør af den samlede emission. Tyske emissioner fra energisektoren er vist i Tabel 6.5.

Tabel 6.5. Tyske emissioner af NO_x og PM_{2,5} samt bidrag fra naturgas inden for energisektoren (GNF 1A) i 2021 (Nielsen, 2024).

	NO _x (ktons) Total	PM _{2,5} (ktons) Total	NO _x (ktons) Naturgas	PM _{2,5} (ktons) Naturgas
Offentlig el- og fjernvarmeproduktion	204	4	23	0,19
Olieraffinaderier	14	0,5	2,2	0,02
Fremstillingsvirksomheder	88	2	42	0,20
Handel & Service	19	2	10	0,04
Husholdninger	62	18	36	0,10
Land- og skovbrug	7	0,5	0,8	0,00
I alt	392	27	113	0,54
Andel knyttet til naturgas			29 %	2 %

Emissioner knyttet til naturgas i den tyske energisektor udgør 29 % og 2 % for hhv. NO_x og PM_{2,5}.

De totale tyske emissioner fra alle kilder udgør i 2021 965 tusinde tons og 83 tusinde tons for hhv. NO_x og PM_{2,5} (Nielsen, 2024). Dvs. at tyske emissioner knyttet til naturgas inden for energisektoren udgør 12 % og 0,7 % for hhv. NO_x og PM_{2,5} i forhold til de totale tyske emissioner fra alle kilder.

Hvorvidt hurtigere udfasning af naturgas i energisektoren i Europa kan fremrykke overholdelse af WHO's retningslinjer for NO₂ og PM_{2,5} afhænger derfor af hvilken teknologi, som erstatter naturgas, hvilket vil følge de samme principper som diskuteret for Danmark for udfasning af naturgas til privat boligopvarmning (se afsnit 6.2).

I Tabel 6.6 er vist de emissionsfaktorer, som anvendes i emissionsopgørelsen for Tyskland inden offentlig el- og varmeproduktion.

Tabel 6.6. Emissionsfaktorer anvendt i emissionsopgørelsen for Tyskland i offentlig el- og varmeproduktion i 2021 (Nielsen, 2024).

Type	NO _x (g/GJ)	PM _{2,5} (g/GJ)
Kul	56	1,5
Brunkul	78	2,0
Naturgas	37	0,3
Olieprodukter	97	3,7
Biomasse (ekskl. affald)	172	4,4
Kommunal affaldsforbrænding	49	0,6

Som det fremgår af Tabel 6.6 har naturgas den laveste emission af både NO_x og PM_{2,5} per energienhed, så hvis naturgas erstattes af en af de andre fossile eller biomassebaserede brændsler vil emissionen af både NO_x og PM_{2,5} stige og dermed øge baggrundskoncentration af NO₂ og PM_{2,5} i Danmark, alt andet lige. Emissionerne vil kun reduceres helt, hvis naturgas erstattes af ikke-emitterende vedvarende energi som sol og vind. Hvis varmeproduktion erstattes af varmepumper vil der stadigvæk være emission knyttet til elforbruget, som vil være større end for naturgas, men mindre i forhold alternative fossile og biomassebaserede brændsler.

Modelberegninger af koncentrationsbidraget fra energisektorer i Europa viser, at gennemsnittet for Danmark i 2022 er omkring 0,12 µg/m³ for NO₂ og omkring 0,25 µg/m³ for PM_{2,5}. Det svarer til 3 % og 5 % for hhv. NO₂ og PM_{2,5} af baggrundskoncentrationen over Danmark (personlig kommunikation, Christensen, 2024). Europa omfatter her alle de lande/områder under EMEP (The cooperative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe) minus Danmark, i alt 73 lande/områder inkl. store dele af Rusland, samt tidligere sovjetiske regioner, som nu er selvstændige.

Hvis de tyske emissioner knyttet til naturgas inden for energisektoren tages som pejlemærke for naturgassens bidrag til emissioner i Europa kan koncentrationsbidraget til Danmark skønnes ud fra dette. Tyske emissioner knyttet til naturgas udgjorde 29 % og 2 % for hhv. NO_x og PM_{2,5} i forhold til den tyske energisektor. Dvs. koncentrationsbidraget til Danmark knyttet til udenlandsk naturgas er 29 % af 0,12 µg/m³ lig 0,03 µg/m³ for NO₂ og 2 % af 0,25 µg/m³ lig 0,005 µg/m³ for PM_{2,5}. Disse koncentrationsbidrag er under alle omstændigheder marginale, men vil øges hvis naturgas bliver erstattet af fossile og biomassebaserede brændsler, og kun reduceres ved erstatning med energiproduktion ved sol og vind.

6.4 Betydning af reguleringen af international skibstrafik

Dette afsnit forsøger at svare på Miljøministeriets spørgsmål om, *hvilken betydning har reguleringen af international skibstrafik, herunder betydningen af usikkerhed om effekten af Tier III regulering i NECA-områder?*

I det følgende redegøres der for hvilken betydning international skibstrafik har for koncentrationer og helbredseffekter i Danmark ud fra tidligere modelberegninger udført af DCE. Endvidere sammenfattes resultater fra en rapport Miljøstyrelsen har udgivet i 2022 om faktiske emissioner fra Tier 0 til II skibe

udført af Explicit (Miljøstyrelsen, 2022), som viste, at disse var højere end forventet, hvilket kan give anledning til en forventning om, at Tier III-reguleringen måske ikke vil leve op til de forventede reduktioner. Endvidere skønnes, hvilken betydning dette kan have for koncentrationer af NO₂ og PM_{2,5} og dermed for målopfyldelse af WHO's retningslinjer.

NECA- og Tier III-regulering

Den europæiske del af NECA-området (NO_x Emission Control Areas) omfatter Nordsøen og Østersøen.

Det er IMO (International Maritime Organization), som fastsætter emissionskravene til skibe. Ligesom emissioner fra vejtrafik reguleres med Euronormer for køretøjerne, reguleres skibe på tilsvarende vis efter emissionsnormer kaldet Tier 0, I, II, og III, hvor emissionskravene løbende er blevet skærpet.

Tier 3 for den europæiske del af NECA gælder for skibe køllagt efter den 1. januar 2021, og stiller krav om en reduktion på 80 % i NO_x-emissionen i forhold til Tier 1 (IMO.org, regulation 13). Disse reduktioner kan opnås gennem installation af SCR (Selective Catalytic Reduction). SO₂ er også reguleret ved hjælp af lovkrav til det maksimalt tilladelige svovlindhold i brændstoffet, som blev reduceret fra 1,5 % til 0,1 % d. 1. januar 2015. Svovlkrav gælder alle skibe uanset køllægningsdato. Det gælder for svovl i tillæg, at skibe godt kan bruge brændstof med højt svovlindhold i SECA området (Sulphur Emission Control Area), hvis skibet har en scrubber installeret, der så skal rense udstødningen ned til et niveau, der svarer til et svovlindhold på 0,1 %.

International skibstrafiks betydning for den lokale luftkvalitet og kvælstofbelastning af økosystemer

DCE's luftkvalitetsmodeller viser forhøjede koncentrationer af NO₂ langs skibsruterne i de danske farvande, hvilket kan bidrage til forringet luftkvalitet i de kystnære områder. NO_x-udledninger fra skibe bidrager til NO₂-koncentrationer i hele Danmark (ca. 26 % af NO₂-niveauet som gennemsnit over Danmark skyldes udledning fra skibstrafik i 2022). I de kystnære områder vil bidraget være højere, og længere inde i landet vil bidraget være lavere. Udledningerne af NO_x bidrager også til dannelsen af fine partikler (PM_{2,5}) og dermed til den generelle luftforurening af PM_{2,5} hen over Danmark (ca. 12 % af det totale PM_{2,5}-niveau som gennemsnit over Danmark skyldes udledninger fra skibe i 2022). Men da dannelsen af PM_{2,5} fra NO_x-emissioner tager nogle timer, er det ikke de nærmeste skibe, der påvirker lokalt, men den samlede emission fra skibe i alle farvande omkring Danmark, der har betydning (både danske og ikke-danske farvande). Koncentrationsbidraget fra skibstrafik beregnet med DEHM-modellen til gennemsnittet over Danmark i 2022 er omkring 1,2 µg/m³ for NO₂ og omkring 0,7 µg/m³ for PM_{2,5} (personlig kommunikation, Christensen, 2024). Dette udgør derfor potentialet for bidrag til målopfyldelse af WHO's retningslinjer ved regulering af skibstrafikken, hvor både den hidtidige regulering samt den nye Tier III regulering vil have en effekt.

Som en del af den nationale overvågning beregner DCE også afsætningen af kvælstofkomponenter til de danske landområder og farvande (Ellermann et al, 2023b). De seneste beregninger kommer frem til, at lidt over halvdelen af det kvælstof, der afsættes til de danske farvande, kommer fra landbrugsproduktion (i både Danmark og udland) og resten skyldes forbrændingskilder. Skibstrafik udgør ca. 18 % af den sidste kategori. I alt betyder det, at skibe bidrager med ca. 7 % til den totale kvælstofafsætning til de danske farvande.

For kystnære områder er det dog sådan, at den største del af det kvælstof der tilføres kommer via afstrømning fra landbrugsområder. Bidraget fra hhv. afstrømning og via atmosfæren kan dog variere meget fra år til år pga. variationer i bl.a. nedbør og vindforhold, og der kan være lokale forskelle alt efter afstanden til land, de lokale landbrug og andre kilder. I de åbne farvande kan bidraget fra atmosfæren og dermed også skibene således have en større betydning.

International skibstrafiks betydning for helbredseffekter i Danmark

Mange helbredsstudier har vist, at især eksponering for atmosfæriske partikler er forbundet med en øget risiko for en række sygdomme og for tidlig død. Som en del af den nationale overvågning af luftkvalitet beregner DCE den løbende udvikling i luftforureningsniveauerne i Danmark, og med udgangspunkt i modelberegninger estimerer DCE danske og udenlandske kilders bidrag til helbredseffekter i Danmark (Ellermann et al., 2024). Samlet viser DCE's modelberegninger af helbredseffekterne for 2022, at der var omkring 3.700 for tidlige dødsfald i Danmark, samt en række andre helbredseffekter som følge af luftforureningen. For 2022 er det DCE's estimat, at international skibstrafik bidrager med omkring 12 % til antallet af for tidlige dødsfald relateret til luftforurening i Danmark svarende til omkring 440. Dette er dog de samlede emissioner fra skibe og pga. alle udledninger f.eks. NO_x og primært udsendt PM_{2,5}.

Målte faktiske emissioner fra skibe i danske farvande

Et er de emissioner som skibsmotorer godkendes efter i forhold til emissionskravene i Tier 0, I, II og III, og noget andet er de faktiske emissioner ved drift af skibene.

Explicit har i en rapport for Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2022) undersøgt skibes faktiske emissioner. Rapporten havde til hensigt at vurdere de nuværende udledningsniveauer af NO_x fra skibe i dansk farvand set i lyset af den gældende NO_x-regulering for skibe samt at udforske mulige modeller for håndhævelse af det europæiske NECA ved brug af de samme overvågnings-teknikker, som i dag bruges til svovlovervågning til søs. NO_x-data i rapporten er baseret på faktiske emissionsdata (RSE data = real sailing emissions data) indsamlet over en fireårig periode og består af 2.249 skibsobservationer, hvor gasser i skibenes røgfaner er blevet målt ved brug af snifferteknologi monteret på enten helikoptere eller droner. I tillæg til de målte gasdata er der også blevet indhentet motordata for at afdække betydningen af sejlhastighed, motorstørrelse og brændstoffektivitet på NO_x-udledningerne. For hvert skib er der således beregnet en individuel NO_x-emissionsfaktor (g/kWh) med justeringer for motorbelastningen på måletidspunktet.

Det er vigtigt at understrege, at undersøgelsen ikke omfattede Tier III skibe, da ingen af de undersøgte skibe var køllagt efter 1.1.2021, og rapporten havde kun fokus på NO_x og ikke partikeludledning.

Rapporten konkluderede bl.a. følgende (Miljøstyrelsen, 2022):

- Skibe i dansk farvand udleder i gennemsnit ca. 11 g/kWh NO_x, men gennemsnittet dækker over en stor spredning, hvor særligt lave motorbelastninger giver høje emissionsfaktorer (op til 35,6 g/kWh).
- Det er Tier II-skibene – den yngste gruppe af skibe – som udleder mest NO_x med 12,5 g/kWh i gennemsnit mod kun 11,5 g/kWh for Tier I og 10,7 g/kWh for Tier 0. Dette står i skarp kontrast til intentionen i

NO_x-reguleringen, som skulle reducere udledningen fra yngre skibe i forhold til ældre skibe.

- Motorbelastningen påvirker NO_x-udledningen. Jo lavere motorbelastning, jo højere er den gennemsnitlige NO_x-emissionsfaktor målt i g/kWh og jo større er spredningen i emissionsfaktorerne.
- Skibe i dansk farvand sejler i gennemsnit 12,1 knob, hvilket er langsommere end den typiske hastighed, skibene er designet til (service speed), og har en beregnet gennemsnitlig motorbelastning på ca. 49,2 %. Den relativt lave motorbelastning afviger fra den levetidsantagelse, som ligger implicit i NO_x Technical Code: At skibe bruger majoriteten af deres livstid (70 %) ved 70-100 % motorbelastning, og at emissionslovgivningen derfor ved emissionsgodkendelse vægter disse belastninger tungere i bestræbelsen på at reducere NO_x-udledningen. Testproceduren har således for 25, 50, 75 og 100 % motorbelastning vægtprocentandele på 15, 15, 50 og 20 %. Men som Explicit data viser, så sejler skibe i dansk farvand typisk ikke med 70-100 % motorbelastning, hvilket potentielt kan have en formindskende effekt på NO_x-reduktionen inden for NECA-området.
- Store motorer (≥40,000 kW) tegner sig desuden for højere NO_x-emissionsfaktorer end gennemsnittet, mellem 16,4 – 20,1 g/kWh. Da disse motorer samtidig også er dem, der totalt set udleder mest, er der tale om et betydeligt emissionsbidrag, også selvom den faktiske NO_x-udledning i g/time er mindre ved lav motorbelastning.

Fra 2021 indføres skærpede emissionskrav i NECA-områder for nye skibe med køllægningsdato efter 1/1-2021 (Tier III). Så der forventes at ske en gradvis reduktion af NO_x-emissionen fra skibstrafik i de danske områder på lang sigt, efterhånden som de ældre skibe udfases. Tier III-skibe vil i stor udstrækning benytte SCR katalysatorer til at nedbringe NO_x-emissionen, og for disse skibe vil der nok stadig være forøgede NO_x-emissioner ved de laveste sejlhastigheder, svarende til meget lav motorbelastning, hvor røggastemperaturen er lav, og SCR-katalysatoren derfor har en ringe virkningsgrad. Den fulde effekt af Tier III-reguleringen slår derfor formodentligt ikke igennem pga. af de relativt lave sejlhastigheder og lav motorbelastning for skibe i danske farvande.

Regulering af skibsemissioner vha. Tier III-krav vil fortsat bidrage til overholdelse af WHO-retningslinjer for koncentrationen af NO₂ i fremtiden, men det er uden for national lovgivning at fremrykke overholdelse, da emissioner reguleres gennem IMO. Den fulde effekt af regulering af svovlindholdet i brændstoffet og deraf reduktion af koncentrationsbidrag af SO₂ og partikler indtraf allerede i 2015, så der kan ikke forventes yderligere reduktion af koncentrationen af PM_{2,5} i fremtiden som følge af Tier III.

6.5 Betydning af det nye luftkvalitetsdirektiv for regulering af emissioner

Dette afsnit forsøger at svare på Miljøministeriets spørgsmål om, *hvilken betydning udviklingen har i andre lande, herunder om det nye luftkvalitetsdirektiv vil give en effekt ud over det, der følger af NEC (og vores NAPCP)?*

NEC og NAPCP

Den fremtidige luftkvalitet i 2030 er belyst i et NAPCP-projekt for Miljøministeriet (Jensen et al, 2023a). NAPCP står på engelsk for NAPCP – National Air Pollution Control Programme) og på dansk for Nationalt program for reduktion af luftforurening. Disse beregninger er baseret på allerede vedtagne politiske tiltag, dvs. Energistyrelsens basisfremskrivning af emissioner ("frozen policy"). I forudsætningerne for beregningerne er brugt krav stillet i henhold til EU-direktivet fra 2016 om nationale reduktionsforpligtelser (NEC-direktivet – National Emission Ceilings). De gældende emissionskrav for de enkelte medlemslande i 2030 er lagt til grund eller medlemslandenes egne fremskrivninger, hvis disse er under emissionskravene. Emissionerne blev hentet fra internationale emissionsdatabaser, som DCE har adgang til. Resultater fra denne undersøgelse er belyst i kapitel 5.

EU-Kommissionen har i 2022 foreslået et revideret luftkvalitetsdirektiv (EU, 2024), som skærper de nuværende grænseværdier (EU, 2008). De foreslåede grænseværdier skal overholdes i 2030. Luftkvalitetsdirektivet forventes vedtaget i slutningen af 2024.

DCE har tidligere for Miljøministeriet estimeret, at Danmark godt kan overholde de skærpede grænseværdier i 2030, men dog ikke for de langsigtede målsætninger for ozon i 2030. Ozondannelse er et globalt og regionalt fænomen, som kun kan reduceres gennem international regulering af ozondannende stoffer som NO_x, VOC og CO, som både har menneskabte og naturlige kilder (Ellermann et al., 2023a). Danmark skal derfor ikke iværksætte yderligere initiativer ud over NEC-direktivets krav for at overholde grænseværdierne i 2030. Men en række lande i Europa forventes at skulle iværksætte yderligere initiativer for at kunne overholde grænseværdierne i 2030, og de reduktioner i emissioner vil, alt andet lige reducere baggrundskoncentrationen i Danmark af NO₂ og PM_{2,5}.

Hvilken potentiel effekt yderligere emissionsreduktioner i andre europæiske lande som følge af det reviderede luftkvalitetsdirektiv kan forventes at få for baggrundskoncentrationen i Danmark belyses ud fra EU-Kommissionens konsekvensvurdering af forslag til luftkvalitetsdirektiv (EU Commission, 2022).

EU-Kommissionens scenarier for WHO målopfyldelse

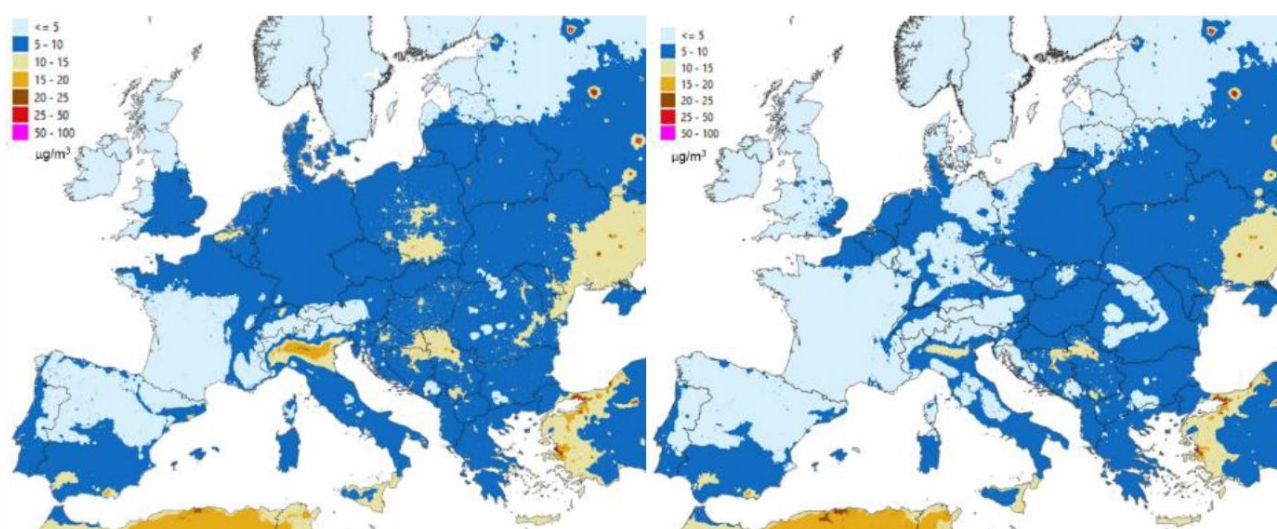
I forbindelse med fremlæggelse af forslaget til revideret luftkvalitetsdirektiv har EU-Kommissionen opstillet tre scenarier for målopfyldelse af WHO's retningslinjer for luftkvalitet (EU Commission, 2022). Disse betegnes "Full alignment" (Policy option I-1), "Closer alignment" (Policy option I-2) og "Partial alignment" (Policy option I-3). "Full alignment" betyder, at de nye grænseværdier skal opfylde WHO's retningslinjer i 2030, "Closer alignment" betyder, at nye grænseværdier skal være tæt på at opfylde WHO's retningslinjer i 2030, og "Partial alignment" betyder højere grænseværdier, der kun delvist opfylder WHO's retningslinjer. EU-Kommissionen har estimeret, at ved "Full alignment" vil 71 % af alle målestationer i EU i 2030 overskride WHO's retningslinjer, og det vil kræve ekstra lokale tiltag for at nærme sig målopfyldelse. For "Closer alignment", hvor grænseværdierne er højere end WHO's retningslinjer vil det være 6 % af alle målestationer, mens næsten alle målestationer kan opfylde nye grænseværdier fastsat endnu højere end WHO's retningslinjer ved "Partial alignment", som heller ikke vil kræve ekstra lokale tiltag.

Basisscenarie og maksimalt teknologiscenarie for udvikling i emissioner

Ovenstående er baseret på et basisscenarie for udvikling af emissionerne i EU frem til 2030. Fremskrivningerne går også videre til 2040 og 2050. Basisscena-riet er i princippet allerede vedtaget lovgivning.

Der er også regnet på et maksimalt teknologiscenarie, som kræver yderligere tiltag. MTFR-scenariet minimerer emissionerne ved at tage hensyn til alle tilgængelige end-of-pipe-teknologier uanset omkostninger og repræsenterer således den maksimale emissionsreduktion, der kan opnås med tekniske foranstaltninger. På engelsk står MTFR for Maximum Technical Feasible Reduction (EU Commission, 2022).

I Figur 6.4 er vist luftkvalitetsberegninger i 2020 og 2030 for $PM_{2,5}$, som er den komponent af luftforurening, som det er sværest at opfylde WHO's retningslinjer for. Beregningerne er med en geografisk opløsning på 250 m x 250 m for baggrundsforureningen, som dog er vanskeligt at se i figuren.



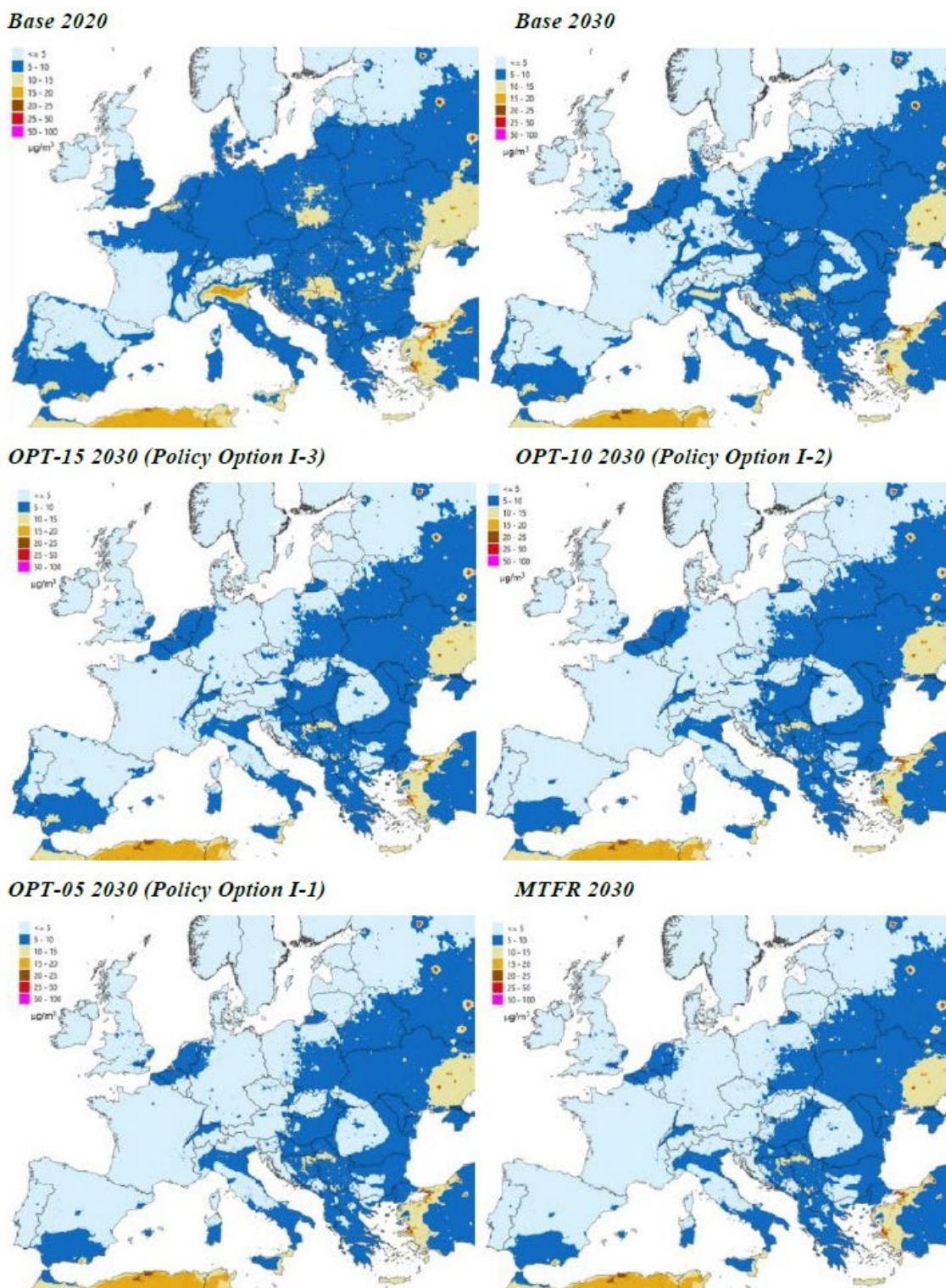
Figur 6.4. Baggrundskoncentrationer for $PM_{2,5}$ som årsmiddelværdi i 2020 (venstre) og for 2030 (højre) i basisscenariet med en geografisk opløsning på 250 m x 250 m (Figur fra EU Commission, 2022).

Som det fremgår af Figur 6.4, er der store områder af Europa i 2020, som ikke opfylder WHO's retningslinje for $PM_{2,5}$ på $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som årsmiddelværdi, herunder Danmark, og disse områder reduceres frem til 2030, hvor dele af Sønderjylland ifølge modelberegningerne stadigvæk har overskridelser af WHO's retningslinje. I 2030 vil det meste af Østeuropa, dele af Sydeuropa og områder omkring Benelux fortsat overskride WHO's retningslinje.

I Figur 6.5 er vist basisscenariet for 2020 og 2030 sammenlignet med scenarierne i 2030 for *Partial alignment*, *Closer alignment*, *Full alignment* og *MTFR* for baggrundskoncentrationen af $PM_{2,5}$ som årsmiddelværdi.

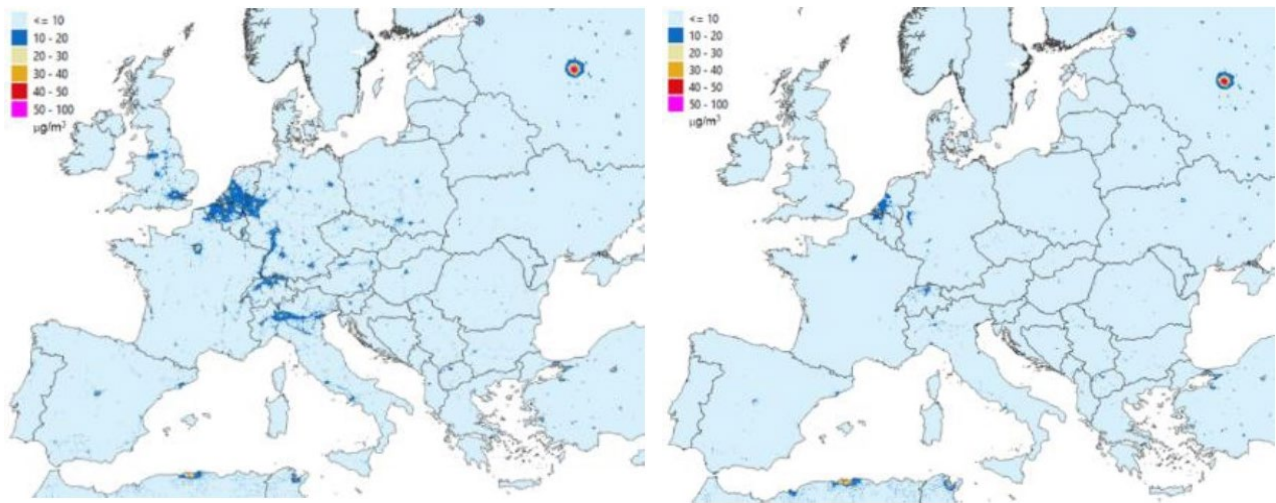
Som det ses, vil både *Partial alignment*-, *Closer alignment*- og *Full alignment* føre til, at der ikke modelleres overskridelse af baggrundskoncentrationer af $PM_{2,5}$ i 2030 i forhold til WHO's retningslinje i Danmark, hvilket er en forbedring i forhold til basisscenariet i 2030, hvor der var overskridelser i Sønderjylland. Det viser, at de forudsætninger om emissioner, som ligger bag ved disse scenarier har lavere emissioner end i basisscenariet, og dermed forudsætter yderligere emissionstiltag for at opfylde et revideret luftkvalitetsdirektiv. De yderligere emissionstiltag vil være større i *Full alignment* i forhold til *Partial alignment*, men

det er ikke muligt at udtrække disse forskelle af baggrundsmaterialet, og kvantificere betydningen for Danmark. Det samme gælder for MTRF-scenariet, hvor emissionsreduktionen vil endnu større.



Figur 6.5. Baggrundskoncentrationer for PM_{2.5} som årsmiddelværdi i 2020 (øverst, venstre) og for 2030 (øverst, højre) i basisscenariet med en geografisk opløsning på 250 m x 250 m (Figur fra EU Commission, 2022). Policy option I-3 Partial alignment (Midtfor, venstre), Policy option I-2 Closer alignment (Midtfor, højre), Policy option I-1 Full alignment (Nederst, venstre) og Policy option MTRF (Nederst, højre) (Figur fra EU Commission, 2022).

Tilsvarende beregninger er gennemført for NO₂, som viser få hotspot-områder i Europa med overskridelser af WHO's retningslinje på 10 µg/m³ som årsmiddelværdi, som reduceres yderligere frem mod 2030, hvor der hverken er overskridelser i 2020 og 2030 for Danmark. Øvrige scenarier vil give endnu lavere koncentrationer.



Figur 6.6. Baggrundskoncentrationer for NO₂ som årsmiddelværdi i 2020 (venstre) og for 2030 (højre) i basisscenariet med en geografisk opløsning på 250 m x 250 m (Figur fra EU Commission, 2022).

Litteratur

CEIP, 2024. EMEP Centre on Emission Inventories and Projections (CEIP) <https://www.ceip.at/webdab-emission-database>.

Christensen, J.H., 2024. Beregninger udført med DEHM-modellen med samme forudsætninger som i NOVANA 2022.

Elbilkommissionen, 2020. Kommissionen for grøn omstilling af personbiler Delrapport 1. Veje til en grøn bilbeskatning. September 2020.

Ellermann, T., Christensen, J.H. og Jensen, S.S., 2023a. Analyse af målopfyldelse for revideret luftkvalitetsdirektiv. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 60 s. - Videnskabelig rapport nr. 570.

Ellermann et al., 2023b. Ellermann, T., Bossi, R., Sørensen, M.O.B., Christensen, J., Lansø, A. S., Geels, C., & Poulsen, M. B., 2023b. Atmosfærisk deposition 2021. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 78s. - Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 525. <http://dce2.au.dk/pub/SR525.pdf>

Ellermann, T., Nordstrøm, C., Massling, A., Poulsen, M.B. og Sørensen, M.B., 2024a. Status for måling af luftkvalitet i 2023c. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 44 s. - Teknisk rapport nr. 320.

Ellermann T., Nordstrøm C., Brandt J., Christensen J., Ketzler M., Massling A., Bossi R., Frohn L. M., Geels C., Jensen S. S., Nielsen O., Winther M., Poulsen M. B., Sørensen M. B., Andersen M. S. & Sigsgaard T., 2024. Luftkvalitet 2022. Status for den nationale luftkvalitetsovervågning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 154 s. - Videnskabelig rapport nr. 580.

Energinet.dk, 2022. Miljøreddegørelse 2021. Dok. 22/01556-1 Offentlig/Public 1. juni 2022.

Energistyrelsen, 2020. Heating installations. Technology descriptions and projection of long-term energy system planning. Technology data.

EU, 2008. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 on ambient air quality and cleaner air for Europe. Official Journal of the European Union L152/1.

EU Commission, 2022. COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT. IMPACT ASSESSMENT REPORT. Accompanying the document Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe (recast). EUROPEAN COMMISSION. Brussels, 26.10.2022 SWD (2022) 545 final. PART 1/4, 2/4, 3/4 og 4/4. Se også https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2024-0319_DA.html

Miljøstyrelsen, 2022. NO_x emissions from ships in Danish waters. Assessment of Current Emission Levels and Potential Enforcement Models. Udarbejdet af Explicit for Miljøstyrelsen. Januar 2022.

Geels, C., Winther, M., Andersson, C., Jalkanen, J.-P., Brandt, J., Frohn, L.M., Im, U., Leung, W., Christensen, J.H., 2021. Projections of shipping emissions and the related impact on air pollution and human health in the Nordic region *Atmos. Chem. Phys.*, 21, 12495–12519, 2021. <https://doi.org/10.5194/acp-21-12495-2021>.

Jensen, S. S., Brandt, J., Frohn, L.M., Ketznel, M., Winther, M., Plejdrup, M.S., Nielsen, O.-K., Ellermann, T., 2020. Kortlægning af luftforureningen i Odense Kommune. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 80 s. - Videnskabelig rapport nr. 407, <http://dce2.au.dk/pub/SR407.pdf>

Jensen, S.S., 2022. Effekt for luftkvalitet og helbredseffekter af skærpede miljøzoner og forbud mod ældre brændeovne i Københavns Kommune. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 23 s. - Fagligt notat nr. 2022 | 80 https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2022/N2022_80.pdf

Jensen, S.S., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Ketznel, M., Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., 2023a. Nationalt program for reduktion af luftforurening (NAPCP) - Udvikling i luftkvalitet og kvælstofafsætning frem til 2030. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 47 s. - Videnskabelig rapport nr. 538. <http://dce2.au.dk/pub/SR538.pdf>

Jensen, S.S., Christensen, J.H., Ye, Z., Frohn, L.M., Geels, C., Andersen, M.S., Nielsen, O.-K., Nordstrøm, C., 2023b. Air Quality, Health Effects and External Costs in Selected Cities in Nordic Countries. Scientific report for the Nordic Working Group for Climate and Air (NKL) under the Nordic Council of Ministers. *TemaNord* 2023:548. ISBN 978-92-893-7741-6 (PDF). ISBN 978-92-893-7742-3 (ONLINE). <http://dx.doi.org/10.6027/temanord2023-548>.

Jensen, S. S., Brandt, J., Ketznel, M., Plejdrup, M.S., Winther, M., 2024a. Kortlægning af luftforureningen og dens helbredseffekter i Københavns Kommune. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 82 s. - Videnskabelig rapport nr. 605.

Jensen, S. S., Brandt, J., Winther, M., Plejdrup, M.S., Nielsen, O.-K., Ketznel, M., 2024b. Kortlægning af partikelforureningen i Tårnby Kommune. Delrapport 4 - Virkemiddelkatalog for begrænsning af luftforurening. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 94 s. - Videnskabelig rapport nr. 618.

Klimarådet, 2020. Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion. Retning og tiltag for de næste ti års klimaindsats i Danmark. Marts 2020.

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Mikkelsen, M.H., Nielsen, M., Gyldenkærne, S., Fauser, P., Albrektsen, R., Hjelgaard, K.H. & Bruun, H.G., 2023. Annual Danish Informative Inventory Report to UNECE. Emission inventories from the base year of the protocols to year 2021. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 603 pp. Scientific Report No. 540. <http://dce2.au.dk/pub/SR540.pdf>.

Nielsen, O.-K., 2024. Udtræk af tyske emissioner fra international emissions-database. Udtræk fra september 2024.

Regeringen, 2022. Klimaafale om grøn strøm og varme 2022. Et grønnere og sikrere Danmark. Danmark kan mere II. 25. juni 2022. Stemmeafale mellem Regeringen (Socialdemokratiet), Venstre, Socialistisk Folkeparti, Radikale Venstre, Enhedslisten, Det Konservative Folkeparti, Dansk Folkeparti, Liberal Alliance, Alternativet og Kristendemokraterne.

Rohr, A.C. & Wyzga, R.E, 2012. Attributing health effects to individual particulate matter constituents. Atmospheric Environment. [Volume 62](#), December 2012, Pages 130–152.

Timmers, Victor R.J.H. & Achten, Peter A.J., 2016. Non-exhaust PM emissions from electric vehicles. Atmospheric Environment 134 (2016) 10-17.

WHO, 2006. World Health Organization. Air quality guidelines. Global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. World Health Organization. Regional Office for Europe. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107823>

WHO, 2021. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva. World Health Organization; 2021. Licence. [CC BY-NC-SA 3.0 IGO](#). <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>.

Winther, 2024. Dataudtræk fra den nationale emissionsopgørelse. Udtræk fra september 2024.

VURDERING AF MULIGHED FOR FREMRYKNING AF OVERHOLDELSE AF WHO'S RETNINGSLINJER FOR LUFTKVALITET

Denne rapport vurderer forskellige muligheder for fremrykning af overholdelse af WHO's retningslinjer for luftkvalitet fra 2021. Fokus er på NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀. Først analyseres udviklingstendenser på målestationerne under det nationale måleprogram for luftkvalitet, og resultaterne ekstrapoleres ud i fremtiden ud fra fremskrivning af nationale emissioner. Fremtidig luftkvalitet belyses også ud fra modelberegninger. Endvidere svares der på en række spørgsmål stillet af Miljø- og Ligestillingsministeriet om mulighederne for fremrykning af overholdelse af WHO's retningslinjer inden for elektrificering af bilparken, regulering af privat boligopvarmning, omstilling af energisektoren, regulering af international skibstrafik og betydning af det nye luftkvalitetsdirektiv.