



# LUFTKVALITET 2023

NOVANA – Status for den nationale luftkvalitetsovervågning i Danmark

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 627

2024



AARHUS  
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI



# LUFTKVALITET 2023

NOVANA – Status for den nationale luftkvalitetsovervågning i Danmark

---

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 627

2024

Claus Nordstrøm  
Thomas Ellermann  
Jørgen Brandt  
Jesper Christensen  
Matthias Ketzel  
Andreas Massling  
Rossana Bossi  
Lise Marie Frohn  
Camilla Geels  
Steen Solvang Jensen  
Ole-Kenneth Nielsen  
Morten Winther  
Maria Bech Poulsen  
Martin Bjært Sørensen  
Mikael Skou Andersen  
Torben Sigsgaard

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. 627
Titel:	Luftkvalitet 2023
Undertitel:	Status for den nationale luftkvalitetsovervågning i Danmark
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Forfattere:	Claus Nordstrøm, Thomas Ellermann, Jørgen Brandt, Jesper Christensen, Matthias Ketzel, Andreas Massling, Rossana Bossi, Lise Marie Frohn, Camilla Geels, Steen Solvang Jensen, Ole-Kenneth Nielsen, Morten Winther, Maria Bech Poulsen, Martin Bjært Sørensen, Mikael Skou Andersen og Torben Sigsgaard
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	<a href="http://dce.au.dk">http://dce.au.dk</a>
Udgivelsesår:	December 2024
Redaktion afsluttet:	November 2024
Faglig kommentering:	Anne Sofie Lansø, Institut for Miljøvidenskab
Kvalitetssikring, DCE:	Vibeke Vestergaard Nielsen
Sproglig kvalitetssikring:	Vibeke Vestergaard Nielsen
Ekstern kommentering:	Miljøstyrelsen. Kommentarerne findes her: <a href="https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_600-699/KommentarerSR/SR627_komm.pdf">https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_600-699/KommentarerSR/SR627_komm.pdf</a>
Finansiel støtte:	Miljø- og Ligestillingsministeriet
Bedes citeret:	Nordstrøm, C., Ellermann, T., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M., Massling, A., Bossi, R., Frohn, L.M., Geels, C., Solvang Jensen, S., Nielsen, O-K., Winther, M., Poulsen, M.B., Sørensen, M. B., Skou Andersen, M., og Sigsgaard, T., 2024. Luftkvalitet 2023. Status for den nationale luftkvalitetsovervågning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 158 s. - Videnskabelig rapport nr. 627
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten giver en status for 2023 fra den nationale overvågning af luftkvaliteten i Danmark, som har fokus på forureningen i byerne. Formålet med overvågningen er at dokumentere status og følge udviklingen i luftkvaliteten med henblik på at påvise effekten af reduktionstiltag. Endvidere præsenteres data fra de nationale emissionsopgørelser samt resultater fra modelberegninger af status for og kilderne til helbredseffekterne, herunder de økonomiske omkostninger i relation til luftforureningen. I 2023 blev luftkvaliteten målt i de fire største byer og ved fire målestationer i baggrundsområder uden for byerne. I forbindelse med målingerne af PM <sub>2,5</sub> og PM <sub>10</sub> , var der i de fire første måneder omfattende problemer med kvaliteten af de leverede partikelfiltre. Konsekvenser af dette er detaljeret beskrevet i Ellermann et al. (2024). I 2023 blev der ikke målt overskridelser af EU's grænse- og målværdier i Danmark, mens hovedparten af WHO's retningslinjer for luftkvalitet, seneste opdateret i 2021, ikke blev opfyldt. Endvidere blev der gennemført modelberegninger for luftkvaliteten i Aalborg og København. Modelberegningerne viste ingen overskridelse af grænseværdien, men WHO's retningslinjer for luftkvalitet blev ikke opfyldt i flere tilfælde. Luftkoncentrationerne har for langt de fleste luftforureningskomponenter været faldende gennem de seneste årtier, hvilket skyldes faldet i udledningerne i Danmark og de øvrige europæiske lande. Modelberegningerne af helbredseffekterne viser, at der i 2023 var omkring 3.280 for tidlige dødsfald, samt en række andre helbredseffekter som følge af luftforureningen. Antallet af for tidlige dødsfald som følge af luftforureningen er faldet med omkring 58% siden 1990.
Emneord:	Luftkvalitet, luftforurening, kvælstofdioxid, carbonmonoxid, svovldioxid, tungmetaller, ozon, benzen, partikelforurening, PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , flygtige organiske forbindelser, udledninger af luftforurening, helbredseffekter, kilder, samfundsmæssige omkostninger
Layout:	Majbritt Pedersen-Ulrich
Foto forside:	Colourbox
ISBN:	978-87-7156-906-3
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	158

# Indhold

<b>Indhold</b>	<b>3</b>
<b>Sammenfatning</b>	<b>5</b>
Status og udviklingstendens for udledninger af luftforurening	5
Status og udvikling for luftkvalitet	7
Helbredseffekter og økonomiske omkostninger af luftforureningen	12
<b>Summary</b>	<b>15</b>
Emission inventories	15
State and long-term trends of the air quality	17
Health effects and economic costs of air pollution in Denmark	21
<b>1. Indledning</b>	<b>24</b>
1.1 Opgørelse af udledninger	25
1.2 Målenetværk	26
1.3 Målemetoder	29
1.4 Modelberegninger	30
1.5 Helbredseffekter og økonomiske omkostninger som følge af luftforureningen	34
<b>2. Kvælstofdioxid, NO<sub>2</sub> og kvælstofoxider, NO<sub>x</sub></b>	<b>38</b>
2.1 Udledninger	38
2.2 Status for luftkvalitet	40
2.3 Udviklingstendens	41
2.4 Modelberegninger	43
<b>3. Carbonmonoxid, CO</b>	<b>54</b>
3.1 Udledninger	54
3.2 Status for luftkvalitet	56
3.3 Udviklingstendens	56
<b>4. Svovldioxid, SO<sub>2</sub></b>	<b>59</b>
4.1 Udledninger	59
4.2 Status for luftkvalitet	61
4.3 Udviklingstendens	62
<b>5. Flygtige organiske forbindelser, VOC</b>	<b>64</b>
5.1 Udledninger	64
5.2 Status for luftkvalitet	66
5.3 Udviklingstendens	68
<b>6. Ozon, O<sub>3</sub></b>	<b>70</b>
6.1 Status for luftkvalitet	70
6.2 Udviklingstendens	71
6.3 Modelberegninger	73
<b>7. Luftbårne partikler</b>	<b>75</b>

7.1	Udledninger	76
7.2	Status for luftkvalitet	79
7.3	Udviklingstendens	82
7.4	Modelberegninger	87
<b>8.</b>	<b>Elementært – og organisk kulstof</b>	<b>93</b>
8.1	Udledninger	94
8.2	Status for luftkvalitet	95
8.3	Udviklingstendens	96
<b>9.</b>	<b>Tungmetaller</b>	<b>98</b>
9.1	Udledninger	99
9.2	Luftkvalitet	101
9.3	Udviklingstendens	102
<b>10.</b>	<b>Polycykliske aromatiske kulbrinter og benz[a]pyren</b>	<b>105</b>
10.1	Udledninger	105
10.2	Status for luftkvalitet	107
10.3	Udviklingstendens	108
<b>11.</b>	<b>Den kemiske sammensætning af fine partikler</b>	<b>109</b>
11.1	Kilderne til de uorganiske ioner	109
11.2	Status for 2023	110
<b>12.</b>	<b>Helbredseffekter og samfundsmæssige omkostninger relateret til luftforurening</b>	<b>115</b>
12.1	Status og trends for helbredseffekter	118
12.2	Status for luftforureningens samfundsmæssige omkostninger som følge af helbredseffekter	121
12.3	Kilder til helbredseffekter af luftforureningen i Danmark i 2023	122
12.4	Danske og udenlandske kilders bidrag til omkostningerne fra luftforureningen i Danmark 2023	127
12.5	Usikkerhed og perspektiver for fremtidige beregninger	132
<b>13.</b>	<b>Luftkvalitet og WHO's nye anbefalinger</b>	<b>134</b>
13.1	Kvælstofdioxid	134
13.2	Carbonmonoxid	136
13.3	Svovldioxid	136
13.4	Ozon	137
13.5	Partikler, PM <sub>2.5</sub> og PM <sub>10</sub>	138
13.6	Sammenfatning	141
<b>14.</b>	<b>Referencer</b>	<b>143</b>
<b>Bilag 1</b>		<b>153</b>
	Detaljer om kalibrering af OSPM og validering af modelresultater	155

## Sammenfatning

Rapporten præsenterer resultater for 2023 fra den nationale overvågning af luftkvalitet med særligt fokus på den helbredsskadelige effekt af luftforureningen. Overvågningsprogrammet dækker hele Danmark, men der er særligt fokus på forholdene i byerne, hvor luftforureningen er højest, og hvor der bor flest mennesker. DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE) ved Aarhus Universitet gennemfører overvågningen af luftkvalitet for Miljø- og Ligestillingsministeriet i samarbejde med kommunerne i København, Odense, Aarhus og Aalborg.

Hovedformålet med overvågningsprogrammet i relation til de helbredsskadelige effekter af luftforureningen er, at:

- dokumentere status for luftkvaliteten og vurdere status i forhold til EU's grænse- og målværdier for luftkvaliteten,
- bestemme udviklingstendensen for luftkvaliteten for dermed at kunne vurdere effekten af de nationale og internationale tiltag der er gennemført for at reducere udledningerne,
- varsle befolkningen ved overskridelse af EU's varslingstærskler (i Danmark relevant for ozon), og
- opgøre helbredseffekterne og de økonomiske omkostninger som følge af luftforureningen i Danmark. Det omfatter en detaljeret opgørelse over kilderne til helbredseffekterne, som er finansieret særskilt af Miljø- og Ligestillingsministeriet.

Overvågningen af luftkvalitet baseres på en kombination af målinger og modelberegninger. Målingerne foretages ved i alt 14 målestationer: 9 målestationer placeret i de fire største danske byer, 1 forstadsmålestation i Hvidovre og 4 baggrundsmålestationer uden for byerne. Modelberegninger af luftkvaliteten udføres ved brug af DCE's internationalt anerkendte luftkvalitetsmodeller.

Målingerne udføres i overensstemmelse med EU's luftkvalitetsdirektiver. I henhold til disse og under hensyntagen til øvrige danske behov måles koncentrationer af kvælstofdioxid og kvælstofoxider (NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>), svovldioxid (SO<sub>2</sub>), massen af partikler med diametre mindre end 10 og 2,5 mikrometer (hhv. PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>), partikelantal, benzen (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), toluen (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>), carbonmonoxid (CO), ozon (O<sub>3</sub>), elementært kulstof (EC), organisk kulstof (OC), udvalgte tungmetaller (f.eks. bly (Pb), arsen (As), cadmium (Cd) og nikkel (Ni)) og polycykliske aromatiske kulbrinter (PAH) samt udvalgte flygtige organiske kulbrinter (VOC'er), der kan føre til dannelse af ozon. Alle disse luftforureningskomponenter kan give anledning til negative helbredseffekter.

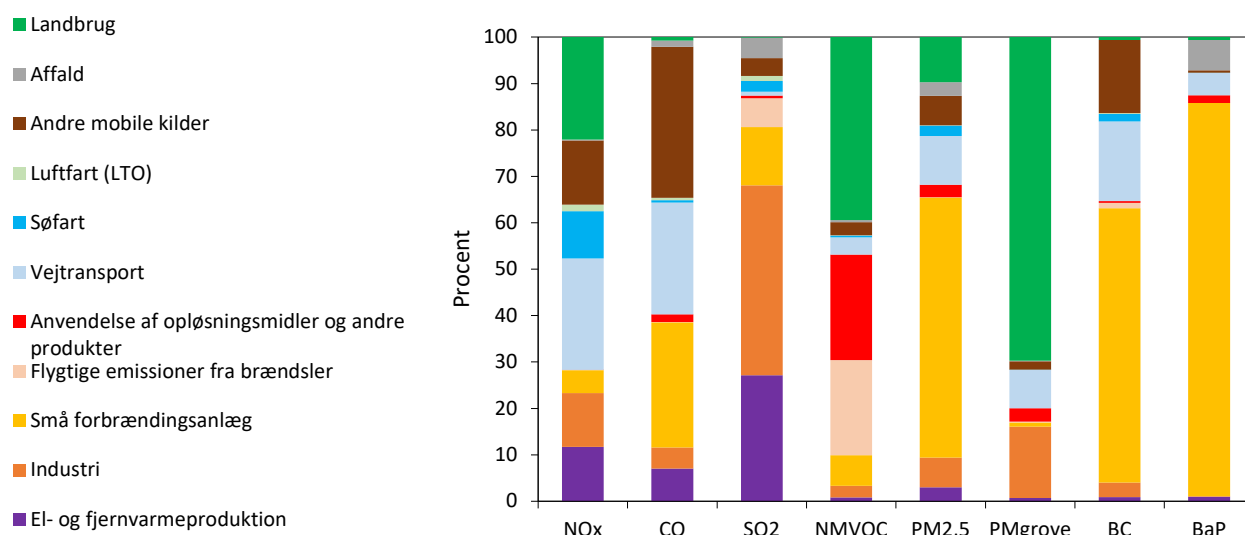
### Status og udviklingstendens for udledninger af luftforurening

Rapporten giver en oversigt over udledning af luftforurening fra danske og europæiske kilder. Først gives en status for de vigtigste kilders bidrag til udledningerne i 2022, som er det seneste år opgørelserne er udarbejdet for. Dernæst præsenteres udviklingstendensen for udledningen af de forskellige luft-

forureningskomponenter fra 1990 til 2022. Viden om kilderne og udviklingstendensen for udledningerne giver en god baggrund for at forstå årsagerne til den geografiske fordeling af og udviklingstendenserne for luftforureningskomponenterne. Data om de danske udledninger er baseret på de nationale opgørelser over udledningerne, som udarbejdes af DCE for Miljø- og Ligestillingsministeriet (Nielsen et al., 2024) og fra den fælleseuropæiske database over udledningerne fra medlemslandene i EU (CEIP, 2024). Udledningerne følger med denne rapport nu opdelingen i GNFR-sektorer (Gridded Nomenclature For Reporting) mod tidligere SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution).

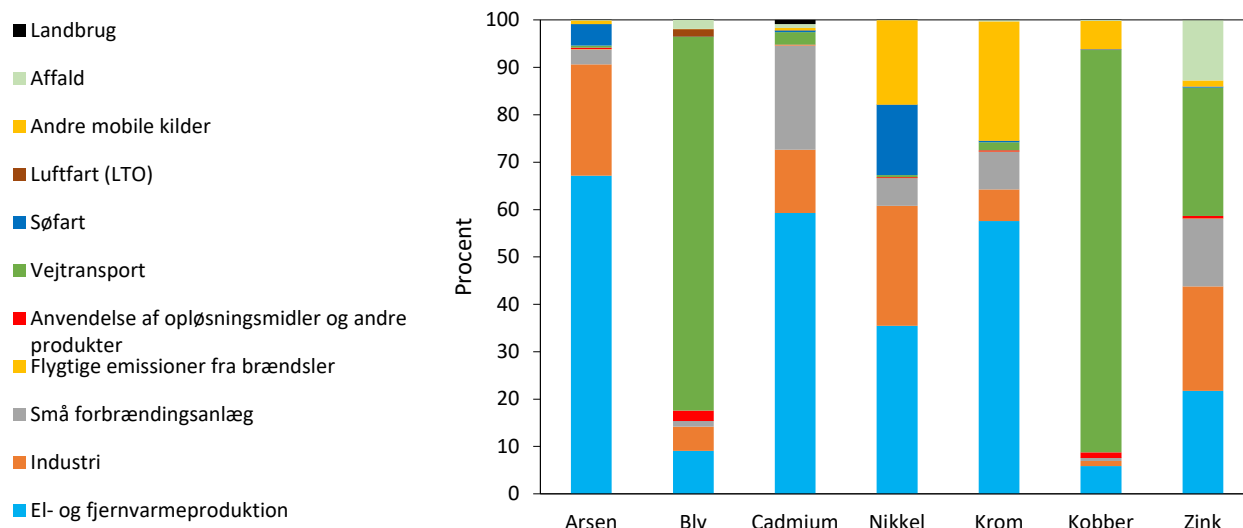
Kilderne til udledningerne af luftforureningen varierer mellem de forskellige luftforureningskomponenter. Figur 1 og 2 viser bidraget til udledningerne opdelt i de hovedsektorer, som anvendes i forbindelse med den internationale indrapportering af udledningerne. For partiklerne inkluderer opgørelserne kun de partikler, der udledes direkte fra kilderne. De partikler, som dannes via kemiske reaktioner i luften, er derfor ikke dækket af opgørelserne.

For langt de fleste luftforureningskomponenter er der sket en væsentlig reduktion i udledningerne siden 1990. Størst fald har der været for udledningerne af bly og svovldioxid, hvor udledningerne er reduceret med mere end 90%. Carbonmonoxid, arsen, nikkel og krom er reduceret med 70-80%. Kvælstofoxiderne og black carbon (BC) er reduceret med omkring 70%, mens de fine partikler (PM<sub>2,5</sub>), benz[a]pyren, flygtige organiske forbindelse (uden metan) og cadmium er reduceret med 45-65%. De grove partikler (partikler mellem 2,5 og 10 µm) og zink er kun reduceret til omkring 10-20%, og for kobber er der sket en stigning på omkring 30% siden 1990, dog med den mest markante stigning i perioden 1990 og frem til midten af nullerne. Herefter har kobber ligget mere stabilt. Ændringerne i udledningerne afspejler de tiltag, der er implementeret for at reducere udledningerne i de seneste årtier, og at der gennem de seneste 30 år er sket ændringer i de aktiviteter, som forårsager udledningerne.



**Figur 1.** Udledning af en række vigtige luftforureningskomponenter fra danske kilder i 2022 opdelt i GNFR-hovedsektorer (Nielsen et al., 2024). Opdelingen i hovedsektorer følger standard for indrapportering til EU. Følgende luftforureningskomponenter indgår: Kvælstofoxider (NO<sub>x</sub>), carbonmonoxid (CO), svovldioxid (SO<sub>2</sub>), flygtige organiske forbindelser uden metan (NMVOC), fine partikler (PM<sub>2,5</sub> = partikler med diameter under 2,5 µm), grove partikler (PM<sub>grove</sub> = partikler med diameter mellem 2,5 og 10 µm), black carbon (BC) og benz[a]pyren (BaP). Opgørelserne af udledningerne dækker kun de direkte udledte partikler og ikke de partikler, som dannes sekundært via de kemiske reaktioner i luften. Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR i kildeopgørelserne.





**Figur 2.** Udledning af udvalgte tungmetaller fra danske kilder i 2022 opdelt i GNFR-hovedsektorer (Nielsen et al., 2024). Opdelingen i hovedsektorer følger standard for indrapportering til EU. Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR i kildeopgørelserne.

## Status og udvikling for luftkvalitet

Der er fastsat grænse- og målværdier for hovedparten af de målte stoffer i EU's luftkvalitetsdirektiver (EU, 2008; EU, 2004). En detaljeret beskrivelse af gældende mål- og grænseværdier og deres gennemførelse i dansk lov findes i en bekendtgørelse fra Miljø- og Ligestillingsministeriet (2017). Bekendtgørelsen er baseret på EU's 4. datterdirektiv (EU, 2004) og EU's luftkvalitetsdirektiv fra 2008 (EU, 2008). Endvidere har WHO i september 2021 offentliggjort anbefalinger med en række grænser for luftkvaliteten for de mest helbreds-skadelige luftforureningskomponenter (WHO, 2021a). EU's grænse- og målværdier er juridisk bindende, mens anbefalinger fra WHO kun er vejledende. I rapporten sammenlignes måleresultaterne fra 2023 med både EU's grænse- og målværdier og de nye retningslinjer fra WHO.

I 2023 blev grænseværdierne for kvælstofdioxid ikke overskredet. Koncentrationerne af kvælstofdioxid ved gademålestationerne er faldet betydeligt i de seneste år, og dermed er årsmiddelkoncentrationerne ved selv den mest forurenende gademålestation (H.C. Andersens Boulevard) omkring 55% under grænseværdien. Luftkoncentrationerne for kvælstofdioxid er faldet med næsten 60% på gademålestationerne siden 2005.

Luftkoncentrationerne for de fine partikler (PM<sub>2,5</sub>; partikler med diameter under 2,5 µm) overholdt grænseværdien på 25 µg/m<sup>3</sup> som årsmiddelværdi på alle målestationer. AEI-værdien (Average Exposure Indicator, som er defineret som middel af tre års gennemsnit af årsgennemsnittet af PM<sub>2,5</sub> i bybaggrund) er faldet med omkring 50% siden 2010. Dermed er det nationale reduktionsmål (15% reduktion siden 2010; EU, 2008) nået. Luftkoncentrationerne af PM<sub>2,5</sub> er faldet med 40-60% siden opstart af målingerne i henholdsvis 2007/2008.

Resultaterne fra en detaljeret analyse af den kemiske sammensætning af de fine partikler i landbaggrund ved Risø, bybaggrund ved H.C. Ørsted Institutet og ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard viser, at selv ved den mest forurenede målestation på H.C. Andersens Boulevard kommer omkring 74% af forureningen med fine partikler fra udenlandske kilder og kilder

i det øvrige Danmark, mens kun omkring 26% af forureningen med fine partikler kommer fra kilder i København.

PM<sub>10</sub> (partikler med diameter under 10 µm) overholdt grænseværdien på 40 µg/m<sup>3</sup> som årsmiddelværdi på alle målestationer. Ligeledes var der ingen målestationer i måleprogrammet, hvor det tilladte antal overskridelser af den daglige middelværdi for PM<sub>10</sub> (50 µg/m<sup>3</sup> må ikke overskrides mere end 35 gange årligt) blev overskredet. PM<sub>10</sub> er faldet med 50-60% siden opstart af målingerne i 2001.

I 2023 var der tekniske problemer med målingerne af PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> i perioden januar til april, hvilket skyldtes problemer med de filtre, som anvendes til opsamling af partiklerne. Det har givet anledning til forhøjede usikkerheder på de rapporterede årsmiddelværdier for 2023, og de målte fald i PM<sub>2,5</sub>- og PM<sub>10</sub>-årsmiddelværdierne fra 2022 til 2023 skal vurderes med forbehold for de forhøjede usikkerheder. De tekniske problemer for PM-målingerne er detaljeret beskrevet i Ellermann et al. (2024). Disse filterproblemer har også direkte påvirket målingerne af organisk kulstof (OC).

I perioden fra 2016 til 2019 var der tekniske vanskeligheder med måling af antallet af de helt små partikler med diameter fra 11 nm til 41 nm. Derfor præsenterer rapporten resultaterne fra måling af partikelantal for partikler med diameter i området for både 41- 478/550 nm og 11-478/550 nm (mangler data i perioden fra 2016-2019). Antallet af partikler i området fra 11-478/550 nm var i 2023 omkring 9.000 partikler per cm<sup>3</sup> på gademålestationen H. C. Andersens Boulevard, hvilket er omkring en faktor to højere end ved forstadsstationen i Hvidovre og omkring en faktor tre højere end ved by- og landbaggrundsmålestationen ved henholdsvis H. C. Ørsted Institut og Risø. Siden 2002 er partikelantallet for begge fraktioner faldet med omkring 70% og 60% ved henholdsvis gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard og bybaggrundsmålestationen i København. I landbaggrund ved Risø er partikelantallet siden 2005 faldet med omkring 35% for fraktionen fra 11-478/550 nm.

Luftkoncentrationerne af elementært kulstof (EC) er på omkring 0,5 µg/m<sup>3</sup> ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard, mens der er væsentligt lavere koncentrationer ved henholdsvis bybaggrundsmålestationen på H. C. Ørsted Institut og landbaggrundsmålestationen ved Risø (omkring 0,15-0,25 µg/m<sup>3</sup>). Der er sket et stort fald i luftkoncentrationerne af elementært kulstof. Størst fald ses ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard, hvor luftkoncentrationerne er faldet med omkring 80% siden 2010, hvilket korrelerer med faldet i udledningerne af black carbon.

Luftkoncentrationerne af svovldioxid og carbonmonoxid er lavt i forhold til grænseværdierne, og der er ingen overskridelser af disse. Siden starten af målingerne i 1994 er koncentrationerne ved gademålestationerne faldet med omkring 95% og 85% for henholdsvis svovldioxid og carbonmonoxid.

Ozonkoncentrationerne i 2023 var på niveau med tidligere år. Der er ikke fastsat egentlige grænseværdier for ozon, men kun 'målværdier' og 'langsigtede mål' (hensigtsværdier). Målværdien for ozon angiver, at 8-timersmålværdierne ikke må overskrides mere end 25 gange som gennemsnit for tre år. I 2023 var der ingen overskridelser af målværdien for beskyttelse af sundhed. Det planlagte langsigtede mål (8-timersmiddelværdi på 120 µg/m<sup>3</sup>) er endnu ikke trådt i kraft, og der er ikke taget beslutning om hvornår, dette skal ske. Så-

fremt det langsigtede mål havde været gældende, ville den langsigtede målsætning være overskredet i 2023 på alle målestationer med undtagelse af gademålestationen i København på H.C. Andersens Boulevard og bybaggrundsmålestationen i Aarhus. Tærsklen for information af befolkningen om høje ozonniveauer (timemiddel  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) blev ikke overskredet i 2023. Årsmiddelkoncentrationerne for ozon har ligget på stort set samme niveau den seneste årrække undtagen på gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard, hvor der måles en stigning grundet faldet i udledningerne af kvælstofoxider fra navnlig vejtrafik i byerne.

Middelkoncentrationerne for benz[a]pyren i 2023 var  $0,08 \text{ ng}/\text{m}^3$  og  $0,20 \text{ ng}/\text{m}^3$  på henholdsvis H. C. Andersens Boulevard og ved målestationen i Hvidovre. Målværdien på  $1 \text{ ng}/\text{m}^3$  blev ikke overskredet i 2023. Luftkoncentrationerne på H.C. Andersens Boulevard og Hvidovre er faldet med omkring 60-70% siden 2008.

Målinger af 17 udvalgte flygtige organiske forbindelser i bybaggrund i København viser koncentrationsniveauer, som spænder fra  $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  til  $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i 2023. Benzen er den eneste flygtige organiske forbindelse, hvor der er fastlagt en grænseværdi. I 2023 lå luftkoncentrationerne på gademålestationerne i København på omkring 10% af grænseværdien. Disse flygtige organiske forbindelser bidrager til den kemiske dannelse af ozon på europæisk plan, og målingerne skal først og fremmest understøtte den generelle forståelse af ozondannelsen i Europa. I Danmark er størstedelen af de målte ozonniveauer hovedsageligt et resultat af langtransport af luftforurening fra centrale og sydlige dele af Europa. Der er sket et stort fald i luftkoncentrationerne for langt hovedparten af de menneskeskabte udledte flygtige organiske forbindelser. De målte luftkoncentrationer af benzen er faldet med omkring 90% siden 1998 på gademålestationen på Jagtvej.

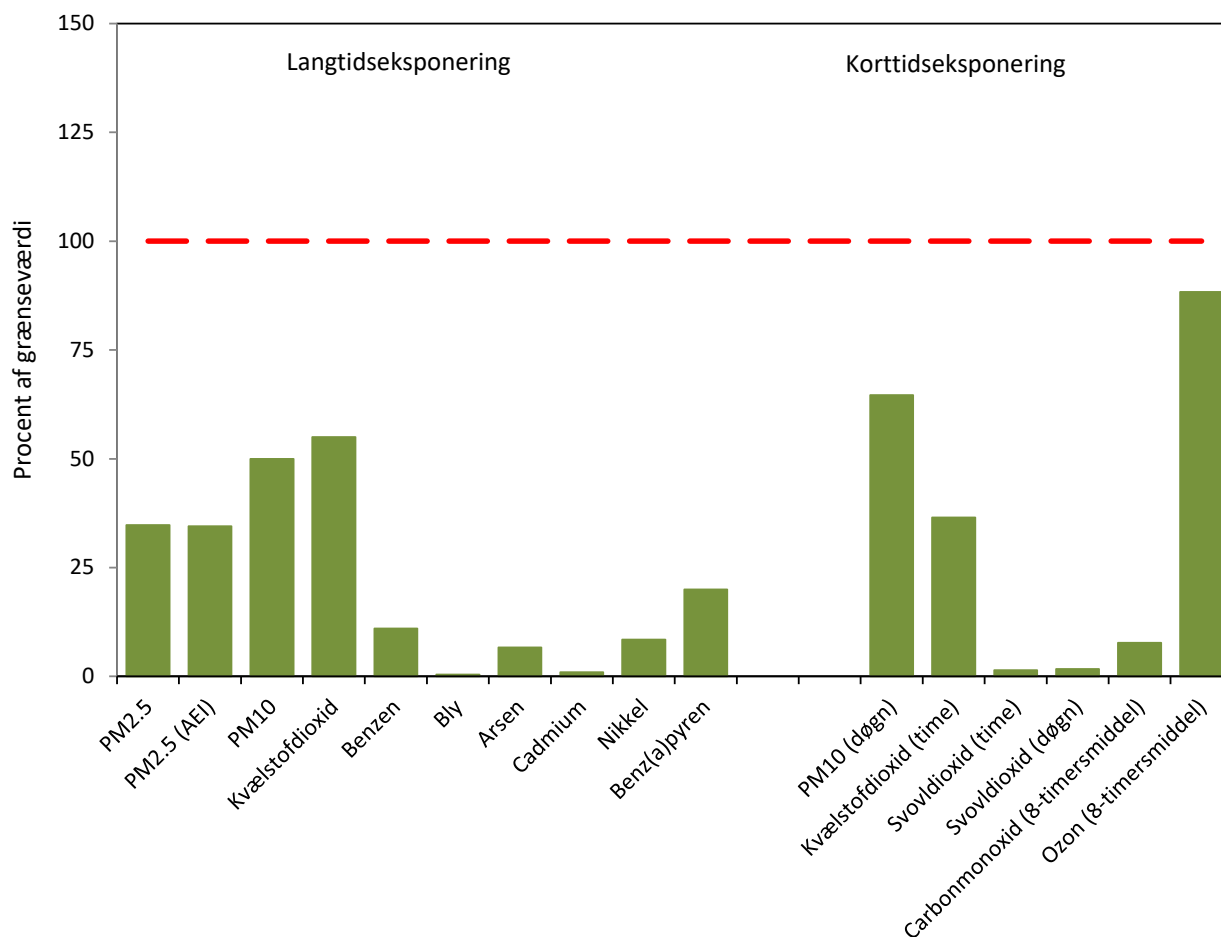
Målingerne af luftkoncentrationerne af tungmetaller og andre metaller viser, at der er sket et betydeligt fald i koncentrationerne for mange af stofferne siden 1982. Mest markant for bly, hvor koncentrationen er faldet med mere end 99% siden 1982 på H.C. Andersens Boulevard. Arsen er faldet med omkring 80% siden 1990, nikkel med omkring 85% siden 1982 og mangan er faldet med omkring 45% siden 1982. For kobber ses et mere komplekst billede med en tendens til en stigning i luftkoncentrationen frem til 2010 og herefter med en tendens til et mindre fald i de seneste år. For krom ses et nogenlunde jævnt niveau for mange af målestationerne med en tendens til et fald i de seneste år. Disse fald er i rimeligt god overensstemmelse med faldet i udledningerne.

Figur 3 giver en sammenfatning af status for luftkvalitet i relation til EU's grænse- og målværdier for ovennævnte luftforureningskomponenter. Grænse- og målværdier er indekseret til 100%. For langtidseksponering angiver søjlerne, hvor høj årsmiddelværdien var i procent af grænse- eller målværdien ved den målestation i Danmark, hvor der blev målt den højeste årsmiddelværdi.

For korttidseksponering er grænseværdierne fastlagt på den måde, at der må være et vist antal overskridelser af en fastlagt grænse. Som eksempel gælder for  $\text{PM}_{10}$ , at døgnmiddelværdierne ikke må overskride  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mere end 35 gange per kalenderår. Figur 3 angiver døgnmiddelkoncentrationen for den 36. højeste døgnmiddelværdi som procent af grænseværdien. For 2023 gælder således, at den 36. højeste døgnmiddelkoncentration ligger på 65% af grænseværdien på  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , og dermed er der ikke overskridelse af grænseværdien

for døgnmiddelværdien af PM<sub>10</sub>. Figuren præsenterer resultaterne for de andre grænseværdier på tilsvarende vis, hvor der dog er fastlagt forskelligt antal tilladte overskridelser for de forskellige luftforureningskomponenter.

Da alle søjlerne er under 100%, som svarer til grænse- og målværdier, er der ingen overskridelse af grænse- og målværdierne i 2023.

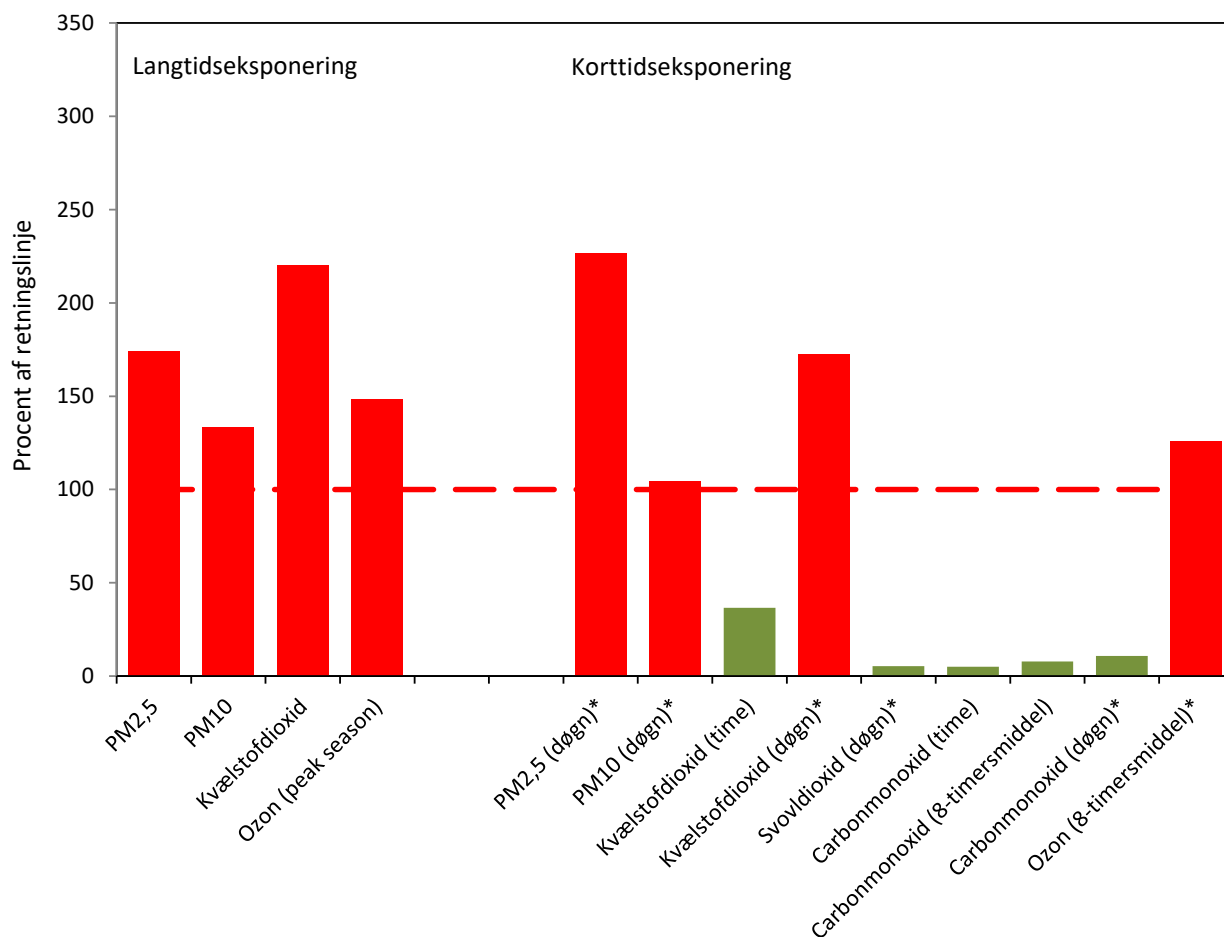


**Figur 3.** Oversigt over overholdelsen i 2023 af EU's langsigtede og kortsigtede grænse- og målværdier for luftforureningskomponenterne omfattet af EU's luftkvalitetsdirektiver (EU, 2004; EU, 2008). De langsigtede grænse- og målværdier er baseret på årsmiddelmiddelmålinger, mens de kortsigtede grænse- og målværdier er baseret på time-, døgn- eller 8-timersmiddelmålinger. Grænse- og målværdier er indekseret til 100% og luftkoncentrationerne er angivet i procent af grænse- og målværdier. Det er de højeste værdier målt i Danmark, som er angivet, og da alle koncentrationer ligger under 100%, er der ingen overskridelser af grænse- og målværdier i Danmark i 2023. PM<sub>2,5</sub> (AEI) står for "Average Exposure Indicator", der er middelmiddelmålingen for PM<sub>2,5</sub> i bybaggrund i København, Aarhus og Aalborg.

I september 2021 offentliggjorde WHO opdaterede retningslinjer for luftforureningen for de mest helbredsskadelige luftforureningskomponenter (WHO, 2021a). Figur 4 giver et samlet overblik over, hvordan koncentrationsniveauerne for kvælstofdioxid, carbonmonoxid, svovldioxid, ozon og partikler (PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>) er ved de danske målestationer sammenholdt med de opdaterede retningslinjer fra WHO (2021a). Figur 4 følger samme metodik som Figur 3.

WHO's retningslinjer for langtidseksponering er overskredet for alle luftforureningskomponenter med størst overskridelse for kvælstofdioxid og PM<sub>2,5</sub>. For korttidseksponering ses ligeledes, at WHO's retningslinjer for PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, kvælstofdioxid og ozon ikke blev opfyldt. Til gengæld ligger niveauerne for svovldioxid og carbonmonoxid langt under de nye retningslinjer fra

WHO. De mest helbredsskadelige luftforureningskomponenter (partikler, kvælstofdioxid og ozon) viser størst overskridelse af WHO's retningslinjer. Dette er med til at understrege, at der er behov for at reducere luftforureningen med disse komponenter yderligere, hvis man ønsker at opnå en reduktion af de helbredsskadelige effekter fra luftforureningen, som er omtalt i denne rapport (se nedenfor).



**Figur 4.** Oversigt over luftkvalitet i Danmark 2023 sammenholdt med WHO's nye retningslinjer vedrørende udsættelse for helbredsskadelige luftforureningskomponenter (WHO, 2021a). Figuren er opdelt i retningslinjer vedrørende langtids- og korttidseksponering. Det er de højeste værdier målt ved de danske målestationer, som angives som procent af WHO's retningslinjer, som er indekseret til 100%. De langsigtede retningslinjer er baseret på årsmiddelkoncentrationer og for ozon på parameteren kaldet 'peak season', som beregnes ud fra gennemsnit af den maksimale daglige løbende 8-timersmiddelværdi beregnet for de seks efterfølgende måneder med de højeste værdier. De nye kortsigtede retningslinjer er fastlagt ud fra kalenderårets højeste time-middelværdi, 99%-fraktile af døgnmiddel og den maksimale daglige 8-timers middelværdi. Hvis en parameter er mærket med stjerne (\*), angiver det, at det er 99%-fraktile som anvendes.

Endvidere viser modelberegningerne for 99 udvalgte gadestrækninger i København og 26 udvalgte gadestrækninger i Aalborg, at der ikke er overskridelse af EU-grænseværdierne i 2023, men WHO's retningslinjer for luftkvalitet fra 2021 overskrides for PM<sub>2,5</sub> på samtlige gadestrækninger i modelberegningerne for 2023 og for PM<sub>10</sub> for 81 ud af 99 gader i København og 17 ud af 26 gader i Aalborg. For kvælstofdioxid er WHO's retningslinjer ikke opfyldt ved nogen gadestrækninger i København, mens disse ikke er opfyldt ved 12 ud af 26 gadestrækninger i Aalborg.

## Helbredseffekter og økonomiske omkostninger af luftforureningen

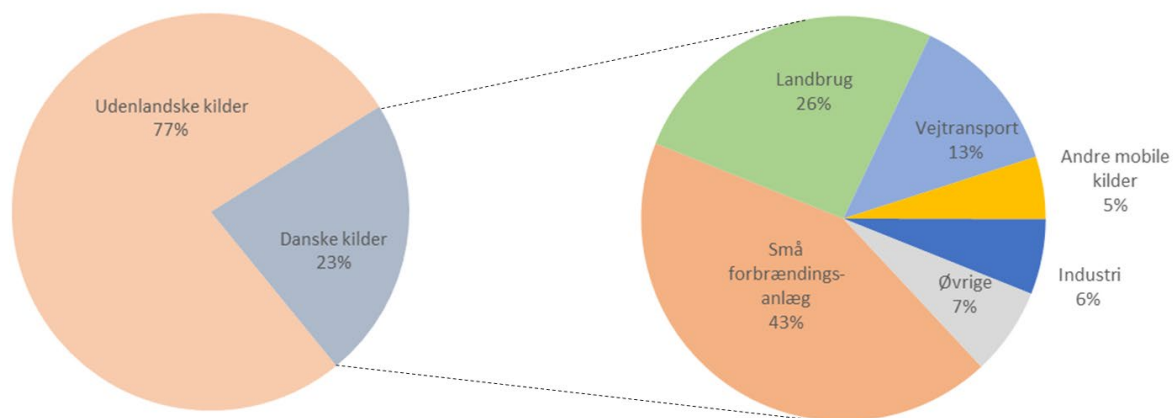
Modelberegningerne af helbredseffekterne viser, at luftforureningen i 2023 er skyld i omkring 3.280 for tidlige dødsfald og en lang række andre negative helbredseffekter. Antallet af for tidlige dødsfald er faldet med ca. 380 i forhold til den seneste årsrapportering for 2022, hvilket især skyldes ændringer i forudsætningerne for modelberegningerne, ændringer i emissioner og forskelligheder i meteorologien fra år til år. Beregningerne viser et fald i helbredseffekterne fra omkring 7.800 tilfælde af for tidlig død per år i 1990 til omkring 3.280 tilfælde per år i 2023. Dette svarer til en reduktion på omkring 58%.

De samlede omkostninger, som følge af luftforureningen i Danmark fra såvel udenlandske som danske kilder, er på omkring 60 milliarder kr. i 2023, hvilket er lidt mere end sidste rapportering for 2022. Dette skyldes bl.a. en opdatering af de miljøøkonomiske beregningspriser benyttet i beregningerne for 2023.

I forbindelse med denne rapportering er der foretaget omfattende beregninger af bidraget fra kilderne til helbredseffekterne og de samfundsmæssige omkostninger relateret til luftforureningen i Danmark. Disse beregninger viser, at omkring 744 tilfælde af for tidlig død kan tilskrives udledninger fra danske kilder, hvilket svarer til omkring 23% af det samlede antal for tidlige dødsfald som følge af luftforureningen i Danmark. De resterende omkring 77% stammer fra udenlandske udledninger, herunder *Naturlige kilder* og (international) *Søfart*. Tilsvarende fordeling mellem danske og udenlandske udledninger ses for omkostninger som følge af luftforureningen. Beregningerne viser også, at danske udledninger er ansvarlig for omkring 1.600 for tidlige dødsfald i udlandet.

Figur 5 og Tabel 1 viser de vigtigste kilders bidrag til antallet af for tidlige dødsfald i Danmark. Den vigtigste danske kilde til for tidlige dødsfald er *Små forbrændingsanlæg* (navnlig boligopvarmning med brænde), som er ansvarlig for omkring 324 tilfælde svarende til omkring 43% af tilfældene af for tidlige dødsfald fra danske kilder. *Små forbrændingsanlæg* udgør omkring 9% af tilfældene af for tidlige dødsfald set i forhold til den samlede luftforurening fra danske, internationale og *Naturlige kilder*. *Landbrug* og *Vejtransport* er de næstvigtigste danske kilder.

Usikkerhederne er betydelige på beregningerne af helbredseffekterne og omkostninger fra luftforureningen. Førende internationale forskere på området har vurderet, at deres egne beregninger er behæftet med en usikkerhed på  $\pm 50\%$  (Lelieveld et al., 2019). DCE vurderer, at usikkerhederne på beregningerne præsenteret i denne rapport er på samme niveau.



**Figur 5.** Bidrag fra danske og udenlandske kilder til antal tilfælde af for tidlige dødsfald per år i Danmark (venstre) og de forskellige danske kilders bidrag til for tidlige dødsfald i Danmark (højre). For de danske kilder vises de fem vigtigste kilder, mens de resterende kilder er samlet under øvrige.

**Tabel 1.** Danske kilders andel af for tidlige dødsfald set i forhold til antallet af for tidlige dødsfald som følge af danske udledninger, samt danske og udenlandske kilders andel set i forhold til antallet af for tidlige dødsfald fra den samlede luftforurening i Danmark, som inkluderer de danske, udenlandske og *Naturlige kilder*. Der er ved beregningerne ikke skelnet mellem *Naturlige kilder* i Danmark og udlandet, og da langt størstedelen af bidraget fra *Naturlige kilder* stammer fra kilder uden for Danmark, er bidraget fra *Naturlige kilder* grupperet under bidrag fra udenlandske kilder.

Sektor	GNFR-kode	Andel fra danske kilder iff. det samlede danske bidrag	Andel fra danske kilder iff. den samlede luftforurening	Andel fra udenlandske kilder iff. den samlede luftforurening
		%	%	%
<b>EI- og fjernvarmeproduktion</b>	<b>A</b>	3,2	0,6	3,6
<b>Industri</b>	<b>B</b>	5,6	1,1	7,2
<b>Små forbrændingsanlæg</b>	<b>C</b>	42,8	8,6	7,4
<b>Flygtige emissioner fra brændsler</b>	<b>D</b>	0,3	0,1	0,4
<b>Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter</b>	<b>E</b>	3,2	0,7	0,4
<b>Vejtransport</b>	<b>F</b>	13,4	2,7	7,1
- Vejtransport, udstødning	F1-F5	5,7	1,2	-
- Vejtransport, dæk-, bremse- og vejslid	F6-F7	7,6	1,5	-
<b>Luffart (LTO)</b>	<b>H</b>	0,2	0,0	0,1
<b>Andre mobile kilder</b>	<b>I</b>	4,5	0,9	2,2
<b>Affald</b>	<b>J</b>	0,8	0,2	0,5
<b>Landbrug</b>	<b>K+L</b>	26,0	5,2	13,8
<b>Øvrige</b>	<b>M</b>	-	-	0,2
<b>Søfart</b>	<b>G</b>	-	-	9,7
<b>Naturlige kilder</b>	-	-	-	27,1
<b>Alle kilder samlet</b>		<b>100</b>	<b>23</b>	<b>77</b>

WHO's retningslinjer fra 2021 vedrørende helbredsskadelig luftforurening omfatter en grundig gennemgang af den internationale forskning i sammenhængen mellem eksponering for en række luftforureningskomponenter og helbredsskadelige effekter (WHO, 2021a). Gennemgangen af de internationale forskningsresultater gør det klart, at der er større helbredsskadelige effekter af luftforureningen end hidtil dokumenteret, og at de helbredsskadelige effekter af luftforureningen ses ved eksponering for selv relativt lave koncentrationer af luftforureningen, som er gældende under danske forhold.



## Summary

This report presents results for 2023 from the Danish monitoring of air quality with focus on the health related effects of air pollution. The air quality monitoring program encompasses all of Denmark with a particular emphasis on cities, where air pollution and population density are highest. DCE – the Danish Center for Environment and Energy at Aarhus University carries out the monitoring program on behalf of the Danish Ministry of Environment and Gender Equality in cooperation with the municipalities of Copenhagen, Odense, Aarhus and Aalborg.

The main aim of the monitoring program in relation to health related effects of air pollution is to:

- document the state of the air quality in relation to the EU's air quality limit and target values,
- determine the long-term trends for the air quality in order to evaluate the impact of the Danish and international measures taken to reduce air pollution,
- warn the Danish public when the EU's warning thresholds are exceeded. In a Danish context, this is only relevant to ozone, and
- determine the health effects and external costs of air pollution in Denmark and detailed model calculations of the emission sources leading to air quality related-health effects and external costs (additionally financed by the Danish Ministry for the Environment and Gender Equality).

The monitoring of air quality is based on an integration of measurements and model calculations. The measurements are carried out at nine monitoring stations in the four largest cities in Denmark, one suburban monitoring station in Hvidovre and four regional background monitoring stations placed on the countryside. The model calculations are carried out using DCE's suite of internationally recognised air quality models.

The monitoring program covers the most relevant air pollutants that have impact on human health and those that are covered by the EU air quality directives (EU, 2004; EU, 2008). The program includes measurements of sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub>), particles with diameters less than 10 and 2.5 micrometers respectively (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>), particle number, elementary carbon (EC), organic carbon (OC), benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), toluene (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>), carbon monoxide (CO), ozone (O<sub>3</sub>), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), a number of heavy metals including lead (Pb), arsenic (As), cadmium (Cd), and nickel (Ni), and finally a number of volatile organic compounds (VOCs) that are precursors to formation of ozone.

### Emission inventories

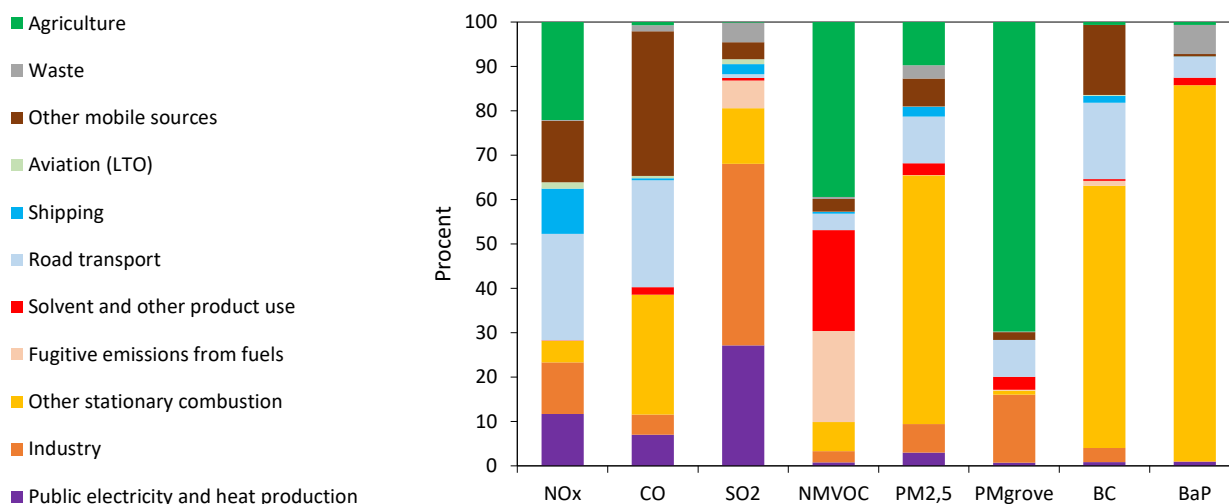
This report presents an overview of the emissions of air pollutants from Danish and European sources. This overview includes 2022 emissions, which is the most recent reporting year. An overview of the long-term trends of the

emissions is likewise covered. The aim of this overview is to facilitate the interpretation of monitoring results, i.e. explaining the spatial variability and long-term trends of the different air pollutants.

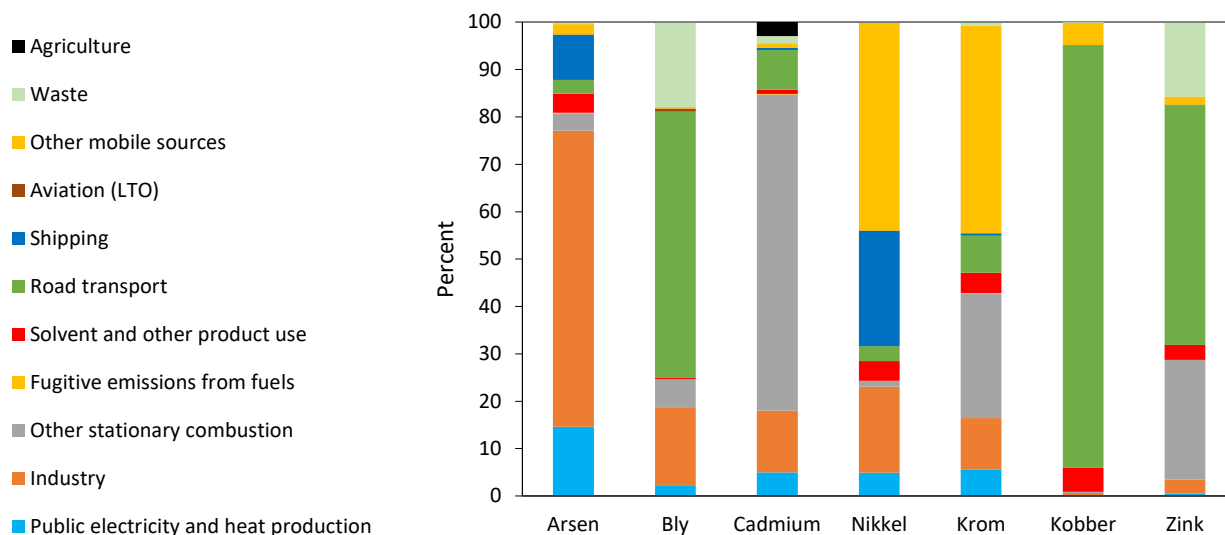
Data on emissions from Danish sources are obtained from the official national emission inventories prepared by DCE for the Danish Ministry of Environment (Nielsen et al., 2024). Emission data from the remaining EU member states are obtained from the European emission database (EMEP) (CEIP, 2024).

The sources of emissions of air pollutants vary considerably among pollutants. Figure 1 and 2 present the contributions from the different main sectors of emission sources for different air pollutants. The emission inventories only cover the directly emitted particles and not particles formed via chemical reactions in the atmosphere.

Since 1990, there have been significant reductions in the Danish emissions for most air pollutants. The largest reductions are for the emissions of lead and sulphur dioxide that have been reduced with more than 90%. Carbon monoxide, arsenic, nickel and chromium emissions have been reduced with 70-80%. Nitrogen oxides and black carbon emissions have been reduced with about 70%, while emissions of fine particles (PM<sub>2.5</sub>), benzo[a]pyrene, non-methane volatile organic compounds and cadmium have been reduced with 45-65%. Emissions of larger particles (particles between 2.5 and 10 µm) and zinc have only been reduced slightly with about 10-20% and for copper there has been an increase of about 30% in the emissions since 1990, however, the most pronounced increase is from 1990 to around 2005. After this period the copper concentration is more stable. The long-term trends reflect the measures that have been taken to reduce the various emissions as well as changes in the activities that are responsible for the emissions.



**Figure 1.** Emissions of selected air pollutants from Danish sources in 2022 grouped in the main GNFR sectors (Nielsen et al., 2024). The grouping of sources follow the standards for the international reporting of emissions. The following air pollutants are included: nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), carbon monoxide (CO), sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>), non-methane volatile organic compounds (NMVOC), fine particulate (PM<sub>2.5</sub> = particles with diameter below 2.5 µm), large particles (PM-large = particles with diameter between 2.5 og 10 µm), black carbon (BC) and benzo[a]pyrene (BaP). The emission inventories only cover the directly emitted particles and not the particles formed via chemical reactions in the atmosphere. For the 2022 inventories the emission sectors have been changed from SNAP to GNFR.



**Figure 2.** Emissions of selected heavy metals from Danish sources in 2022 grouped in main sectors (Nielsen et al., 2024). The grouping of sources follow the standards for the international reporting of emissions. For the 2022 inventories the emission sectors have been changed from SNAP to GNFR.

### State and long-term trends of the air quality

The EU air quality directives establish air quality limit and target values for the most critical air pollutants (EU, 2008; EU, 2004). A detailed description of these can be found in the statutory order from the Ministry of Environment (Miljø- og Ligestillingsministeriet, 2017). In addition, WHO published in September 2021 new air quality guidelines for the most critical air pollutants in relation to human health (WHO, 2021a). In this report the monitoring results are compared with EU limit and target values and the new WHO guidelines.

In 2023, there were technical problems with the measurements of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>, which were due to problems with the filters used to collect the particles. This has given rise to increased uncertainties in the reported annual mean values for 2023, and the measured decreases in the PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> annual mean values from 2022 to 2023 must be assessed subject to the increased uncertainties. The technical problems are described in detail in Ellermann et al. (2024). These filter problems have also directly affected the measurements of organic carbon (OC).

The permitted number of exceedances in a year of the diurnal limit value of 50 µg/m<sup>3</sup> for PM<sub>10</sub> (particles with diameter less than 10 µm) was not exceeded at any monitoring station in the monitoring network in 2023. Likewise, there were no exceedances of the annual limit values for PM<sub>10</sub> (40 µg/m<sup>3</sup>) and PM<sub>2.5</sub> (25 µg/m<sup>3</sup>; particles with diameter less than 2.5 µm). Model calculations at 99 selected street segments in Copenhagen and 26 selected street segments in Aalborg in 2023 showed likewise no exceedances for annual average concentrations of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>. The average exposure indicator (AEI) determined as a running three-year mean of the average urban background concentration of PM<sub>2.5</sub> has decreased with about 50% since 2010 and hence the target (15% reduction) has been reached. The annual average concentrations of PM<sub>2.5</sub> have decreased with 50-60% since 2007/2008 and PM<sub>10</sub> with also 50-60% since 2001.

This report presents results from a detailed analysis of the chemical contents of PM<sub>2.5</sub> in the regional background at Risø/Roskilde, the urban background in Copenhagen and at the most polluted street monitoring station in Denmark

(H.C. Andersens Boulevard, Copenhagen). This analysis shows that only about 26% of PM<sub>2.5</sub> at H.C. Andersens Boulevard originates from sources in Copenhagen, while about 74% of the concentration of PM<sub>2.5</sub> originates from sources in foreign countries and sources in the remaining part of Denmark.

In the period from 2016 to 2019 there were technical difficulties with measurements of particle number concentrations for particles with diameter between 11 to 41 nm. Hence, the annual report presents both data for the particle range from 41- 478/550 nm and 11-478/550 nm (lacks data from 2016 to 2019). The number of particles in the range 11-478/550 nm was about 9,000 particles per cm<sup>3</sup> at the street measurement station at H.C. Andersens Boulevard. This is about a factor of two higher than at the suburban measurement station in Hvidovre and about a factor of three higher than the urban and rural background measurement stations. Since 2002 the particle numbers for both size fractions have decreased by about 70% and 60% at the street measurement station on H.C. Andersens Boulevard and the urban background measurement station in Copenhagen, respectively. In the rural background at Risø, the particle number has decreased about 35% since 2005 for the fraction 11-478/55 nm.

The limit values for nitrogen dioxide were not exceeded at any of the monitoring stations in Denmark. Model calculations at 99 selected street segments in Copenhagen and 26 selected street segments in Aalborg in 2023 showed likewise no exceedances of the long-term limit value based on the annual average concentration. The annual average concentrations of nitrogen dioxide at the street monitoring stations have been reduced with about 65% since 2005.

The concentrations of sulphur dioxide and carbon monoxide are very low compared to the limit values and there are no exceedances of these. Since 1990, the concentrations of sulphur dioxide and carbon monoxide have decreased on average with about 95% and 85%, respectively, for the street measurement stations.

The annual average concentrations of elemental carbon (EC) were about 0.5 µg/m<sup>3</sup> at the street measurement station at H.C. Andersens Boulevard while the concentrations were considerably lower in the urban and rural background (0.15-0.25 µg/m<sup>3</sup>). A large decrease in the concentrations has been measured for elemental carbon. The largest decrease has been measured at the street measurement station at H.C. Andersens Boulevard (about 80%) which is in agreement with the emission data.

In 2023, the annual average ozone concentrations were at the same level as in the previous years. No clear trend is observed for the average ozone concentration during the last years except for the street monitoring station at H.C. Andersens Boulevard where there is an increase in ozone due to the reduced emissions of nitrogen oxides from traffic. The target value states that the maximum daily 8-hour mean ozone concentration must not exceed 120 µg/m<sup>3</sup> more than 25 times annually on average for three years. The target value was not exceeded at any of the monitoring stations, but the long-term objective for this parameter (maximum daily 8-hour mean ozone concentration must not exceed 120 µg/m<sup>3</sup>) was exceeded at all Danish stations except for the street measurement station at H.C. Andersens Boulevard and at the urban background station in Aarhus. The target value entered into force in 2010 while the long-term objective has not entered into force and the date for this has not yet been decided. The information threshold of 180 µg/m<sup>3</sup> was not exceeded during 2023.

Measurements of volatile organic compounds at the urban background monitoring station in Copenhagen showed concentration levels in the range of about 0.15 to 1.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for the selected 17 different compounds. Benzene is the only volatile organic compound with a settled air quality limit value (EU, 2008). In 2023 the annual average concentrations were about 10% of the limit value for the two street measurement stations in Copenhagen. Volatile organic compounds can act as precursors for the formation of ozone, and the aim of these measurements is to improve the general understanding of the ozone formation at a European level. The formation of ozone in Denmark is in general small due to moderate solar radiation. Ozone pollution in Denmark is mainly the result of long-range transport of pollutants from other European countries south of Denmark. The annual average concentrations for most of the measured volatile organic compounds have been reduced significantly since 2010. The concentrations of benzene have decreased with about 90% since 1998.

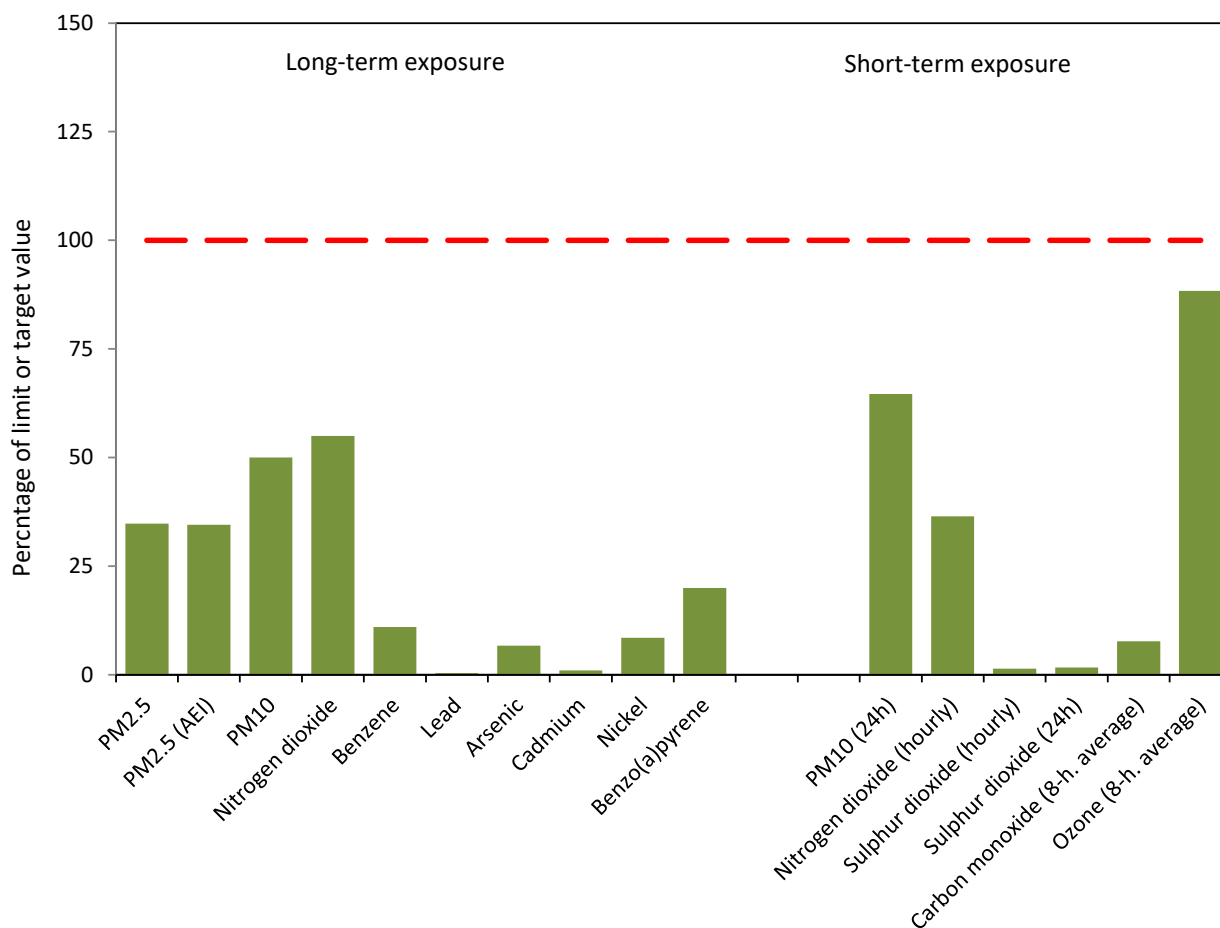
Measurements of the concentrations of particle bound polycyclic aromatic hydrocarbons were performed at H.C. Andersens Boulevard, Copenhagen and at the suburban monitoring station at Hvidovre. The average concentrations of benzo[a]pyrene in 2023 were 0.08  $\text{ng}/\text{m}^3$  and 0.20  $\text{ng}/\text{m}^3$  at H. C. Andersens Boulevard and Hvidovre, respectively. The target value for benzo[a]pyrene (1  $\text{ng}/\text{m}^3$ ) was not exceeded in 2023. The annual average concentrations have been reduced with about 60-70% at H.C. Andersens Boulevard and Hvidovre since 2008 and 2013, respectively.

The levels of heavy metals have decreased for more than two decades, and the concentrations are now far below the limit and target values. The limit values for sulphur dioxide and carbon monoxide are not exceeded either and the levels have been decreasing for the last decades.

Figure 3 gives an overview of the air quality in Denmark in relation to the EU limit and target values. The limit and target values are set to 100%. For long-term exposure, the columns show how high the annual averages were in percentage of the limit or target values for the measurement station in Denmark where the highest annual average were measured for each of the parameters. A value above 100% correspond to exceedance and a value equal to or below 100% corresponds to compliance with the limit or target value.

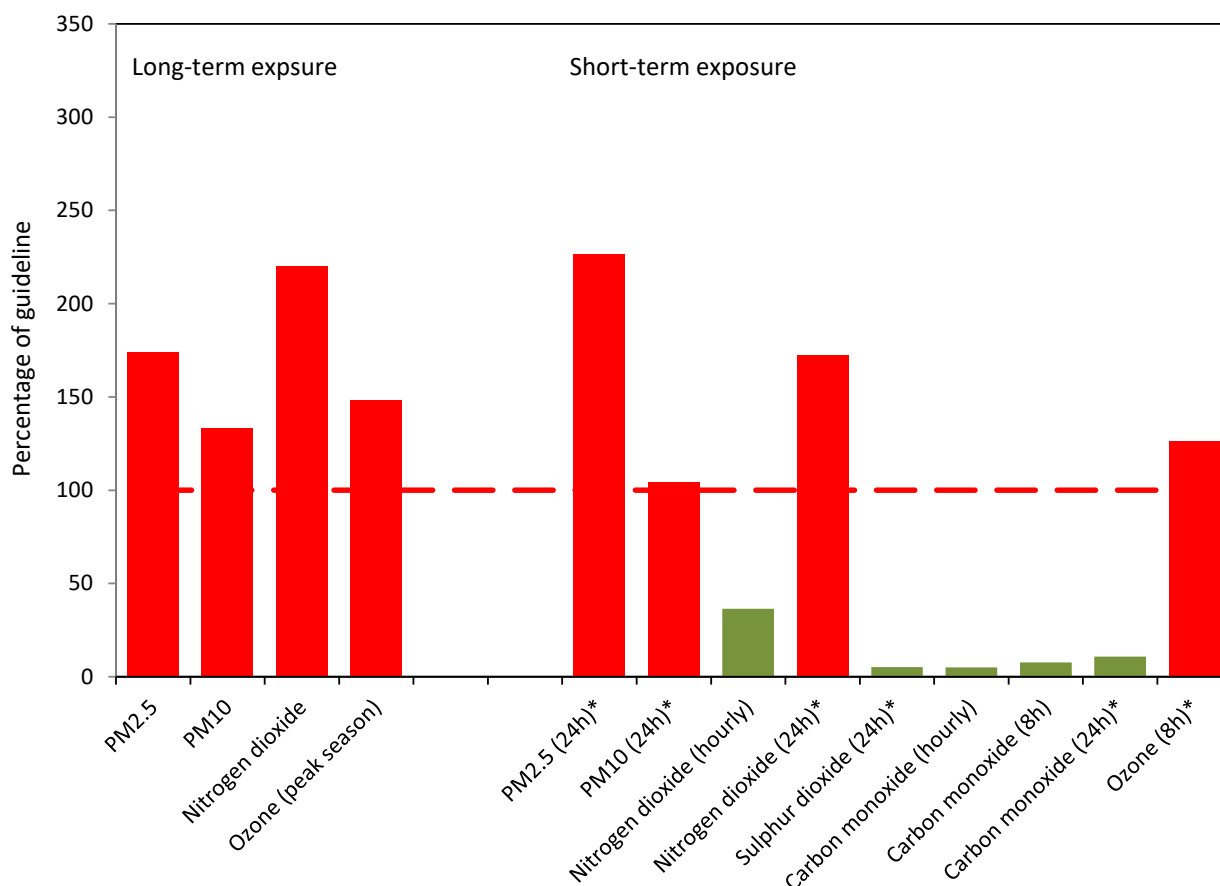
The limit values in relation to the short-term exposures have in the EU directive been defined based on a concentration limit that must not be exceeded more than a specified number of times during a calendar year. As an example, the 24-hour average concentration of  $\text{PM}_{10}$  must not be exceeded more than 35 times within a calendar year. The percentage given for  $\text{PM}_{10}$  (24-hour average) in Figure 3 corresponds to the 36<sup>th</sup> highest 24-hour average concentration. For 2023 the 36<sup>th</sup> highest concentration is 65% of the limit value and hence there is no exceedance of the limit value. Figure 3 presents data for the other short-term limit values in a similar way, although the number of allowed exceedances vary for the different limit values.

All columns in Figure 3 are below 100% and hence there are no exceedances of limit or target values at the Danish measurement stations in 2023.



**Figure 3.** Overview of the Danish compliance in 2023 with EU's short and long-term limit and target values (EU, 2004; EU, 2008). The long-term limit and target values are based on annual average concentrations while the short-term limit and target values are based on hourly, diurnal or 8-hourly averages. Limit and target values are set to 100% and the measured concentrations are given in percentage of the limit or target value. It is the highest concentrations measured at any monitoring stations that are used, and as can be seen there are no measured exceedances of the limit and target values in Denmark in 2023. PM<sub>2.5</sub> (AEI) is the Average Exposure Indicator, calculated as the annual average of PM<sub>2.5</sub> measured in the urban background in Copenhagen, Aarhus and Aalborg.

In September 2021, WHO published new air quality guidelines for the most critical air pollutants with respect to human health (WHO, 2021a). Figure 4 presents a comparison of the concentration levels for nitrogen dioxide, carbon monoxide, sulphur dioxide, ozone and particles (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>) relative to the air quality guidelines adopted by WHO. The guidelines in relation to long-term exposure are exceeded for all air pollutants with the highest exceedances for nitrogen dioxide and PM<sub>2.5</sub>. For short-term exposure there are exceedances for PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, nitrogen dioxide and ozone. In contrast, the concentration levels are considerably lower than the guidelines for sulphur dioxide and carbon monoxide. It is the air pollutants with the highest impact on human health that show the highest exceedances of the WHO air quality guidelines. This emphasizes the need to further reduce the levels of these air pollutants to lower the impact of air pollution on human health in Denmark (see next paragraph).



**Figure 4.** Overview on the exceedances in 2023 of the new air quality guidelines from WHO (2021a) at the measurement stations in Denmark. The figure is divided according to guidelines regarding long-term and short-term exposure. It is the highest concentrations from the Danish measurement stations that are shown in percentage of the WHO guidelines that have been set to 100%. The long-term exposure guidelines are based on annual average and for ozone on a new parameter called Ozone peak season. This parameter is the average of the maximum daily 8-hour average concentration for the six consecutive months that gives the highest value. The short-term exposure guidelines are based on the maximum hourly average, 99% percentile of 24-hour averages and maximum daily 8-hour average concentration. The \* indicates that the parameter is the 99% percentile.

Moreover, the model calculations for 99 selected street segments in Copenhagen and 26 selected street segments in Aalborg give no exceedance of the EU limit values in 2023, while the WHO 2021 guidelines are exceeded for PM<sub>2.5</sub> on all street segments in 2023 and for 81 out of 99 for PM<sub>10</sub>. The WHO 2021 guidelines for nitrogen dioxide are exceeded on all street segments in Copenhagen and 12 out of the 26 street segments in Aalborg.

### Health effects and economic costs of air pollution in Denmark

Model calculations show that air pollution causes about 3,280 premature deaths in Denmark in 2023 and many other negative health effects. This is around 380 less than stated in the reporting for 2022. In accordance with WHO recommendations and reflecting demographic changes, there are certain changes in the exposure response functions, background data to the functions and threshold values. Some of these changes lead to a higher number of calculated health impact cases and others to lower calculated health impacts, but altogether they do not cause large changes in the estimated health impacts. Calculations of the entire data series back to 1990 show a decrease in the health effects due to air pollution. In 1990, about 7,800 premature deaths is

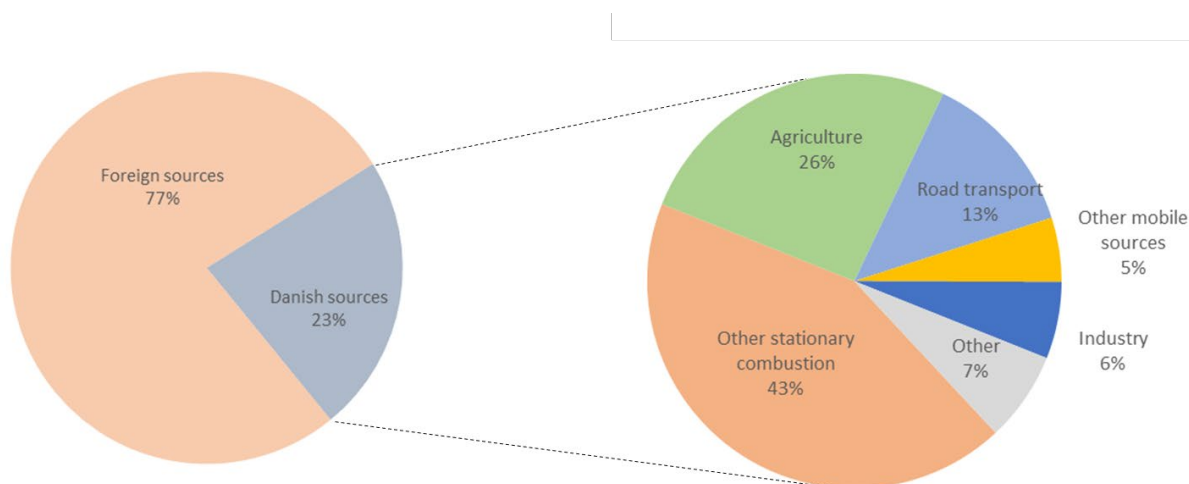
attributed to air pollution in Denmark. This number has decreased to around 3,280 in 2023 – a reduction of about 58%.

The total health related cost of air pollution in Denmark from Danish and international sources was about 60 billion DKK in 2023, slightly below the average for 2021-2023 which is 61 billion DKK.

A detailed analysis of the air pollution related sources of health effects and external costs in Denmark have been carried out as part of this reporting. It shows that within Denmark about 744 premature deaths are due to Danish emissions. This corresponds to about 23% of the total number of premature deaths in Denmark. The remaining 77% are due to emissions outside Denmark. The same pattern is reflected in the economic costs. The model calculations also indicate that Danish emissions are responsible for about 1,600 premature deaths in neighboring and other countries.

Figure 5 shows the contributions from the main air emission source sectors to the number of premature deaths in Denmark. The most important Danish air emission source is *Other stationary combustion* (mainly residential heating with wood burning) responsible for about 324 premature deaths in Denmark corresponding to 43% of the total number of premature deaths due to Danish sources. Danish *Other stationary combustion* accounts for about 9% of the total amount of premature deaths in Denmark due to both Danish, *International* and *Natural* sources. *Agriculture* and *Road transport* are the second and third most important sources.

The uncertainties in estimating health effects and external costs are significant. Leading international researchers have estimated that the uncertainties on their assessments are about  $\pm 50\%$  (Lelieveld et al., 2019). DCE estimates that the uncertainties of the health effect and external cost modelling presented in this report are at a comparable level.



**Figure 5.** Contribution from Danish and foreign sources to the annual number of premature deaths in Denmark (left) and contributions from Danish sources to the annual number of premature deaths in Denmark (right) due to air pollution. For the Danish sources, the five most important sectors are shown while the remaining are grouped under “Other”.



**Table 1.** Relative contributions from Danish sources to the number of premature deaths in Denmark calculated relative to the number of premature deaths from Danish sources and the relative contributions from Danish and foreign sources relative to the number of premature deaths from the total air pollution in Denmark (including Danish, foreign and natural sources). The model calculations do not differentiate between Danish and foreign contributions to natural sources and the main part of the natural contributions comes from sources outside Denmark. Hence the natural sources have been set under foreign sources.

<b>Sector</b>	<b>GNFR-code</b>	<b>Danish sources relative to the total contribution from Danish sources</b>	<b>Danish sources relative to the total air pollution in Denmark</b>	<b>Foreign sources relative to the total air pollution in Denmark</b>
		<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
<b>Public electricity and heat production</b>	<b>A</b>	3.2	0.6	3.6
<b>Industry</b>	<b>B</b>	5.6	1.1	7.2
<b>Other stationary combustion</b>	<b>C</b>	42.8	8.6	7.4
<b>Fugitive emissions from fuels</b>	<b>D</b>	0.3	0.1	0.4
<b>Solvent and other product use</b>	<b>E</b>	3.2	0.7	0.4
<b>Road transport</b>	<b>F</b>	13.4	2.7	7.1
- Road transport, exhaustion	F1-F5	5.7	1.2	-
- Road transport, non-exhaust	F6-F7	7.6	1.5	-
<b>Aviation (LTO)</b>	<b>H</b>	0.2	0.0	0.1
<b>Other mobile sources</b>	<b>I</b>	4.5	0.9	2.2
<b>Waste</b>	<b>J</b>	0.8	0.2	0.5
<b>Agriculture</b>	<b>K+L</b>	26.0	5.2	13.8
<b>Other</b>	<b>M</b>	-	-	0.2
<b>Shipping</b>	<b>G</b>	-	-	9.7
<b>Natural sources</b>	-	-	-	27.1
<b>All sources</b>		<b>100</b>	<b>23</b>	<b>77</b>

WHO's guidelines from 2021 (WHO, 2021a) encompass a thorough review of international research on associations between exposure to different air pollutants and impacts on human health. The review finds that health impacts are larger than previously concluded and that impacts on human health can be observed at lower concentration levels than previously documented, as is the case in Denmark.

# 1. Indledning

Den danske overvågning af luftkvalitet er i dag samlet i Delprogram for luft under det Nationale Overvågningsprogram for Vandmiljø og Natur (NOVANA). Overvågningsprogrammet består af to dele med fokus på henholdsvis den helbredsskadelige effekt af luftforurening og på luftforureningens påvirkning af vandmiljø og natur. Resultaterne fra overvågningsprogrammet præsenteres årligt i form af to årsrapporter, hvor nærværende rapport præsenterer resultater med fokus på den helbredsskadelige effekt af luftforureningen. Den anden rapport (Atmosfærisk deposition 2023) har fokus på overvågning af tilførslen af luftforurening til vandmiljøet og naturen. Denne rapport om luftkvaliteten i 2023 og rapporten om den atmosfæriske deposition i 2023 er planlagt til offentliggøres i december 2024 i sammenhæng med den øvrige rapportering under NOVANA.

DCE - Nationalt center for miljø og energi udfører overvågningen af luftkvalitet for Miljøstyrelsen, Miljø- og Ligestillingsministeriet. Overvågning udføres i overensstemmelse med bekendtgørelse Nr. 1472 fra den 12. december 2017 fra Miljø- og Ligestillingsministeriet, som implementerer EU's to luftkvalitetsdirektiver (EU, 2004; EU, 2008) i dansk lovgivning.

DCE står for gennemførelse af målingerne og driften af overvågningsnetværket samt den nationale og internationale rapportering af data fra overvågningsprogrammet. Selve driften af overvågningsnetværket foretages i et samarbejde med Københavns, Aarhus, Aalborg og Odense Kommune.

Overvågning af luftkvalitet i relation til den helbredsskadelige effekt af luftforureningen har i dag følgende hovedformål:

- Dokumentation af status for luftkvaliteten i Danmark, herunder vurdering af overholdelse af EU's luftkvalitetskriterier angivet i de to luftkvalitetsdirektiver (EU, 2004; EU 2008). Luftkvalitetskriterierne er angivet i form af grænseværdier, målværdier, langsigtet målsætning og nationalt reduktionsmål. De danske luftkvalitetskriterier er identiske med EU's.
- Overvågning af udviklingstendensen for de forskellige luftforureningskomponenter. Dette er navnlig vigtigt, da det på denne baggrund er muligt at vurdere effekten af de miljøtiltag, som gennemføres på både nationalt og internationalt niveau.
- Information til befolkningen om luftkvalitet og varsling i tilfælde af overskridelse af EU-direktivernes varslingsgrænser (primært ozon).
- Dokumentation af de helbredsskadelige effekter af luftforureningen og de samfundsmæssige omkostninger som følge af de helbredsskadelige effekter.

Overvågningsprogrammet omfatter alle de vigtigste luftforureningskomponenter af relevans for vurdering af de helbredsskadelige effekter af luftforureningen. Dette drejer sig om følgende:

*Gasser:* Kvælstofdioxid og kvælstofoxiderne, carbonmonoxid, svovldioxid, flygtige organiske forbindelser og ozon.

*Luftbårne partikler:* Partikler med diameter under 2,5 µm og 10 µm (PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>) og partikelantal. Endvidere indgår elementært kulstof, organisk stof, metaller og tungmetaller, polycykliske aromatiske kulbrinter og benz[a]pyren samt de vigtigste uorganiske ioner.

Overvågningen gennemføres ved at udnytte den synergi, der opnås ved at integrere overvågningsmålinger med resultater fra modelberegninger med DCE's luftkvalitetsmodeller. Målingerne er essentielle for at dokumentere status ved målestationerne og måling af udviklingstendenserne samt viden om kildebidraget til de målte koncentrationer. Modelberegningerne har deres styrke i forhold til kortlægning af luftkvaliteten for større geografiske områder samt vurdering af kilderne til luftforureningen. Vurdering af helbredseffekterne og de heraf følgende økonomiske omkostninger er ligeledes baseret på modelberegninger.

Inden præsentationen af selve resultaterne gives en kort introduktion til opgørelserne af udledningerne, målnetværket, målemetoderne og modelberegningerne.

I de følgende kapitler gennemgås resultaterne for hver luftforureningskomponent eller gruppe af luftforureningskomponenter. Hvert kapitel indledes med en kort status for udledningerne og udviklingstendenserne for disse. Herefter gennemgås status for luftkvaliteten og ændringerne af denne. Endeligt afsluttes kapitlet med præsentation af modelresultater for udvalgte luftforureningskomponenter. Dog bliver der ikke lavet modelberegninger for alle luftforureningskomponenter.

Det næstsidste kapitel præsenterer resultaterne fra beregning af helbredseffekterne af luftforureningen og de økonomiske effekter af disse. Dette kapitel omfatter også resultater fra beregning af kilderne til helbredseffekterne.

WHO offentliggjorde i september 2021 nye retningslinjer for luftkvaliteten for de mest sundhedsskadelige luftforureningskomponenter (kvælstofdioxid, carbonmonoxid, svovldioxid, ozon, PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>; WHO, 2021a). De nye retningslinjer fra WHO ligger væsentligt lavere end de hidtidige retningslinjer fra 2006. I det sidste kapitel sammenlignes luftkvaliteten i Danmark i 2023 med både de gamle og nye retningslinjer fra WHO.

I oktober 2024 blev det nye EU-luftkvalitetsdirektiv vedtaget, hvilket indeholder forslag til en række ændringer i målsætningerne for luftkvaliteten i EU. Der henvises til Ellermann (2022) og til Ellermann og Jensen (2024), hvor der er lavet vurderinger i forhold til EU-direktivet og de nyeste WHO-anbefalinger af luftkvaliteten set i relation til de kommende grænseværdier, målsætninger, reduktionsforpligtelser m.m. De nye grænseværdier i EU vil træde i kraft den 1. januar 2030.

## **1.1 Opgørelse af udledninger**

I forbindelse med konventionen om langtrækkende grænseoverskridende luftforurening samt EU's direktiv om nationale emissionslofter (EU, 2016) har Danmark en forpligtelse til årligt at opgøre udledninger af en række luftforurenende stoffer. Opgørelserne følger internationalt vedtagne retningslinjer, herunder de tekniske retningslinjer i den fælleseuropæiske guidebog (EEA, 2019, 2023).

Udledningerne opgøres for alle menneskeskabte kilder og baserer sig på statistiske data for aktivitetsniveau, f.eks. energistatistikken og landbrugsstatistikken samt udledningsfaktorer, som baserer sig på national eller international forskning. Opgørelserne dokumenteres i en årlig rapport, som beskriver datagrundlag, metoder og resultater (Nielsen et al., 2024).

Udledningerne rapporteres for en række internationalt definerede sektorer. For at præsentere resultaterne overskueligt i denne rapport er de aggregeret til nogle få overordnede sektorer, se tabel 1.1.

**Tabel 1.1.** Oversigt over inddelingen af udledningerne i hovedsektorer samt undersektorer for vejtransport ifølge GNFR.

Sektor	Beskrivelsen
El- og fjernvarmeproduktion	Offentlig el- og varmeproduktion
Industri	Forbrænding i fremstillingsvirksomheder, raffinaderier og energiforbrug til udvinding af olie og gas
Små forbrændingsanlæg	F.eks. husholdninger, gartnerier, opvarmning af stalde, hospitaler, universiteter
Flygtige emissioner fra brændsler	Udledninger fra udvinding, transport og lagring af kul, olie og naturgas
Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter	Udledninger fra f.eks. anvendelse af rengøringsprodukter, maling, fyrværkeri og stearinlys
Vejtransport	Vejtransport knyttet til salget af brændstof til køretøjer i Danmark
- Vejtransport, udstødning	- Udledninger fra køretøjernes udstødning
- Vejtransport, dæk-, bremse- og vejslid	- Fordampning fra brændstoftanke, slid på dæk, bremses og vejbelægning
Søfart	National søfart
Luffart (LTO)	Civil luffart LTO (Landing og start cyklus)
Andre mobile kilder	Fritidsfartøjer, jernbane, maskiner og redskaber i industri, landbrug, skovbrug, fiskeri, handel og service samt husholdninger
Affald	Lossepladser, kompostering, spildevandshåndtering, afbrænding
Gødningshåndtering	Gødningshåndtering i stald og lager
Øvrige landbrugsemissioner	Udledninger fra udbringning af gødning samt markarbejde

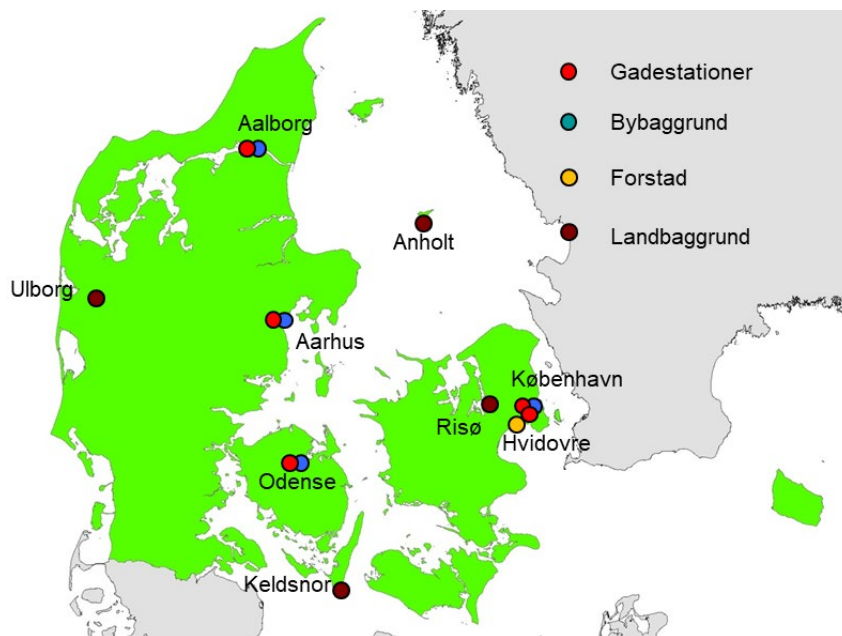
Der er udarbejdet tidsserier for udviklingen i udledningerne, som for alle luftforureningskomponenter går tilbage til 1990. Enkelte går længere tilbage, for eksempel tidsserien for svovldioxid, som går tilbage til 1980. De nationale opgørelser bliver årligt forbedret på basis af ny internationalt anerkendt viden. Opgørelserne for 2022 blev også forbedret på visse områder, hvilket er dokumenteret i Nielsen et al. (2024). I forbindelse med forbedringer af opgørelserne bliver hele tidserien genberegnet, således der forligger konsistente tidsserier for udledningerne.

Baseret på opgørelserne foretages en geografisk fordeling af udledningerne som input til modelberegningerne. Dette foretages i SPREAD-modellen (Plejdrup et al., 2021), der fordeler udledningerne på et 1 km x 1 km gitternet for det danske territorie.

## 1.2 Målenetværk

Det danske netværk af luftkvalitetsmålestationer er designet til at opfylde nationale og internationale krav til overvågning af luftkvalitet og afsætningen af luftforurening til vandmiljø og natur. I alt indgår 18 målestationer i det dan-

ske netværk, hvoraf de 14 anvendes i forbindelse med overvågningen i relation til helbredseffekterne af luftforureningen i 2023 (Figur 1.1). Det er kun disse 14, som vil blive omtalt i det følgende.



**Figur 1.1.** Målestationerne i Delprogram for luft under NOVANA. Det er kun de målestationer, hvor der måles luftforurening i relation til human sundhed, som vises på kortet.

Målestationerne er inddelt i fire kategorier:

*Landbaggrundsmålestation:* Målestation placeret uden for byerne i et område uden væsentlige lokale kilder. Disse målestationer betegnes som regionale baggrundsmålestationer.

*Forstadsmålestation:* Målestation placeret i typisk forstadsområde eller parcelhusområde, hvor der kan være et betydeligt bidrag fra brændefyring.

*Bybaggrundsmålestation:* Målestation 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.

*Gademålestation:* Målestation placeret i stærkt trafikeret gade.

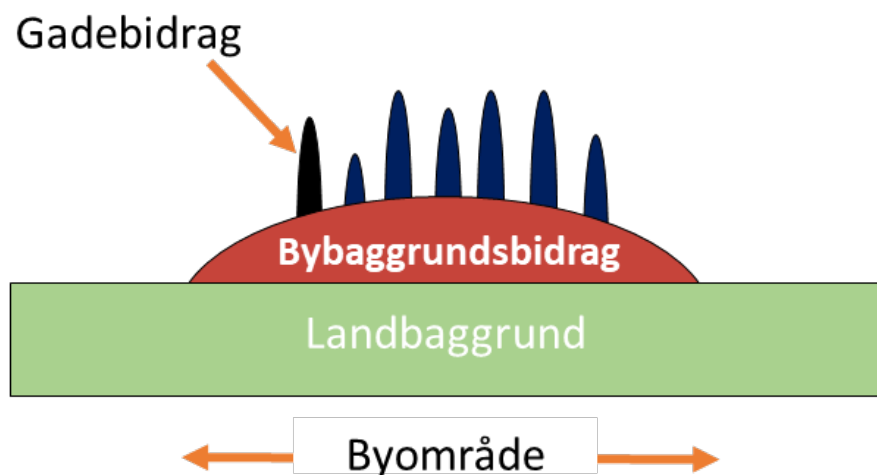
Denne organisering af målestationerne gør det muligt at få viden om kilderne til luftforureningen (Figur 1.2). Landbaggrundsmålestationerne giver viden om den langtransporterede luftforurening og angiver den andel af luftforureningen, som bliver transporteret med vinden ind til byerne.

Ved at se på forskellen mellem koncentrationer målt ved forstadsmålestation og i landbaggrunden kan der opnås viden om det ekstra bidrag til luftforurening, som stammer fra kilder i forstadsområder, for eksempel fra boligopvarmning fra brug af brændefyring.

Forskellen mellem koncentrationer ved bybaggrundsmålestation og landbaggrundsmålestation angiver det, der kaldes bybaggrundsbidraget, og forskellen mellem koncentrationer ved gademålestation og bybaggrundsmålestation angiver gadebidraget.

Denne måde at betragte de forskellige bidrag til luftforureningen på er ikke eksakt, og skal mest betragtes som en konceptuel model til forståelse af de

forskellige kilders bidrag til luftforureningen på landet, i forstaden, i bybaggrunden og på gadeniveau.



**Figur 1.2.** Skitse af de forskellige bidrag til luftforureningen. Luftforureningen på en trafikeret gade består af bidraget fra landbaggrund plus bybaggrunds- og gadebidraget. Landbaggrund består for en stor del af langtransporteret luftforurening og betegnes ofte også som den regionale baggrund.

Målestationerne er meget forskellige i størrelse og antal målte parametre. Målestationen på H.C. Andersens Boulevard er den største målestation, hvor næsten alle parametre måles. Tilsvarende måles næsten alle parametre ved landbaggrundsmålestationen ved Risø. Denne tilgang er valgt for så vidt muligt at opnå et komplet billede af luftforureningen ved disse to nøglemålestationer. Lige så vigtigt har det været at sikre en god opfyldelse af kravene opstillet i EU's luftkvalitetsprogram og at sikre en god geografisk dækning af Danmark med placering af målestationer og fordelingen af målte parametre. Tabel 1.2 giver et samlet overblik over målingerne ved de 14 målestationer.

**Tabel 1.2.** Oversigt over de målte parametre ved de forskellige målestationer. Målingerne af elementært kulstof og partikelantal ved bybaggrundsmålestationen i København gennemføres via et særskilt projekt for Miljøstyrelsen.

Målestation	Kvælstofdioxid og kvælstofoxider	Carbonmonoxid	Svovldioxid	Flygtige organiske forbindelser	Benzen, toluen og xylener	Ozon	Fine partikler (PM <sub>2,5</sub> )	Fine+grove partikler (PM <sub>10</sub> )	Partikelantal	Elementært kulstof	Organisk kulstof	Metaller/tungmetaller	Polycykliske aromatiske kulbrinter/benz[a]pyren	Uorganiske ioner
<i>Gade</i>														
København, H.C. Andersens Boulevard	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	
København, Jagtvej	x				x		x	x						
Odense, Grønløkkevej	x	x						x						
Aarhus, Banegårdsgade	x	x					x	x				x		
Aalborg, Vesterbro	x	x	x				x							
<i>Bybaggrund</i>														
København, H.C. Ørsted Institut	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x		
Odense, Rådhus	x					x								
Aarhus, Botanisk Have	x					x	x							
Aalborg, Østerbro	x					x	x							
<i>Forstad</i>														
Hvidovre	x						x		x	x	x		x	
<i>Landbaggrund</i>														
Risø	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x		x
Anholt	x		x									x		
Keldsnor	x		x			x		x						
Ulborg	x		x			x								
Samlet antal	14	6	6	1	3	8	9	7	4	4	3	5	2	1

### 1.3 Målemetoder

Målingerne af de forskellige luftforureningskomponenter foretages så vidt muligt med de referencemetoder, som er fastlagt i EU's luftkvalitetsdirektiver. Enkelte målinger udføres med alternative metoder, som dog er veldokumenterede og internationalt anerkendte. DCE er akkrediteret af DANAK i henhold til ISO 17025 (version 2017) til udførelse af hovedparten af målingerne. Tabel 1.3 giver en oversigt over de anvendte metoder.

**Tabel 1.3.** Oversigt over anvendte metoder.

Luftforureningskomponent	Metode
<i>Gasser</i>	
Kvælstofdioxid og kvælstofoxider	NO <sub>x</sub> -monitor, kemiluminescens (online data)
Ozon	O <sub>3</sub> -monitor, UV-absorption (online-data)
Carbonmonoxid	CO-monitor, IR-absorption (online data)
Svovldioxid	SO <sub>2</sub> -monitor, UV-fluorescens (online data) og filterpack-opsamler på landbaggrundsmålestationerne
Benzen, toluen og xylener	Passiv opsamling og analyse med GC-MS
Flygtige organiske forbindelser	Opsamling på pakkede rør og analyse med GC-MS**
<i>Partikler</i>	
Fine partikler (PM <sub>2,5</sub> )	Opsamling af PM <sub>2,5</sub> på partikelfilter (low volume sampling) og gravimetrisk måling af partikelmasse
Fine + grove partikler (PM <sub>10</sub> )	Opsamling af PM <sub>10</sub> på partikelfilter (low volume sampling) og gravimetrisk måling af partikelmasse
Partikelantal (11 nm - 478/550 nm)	Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)
Elementært kulstof	Opsamling af PM <sub>2,5</sub> på partikelfilter (low volume sampling) og termooptisk analysemetode
Organisk kulstof	Opsamling af PM <sub>2,5</sub> på partikelfilter (low volume sampling) og termooptisk analysemetode
Metaller og tungmetaller*	Opsamling på partikelfilter (low volume sampling, PM <sub>10</sub> ) og ICPMS-analyse
Polycykliske aromatiske kulbrinter og benz[a]pyren	Opsamling af PM <sub>10</sub> på partikelfilter (high volume sampling) og analyse med LC-MS
Uorganiske ioner	Opsamling af PM <sub>2,5</sub> på partikelfilter (low volume sampling) og analyse med ionkromatografi

\*Ved landbaggrundsmålestationer opsamles luftens totale suspendede partikelmængde (total suspended particulate), som dækker partikler med diameter op til 14-20 µm.

\*\*Rørene er pakket med Carbopack X.

Ud over ovennævnte metoder anvendes til måling af partikelindholdet (PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>) med høj tidsopløsning (timemiddelværdier) ligeledes TEOM-instrumenter (Tapered-Element Oscillating Microbalance) og BAM-instrumenter (Beta Attenuation Mass Monitor). Disse målinger anvendes til online information af befolkningen og indgår ikke ved vurdering af overskridelse af grænseværdierne, da målingerne har væsentlig større usikkerhed end målingerne udført ved hjælp af referencemetoden.

## 1.4 Modelberegninger

I overvågningsprogrammet suppleres de kontinuerte målinger af luftforureningen med modelberegninger af luftkvalitet for kvælstofdioxid og partikler (PM<sub>2,5</sub>, og PM<sub>10</sub>) for en række udvalgte gadestrækninger i København og Aalborg. Disse modelberegninger foretages på lokalskala, hvor der tages hensyn til lokale forhold for den enkelte gadestrækning samtidig med at bidrag fra baggrundsluftforureningen inddrages. Der laves også modelberegninger for ozon på national skala (også betegnet regional skala). Målet med disse modelberegninger er at få en bedre geografisk dækning end det, der kan opnås alene



på basis af de 14 målestationer. Herved opnås en bedre vurdering af overholdelse af EU's grænse- og målværdier samt WHO's retningslinjer for kvælstofdioxid og partikler.

I denne rapport bliver der endvidere præsenteret resultater fra beregninger af kilderne til luftforureningen i Danmark. Disse beregninger udføres ved at reducere udledningerne fra de enkelte kilder i modellen med 30%. Ved at se på forskellen mellem modelresultaterne fra den normale modelberegning med alle kilder og modelberegning, hvor f.eks. emissioner fra dansk vejtransport er reduceret, kan man beregne bidraget fra dansk vejtransport til den samlede luftforurening i Danmark.

Modelberegningerne bliver gennemført med en kæde af modeller, som trinvis giver en højere og højere geografisk opløsning af resultaterne, således modelberegningerne spænder fra at dække hele den nordlige halvkugle og ned til den enkelte gadestrækning. I forbindelse med overvågningsprogrammet anvendes og præsenteres dog kun data fra national skala og ned til gadeskala, men bidraget fra kilder uden for Danmark er også inkluderet.

Modellerne er integreret i det samlede modelsystem DEHM/UBM/AirGIS (også kaldt "Thor" systemet), som er grundigt beskrevet i en række internationale publikationer og på DCE's hjemmesider (Brandt et al., 2000, 2001 og 2003; Jensen et al., 2017; Khan et al., 2018; Frohn et al., 2022; <http://www.au.dk/THOR>). Modelsystemet består af følgende delelementer:

DEHM (Danish Eulerian Hemispheric Model): Denne model dækker hele den nordlige halvkugle og anvendes til beskrivelse af luftforureningen på stor geografisk skala. Modelberegningerne inkluderer beskrivelse af udledningerne, den atmosfæriske transport, de kemiske og fysiske processer i atmosfæren samt afsætning af luftforureningen på land- og vandoverflader. Modellen er opdelt i fire niveauer med stigende geografisk opløsning. For den nordlige halvkugle anvendes en geografisk opløsning med gitterceller på 150 km x 150 km (niveau 1), mens der for selve Danmark anvendes den højeste geografisk opløsning med gitterceller på 5,6 km x 5,6 km (niveau 4). Det er resultater for niveau 4, som anvendes i forbindelse med modelberegningerne præsenteret i denne rapport. Modellen dækker de nederste 15 km af atmosfæren i forskellig vertikale lag og indeholder et omfattende kemisk modul til beregning af de relevante kemiske reaktioner i den lavere del af atmosfæren. Modellen er dokumenteret i Christensen (1997), Brandt et al. (2012) og på <http://au.dk/DEHM>.

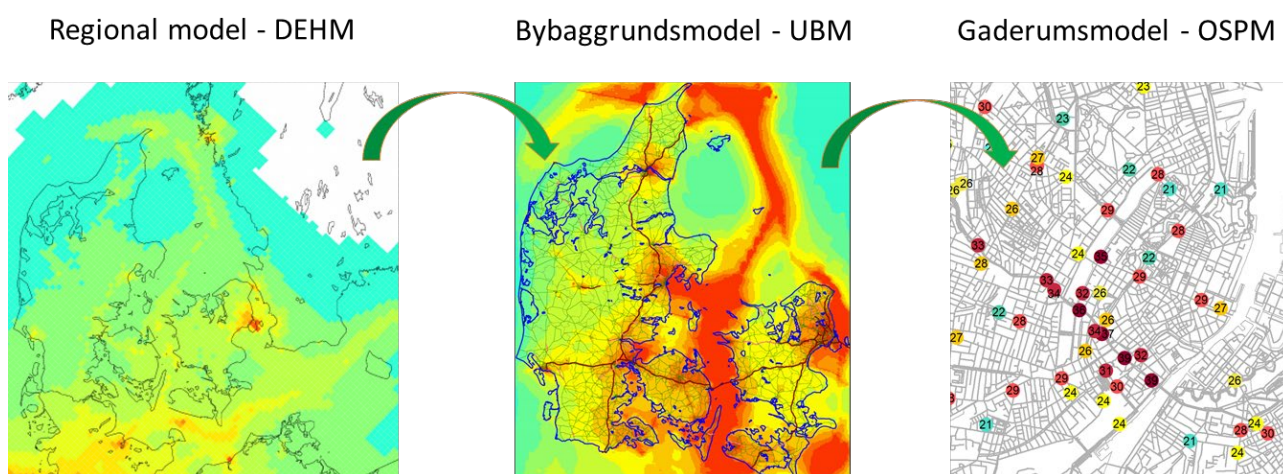
UBM (Urban Background Model): Oprindeligt var denne model kun beregnet til at beskrive luftforureningen i baggrundsområder i byer, men siden er modellen blevet udvidet til at dække hele Danmark. Modellen gør det muligt at opnå en endnu bedre geografisk opløsning end med DEHM. UBM har en geografisk opløsning på 1 km x 1 km, som giver en god beskrivelse af luftforureningen i både by- og landområder. Modellen beskriver spredningen af luftforureningen fra lokale kilder (indenfor 25 km's radius) og indeholder en beskrivelse af de kemiske reaktioner, som det er nødvendigt at inkludere på denne skala, hvilket omfatter simpel fotokemi for beregning af kvælstofdioxid. Resultater fra DEHM indgår som input til UBM. UBM er i de senere år blevet væsentlig forbedret i forhold til beskrivelse af de fysiske processer og håndtering af udledningerne (areal- og punktkilder), samt udbygning af modellen til flere vertikale lag, således at modellen i dag giver væsentligt mere realistiske resultater i sammenligning med målinger. Modellen er dokumenteret i en række artikler (Brandt et al. 2001; 2003; Berkowicz 2000b; Frohn et

al., 2022), og på <http://au.dk/UBM>. UBMv12.0 er benyttet i dette års beregninger.

OSPM® (Operational Street Pollution Model): Som sidste led i modelkæden beregner OSPM® luftkvaliteten i 2 meters højde ved husfacaderne for udvalgte gadestrækninger ([www.au.dk/OSPM](http://www.au.dk/OSPM)). OSPM beskriver simple kemiske reaktioner til beregning af kvælstofdioxid, som er relevante i gaderummet, indflydelsen af de omgivende bygninger på spredningen af luftforurening, samt effekten af den atmosfæriske og den trafikskabte turbulens. Modellen baseres på detaljerede trafikinformationer om trafikintensitet, køretøjs sammensætning, rejsehastighed og detaljerede udledningsfaktorer fra trafikudledningsmodellen COPERT 5 (EEA, 2019, 2023). Resultater fra UBM indgår som input til OSPM. Modellen er dokumenteret i Berkowicz (2000a) og Ketznel et al. (2012).

AirGIS: Denne del af modelkæden anvendes til at håndtere de mange input-data til beregningerne med OSPM. Det drejer sig om trafikmængder, køretøjs sammensætning og rejsehastigheder samt gadegeometrien for de udvalgte gader. Gadegeometrien bliver genereret med AirGIS-modellen, som benytter en GIS-vejdatabase sammen med trafikdata, GIS-bygningsomrids med bygningshøjder samt adressepunkter (Jensen et al., 2001; 2017; Khan et al., 2019; <http://au.dk/AirGIS>).

Modellsystemet bliver ligeledes anvendt til at beregne koncentrationer af luftforurening på samtlige 2,5 millioner adresser i Danmark. Disse modelberegninger indgår også i Delprogram for luft under NOVANA. Der er foretaget beregninger for 2012 og 2019. Begge datasæt er offentligt tilgængeligt på et online kort ([luftenpaadinvej.au.dk](http://luftenpaadinvej.au.dk)). Modellsystemet er dokumenteret i Jensen et al. (2017; 2021).



**Figur 1.3.** Illustration af koblingen mellem modellerne. Den regionale model (DEHM) dækker hele den nordlige halvkugle. For området omkring Danmark udføres beregningerne for et net af gitterceller med størrelse på 5,6 km x 5,6 km. Data fra DEHM overføres til bybaggrundsmodellen (UBM), som dækker Danmark med et net af gitterceller på 1 km x 1 km. Data fra UBM overføres til gaderumsmodellen (OSPM), hvor der udføres modelberegninger helt ned til lokalskala for de enkelte gadestrækninger. Figuren til højre viser et udsnit af de 99 beregnede gadestrækninger i København.

Alle modellerne kræver en række input-data, hvoraf de vigtigste er følgende:

*Meteorologiske datasæt:* For at kunne simulere de meteorologiske forhold med modellerne kræves omfattende meteorologiske datasæt. Disse datasæt bliver genereret med den meteorologiske model WRF (Weather Research and Forecasting Model) opsat for de samme områder som DEHM-modellen. WRF er

udviklet af National Center for Atmospheric Research, USA (NCAR) (Se Skamarock et al. (2008) for detaljer). WRF version 4.1 benyttes. De nødvendige globale meteorologiske data, der bruges som input til WRF, er baseret på ERA5 re-analysedata med en geografisk opløsning på  $0,2^\circ \times 0,2^\circ$ .

*Udledninger:* Data om udledningerne baseres hovedsageligt på den danske nationale emissionsopgørelse for 2022 fra DCE (<https://envs.au.dk/en/research-areas/air-pollution-emissions-and-effects/air-emissions/>; Nielsen et al., 2024) og internationale emissionsopgørelser for 2021 fra EMEP ([www.emep.int](http://www.emep.int)). Disse data er de mest opdaterede tilgængelige emissionsdata. For Danmark er emissionerne geografisk fordelt ud fra forskellige geografiske fordelingsnøgler med SPREAD-modellen 3.0 (Plejdrup et al., 2021). Udledningsmodulet i OSPM er baseret på COPERT 5-emissionsmodel.

Udledningerne for skibe er ligeledes ændret i forhold til tidligere modelberegninger. Fra og med rapporteringen i 2022 er udledningerne baseret på det globale datasæt fra det Finske Meteorologisk Institut, som baserer opgørelserne på STEAM-modellen (se Johansson et al., 2017) og <https://perma-link.aeris-data.fr/CAMS-GLOB-SHIP>). Udledningerne estimeres ved brug af globale data med høj geografisk og tidslig opløsning fra Automatic Identification System (AIS), som gør det muligt at estimere udledningerne fra de individuelle skibe, og tager hensyn til ændringer i bl.a. svovlindhold i skibsbrændstof. Den rummelige opløsning er på  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  svarende i det danske område til ca. 7 km x 11 km (hhv. Ø-V og N-S) og den tidslige opløsning er på månedsbasis. Derudover bliver den rummelige fordeling genfordelt for havområderne omkring Danmark ved brug af et specielt STEAM-udledningsdatasæt med høj rummelig opløsning på 1 km x 1 km, hvilket hovedsageligt flytter eventuelle skibseudledninger over land til havområder og opkoncentrerer udledningerne for færge- og skibsruter. Fordelen med det nye datasæt er, at man tager hensyn til variationen af skibsaktiviteterne imellem de enkelte år og de enkelte måneder.

*Trafikdata:* Modelberegningerne med OSPM kræver detaljerede data om trafikken på den enkelte gadestrækning (trafikmængde, hastighed, køretøjssammensætning m.m.). Hvert år opdateres trafikdata på basis af de nyeste data fra Københavns Kommune og Aalborg Kommune vedrørende årsdøgntrafikken (ÅDT) og køretøjssammensætning (i kategorierne: personbiler, varebiler, lastbiler <32t, lastbiler >32t, busser). Trafikdata er så vidt muligt baseret på automatiske eller manuelle trafiktællinger på den enkelte gadestrækning. Oplysninger om rejsehastigheder på strækningerne er fra Vejdirektoratets datasæt SpeedMap, som er baseret på GPS-målinger af køretøjer.

De anvendte modeller er som nævnt ovenfor valideret og dokumenteret i en lang række internationale videnskabelige publikationer. Modellerne har høj international standard, hvilket blandt andet kan ses ved, at DEHM er en del af det europæiske samarbejde Copernicus Atmospheric Monitoring Service (CAMS), hvor kun de bedste europæiske modeller indgår. Dette samarbejde leverer kvalitetskontrollerede operationelle luftkvalitetsprognoser for Europa (<https://atmosphere.copernicus.eu/>) på daglig basis.

Kvaliteten af resultaterne fra modelberegningerne vurderes løbende ved sammenligning mellem model- og måleresultater (Bilag 1). På basis af denne sammenligning vurderes også behovet for en eventuel justering af modelresultaterne, således der opnås forbedret overensstemmelse mellem modelresultater

og målinger. For 2023 er der ikke foretaget justering af resultaterne for beregning af årsmiddelværdier for hverken kvælstofdioxid eller partikelforureningen (PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>).

Tidligere er koncentrationerne af PM<sub>2,5</sub> blevet justeret med en faktor 1,33, som har været nødvendig for at opnå såkaldt "mass-closure" i modellerne, hvilket dækker over, at luftforureningsmodeller generelt har underestimeret PM<sub>2,5</sub>-koncentrationerne i forhold til tilsvarende målingerne. Der har konsekvent manglet ca. 33% af massen i de modellerede koncentrationer i forhold til målingerne, både i Danmark og Europa. I år er det undersøgt nærmere, hvad der mangler i det modellerede PM<sub>2,5</sub> ved at kigge på de enkelte partikelkomponenter i forhold til målingerne. Resultatet er, at langt den overvejende del af den manglende partikelmasse skyldes to ting: 1) En konsekvent underestimering af de primært emitterede organiske partikler (POA), samt 2) vand i partiklerne, som nu er implementeret via et nyt modul i modellen.

Det er generelt vanskeligt at beregne emissionsfaktorer for POA, da emissionerne af de organiske stoffer kan ske både som gasser og som partikler, og omdannelsen af gasserne til partikler og fordampning til gasser igen kan ske meget tæt på kilderne (inden for få hundrede meter). Desuden sker der en oxidering af partiklerne, sådan at de relativt hurtigt efter udslip bliver tungere. En direkte sammenligning af de beregnede POA-koncentrationer med de målte værdier – både i Danmark og Europa – viser, at med de nuværende emissionsfaktorer bliver POA generelt underestimeret med en faktor 2,25. Derfor er POA-koncentrationerne i DEHM og UBM justeret med denne faktor.

Derudover er der implementeret et modul for optagelse af vand i partiklerne, baseret på EMEP-modellen (Simpson et al., 2012). Det er specielt de sekundære uorganiske partikler og havsalt, som har de hygroskopiske egenskaber, og som gør, at de kan optage vanddamp, der bliver en del af den samlede partikelmasse. Andelen af vand i de modellerede partikler er på den måde sammenlignelig med vandindholdet i de målte partikelkoncentrationer, som er bestemt ved LVS - Gravimetrisk referencemetode, hvor vandindholdet i partiklerne bidrager til den målte partikelmasse.

Med de nye opdateringer i forhold til fine partikler er de beregnede PM<sub>2,5</sub>-koncentrationer tæt på de tilsvarende målte værdier og derfor meget tæt på at opnå såkaldt "mass-closure" – i hvert fald inden for de eksisterende model- og måleusikkerheder. Der kan stadigvæk være visse former for partikler, som mangler i modellen, såsom ophvirvling af partikler (resuspension), biologiske fragmenter som fx pollen, og ophvirvlet støv (wind blown dust), herunder langtransporteret sand fra Sahara. Ud fra den nuværende modelvalidering, hvor bias er lille, kan vi konkludere, at de stoffer, der mangler, har mindre betydning for resultaterne.

Bilag 1 giver dokumentation for modelberegningernes kvalitet ved sammenligning med målinger.

## **1.5 Helbredseffekter og økonomiske omkostninger som følge af luftforureningen**

Modelberegninger af helbredseffekter og omkostninger ved luftforurening har været en vigtig del af overvågningsprogrammet siden 2016. Disse bereg-

ninger foretages med EVA-modelsystemet (Economic Valuation of Air Pollution), som baseres på den såkaldte Impact-pathway metode ("påvirkningsvejens metode"; Figur 1.4), hvor nedenstående trinvis beregninger gennemføres.

Detaljerede informationer om udledninger anvendes til beregning af luftkoncentrationerne. Disse beregninger gennemføres med de to modeller DEHM og UBM, som er beskrevet i afsnit 1.4.

De beregnede luftkoncentrationer kombineres med befolkningsdata, så befolkningens eksponering for luftforureningen kan opgøres. Befolkningsdata for Danmark er opdateret og baseres nu på data fra CPR-registret udtrukket den 19. april, 2024. Oplysninger om aldersfordelingen indgår også.

Herefter benyttes eksponerings-responsfunktioner til at beregne helbredseffekterne af luftforureningen. Der anvendes en række eksponerings-responsfunktioner, som hver for sig beskriver sammenhængen mellem de enkelte helbredseffekter og eksponeringen for de forskellige luftforureningskomponenter. Modelsystemet baseres på internationalt anerkendte eksponerings-responsfunktioner fremkommet i regi af WHO, og opdateres løbende (WHO, 2021a).

Endeligt beregnes de samfundsmæssige omkostninger af luftforureningen ud fra en økonomisk værdisætning af de forskellige helbredseffekter, som er inkluderet i EVA-modellen (Brandt et al., 2023). Dette inkluderer bl.a. en økonomisk værdisætning af statistisk liv. Denne værdisætning er baseret på et studie udarbejdet for Det Økonomiske Råd (DØRS, 2016) og følger i øvrigt principperne i Finansministeriet (2017). I dette års beregninger er den økonomiske værdisætning baseret på "Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 4.0" (Brandt et al., 2023) og angivet i 2022-priser, mod tidligere 2016-priser (Andersen et al., 2019).

I 2021 offentliggjorde WHO nye anbefalinger til grænseværdier (se kapitel 13) vedrørende helbredsskadelig luftforurening (WHO, 2021a). Dette arbejde er baseret på en omfattende gennemgang af videnskabelige studier af sammenhængen mellem luftforurening og helbredseffekter, udført af en forskergruppe udpeget af WHO. Funderet i dette detaljerede arbejde er EVA-systemet blevet opdateret, så de anvendte eksponering-responsfunktioner, som før var baseret på WHO's anbefalinger fra 2013 (WHO, 2013), nu er baseret på de nyeste resultater (WHO, 2021a). De væsentligste ændringer knytter sig til estimatet for mortalitet fra langtidseksponering af PM<sub>2,5</sub> og lang- og korttidseksponering af kvælstofdioxid. For PM<sub>2,5</sub> har mange studier peget på, at helbredsrisikoen er større end tidligere antaget. Den relative risiko for at dø for tidligt som følge af langtidseksponering for partikler vurderes nu at være 8% per 10 µg/m<sup>3</sup> stigning i PM<sub>2,5</sub> (mod tidligere 6,2%).

For langtidseksponering af kvælstofdioxid lød den tidligere WHO-anbefaling på at bruge en tærskelværdi på 20 µg/m<sup>3</sup> i modelberegninger af dødelighed, mens det nu vurderes, at en tærskelværdi på 10 µg/m<sup>3</sup> er mere korrekt. Endvidere er risikoen ved langtidseksponering af kvælstofdioxid justeret ned fra ca. 5% til 2% per 10 µg/m<sup>3</sup> stigning.

For dødelighed relateret til korttidseksponering for kvælstofdioxid anvendes nu en døgnmiddelværdi, mod den maximale timekoncentration i løbet af døgnet, der blev anvendt før. Yderligere indikerer gennemgangen af de nyeste studier, at risikoen har været underestimeret, og det anbefales at ændre

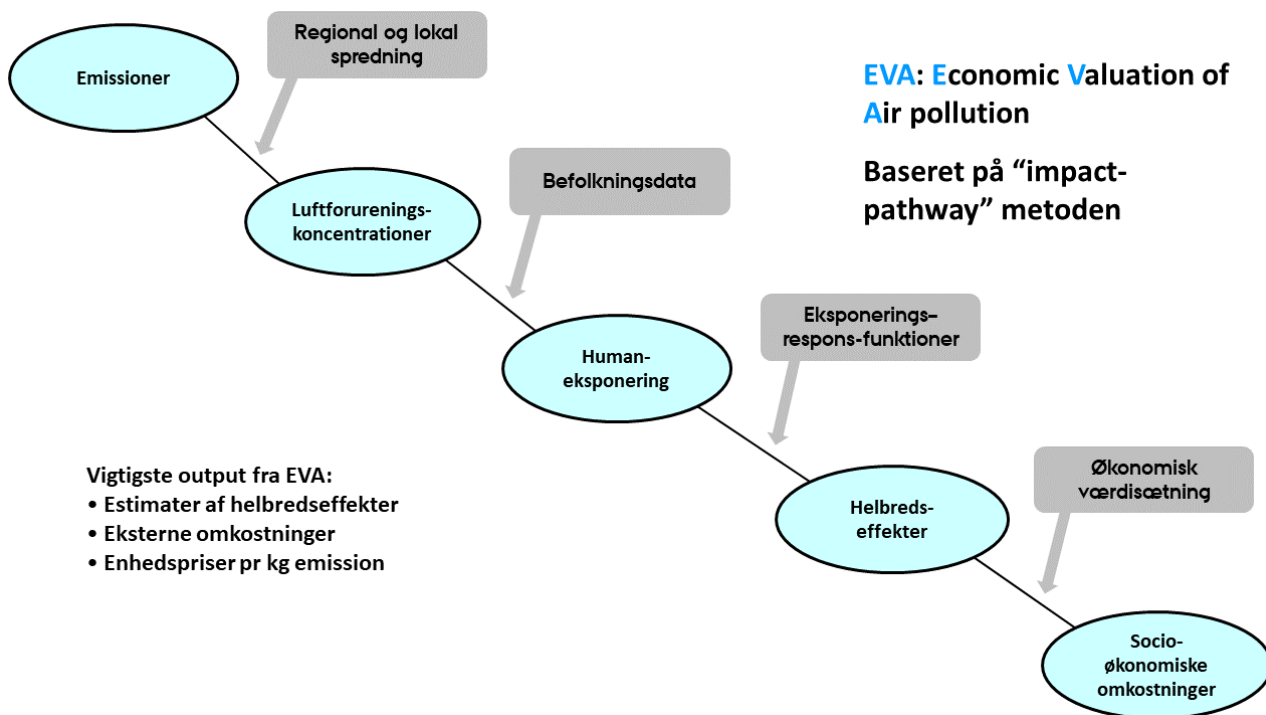
risikoen fra 0,27% til 0,71% per 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  stigning i kvælstofdioxid. Også her anbefales en tærskelværdi på 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mod tidligere 0.

Svovldioxid var ikke inkluderet i de tidligere anbefalinger fra WHO (2013) og EVA inkluderede derfor en eksponering-respons-funktion fremkommet i ExternE projektet (Holland et al., 1999). I det nye WHO-arbejde er svovldioxid vurderet, og således at korttidseksponering for svovldioxid i den nye EVA-version tillægges større risiko.

WHO begrundes bl.a. opdateringen og de ændrede anbefalinger med, at der i de senere år er kommet mange nye epidemiologiske studier ud fra både lav-, middel- og højindkomstlande, hvilket betyder, at der nu er en øget viden om de negative helbredseffekter relateret til relativt lave luftforureningsniveauer (WHO, 2021a). Dette underbygges af nyere studier fra Danmark og Nordeuropa (Hvidtfeldt et al., 2019; So et al., 2020; Raaschou-Nielsen et al., 2020; 2023; Chen et al., 2021; 2022; Strak et al., 2021; Stafoggia et al., 2022; Xu et al., 2023). I afsnit 12.5 præsenteres sensitivitetsberegninger med EVA, hvor bl.a. forskellige eksponering-respons-funktioner for  $\text{PM}_{2,5}$  baseret på disse studier er benyttet.

I beregningen af tabte leveår anvendes mortalitetsdata for den danske befolkning fra Danmarks Statistik. Der anvendes 2019-data i den nyeste version af EVA. Da eksponerings-responsfunktionerne er baseret på en relativ risiko for at dø tidligere end ellers og middellevetiden er steget generelt i befolkningen, vil det medføre færre for tidlige dødsfald end tidligere. Samtidig er det gennemsnitlige antal tabte leveår per dødsfald opdateret fra 10,6 til 11,4, hvilket også vil medføre færre for tidligere dødsfald sammenlignet med tidligere, idet antallet af for tidlige dødsfald relateret til luftforurening beregnes ud fra Years of Life Lost (YOLL) divideret med en faktor for det typiske antal tabte leveår i gennemsnit (nu 11,4).

Samlet set er den relative risiko øget for effekt af forurening med fine partikler, hvilket generelt trækker op i dødeligheden, mens andre ting som højere middellevealder og antal tabte leveår per dødsfald trækker ned.



**Figur 1.4.** Illustration af impact-pathway-metoden som anvendes i EVA-modelsystemet.

EVA-modelsystemet og de forskellige elementer i beregningerne er grundigt dokumenteret i Brandt et al. (2013a, 2013b, 2015). Beskrivelsen af modelsystemet og de individuelle helbredseffekter i EVA-modelsystemet er dokumenteret i Brandt et al. (2013a, b) og Bønløkke et al. (2011) og de økonomiske værdisætninger er beskrevet og dokumenteret i Andersen et al. (2004, 2017), Bach et al. (2006) og Brandt et al., (2023). Systemet er også sammenlignet med andre tilsvarende modeller i internationale studier (Anenberg et al., 2016; Lehtomaki et al., 2020) og anvendes løbende i diverse forskningsprojekter (Im et al., 2019; 2023; Geels et al., 2021). EVA v7.3 er benyttet i dette års beregninger.

## 2. Kvælstofdioxid, NO<sub>2</sub> og kvælstofoxider, NO<sub>x</sub>

Kvælstofoxider (NO<sub>x</sub>) er summen af kvælstofdioxid (NO<sub>2</sub>) og kvælstofmonoxid (NO). De to gasser omdannes hurtigt til hinanden via de kemiske reaktioner i luften. Kvælstofdioxid har en direkte indvirkning på helbredet, mens kvælstofmonoxid i sig selv ikke giver helbredseffekter. Kvælstofoxiderne har imidlertid også en indirekte effekt på helbredet, idet de kan omdannes til fine partikler, som har store helbredsskadelige effekter (se Kapitel 7).

EU's luftkvalitetsdirektiv (EU, 2008) har fastlagt to grænseværdier til beskyttelse mod helbredseffekterne fra kvælstofdioxid, da der både er helbredseffekter ved langtids- og korttidseksponering:

- Grænseværdien af hensyn til langtidseffekter er fastlagt ud fra årsmiddelværdien af kvælstofdioxid, som ikke må overskride 40 µg/m<sup>3</sup> i et kalenderår.
- Grænseværdien af hensyn til korttidseksponering for kvælstofdioxid er baseret på timemiddelværdier, hvor antallet af timer med timemiddelværdier over 200 µg/m<sup>3</sup> ikke må overskride 18 i et kalenderår.

Kvælstofoxiderne er nogle af de mest betydningsfulde luftforureningskomponenter, hvilket er baggrunden for, at der er et omfattende overvågningsprogram. I 2023 er der således målt kvælstofdioxid og kvælstofoxider ved 14 målestationer fordelt på fem gademålestationer, fire bybaggrundsmålestationer, en målestation i forstad og fire målestationer i landlige baggrundsområder. Målingerne suppleres med modelberegninger for udvalgte gadestrækninger i København og Aalborg.

### 2.1 Udledninger

Den væsentligste kilde til udledning af kvælstofoxider (NO<sub>x</sub>) er forbrænding. Der udledes en blanding af kvælstofdioxid og kvælstofmonoxid, som varierer mellem de forskellige typer af forbrænding og efterfølgende renseprocesser. Derfor er det kutyme at angive udledningerne af de to gasser i form af den samlede mængde af udledte kvælstofoxider i ækvivalenter af kvælstofdioxid.

I 2022 kom den største andel af de danske udledninger af kvælstofoxider fra sektorerne *Vejtransport* og *Landbrug*, som hver bidrager med omkring hhv. 24% og 22% af udledningerne (Figur 2.1 og Tabel 2.1; Nielsen et al., 2024). *Andre mobile kilder* og *El- og fjernvarmeproduktion* (energi og opvarmning) er hhv. tredje- og fjerdestørste kilde. *Industri* er den femtestørste kilde og har næsten samme størrelse som *El- og fjernvarmeproduktion*. Det samlede bidrag fra mobile kilder udgør næsten halvdelen (49%) af de samlede danske udledninger.

De samlede udledninger af kvælstofoxider er faldet med omkring 71% siden begyndelsen af 1990'erne (Figur 2.2; Nielsen et al., 2024). Det største fald er sket for sektoren *El- og fjernvarmeproduktion* (omkring 89%), som i begyndelsen af 1990'erne var den største kilde sammen med vejtransportsektoren. Udledningerne fra *Vejtransport* er også faldet betydeligt (omkring 81%), mens de øvrige kilder er faldet i mindre grad. Det store fald er opnået ved i stigende



grad at indføre krav om katalysatorer på køretøjerne og indførelse af diverse teknologier (low NO<sub>x</sub> burners, katalytisk eller ikke-katalytisk omdannelse (SCR/SNCR DeNO<sub>x</sub>)) til reduktion af udledningerne fra forbrændingsanlæg (kraftvarmeværker og industrielle forbrændingsanlæg).

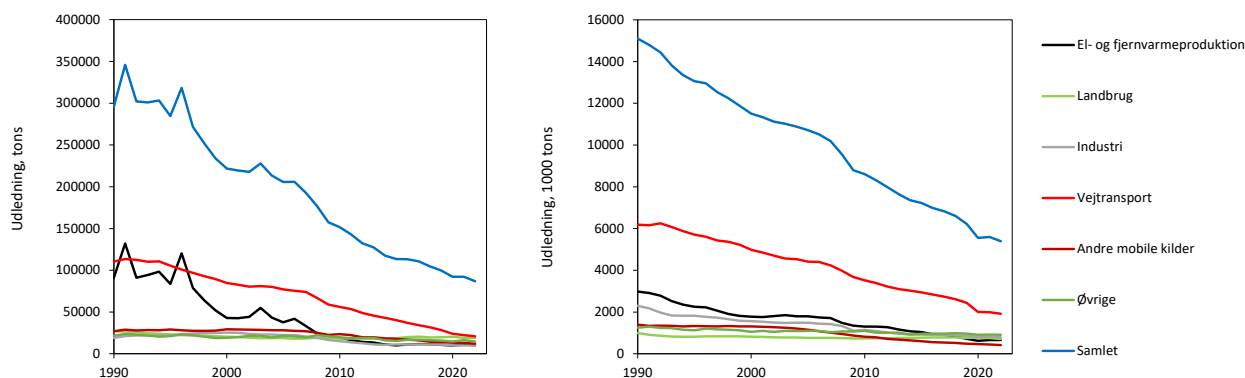
For EU-27 ses nogenlunde samme billede som for Danmark (Figur 2.1 og 2.2). Der er dog lidt forskelle i bidrag fra de største kilder, hvor for eksempel *Vejtransport* udgør en relativt større andel for EU-27 end for Danmark.



**Figur 2.1.** Kilderne til menneskeskabte udledninger af kvælstofoxider i Danmark (venstre) og EU-27 (højre) i 2022. Figurene viser de fem vigtigste kilder i Danmark, mens de resterende kilder er vist samlet under "Øvrige" (Nielsen et al., 2024, CEIP, 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR i kildeopgørelserne.

**Tabel 2.1.** Kilderne til de menneskabte udledninger af kvælstofoxider i Danmark i 2022 (Nielsen et al., 2024). Udledningerne angives i ækvivalenter af kvælstofdioxid, hvilket er standard i forbindelse med international rapportering af udledninger. Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne.

Sektor	GNFR-kode	Udledninger 2022	
		Tons	%
<b>El- og fjernvarmeproduktion</b>	<b>A</b>	<b>10144</b>	<b>12</b>
<b>Industri</b>	<b>B</b>	<b>10102</b>	<b>12</b>
<b>Små forbrændingsanlæg</b>	<b>C</b>	<b>4252</b>	<b>5</b>
<b>Flygtige emissioner fra brændsler</b>	<b>D</b>	<b>49</b>	<b>0</b>
<b>Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter</b>	<b>E</b>	<b>39</b>	<b>0</b>
<b>Vejtransport</b>	<b>F</b>	<b>20837</b>	<b>24</b>
- Vejtransport, udstødning	F1-F5	20837	24
- Vejtransport, dæk-, bremse- og vejslid	F6-F7	0	0
<b>Søfart</b>	<b>G</b>	<b>8852</b>	<b>10</b>
<b>Luffart (LTO)</b>	<b>H</b>	<b>1212</b>	<b>1</b>
<b>Andre mobile kilder</b>	<b>I</b>	<b>12029</b>	<b>14</b>
<b>Affald</b>	<b>J</b>	<b>155</b>	<b>0</b>
<b>Landbrug</b>	<b>K+L</b>	<b>19155</b>	<b>22</b>
<b>Samlet</b>	<b>A - L</b>	<b>86825</b>	<b>100</b>



**Figur 2.2.** Udviklingen i udledningerne af kvælstofoxider i Danmark (venstre) og EU-27 (højre) siden 1990 (Nielsen et al., 2024; CEIP, 2024). Udledningerne angives i ækvivalenter af kvælstofdioxid (tons kvælstofdioxid), hvilket er standard i forbindelse med international rapportering af udledninger. Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR i kildeopgørelserne. Denne ændring er ført tilbage til 1990.

## 2.2 Status for luftkvalitet

Tabel 2.2 giver en status for luftkvaliteten for kvælstofdioxid ved målestationerne i 2023. Årsmiddelværdierne ligger ved alle målestationer under grænseværdien på  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , der er fastsat af hensyn til langtidseffekter (årsmiddelværdien af kvælstofdioxid, må ikke overskride  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i et kalenderår (EU, 2008)). Selv ved den mest forurenede gademålestation (H.C. Andersens Boulevard) var årsmiddelværdien omkring 45% under grænseværdien.

Grænseværdien af hensyn til korttidseksponering for kvælstofdioxid er baseret på timemiddelværdier, hvor antallet af timer med timemiddelværdier over  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ikke må overskride 18 i et kalenderår. Af tabel 2.2 fremgår, at den maksimale timemiddelværdi ved alle målestationer lå et godt stykke under  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . I forhold til grænseværdien var timemiddelværdierne af kvælstofdioxid meget lave, og der var ingen overskridelse af grænseværdien for timemiddelværdien af kvælstofdioxid i 2023.

Der er dermed ingen overskridelse af de to grænseværdier for kvælstofdioxid i 2023.

**Tabel 2.2.** Årsmiddelkoncentrationer for kvælstofdioxid og kvælstofoxid i 2023, samt højeste timemiddelværdi for kvælstofdioxid. Desuden grænseværdierne for kvælstofdioxid, der er baseret på årsmiddelværdi og timemiddelværdi, hvor timemiddelværdi højest må overskride 200 µg/m<sup>3</sup> i 18 dage på et kalenderår (EU, 2008). Kvælstofoxid angives i ækvivalenter af kvælstofdioxid (µgNO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>), hvilket er standard i forbindelse med EU's luftkvalitetsdirektiv (EU, 2008). EU kræver en datadækningsgrad på mindst 85% af kalenderåret. På basis heraf vurderes datadækningen at være tilstrækkelig på alle målestationer.

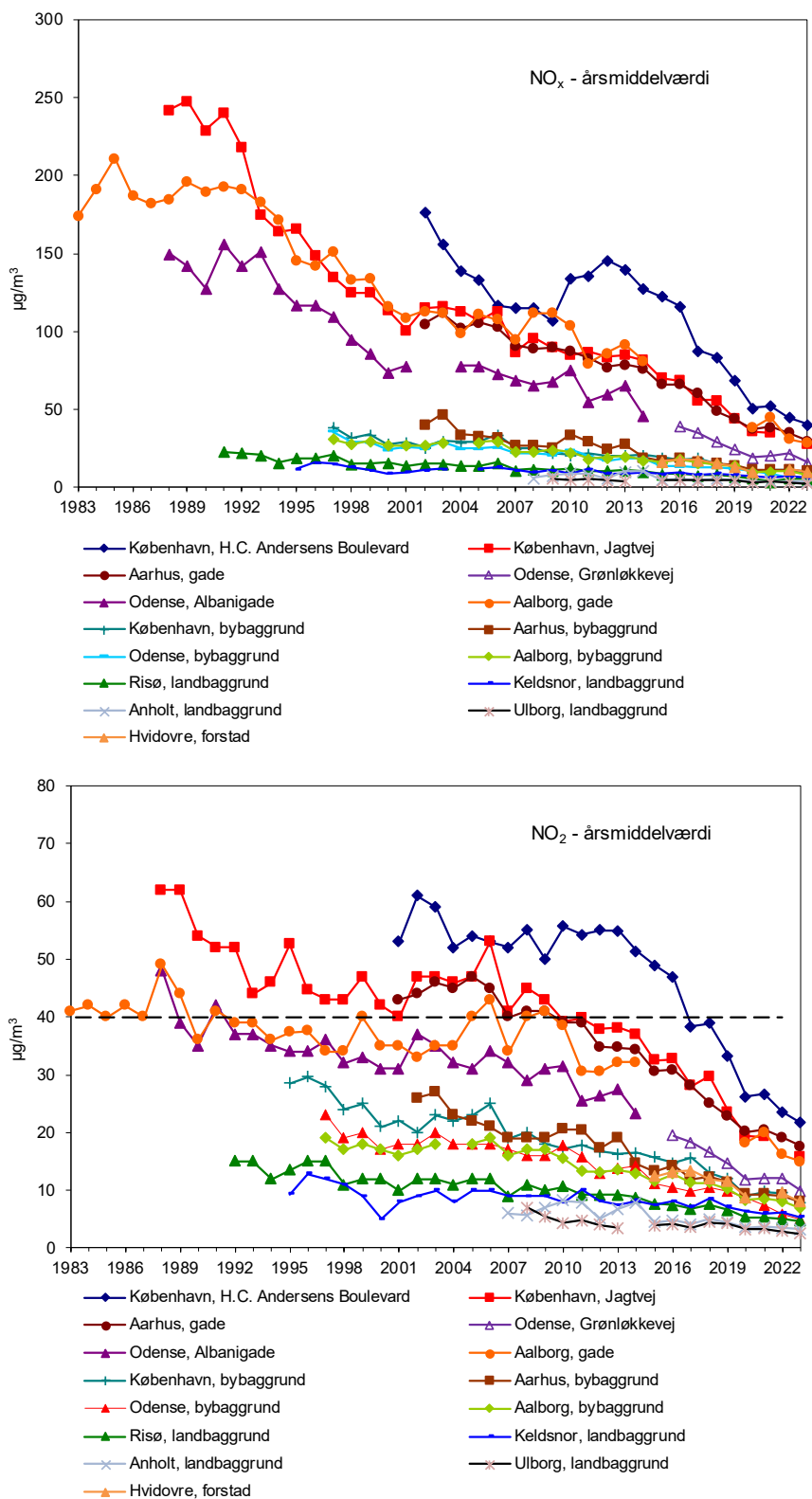
	Datadækning	NO <sub>2</sub> Årsmiddel	NO <sub>2</sub> Højeste time- middelværdi	NO <sub>2</sub> Antal dage med timemiddelværdi over 200 µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> Årsmiddel
	%	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	Antal dage	µg/m <sup>3</sup>
<b>Grænseværdi</b>		<b>40</b>		<b>18</b>	
<i>Gade</i>					
København, H.C. Andersens Boulevard	90	22	129	0	41
København, Jagtvej	91	16	86	0	29
Odense, Grønløkkevej	93	10	81	0	16
Aarhus, Banegaardsgade	89	18	81	0	30
Aalborg, Vesterbro	92	15	104	0	29
<i>Bybaggrund</i>					
København	89	7,8	57	0	8,7
Odense	88	5,1	57	0	5,9
Aarhus	92	8,0	85	0	11
Aalborg	87	7,1	68	0	8,6
<i>Forstad</i>					
Hvidovre	92	8,0	62	0	9,9
<i>Landbaggrund</i>					
Anholt	93	3,2	51	0	3,8
Keldsnor	91	5,4	94	0	6,4
Risø	94	4,7	44	0	5,4
Ulborg	93	2,5	36	0	2,6

For kvælstofdioxid ses en væsentlig forskel mellem de målte koncentrationeniveauer ved de fem gademålestationer, hvilket primært skyldes forskel i udladninger fra trafikken i de gader, hvor målestationerne er placeret. Endvidere ses også en forskel mellem årsmiddelkoncentrationerne ved gademålestationerne (10-22 µg/m<sup>3</sup>), bybaggrund (5-8 µg/m<sup>3</sup>), forstad (8,0 µg/m<sup>3</sup>) og på landbaggrundsmålestationerne (3-5 µg/m<sup>3</sup>). I gennemsnit for gademålestationerne kommer omkring 50% fra gadebidraget, omkring 15% fra bybaggrund og 35% fra landbaggrund. Årsagen til denne fordeling er, at kvælstofoxiderne lever relativt kort tid i luften før de omdannes til en anden luftforureningskomponent eller bliver fjernet fra luften via deposition. Dette giver relativt store variationerne i koncentrationerne og et relativt stort bidrag fra de lokale kilder (her trafikken).

## 2.3 Udviklingstendens

Figur 2.3 viser udviklingstendenserne for årsmiddelværdierne af kvælstofoxid og kvælstofdioxid. Fra 2022 til 2023 er der sket et tydeligt fald i koncentrationeniveauerne. For kvælstofoxid ses et markant fald siden målingernes begyndelse i 1983. For gademålestationerne er der sket et fald på omkring 85% siden begyndelsen af målingerne. For kvælstofdioxid ses et meget anderledes udviklingsforløb med et svagt fald i 1980'erne og

begyndelsen af 1990'erne, som efterfølges af stort set uændrede niveauer i slut 1990'erne og begyndelsen af 2000'erne. Fra omkring 2005 og til i dag er der tilgængelig sket en markant reduktion på næsten 60%. De stærkt faldende koncentrationsniveauer afspejler det løbende fald, som ses i udledningerne, mens variationerne fra år til år også påvirkes af de naturlige variationer i de meteorologiske forhold.

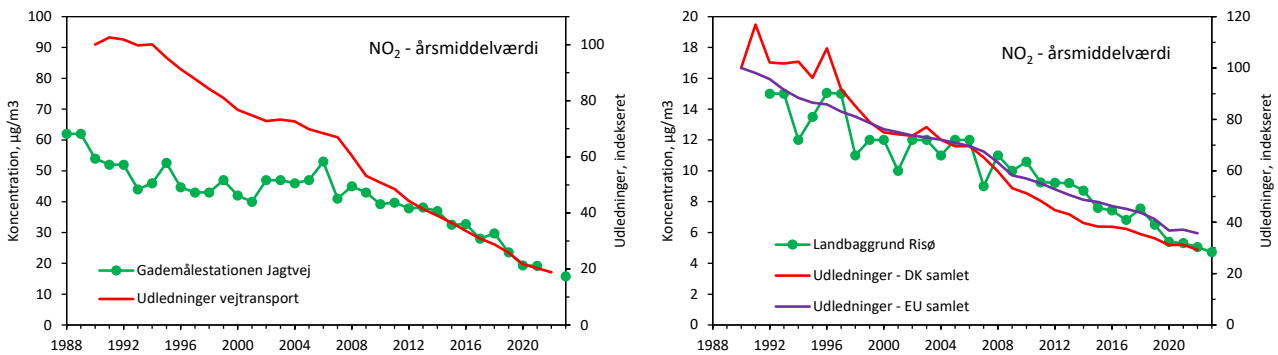


**Figur 2.3.** Udviklingstendens for årsmiddelværdier af kvælstofoxid (øverst) og kvælstofdioxid (nederst). For kvælstofdioxid angiver den stiplede linje EU's grænseværdi (EU, 2008).

Det markant anderledes forløb, som ses for H.C. Andersens Boulevard (navnlig for kvælstofdi-oxid), skyldes omlægning af vejbanerne på H.C. Andersens Boulevard i 2010, som flyttede trafikken tættere på målestationen (for yderligere detaljer se Ellermann et al., 2020a).

Figur 2.4 (venstre) viser en sammenligning mellem faldet i luftkoncentrationerne af kvælstofdioxid ved målestationen ved Jagtvej sammenholdt med den relative udvikling i udledningerne af kvælstofoxider fra vejtransport. I perioden fra 1990 til omkring midten af 2000'erne ses et væsentligt mindre fald i målte koncentrationer sammenholdt med faldet i udledninger. Årsagen til forskellen er ændringer i køretøjs sammensætning med stigende andel af dieselskøretøjer og stigende andel af oxiderende katalysatorer på dieselskøretøjerne. Disse ændringer har i samspil med de kemiske reaktioner i atmosfæren resulteret i, at de faktiske luftkoncentrationer stort set er uændret i perioden. Fra omkring midten af 2000'erne og fremefter indførtes i stadig stigende grad dieslbiler med katalysatorer, som stærkt begrænser udledningerne af kvælstofoxider fra dieselskøretøjerne, hvilket fører til det relativt store fald i luftkoncentrationerne fra omkring 2005 og frem. I denne periode ses god overensstemmelse med faldet i luftkoncentrationerne og udledningerne fra vejtransporten. Ændringerne i udledningerne spiller derfor den største rolle for ændringerne i luftkoncentrationerne, selv om ændringer i kemiske reaktioner mellem kvælstofoxiderne og ozon også spiller ind.

Figur 2.4 (højre) viser faldet i kvælstofdioxid ved landbaggrundsmålestationen ved Risø. Denne målestation er for størstedelen påvirket af den luftforurening, som transporteres med luften fra det øvrige Danmark og via langtransport fra de europæiske lande. Derfor følger udviklingen i luftkoncentrationerne faldet i de samlede udledninger i Danmark og EU.



**Figur 2.4.** Udviklingen i luftkoncentrationer af kvælstofdioxid (venstre) ved gademålestationen på Jagtvej og udviklingen i luftkoncentrationer af kvælstofdioxid i landlig baggrund ved Risø (højre). Udviklingen sammenholdes med udviklingen i de relative udledninger af kvælstofoxider (højre akse, indekseret til 100 i 1990) (Nielsen et al., 2024, CEIP, 2024). I begge figurer er akserne skaleret for at muliggøre en visuel sammenligning af udviklingen i luftkoncentrationer og udledninger. Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR i kildeopgørelserne. Denne ændring er ført tilbage til 1990.

## 2.4 Modelberegninger

Der er foretaget modelberegninger af årsmiddelmålinger af kvælstofdioxid for udvalgte gader i København og Aalborg. De udvalgte gader repræsenterer trafikerede gader og er hovedsageligt lukkede gaderum, dvs. med bebyggelse på hver side af vejen. Koncentrationerne er forhøjede i denne type gader på grund af udledninger fra vejtrafikken og begrænsede

spredningsforhold. Der er inkluderet 99 gadestrækninger i København og 26 i Aalborg.

Der er foretaget modelberegninger med henblik på at bestemme de årlige middelkoncentrationer af kvælstofdioxid, PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> for at kunne sammenholde med EU's grænseværdier og WHO's retningslinjer for luftkvalitet.

Både København og Aalborg er blandt de fem byer i Danmark med miljøzoner. Effekten af de skærpede miljøzoner vedtaget i 2019 er indregnet. De skærpede krav omfatter per 1. januar 2022, at alle lastbiler og busser (både bybusser og turistbusser) skal være mindst Euro 6 eller have monteret et partikelfilter. De skærpede krav for dieselvebiler omfatter per 1. juli 2023, at dieselvebiler skal være mindst Euro 5 eller have monteret partikelfilter. Kravene er regnet som fuldt implementeret i 2022. Den 1. oktober 2023 trådte forbud mod dieselpersonbiler uden partikelfilter i kraft i miljøzonerne. Da kravene trådte i kraft sidst på året, vil effekten heraf blive henregnet til 2024 (Jensen et al., 2024).

På baggrund af nummerpladeanalyse koblet til motorregisteret har det været muligt at estimere andelen af elbiler (Jensen et al., 2024). Andelen af elbiler varierer mellem 10% og 14% i midten af 2023 i miljøzonekommunerne (København/Frederiksberg, Aarhus, Odense, Aalborg). Det er dog kun Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune, hvor hele kommunen er en miljøzone, mens i Aarhus, Odense og Aalborg er det kun i en del af den respektive kommune, hvor der er oprettet en miljøzone. Oplysninger fra trafik-selskaberne viser, at andelen af elbusser er på 40-100%. Denne elektrificering bidrager til lavere emissioner af kvælstofoxider. Taxier bliver i stigende grad elektriske, men dette kan endnu ikke afspejles i OSPM's emissionsmodul, hvor taxier antages at være Euronorm 6 dieslbiler.

#### 2.4.1 Modelberegninger for København

Modelberegningerne af årsmiddelkoncentrationen af kvælstofdioxid for gadestrækninger i København i 2023 vises i Figur 2.5 som søjlediagram og i Figur 2.6 som kort. Gennemsnittet af årsmiddelkoncentrationerne for kvælstofdioxid i alle 99 gadestrækninger faldt fra 2022 til 2023 med omkring 1 µg/m<sup>3</sup> (resultaterne for 2022 kan findes i Ellermann et al., 2024). Målingerne på H.C. Andersens Boulevard viser et fald med omkring 1 µg/m<sup>3</sup> i årsmiddelkoncentrationerne af kvælstofdioxid fra 2022 til 2023, og bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Institut samt landmålestationen på Risø viser et lille fald på hhv. 0,3 og 1,7 µg/m<sup>3</sup>. For Jagtvej fandtes der meget få målinger i 2022 (datadækning på 10%) pga. vejarbejde, hvorfor der ikke er grundlag for at beregne et fald fra 2022 til 2023 for Jagtvej.

Ændringer i gadekoncentrationerne er et resultat af en kombination af ændringer i trafikken, udledningsfaktorer, baggrundskoncentrationer og meteorologi.

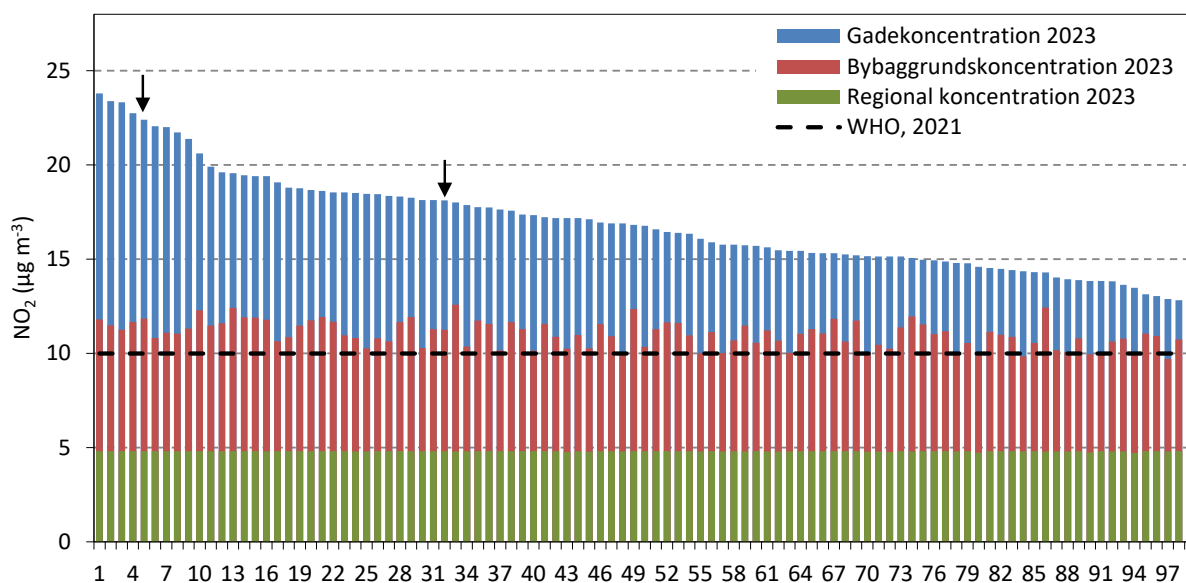
ÅDT (årsdøgntrafik - dvs. gennemsnitlig døgntrafik over et år) var mellem 3.900 og 75.800 køretøjer om dagen i København baseret på trafiktællinger udført i efteråret 2023. Den gennemsnitlige trafik for de 99 gader var stort set uændret fra 2022 til 2023 dog med et meget lille fald i den gennemsnitlige trafik på 1,7 % og uændret andel af tunge køretøjer på 4,2 %, hvilket alt andet lige fører til marginalt lavere beregnede koncentrationer. Der er antaget

samme rejsehastigheder som sidste år. Der er sket mindre ændringer i ÅDT og i andelen af tunge køretøjer på nogle af de gadestrækninger, der indgår i modelberegningerne, hvilket kan påvirke resultaterne fra de enkelte gadestrækninger.

Udledningsfaktorerne for køretøjer viser et fald som følge af den generelle udskiftning af køretøjsparken, hvor stigningen i andel af Euro 6-køretøjer med lave udledninger og udskiftning af ældre køretøjer med højere udledninger spiller en væsentlig rolle kombineret med effekten af de skærpede miljøzonekrav og øget elektrificering af trafikken. Den direkte andel af kvælstofdioxid i udstødningen (den procentvise andel af kvælstofdioxid set i forhold til den samlede udledning af kvælstofoxider) er steget fra 12% i 2022 til 15% i 2023. De lavere udledningsfaktorer vil føre til lavere modelberegnete koncentrationer af kvælstofdioxid, mens stigende direkte andel af kvælstofdioxid vil give højere koncentrationer.

Gadekoncentrationerne viser et fald fra 2022 til 2023. Dette er en kombination af stort set samme trafik, lavere udledningsfaktorer, og meteorologien kan også spille en rolle. Både modelberegningerne og målinger viser et fald i koncentrationsniveau fra 2022 til 2023.

Sammenligninger mellem modelberegninger og målinger er præsenteret i Bilag 1.



**Figur 2.5.** Årsmiddelkoncentrationer for kvælstofdioxid i 2023 for 99 udvalgte gadestrækninger i København baseret på modelberegninger. Bidraget fra trafikken i gaderne er baseret på gadeluftkvalitetsmodellen OSPM® (blå farve). Bybaggrundsbidraget (rødlig farve) er baseret på beregninger med baggrundsmodellen UBM med input fra den regionale langtransportmodel DEHM (grøn farve). Værdien for en gadestrækning er for den side af gaden, der har den højeste årsmiddelkoncentration af de to sider. For gader med en målestation er det den side, hvor stationen er placeret. Navnene på gaderne kan ses i tabel 2.3. Pile angiver gadestrækninger med en målestation.

Navnene på de 99 gadestrækninger angives i Tabel 2.3, og gadernes placering og de modelberegnete årsmiddelkoncentrationer kan ses i Figur 2.6.

Der er sket mindre ændringer i rangordningen af gaderne fra 2022 til 2023, hvilket primært er på grund af små ændringer i trafikken. Den højeste model-

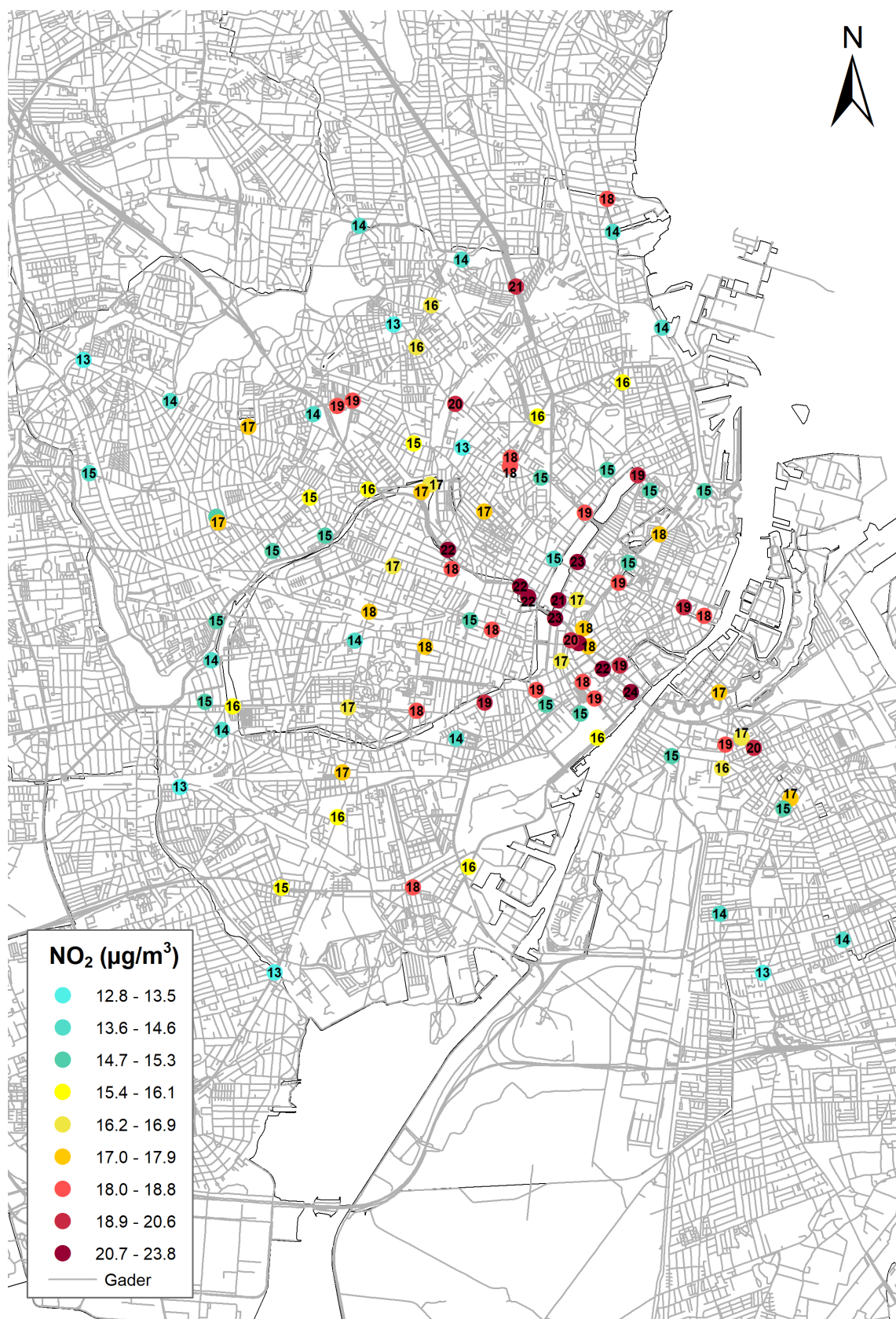
beregnete årsmiddelkoncentration for kvælstofdioxid i 2023 var på H.C. Andersens Boulevard (2) med 23,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Den femte højeste er, hvor målestationen er placeret på H.C. Andersens Boulevard, mens årsmiddelkoncentrationen er den 32. højeste ved målestationen på Jagtvej.

I forhold til WHO's nye retningslinjer for luftkvalitet på 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for årsmiddelværdien af kvælstofdioxid (WHO, 2021a) er de ikke opfyldt for nogen af de 99 gader i København, men niveauerne ligger langt under EU-grænseværdien på 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Table 2.3.** Rangnummer og navne for gadestrækninger, der er vist i figur 2.5 og 2.6. Gaderne er nummererede (1-99) i forhold til modellerede kvælstofdiioxidniveauerne i 2023 (1 = højeste, 99 = laveste). Tallene i parentes refererer til forskellige delstrækninger af den samme gade, der har mere end én modelberegning. En stjerne (\*) angiver en gadestrækningen med en målestation.

Nr.	Gadenavn	Nr.	Gadenavn	Nr.	Gadenavn
1	H C Andersens Boulevard(2)	34	Gammel Kongevej(1)	67	Folke Bernadottes Allé
2	Øster Søgade	35	Vester Voldgade	68	Bülowsvej(2)
3	Gyldenløvesgade	36	Nørre Voldgade(2)	69	Øster Voldgade(2)
4	H C Andersens Boulevard(3)	37	Nordre Fasanvej(1)	70	Grøndals Parkvej
5*	H C Andersens Boulevard(1)	38	Øster Voldgade(1)	71	Rebildvej
6	Ågade	39	Amagerbrogade(1)	72	Slotsherrensvej(2)
7	Åboulevard(1)	40	Toftegårds Allé(1)	73	Ingerslevsgade
8	Åboulevard(3)	41	Torvegade	74	Blegdamsvej
9	Nørre Søgade	42	Nordre Fasanvej(3)	75	Dag Hammarskjølds Allé
10	Lyngbyvej(2)	43	Jyllingevej(1)	76	Istedgade
11	Hammerichsgade	44	Jagtvej(3)	77	Artillerivej
12	Tagensvej(2)	45	Frederikssundsvej(8)	78	Ålholmvej(1)
13	Amagerbrogade(2)	46	Nørre Farimagsgade	79	Godthåbsvej(2)
14	Stormgade	47	Hillerødgade(1)	80	Slotsherrensvej(1)
15	Bredgade	48	Søndre Fasanvej(2)	81	Nørrebrogade
16	Østerbrogade(4)	49	Amager Boulevard	82	Tuborgvej(1)
17	Enghavevej	50	Godthåbsvej(3)	83	Amagerbrogade(3)
18	Tomsgårdsvej(2)	51	Vester Farimagsgade	84	Ålholmvej(2)
19	Fredensgade	52	Røde Mellemvej(1)	85	Vesterfælledvej
20	Gothersgade(1)	53	Tagensvej(1)	86	Strandvejen(2)
21	Amagerfælledvej	54	Tuborgvej(2)	87	Frederiksborgvej(1)
22	Bernstorffsgade(2)	55	Gammel Køge Landevej(1)	88	Peter Bangs Vej(1)
23	Vesterbrogade(1)	56	Kalvebod Brygge	89	Røde Mellemvej(2)
24	Frederikssundsvej(3)	57	Roskildevej(1)	90	Frederikssundsvej(5)
25	P Knudsens Gade(2)	58	Hillerødgade(3)	91	Peter Bangs Vej(2)
26	H.C. Ørsteds Vej(2)	59	Jagtvej(2)	92	Bellahøjvej
27	Falkoner Alle(2)	60	Scandiagade	93	Strandvænget(2)
28	Bernstorffsgade(1)	61	Østerbrogade(1)	94	Frederikssundsvej(2)
29	Toldbodgade	62	Hulgårdsvej(2)	95	Halmetgade
30	Vesterbrogade(3)	63	Folehaven(1)	96	Englandsvej(2)
31	Tagensvej(3)	64	Frederikssundsvej(1)	97	Vigerslevvej(2)
32*	Jagtvej(1)	65	Tagensvej(4)	98	Frederiksborgvej(2)
33	Strandvejen(1)	66	Englandsvej(1)	99	Gammel Køge Landevej(2)



**Figur 2.6.** Kortet viser placeringen af de udvalgte gadestrækninger i København og årsmiddelkoncentrationer for kvælstofdioxid i 2023. Det lille tal i prikkerne angiver årsmiddelkoncentrationen i µg/m<sup>3</sup>. Bidraget fra trafikken i gaderne er modelleret med OSPM®. Bybaggrundsbidraget er modelleret med UBM med input fra den regionale langtransportmodel DEHM. Værdien for en gadestrækning 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. Navne og numre for gaderne er vist i Tabel 2.3. WebGIS kort kan ses på <https://augis.au.dk/portal/home/web-map/viewer.html?webmap=238e9a02e02c434ab7f5199e4a4e9078>

## 2.4.2 Modelberegninger for Aalborg

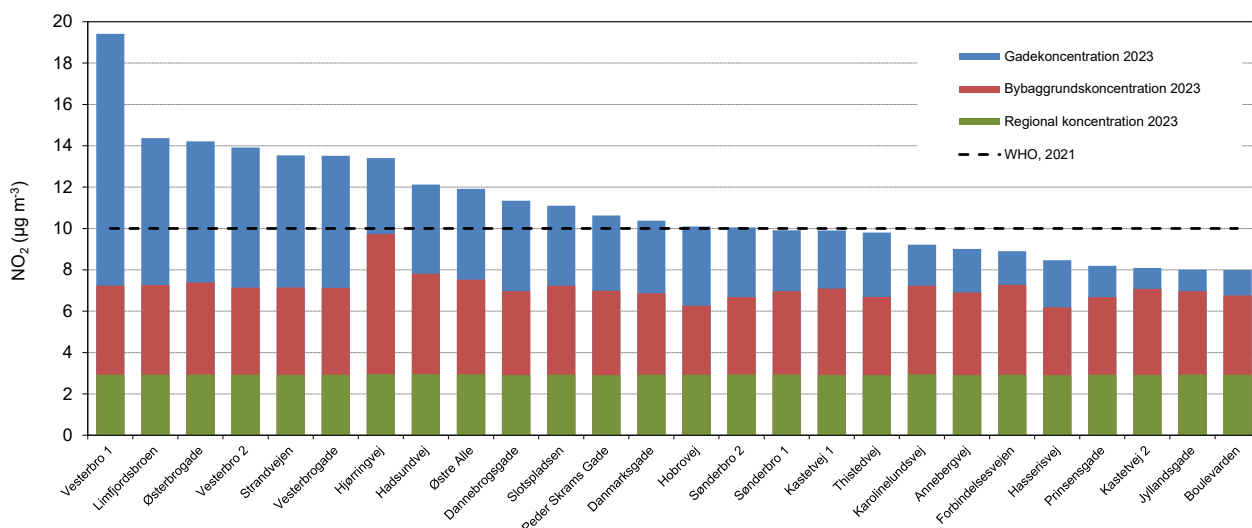
Fra 2018 til 2019 blev der lavet ændringer i udvalgte gadestrækninger, der laves modelberegninger for. Ændringerne er sket for at skabe størst mulig sammenhæng mellem de gader, hvor Aalborg Kommune jævnligt gennemfører trafiktællinger for at sikre det bedst mulige trafikale grundlag for luftkvalitetsberegningerne. I 2018 var der 31 udvalgte gadestrækninger, og i 2019 er der 26 gadestrækninger. De 26 gader er udvalgt, så de dækker hele byen, og der er valgt relativt trafikerede gadestrækninger, som i det fleste tilfælde også er i lukkede gaderum med bebyggelse på begge sider af vejen. Samme 26 gadestrækninger indgår i luftkvalitetsberegningerne for 2023.

ÅDT var mellem 1.700 og 28.700 køretøjer om dagen i Aalborg. I gennemsnit er ÅDT lidt lavere i 2023 i forhold til 2022. Den samlede trafik er faldet med omkring 2,4%, som dækker over lidt flere personbiler og færre tunge køretøjer. Antallet af tunge køretøjer er faldet fra 5,2 % i 2022 til 4,5 % i 2023. Alt andet lige, vil det give mindre ændringer i udledningerne. Rejsehastigheden er antaget at være uændret i forhold til 2022. Den generelle udvikling mod lavere udledningsfaktorer for de enkelte biler pga. bilparkens løbende udskiftning bidrager sammen med skærpede miljøzoner og elektrificering, til lavere udledninger fra trafikken.

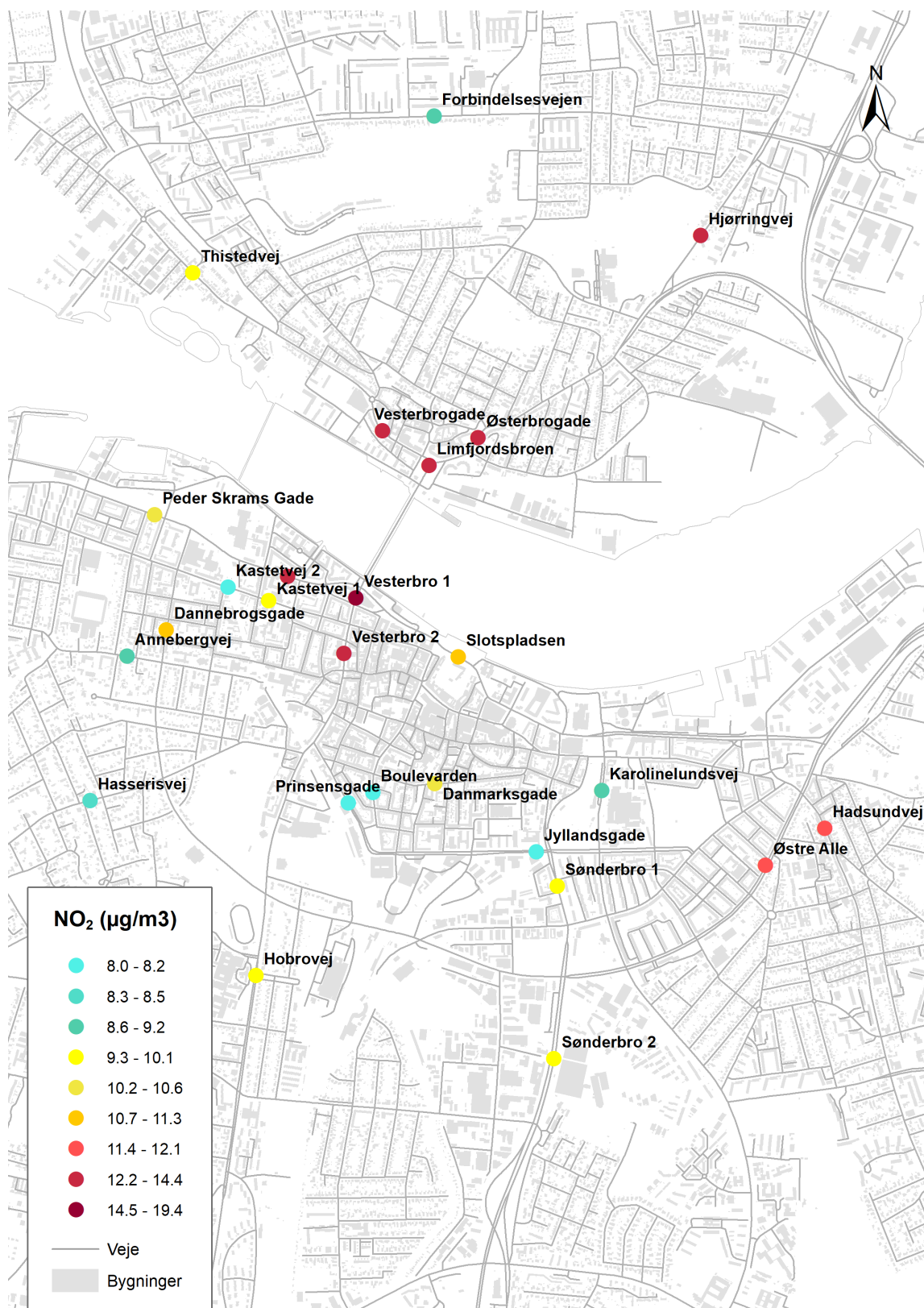
Årsmiddelkoncentrationerne for kvælstofdioxid for de 26 udvalgte gadestrækninger ligger i intervallet fra 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  og op til 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figur 2.7). Gennemsnitligt er årsmiddelkoncentrationerne for de 26 udvalgte gadestrækninger i 2023 omkring 1,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  lavere end den gennemsnitlige årsmiddelkoncentration for 2022. Målingerne viser tilsvarende lidt lavere koncentrationer i 2023 i forhold til 2022 ved gademålestationen og ved bybaggrundsmålestationen.

I november 2019 startede målingerne på den nye placering på Vesterbro (Vesterbro 2). Den tidligere placering af målestationen var tættere på Limfjorden (Vesterbro 1). Bemærk at den højeste beregnede kvælstofdioxidkoncentration er for gadestrækningen, hvor den tidligere målestation lå, men på den modsatte side af den tidligere placering af målestationen, da beregningerne viser højere koncentrationer på denne side, og det er den maksimale koncentration af de to sider, som vises. Den fjerde højeste koncentration beregnes, hvor den nuværende målestation er placeret.

Ifølge modelberegningerne blev grænseværdien for årsmiddelkoncentration (40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) i 2023 ikke overskredet på nogen af de 26 udvalgte gader (Figur 2.7 og 2.8). I forhold til WHO's nye retningslinjer for luftkvalitet på 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for årsmiddelværdien af kvælstofdioxid (WHO, 2021a) er de ikke opfyldt på 12 ud af de 26 gader i Aalborg. Der er først tale om, at retningslinjen ikke er opfyldt ved værdier over 10,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , da retningslinjen er defineret som et heltal.



**Figur 2.7.** Årsmiddelkoncentrationer for kvælstofdioxid i 2023 for 26 udvalgte gadestrækninger i Aalborg baseret på modelberegninger. Bidraget fra trafikken i gaderne er baseret på gadeluftkvalitetsmodellen OSPM® (blå farve). Bybaggrundsbidraget (rødlig farve) er baseret på beregninger fra baggrundsmodellen UBM med input fra den regionale langtransportmodel DEHM (grøn farve). Værdien for en gadestrækning er for den side af gaden, der har den højeste årsmiddelkoncentration af de to sider. Vesterbro 2 er den gadestrækning, hvor målestationen ligger. Målestationen blev taget i brug i november 2019. Målestationen er flyttet fra en tidligere placering på Vesterbro, som lå tættere på Limfjorden (Vesterbro 1).



**Figur 2.8.** Kortet viser placeringen af de udvalgte gadestrækninger i Aalborg og årsmiddelkoncentrationer for kvælstofdioxid i 2023. Bidraget fra trafikken i gaderne er modelleret med OSPM®. Bybaggrundsbidraget er modelleret med UBM med input fra den regionale langtransportmodel DEHM. Værdien for en gadestrækning 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. I Aalborg er målestationen placeret på Vesterbro (Vesterbro 2) siden november 2019, og har tidligere været placeret på Vesterbro 1. WebGIS kort kan ses på <https://augis.au.dk/portal/home/web-map/viewer.html?webmap=c24e79205f534b97a1f93d6135c1e5dd>

### 2.4.3 Udvikling i modellerede overskridelser af kvælstofdioxid

Figur 2.9 viser for årsmiddelkoncentrationen af kvælstofdioxid for de udvalgte gadestrækninger i København og Aalborg, udviklingen i antallet af gadestrækninger med overskridelser af EU-grænseværdien sammen med udviklingen i antallet af gadestrækninger, hvor WHO-2021-retningslinjen ikke er opfyldt.

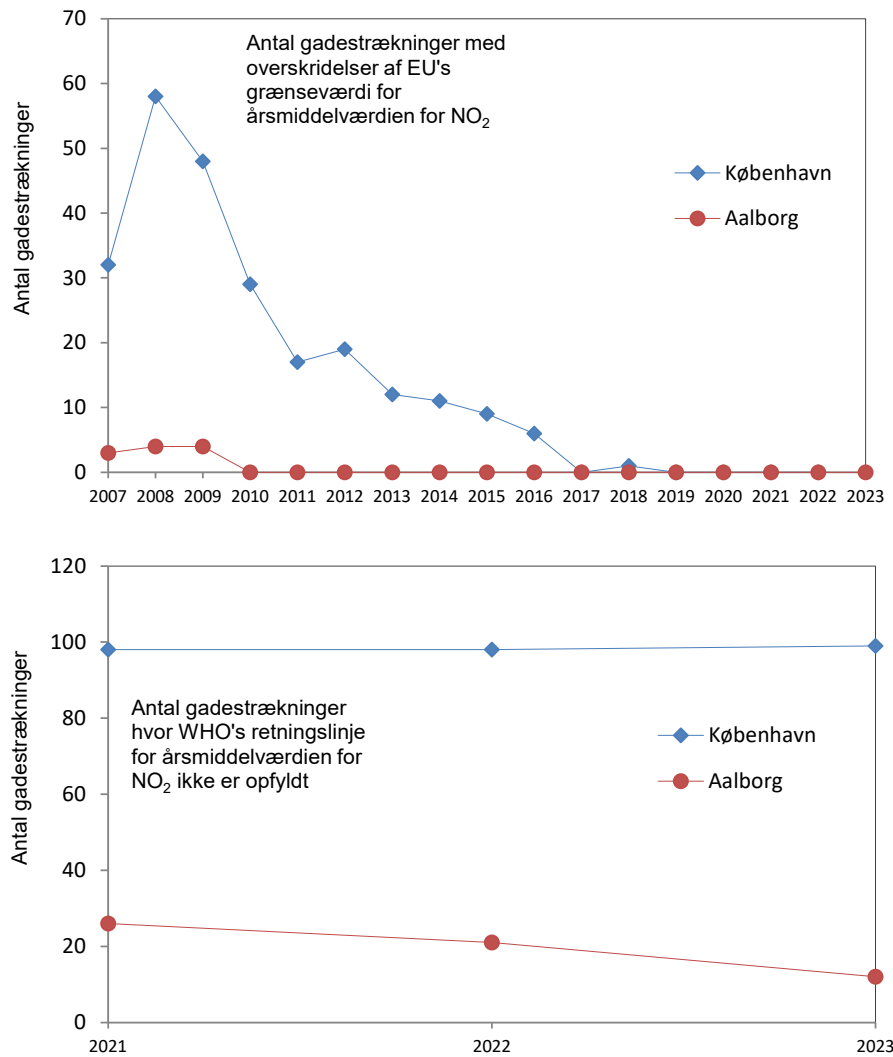
Grænseværdien på  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for årsmiddelkoncentrationen af kvælstofdioxid skulle være opfyldt i 2010 (EU, 2008). Luftkvalitetsdirektivet indeholder endvidere en mekanisme, som skulle anspore medlemsstaterne til løbende at nærme sig grænseværdien i perioden fra 1999 frem til 2010. I 2007 skulle årsmiddelkoncentrationerne således ligge under  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (grænseværdi plus en tolerancemargin på  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), i 2008 skulle den ligge under  $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  og i 2010 skulle selve grænseværdien overholdes.

For København er antallet af overskridelser faldet fra 58 i 2008 til seks i 2016, og yderligere til nul i 2017, én i 2018, og til nul siden 2019. Hovedårsagen til stigningen i antallet af overskridelser i København fra 32 i 2007 til 58 i 2008 er det ovenfor beskrevne fald i grænseværdi plus tolerancemargin. Dette fald i grænseværdi plus tolerancemargenen fører til et højere antal gadestrækninger med overskridelser i 2008 i forhold til 2007. Hvis grænseværdien plus tolerancemargenen havde været  $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i 2007, ville antallet af gadestrækninger, der overskrider grænseværdien plus tolerancemargenen, have været 53. Nogenlunde samme niveau som i 2008.

I København omfatter analysen 138 gader i 2007 og frem til 2010, 99 gader i 2011 og 2012 og 98 gader i de følgende år frem til 2023, hvor der igen er 99 gader. Reduktionen i antallet af inkluderede gader fra 2011 og fremefter blev gennemført for at forbedre modelberegningerne ved at skabe bedre sammenhæng mellem de udvalgte gadestrækninger, og de steder Københavns Kommune gennemfører manuelle trafiktællinger.

For Aalborg blev der i årene 2007-2009 modelleret tre til fire overskridelser af grænseværdien, mens der ingen har været siden 2010. Her omfatter analysen 32 gader fra 2007 til 2010, 31 gader i perioden 2011-2018, og 26 gader siden 2019.

I 2023 er der ingen gadestrækninger med modelberegnete overskridelser af EU-grænseværdien for årsmiddelkoncentrationen af kvælstofdioxid for de 99 udvalgte gadestrækninger i København. Resultaterne fra modelberegningerne er i overensstemmelse med måleresultaterne, hvor der heller ikke blev observeret overskridelser i 2023. Der har ikke været overskridelser af grænseværdien i Aalborg siden 2010.



**Figur 2.9.** Udviklingen i antallet af de udvalgte gadestrækninger med modellerede overskridelser af EU's grænseværdi for årsmiddelkoncentrationen af kvælstofdioxid i København og Aalborg (øverst). Udviklingen i antallet af de udvalgte gadestrækninger i København og Aalborg, hvor WHO's retningslinje fra 2021 for årsmiddelkoncentrationen af kvælstofdioxid ikke er opfyldt (nederst).

I forhold til WHO's nye retningslinje for luftkvalitet på  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for årsmiddelværdien af kvælstofdioxid (WHO, 2021a) er der i 2023 ingen af de udvalgte 99 gadestrækninger i København, hvor retningslinjerne er opfyldt, og i Aalborg er der 12 ud af de 26 gader, der ikke opfylder retningslinjerne. Som det også fremgår, er antallet af gadestrækninger, hvor retningslinjerne ikke opfyldes det samme for København alle tre år, mens der sker et fald fra 2021 til 2023 i antallet af gadestrækninger i Aalborg.

### 3. Carbonmonoxid, CO

Carbonmonoxid er en sundhedsskadelig gas. Kilderne til carbonmonoxid er hovedsageligt menneskeskabt forbrænding af forskellige former for brændstoffer i forbindelse med energiproduktion, transport og opvarmning.

Carbonmonoxid er omfattet af EU's luftkvalitetsdirektiv, hvor der er fastlagt en grænseværdi til beskyttelse af befolkningen mod helbredseffekterne som følge af korttidseksponering for carbonmonoxid. EU's grænseværdi angiver, at den maksimale 8-timersmiddelværdi ikke må overstige 10.000 µg/m<sup>3</sup> i løbet af kalenderåret (EU, 2008).

Status og udvikling i luftkoncentrationerne af carbonmonoxid blev i 2023 målt på fire gademålestationer, en bybaggrundsmålestation og en landbaggrundsmålestation.

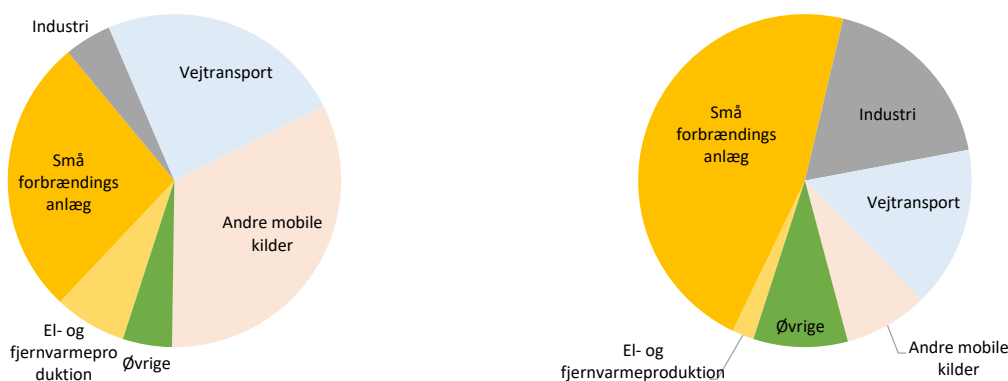
#### 3.1 Udledninger

I 2022 kom de største bidrag til udledningerne af carbonmonoxid omtrent ligeligt fra *Små forbrændingsanlæg*, *Vejtransport* og *Andre mobile kilder* (Figur 3.1 og Tabel 3.1; Nielsen et al., 2024). Til sammen udgør disse tre kilder omkring 84% af de samlede udledninger.

De samlede udledninger af carbonmonoxid er faldet med omkring 75% siden begyndelsen af 1990'erne (Figur 3.2; Nielsen et al., 2024). Det største fald er sket for *Vejtransport* (omkring 91%), som tidligere var langt den mest dominerende kilde (Figur 3.2). Det store fald er opnået ved indførelse af katalysatorer på køretøjerne fra begyndelsen af 1990'erne. Til gengæld er udledninger fra sektoren *Små forbrændingsanlæg* (ikke-industrielle udledninger) faldet betydeligt mindre med det resultat, at udledninger fra *Små forbrændingsanlæg* i dag udgør omkring den samme andel som andelen fra vejtransport eller andre mobile kilder.

Udledningerne af carbonmonoxid på EU-niveau følger i store træk det samme mønster som for Danmark (Figur 3.1 og 3.2). Dog er der forskel i bidraget fra de største kilder, hvor navnlig *Vejtransport* og *Andre mobile kilder* udgør en større andel i Danmark end på EU-niveau. Til gengæld er *Små forbrændingsanlæg* den største kilde i EU.

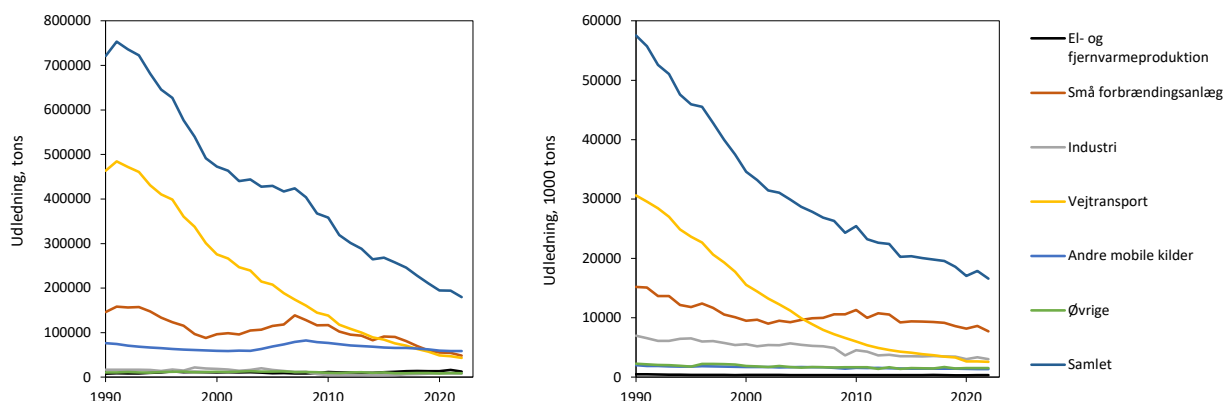




**Figur 3.1.** Kilderne til menneskeskabte udledninger af carbonmonoxid i Danmark (venstre) og EU-27 (højre) i 2022. Figureerne viser de fem vigtigste kilder i Danmark, mens de resterende kilder er vist samlet under "Øvrige" (Nielsen et al., 2024, CEIP, 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne.

**Tabel 3.1.** Kilderne til de menneskabte udledninger af carbonmonoxid i Danmark i 2022 (Nielsen et al., 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne.

Sektor	GNFR-kode	Udledninger 2022	
		Tons	%
<b>El- og fjernvarmeproduktion</b>	<b>A</b>	<b>12640</b>	<b>7</b>
<b>Industri</b>	<b>B</b>	<b>8224</b>	<b>5</b>
<b>Små forbrændingsanlæg</b>	<b>C</b>	<b>48522</b>	<b>27</b>
<b>Flygtige emissioner fra brændsler</b>	<b>D</b>	<b>85</b>	<b>0</b>
<b>Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter</b>	<b>E</b>	<b>2987</b>	<b>2</b>
<b>Vejtransport</b>	<b>F</b>	<b>43331</b>	<b>24</b>
- Vejtransport, udstødning	F1-F5	43331	24
- Vejtransport, dæk-, bremse- og vejslid	F6-F7	0	0
<b>Søfart</b>	<b>G</b>	<b>885</b>	<b>0</b>
<b>Luffart (LTO)</b>	<b>H</b>	<b>892</b>	<b>0</b>
<b>Andre mobile kilder</b>	<b>I</b>	<b>58591</b>	<b>33</b>
<b>Affald</b>	<b>J</b>	<b>2461</b>	<b>1</b>
<b>Landbrug</b>	<b>K+L</b>	<b>1274</b>	<b>1</b>
<b>Samlet</b>	<b>A - L</b>	<b>179892</b>	<b>100</b>



**Figur 3.2.** Udviklingen i udledninger af carbonmonoxid i Danmark (venstre) og EU-27 (højre) siden 1990 (Nielsen et al., 2024; CEIP, 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne. Denne ændring er ført tilbage til 1990.

### 3.2 Status for luftkvalitet

Carbonmonoxid blev i 2023 målt ved gademålestationerne i København, Odense, Aalborg og Aarhus samt ved bybaggrundsmålestationen i København og landbaggrundsmålestationen ved Risø. Tabel 3.2 angiver årsmiddelværdien og resultater for den maksimale 8-timersmiddelværdi. EU's grænseværdi angiver, at den maksimale 8-timersmiddelværdi ikke må overstige 10.000 µg/m<sup>3</sup> i løbet af kalenderåret og er således fastlagt for at beskytte befolkningen mod korttids eksponering for carbonmonoxid (EU, 2008). Den højest målte maksimale 8-timersmiddelværdi er på omkring 8% af grænseværdien og ved alle målestationerne ligger de målte koncentrationer således langt under grænseværdien.

**Tabel 3.2.** Årsmiddelværdi for carbonmonoxid i 2023 samt den maksimale 8-timersmiddelværdi. Desuden angives grænseværdien for carbonmonoxid (EU, 2008). EU kræver en datadækningsgrad på mindst 85% af kalenderåret. På basis heraf vurderes datadækningen at være tilstrækkelig på alle målestationer.

	Datadækning	Årsmiddel	Maksimal 8-timers-middelværdi
	%	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
Grænseværdi			10.000
<i>Gade</i>			
København, H.C. Andersens Boulevard	92	241	773
Odense, Grønløkkevej	90	197	748
Aarhus, Banegaardsgade	95	204	549
Aalborg, Vesterbro	94	217	663
<i>Bybaggrund</i>			
København	93	106	367
<i>Landbaggrund</i>			
Risø	95	204	465

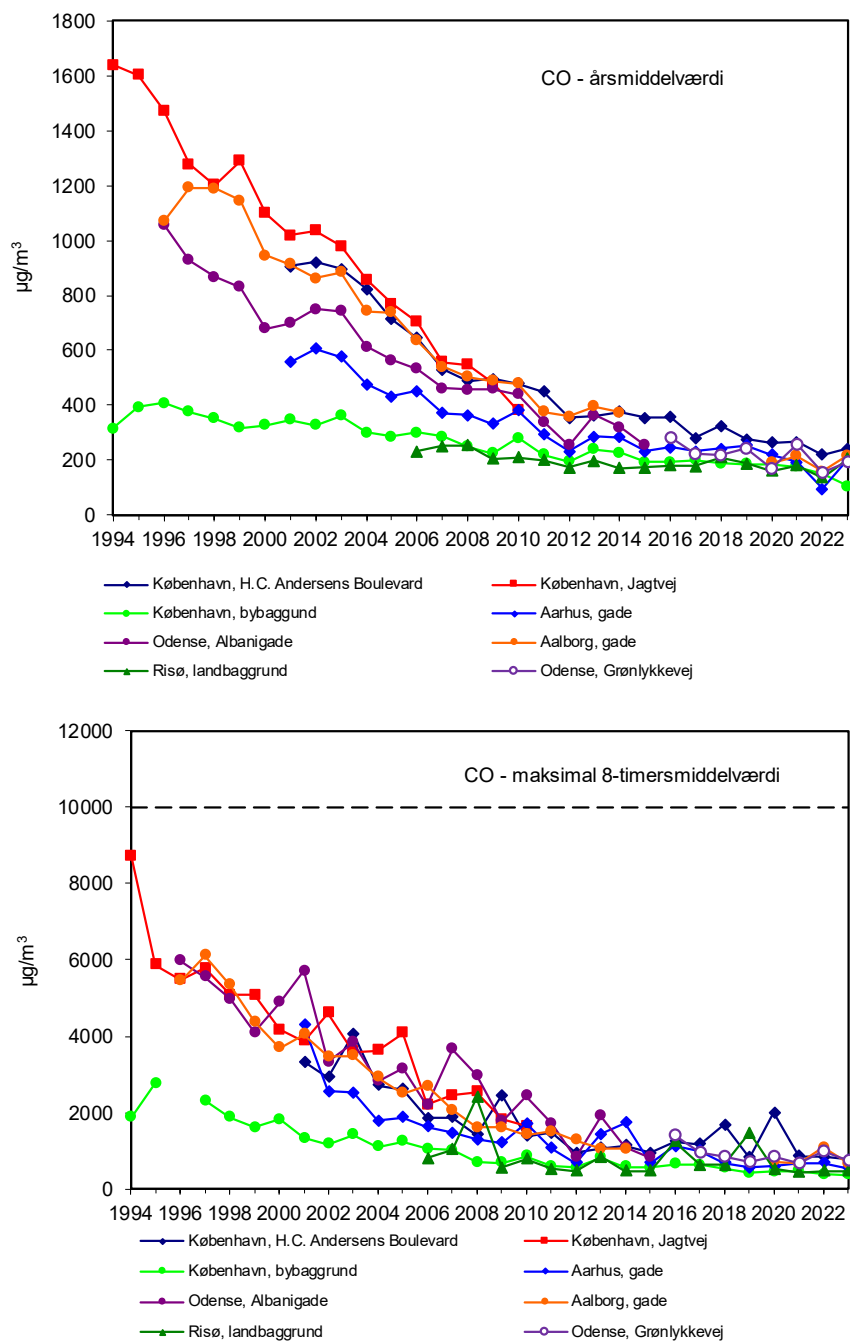
Koncentrationsniveauet er nogenlunde på samme niveau ved gademålestationerne i København, Odense, Aarhus og Aalborg. På grund af de lave carbonmonoxidkoncentrationer de seneste år, hvis niveauer ligger nede omkring detektionsgrænsen, er der relativt stor måleusikkerhed. Med det forbehold taget i betragtning vurderes det ud fra et forsigtigt skøn, at størstedelen af carbonmonoxidniveauerne i 2023 ved gademålestationerne stammer fra den regionale baggrund, og kun en mindre del stammer fra udledningerne fra trafikken i den pågældende gade (gadebidraget).

### 3.3 Udviklingstendens

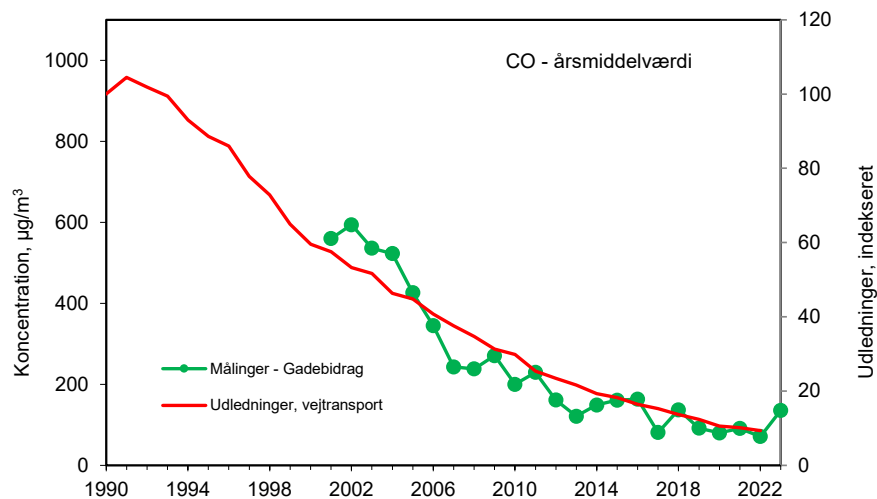
Figur 3.3 viser udviklingstendens for årsmiddelværdien og den maksimale 8-timersmiddelværdi for carbonmonoxid. For begge parametre er der sket et stort fald siden målingernes begyndelse i 1990'erne, og i 2023 lå de målte koncentrationer ved gademålestationerne på omkring 15-30% af niveauerne i midten af 1990'erne.

Det store fald på de danske gademålestationer skyldes hovedsageligt det store fald i udledningerne fra vejtransport. Figur 3.4 viser, at gadebidraget til luftkoncentrationerne ved målestationen på H.C. Andersens Boulevard i store træk følger faldet i udledningerne fra vejtransporten. Stigning i gadebidraget

(figur 3.4) fra 2022 til 2023 skyldes formentligt tilfældigheder grundet de relativt høje usikkerheder som følge af, at koncentrationsniveauerne er lave i forhold til detektionsgrænsen for carbonmonoxid.



**Figur 3.3.** Årsmiddelværdier (øverst) og den maksimale 8-timersmiddelværdi (nederst) for carbonmonoxid. Den stiplede linje i den nederste figur angiver EU's grænseværdi.



**Figur 3.4.** Udviklingen i gadebidraget til luftkoncentrationerne af carbonmonoxid (venstre akse) ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard sammenholdt med den relative udvikling i udledningerne af carbonmonoxid (højre akse, indekseret til 100 i 1990) (Nielsen et al., 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne. Denne ændring er ført tilbage til 1990. Gadebidraget beregnes som forskel mellem de målte koncentrationer på gademålestation (H.C. Andersens Boulevard) fratrukket målte koncentrationer i bybaggrund i København (H.C. Ørsted Institutet). Stigning fra 2022 til 2023 skyldes formentligt tilfældigheder pga. de relativt høje usikkerheder som følge af, at koncentrationsniveauerne er lave i forhold til detektionsgrænsen.

## 4. Svovldioxid, SO<sub>2</sub>

Svovldioxid er giftigt for mennesker i høje koncentrationer, og eksponering for svovldioxid kan derfor medføre negative helbredseffekter. Luftkoncentrationerne er i dag meget lave i forhold til tidligere, så derfor er helbredseffekterne fra svovldioxid på et lavt niveau. Kilderne til svovldioxid er hovedsageligt menneskeskabt forbrænding af olie og kul.

Svovldioxid er omfattet af EU's luftkvalitetsdirektiv (EU, 2008), hvor der er fastlagt to grænseværdier til beskyttelse af befolkningen mod helbredseffekterne som følge af korttidseksponering for svovldioxid:

- Den ene grænseværdi er baseret på timemiddelkoncentrationen af svovldioxid, hvor timemiddelkoncentrationen ikke må overskride 350 µg/m<sup>3</sup> mere end 24 gange på et kalenderår.
- Den anden grænseværdi er baseret på døgnmiddelkoncentrationen af svovldioxid, hvor døgnmiddelkoncentrationen ikke må overskride 125 µg/m<sup>3</sup> mere end 3 gange på et kalenderår.

De lave luftkoncentrationer af svovldioxid i Danmark gør det muligt kun at gennemføre en begrænset overvågning af svovldioxid. Svovldioxid blev i 2023 kun målt med gasmonitører med høj tidsopløsning (1/2-timesmiddelværdier) ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard i København og på gademålestationen i Aalborg.

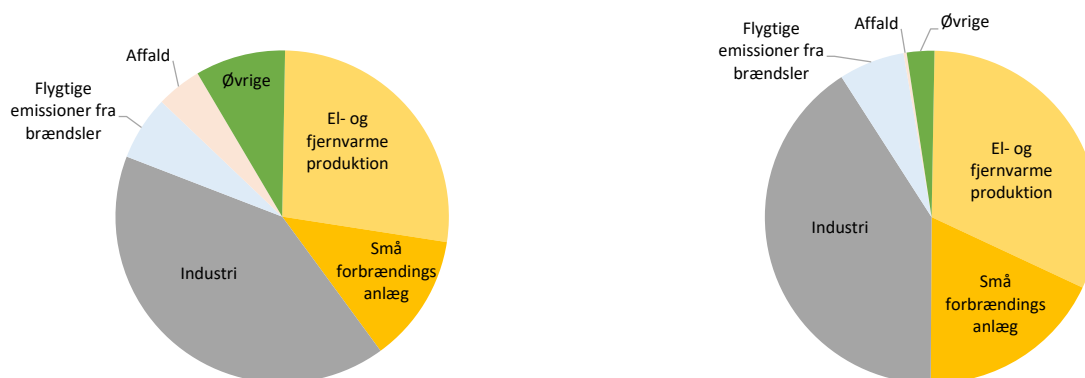
I forbindelse med landbaggrundsmålestationerne foretages også målinger af svovldioxid på døgnmiddelbasis med de såkaldte filterpack-opsamlere (se Elermann et al., 2021 for yderligere detaljer).

### 4.1 Udledninger

Udledningerne af svovldioxid fra danske kilder har gennem de seneste mange årtier været helt domineret af udledningerne fra afbrænding af navnlig kul og olie. Afsvovlingsanlæg på forbrændingsanlæggene og brug af svovlfattigt brændstof har givet en meget stor reduktion af udledningerne, men selv i 2022 kommer den største del af udledningerne af svovldioxid fra afbrænding af kul, olie og andre brændsler under sektoren Industri. Udledningerne fra el- og fjernvarmeproduktion og små forbrændingsanlæg er tilsammen dog på næsten samme niveau (Figur 4.1 og Tabel 2.1; Nielsen et al., 2024). Udledninger fra sektorerne *Industri*, *El- og fjernvarmeproduktion* og *Små forbrændingsanlæg* er de tre vigtigste kildetyper, mens vejtransport kun spiller en meget lille rolle.

De samlede udledninger af svovldioxid er faldet med omkring 95% siden begyndelsen af 1990'erne (Figur 4.2; Nielsen et al., 2024). Det store fald er opnået ved ovennævnte tiltag over for udledningerne fra afbrænding af olie og kul, hvilket har ført til omkring 98% og 91% reduktion i udledningerne fra hhv. el- og fjernvarmeproduktion og små forbrændingsanlæg i forbindelse med energiproduktion.

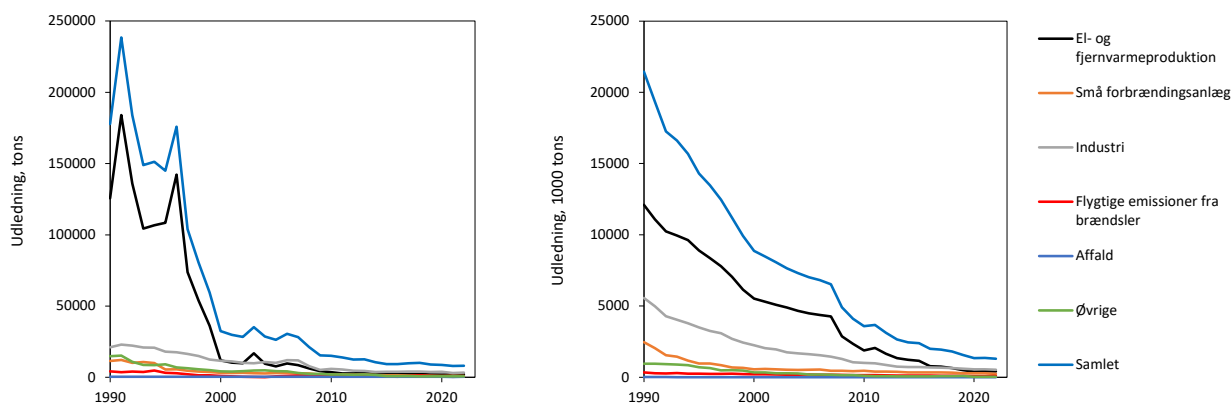
Det er de samme kilder, som bidrager mest til udledningerne af svovldioxid i EU-27 som i Danmark. Udledningerne fra energiproduktion (sektorerne el- og fjernvarmeproduktion og små forbrændingsanlæg) betyder dog væsentligt mere på EU-niveau end i Danmark (Figur 4.1). Faldet i udledningerne er endvidere sket væsentligt hurtigere i Danmark end i EU-27 (Figur 4.2).



**Figur 4.1.** Kilderne til menneskeskabte udledninger af svovldioxid i Danmark (venstre) og EU-27 (højre) i 2022. Figureerne viser de fem vigtigste kilder i Danmark, mens de resterende kilder er vist samlet under "Øvrige" (Nielsen et al., 2024, CEIP, 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne.

**Tabel 4.1.** Kilderne til de menneskeskabte udledninger af svovldioxid i Danmark i 2022 (Nielsen et al., 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne.

Sektor	GNFR-kode	Udledninger 2022	
		Tons	%
El- og fjernvarmeproduktion	A	2209	27
Industri	B	3326	41
Små forbrændingsanlæg	C	1016	13
Flygtige emissioner fra brændsler	D	508	6
Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter	E	44	1
Vejtransport	F	70	1
- Vejtransport, udstødning	F1-F5	70	1
- Vejtransport, dæk-, bremse- og vejslid	F6-F7	0	0
Søfart	G	185	2
Luftfart (LTO)	H	89	1
Andre mobile kilder	I	314	4
Affald	J	357	4
Landbrug	K+L	10	0
<b>Samlet</b>	<b>A - L</b>	<b>8128</b>	<b>100</b>



**Figur 4.2.** Udviklingen i udledninger af svovldioxid i Danmark (venstre) og EU-27 (højre) siden 1990 (Nielsen et al., 2024; CEIP, 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne. Denne ændring er ført tilbage til 1990.

## 4.2 Status for luftkvalitet

Tabel 4.2 angiver de vigtigste resultater for 2023 i relation til grænseværdier. Der er i EU's luftkvalitetsdirektiv (EU, 2008) fastlagt to grænseværdier af hensyn til begrænsning af befolkningens korttidseksposering for svovldioxid. Begge grænseværdier er overholdt, og både den højeste timemiddelværdi og døgnmiddelværdien er langt under de fastsatte grænser. Ved landbaggrundsmålestationerne ligger gennemsnittet af årsmiddelkoncentrationerne på omkring 40% af gennemsnittet på de to gademålestationer (H.C. Andersens Boulevard i København og Vesterbro i Aalborg). På grund af de lave svovldioxidkoncentrationer de seneste år, hvor niveauerne ligger nede omkring detektionsgrænserne for de anvendte metoder, er måleusikkerheden relativ stor, hvorfor tilfældigheder kan få forholdsmæssig stor effekt det enkelte år. For de seneste tre år (2021-23) udgør middelniveauet målt på de fire landbaggrundsmålestationer omkring 30% af middelniveauet målt på de to gademålestationer.

**Tabel 4.2.** Årsmiddelværdi for svovldioxid i 2023 og en række andre parametre til vurdering af overholdelse af de i EU fastlagte målsætninger for svovldioxid (EU, 2008). For svovldioxid er der to grænseværdier. Den ene er baseret på timemiddelværdien, hvor timemiddelværdien højst må overskride 350 µg/m<sup>3</sup> 24 gange i et kalenderår. Den anden er baseret på døgnmiddelværdien, hvor døgnmiddelværdien højst må overskride 125 µg/m<sup>3</sup> tre gange i et kalenderår. Målingerne ved gademålestationerne er baseret på timemiddelkoncentrationer med automatiske gasmonitører, mens målingerne ved landbaggrundsmålestationerne er baseret på døgnmiddelmålinger ved hjælp af filterpack-opsamlere (og derfor er der ikke data fra landbaggrundsmålestationerne vedrørende timemiddelværdier). EU kræver en dækningsgrad på mindst 85% af kalenderåret. På basis heraf vurderes datadækningen at være tilstrækkelig på alle målestationer.

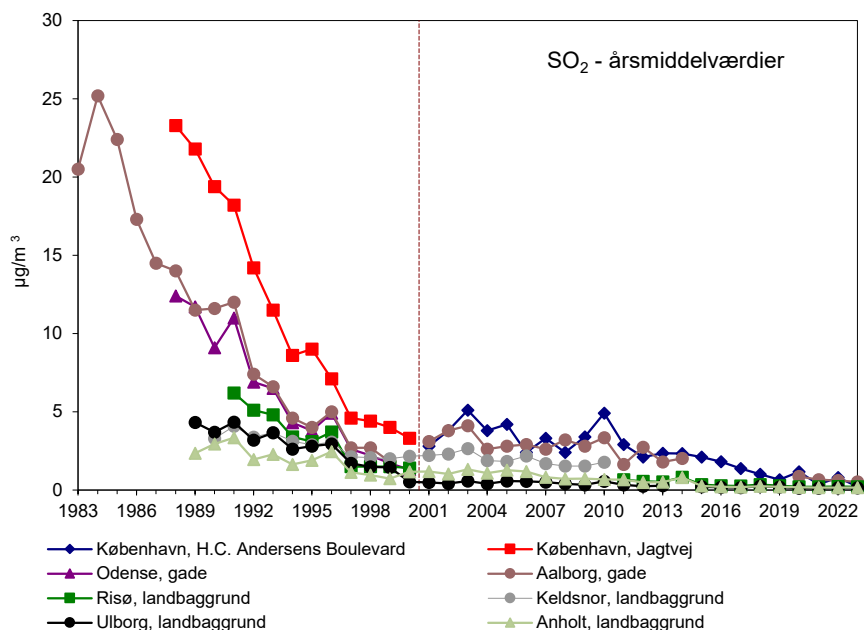
	Data- dækning	Årsmiddel- værdi	Højeste time- middelværdi	Antal timer med time- middelværdi over 350 µg/m <sup>3</sup>	Højeste døgnmiddel- værdi	Antal dage med døgn- middelværdi over 125 µg/m <sup>3</sup>
	%	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	Antal timer	µg/m <sup>3</sup>	Antal dage
Grænseværdi			350	24	125	3
<i>Gade</i>						
København, H.C. Andersens Boulevard	94	0,2	3,8	0	1,0	0
Aalborg, Vesterbro	94	0,5	15	0	1,2	0
<i>Landbaggrund</i>						
Risø	96	0,2			1,7	0
Anholt	98	0,2			1,1	0
Tange	99	0,1			0,8	0
Ulborg	95	0,1			1,0	0

### 4.3 Udviklingstendens

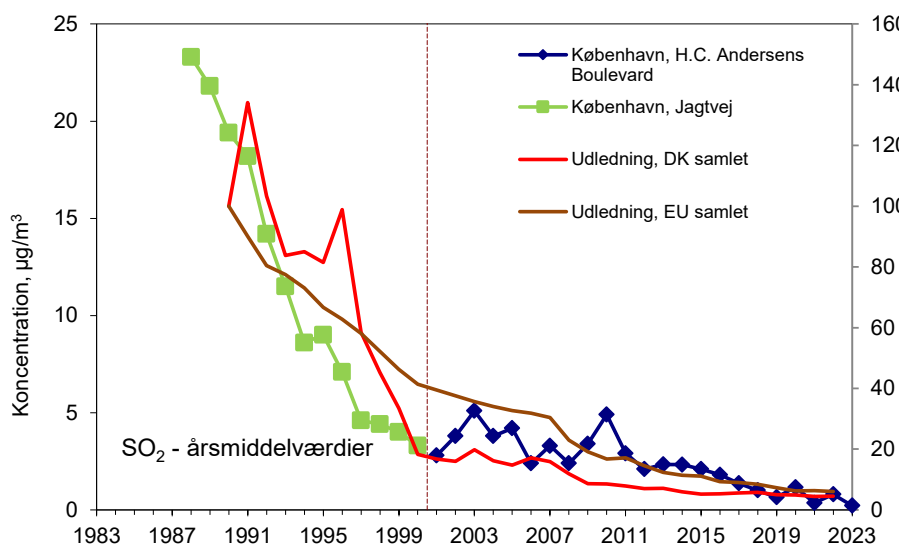
Figur 4.3 viser udviklingstendensen for årsmiddelværdierne af svovldioxid. Luftkoncentrationerne er faldet markant siden begyndelsen af 1980'erne. I dag udgør de målte luftkoncentrationer på gademålestationerne under 3% af de målte luftkoncentrationer i 1980'erne. For landbaggrund ses også et markant fald, hvor koncentrationerne i 2023 udgør under 4% af koncentrationerne ved opstart af målingerne i 1991.

Årsagen til det store fald skyldes reducerende tiltag såsom afsvovlingsanlæg på forbrændingsanlæggene og brug af svovlfattigt brændstof, hvilket har ført til et fald på omkring 95% i de danske udledninger (Figur 4.4). Udledningerne i de øvrige EU-lande har også bidraget til faldet i luftkoncentrationerne for svovldioxid om end udledningerne her er faldet langsommere end i Danmark. I de seneste årtier har internationale tiltag til reduktion af udledningerne fra international skibsfart være en vigtig del af årsagen til det fortsatte fald i luftkoncentrationerne af svovldioxid.





**Figur 4.3.** Udviklingstendens for årsmiddelkoncentrationerne af svovldioxid. Fra 2000 til 2001 (stiplet streg) skifter målemetoden fra filterpack-opsamlere kombineret med kemisk analyse af opsamlede prøver til den nuværende metode baseret på gasmonitører. Gasmonitørerne kan give målinger med kort tidsopløsning, men har til gengæld problemer med interferens fra kvælstofoxider, så værdierne skal anses som en øvre grænse. Endvidere er niveauerne i de seneste år så lave, at luftkoncentrationerne ligger tæt på gasmonitørernes detektionsgrænse. Målingerne på landbaggrundsmålestationerne er fortsat baseret på filterpack-opsamlinger.



**Figur 4.4.** Udviklingen i luftkoncentrationer af svovldioxid på gademålestationer i København (venstre akse) sammenholdt med den relative udvikling i udledningerne af svovldioxid (højre akse, indekseret til 100 i 1990) (Nielsen et al., 2024; CEIP, 2024). Bemærk at udviklingstendensen er sammenstykket af målinger fra dels Jagtvej og dels H.C. Andersens Boulevard, hvilket naturligvis giver en vis usikkerhed på det samlede fald over hele perioden. Endvidere er der anvendt to forskellige målemetoder, hvor gasmonitørerne anvendt i perioden efter 2000 er behæftet med betydelig usikkerhed pga. de meget lave koncentrationer (se teksten til Figur 4.3).

## 5. Flygtige organiske forbindelser, VOC

De flygtige organiske forbindelser (Eng. volatile organic compounds, VOC) udgør en relativt omfattende gruppe af kemiske forbindelser, der er kendetegnet ved et højt damptryk, som gør, at de relativt let fordamper til atmosfæren. De flygtige organiske forbindelser påvirker helbredet på flere forskellige måder:

- Direkte effekter: Nogle flygtige organiske forbindelser har direkte helbredsskadelige effekter. Dette gælder for eksempel benzen, der er kræftfremkaldende.
- Bidrag til ozon dannelse: Sammen med kvælstofoxiderne fører flygtige organiske forbindelser til dannelse af ozon, der har helbredsskadelige effekter (Kapitel 6).
- Bidrag til dannelse af sekundære organiske partikler: De kemiske reaktioner i atmosfæren kan omdanne de flygtige organiske forbindelser til partikler (sekundære organiske partikler), som har helbredsskadelige effekter (Kapitel 7).

De flygtige organiske forbindelser udledes fra en lang række menneskeskabte aktiviteter, hvor navnlig landbrug, flygtige emissioner fra brændsler og anvendelse af opløsningsmidler spiller en stor rolle. Der er endvidere også en lang række naturlige kilder til de flygtige organiske forbindelser, herunder vegetation.

EU's luftkvalitetsdirektiv (EU, 2008) stiller krav om måling af benzen, og fastlægger en grænseværdi til beskyttelse af befolkningen mod helbredseffekterne som følge af langtidseksposering for benzen. Grænseværdien for benzen angiver, at årsmiddelværdien ikke må overskride  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for et kalenderår.

Benzen overvåges ved tre målestationer i København (gademålestationerne på H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej) og ved bybaggrundsmålestationen i København (H.C. Ørsted Institutet). Grundet de lave koncentrationer åbner EU's luftkvalitets direktiv mulighed for at fastlægge luftkvaliteten ved hjælp af en såkaldt *objektiv estimering* (EU, 2008). Denne mulighed anvendes i forbindelse med vurdering af benzenkoncentrationerne i Aarhus, Aalborg og Odense.

EU's luftkvalitetsdirektiv angiver endvidere, at der skal foretages målinger af flygtige organiske forbindelser i relation til dannelsen af ozon. Derfor foretages målinger af 17 udvalgte flygtige organiske forbindelser ved bybaggrundsmålestationen i København (H.C. Ørsted Institutet).

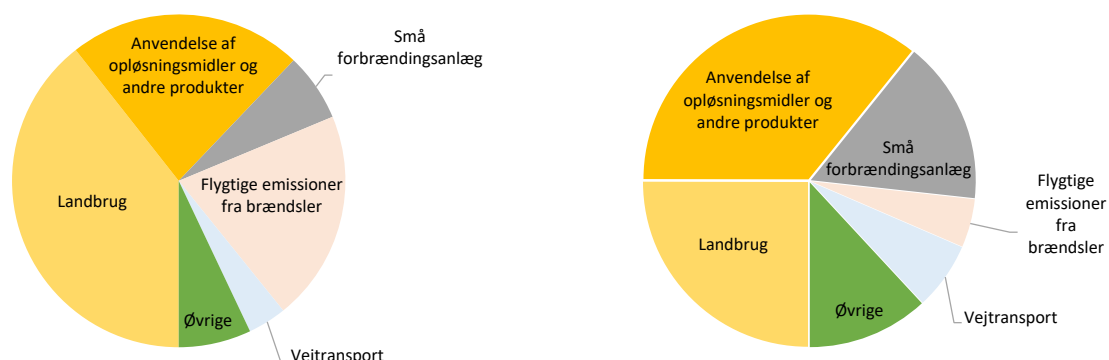
### 5.1 Udledninger

Opgørelser over udledningerne af flygtige organiske forbindelser omfatter ikke metan, selv om metan også hører under denne gruppe. Dette er fordi at metan adskiller sig meget fra den øvrige gruppe af flygtige organiske forbindelser, idet metan har en relativt lav fotokemisk reaktionsevne og derved kun bidrager meget lidt til dannelse af ozon ved jordoverfladen i forhold til de øvrige flygtige organiske forbindelser.

Udledningerne af flygtige organiske forbindelser bortset fra metan (NMVOC – non-methane volatile organic compounds) fra danske kilder er præget af mange kilder, hvoraf den største er landbrug - nærmere bestemt emissioner fra husdyrhold og gødningshåndtering (Figur 5.1 og Tabel 5.1; Nielsen et al., 2024). Sektorerne *Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter* og *Flygtige emissioner fra brændsler* (især fyring med træ og halm), er de vigtigste kilder ud over landbrug. Tidligere udgjorde vejtransport en stor del af udledningerne, men med indførelse af katalysatorer og strengere udledningsstandarder, så er bidraget faldet betydeligt.

De samlede udledninger af NMVOC er faldet med omkring 46% siden begyndelsen af 1990'erne (Figur 5.2; Nielsen et al., 2024). Langt størstedelen af faldet i udledninger skyldes reduktionen i udledningerne fra vejtransport.

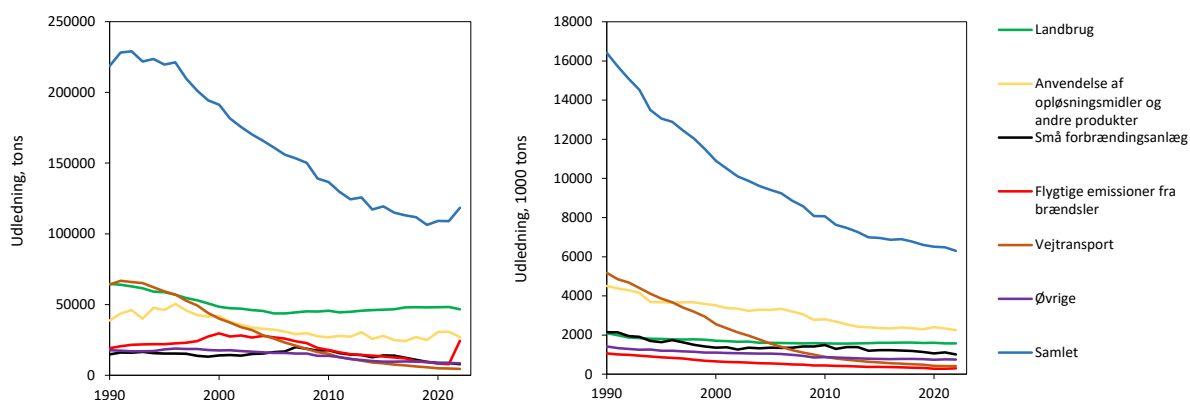
Figur 5.1 viser en sammenligning mellem kilderne til udledninger af flygtige organiske forbindelser i Danmark og EU-27. Det er de samme fem kilder, som er vigtigst, men *Landbrug* spiller langt den vigtigste rolle i Danmark, mens *Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter* er vigtigst i EU-27. Faldet i udledningerne følger stort set samme billede om end udledningerne er faldt lidt langsommere i Danmark end i EU-27 (Figur 5.2).



**Figur 5.1.** Kilderne til menneskeskabte udledninger af flygtige organiske forbindelser i Danmark (venstre) og EU-27 (højre) i 2022. Figurene viser de fem vigtigste kilder i Danmark, mens de resterende kilder er vist samlet under "Øvrige" (Nielsen et al., 2024, CEIP, 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne.

**Tabel 5.1.** Kilderne til de menneskabte udledninger af flygtige organiske forbindelser i Danmark i 2022 (Nielsen et al., 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne.

Sektor	GNFR-kode	Udledninger 2022	
		Tons	%
El- og fjernvarmeproduktion	A	970	1
Industri	B	2955	2
Små forbrændingsanlæg	C	7820	7
Flygtige emissioner fra brændsler	D	24288	21
Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter	E	26904	23
Vejtransport	F	4438	4
- Vejtransport, udstødning	F1-F5	3099	3
- Vejtransport, dæk-, bremse- og vejslid	F6-F7	0	0
Søfart	G	412	0
Luftfart (LTO)	H	65	0
Andre mobile kilder	I	3377	3
Affald	J	558	0
Landbrug	K+L	46666	39
<b>Samlet</b>	<b>A - L</b>	<b>118453</b>	<b>100</b>



**Figur 5.2.** Udviklingen i udledningerne af flygtige organiske forbindelser i Danmark (venstre) og EU-27 (højre) siden 1990 (Nielsen et al., 2024; CEIP, 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne. Denne ændring er ført tilbage til 1990. Det markante hop for Danmark (figuren til venstre) fra 2021 til 2022 i sektoren *Flygtige emissioner fra brændsler* (GNFR-kode D. Fugitive emissions) og dermed hoppet i den totale udledning, skyldes bidrag til de danske opgørelser fra lækagerne i Nord Stream-gasrørledningerne som følge af sprængningerne d. 26. september 2022. Den russiske gas har et indhold på omkring 3,1 % af andre kulbrinter end metan, hvilket er årsagen til hoppet i NMVOC for Danmark i 2022.

## 5.2 Status for luftkvalitet

Tabel 5.2 angiver status for årsmiddelværdierne af benzen, toluen, ethylbenzen og xylenerne i 2023. EU's luftkvalitetsdirektiv angiver kun en grænseværdi for benzen (EU, 2008). Der er ingen overskridelse af grænseværdien og selv de højeste årsmiddelværdier ved gademålestationerne er på omkring en tiendedel af grænseværdien.

**Tabel 5.2.** Årsmiddelværdier for benzen, toluen, ethylbenzen og xylenerne i 2023 samt grænseværdi for benzen (EU, 2008). EU kræver en dækningsgrad på mindst 85% af kalenderåret. På basis heraf vurderes datadækningen at være tilstrækkelig på alle målestationer bortset fra for Toluen målt på H.C. Ørsted Institutet. Da afvigelsen er mindre end 1 procentpoint (84,4%), vurderes betydningen for årsmiddelværdien at være neglignel.

	Dækningsgrad	Benzen	Toluen	Ethylbenzen	m/p-Xylen	o-Xylen
	%	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
Grænseværdi		5				
<i>Gade</i>						
København, H.C. Andersens Boulevard	100	0,55	0,86	0,25	0,74	0,27
København, Jagtvej	100	0,51	1,01	0,21	0,66	0,22
<i>Bybaggrund</i>						
København, H.C. Ørsted Institutet	87	0,40	0,64*	0,14	0,35	0,17

\*Toluen målt på H.C. Ørsted Institutet har en datadækning på 84,4% af året grundet tekniske problemer.

Benzen måles ikke direkte i Aarhus, Aalborg og Odense, men i stedet anvendes objektiv estimering til at vurdere årsmiddelkoncentrationerne på gadeniveau i de tre byer. Den objektive estimering er baseret på følgende korrelation mellem årsmiddelkoncentrationen af benzen og carbonmonoxid (Ellermann et al., 2011):

$$\text{Benzen} = 0,0044 \cdot \text{carbonmonoxid} - 0,37$$

hvor enheden for både benzen og carbonmonoxid er årsmiddelkoncentrationen i µg/m<sup>3</sup>.

Ved anvendelse af denne korrelation bliver årsmiddelkoncentrationerne dermed i 2023 estimeret til at ligge omkring 0,5-0,6 µg/m<sup>3</sup>. Disse objektive estimater er behæftet med stor usikkerhed.

Tabel 5.3 præsenterer årsmiddelkoncentrationerne for de udvalgte flygtige organiske forbindelser, som overvåges i forbindelse med måleprogrammet.

**Tabel 5.3.** Årsmiddelkoncentrationer for udvalgte flygtige organiske forbindelser i 2023 målt ved bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Institutet. Til sammenligning angives også årsmiddelkoncentrationerne for 2010 samt det procentvise fald i årsmiddelkoncentrationerne fra 2010 til 2023. Datadækningsgraden var på over 85% for alle koncentrationer i 2010. For 2023 er datadækningsgraden på 87% for alle koncentrationer med undtagelse af *2-Methylpentane*, *n-Hexane* og *Toluen*, der havde en dækningsgrad på hhv. 83%, 83% og 84% grundet tekniske problemer. Da afvigelse er mindre end 2 procentpoint, vurderes dette ikke at have nævneværdig betydning for datakvaliteten.

Kemisk forbindelse	Årsmiddelkoncentration, µg/m <sup>3</sup>		Ændring siden 2010
	2010	2023	%
1-Penten	0,04	0,04	-6
n-Pentan	0,53	0,38	-29
trans-2-Penten	0,02	0,02	-18
Isopren	0,03	0,05	48
2-Methylpentan	0,31	0,35	13
n-Hexan	0,19	0,18	-7
<b>Benzen</b>	0,75	0,40	-47
n-Heptan	0,28	0,05	-80
2,2,4-trimethylpentan/ isooktan	0,10	0,17	65
<b>Toluen</b>	1,36	0,64	-52
n-Oktan	0,08	0,04	-46
Ethylbenzen	0,28	0,14	-51
m- og p-Xylen	0,78	0,35	-55
o-Xylen	0,41	0,17	-59
1,3,5-trimethylbenzen	0,10	0,03	-74
1,2,4-trimethylbenzen	0,34	0,15	-56
1,2,3-trimethylbenzen	0,09	0,04	-59
<b>Samlet</b>	5,68	3,18	-44

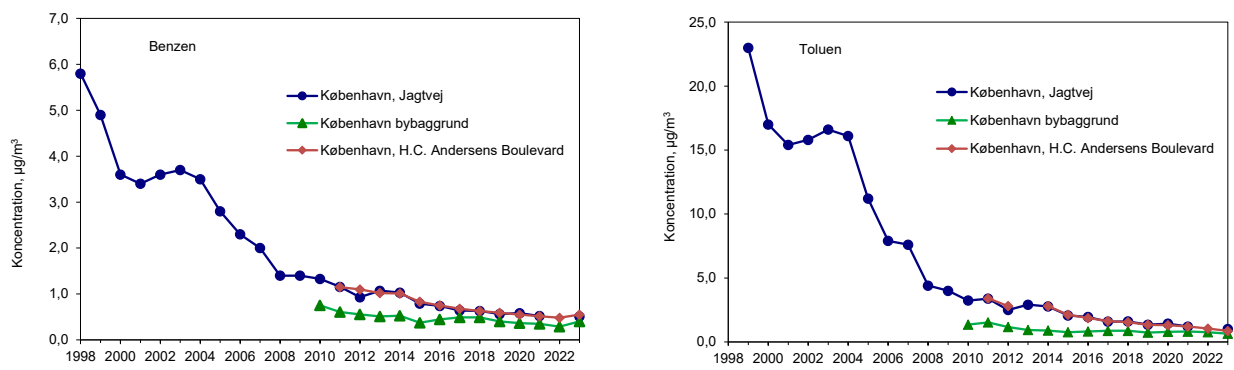
### 5.3 Udviklingstendens

Figur 5.3 viser udviklingstendensen for årsmiddelværdierne af benzen og toluen ved gademålestationerne på Jagtvej og bybaggrundsmålestationen i København. Toluene er medtaget her dels af historiske årsager, idet toluen indgår i BTX-komplekset af stoffer, og dels af den årsag at toluen er blandt de stoffer i gruppen, som måles i de højeste koncentrationer i luften. Figur 5.3 viser også udviklingstendensen målt siden 2011 på gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard. Både niveauer og udviklingstendens er meget ens på de to gademålestationer.

Det store fald ved gademålestationen Jagtvej i koncentrationer af benzen (omkring 90%) og toluen (omkring 95%) skyldes faldet i de danske udledninger, hvor der navnlig er sket et betydeligt fald i udledningerne fra vejtransport som følge af renere brændstoffer og anvendelse af katalysatorer i køretøjerne. Der ses også fald ved bybaggrundsmålestationen, om end dette fald ikke er helt så markant som ved gademålestationen.

Tabel 5.3 angiver også ændringerne for de øvrige flygtige organiske forbindelser siden opstarten af målingerne i 2010. For langt de fleste af forbindelserne ses markante fald i koncentrationerne, hvilket er i overensstemmelse med det generelle fald i udledningerne af de flygtige organiske forbindelser (Figur 5.2). For nogle få af de flygtige organiske forbindelser ses uændrede eller stigende koncentrationer. Dette gælder for eksempel for isopren, som er en forbindelse, der primært kommer fra vegetation og dermed ikke reduceres

i forbindelse med alle tiltagene til reduktion af de menneskeskabte udledninger af flygtige organiske forbindelser.



**Figur 5.3.** Udviklingstendens for benzen (venstre) og toluen (højre) ved gademålestationerne på Jagtvej og H.C. Andersens Boulevard samt bybaggrundsmålestationen i København (H.C. Ørsted Institutet).

## 6. Ozon, O<sub>3</sub>

Ozon er en giftig gas, som ved jordoverfladen giver anledning til betydelige negative helbredseffekter. Der sker ingen udledning af ozon fra menneskeskabte kilder, men til gengæld dannes ozon via kemiske reaktioner i den nedre del af atmosfæren. Ozondannelsen foregår ved en serie af kemiske reaktioner, som involverer kvælstofoxiderne (Kapitel 2) og de flygtige organiske forbindelser i atmosfæren (Kapitel 5). De kemiske reaktioner kræver sollys og høj lufttemperatur, for at der kan dannes betydelige mængder ozon. Dette forårsager høje ozonkoncentrationer i de sydlige dele af Europa og denne ozon transporteres med luftmasserne op til Danmark. I Danmark sker der kun en ubetydelig dannelse af ozon, da temperaturen er relativ lav set i forhold til det sydlige Europa.

Ozon er omfattet af EU's luftkvalitetsdirektiv (EU, 2008), hvor der er fastlagt en såkaldt målværdi (en slags grænseværdi) og en langsigtet målsætning til beskyttelse mod helbredseffekter fra korttids eksponering for ozon:

- Målværdien angiver, at den daglige maksimale 8-timersmiddelværdi ikke må overskride 120 µg/m<sup>3</sup> mere end 25 gange i kalenderåret set som gennemsnit over de seneste tre år.
- Den langsigtede målsætning angiver, at den maksimale 8-timersmiddelværdi ikke må overskride 120 µg/m<sup>3</sup> i løbet af kalenderåret.

Den langsigtede målsætning er imidlertid ikke trådt i kraft endnu, og der er ikke fastlagt et tidspunkt for ikrafttrædelse af målsætningen (EU, 2008).

EU's luftkvalitetsdirektiv angiver endvidere, at befolkningen skal informeres, når timemiddelkoncentrationen overskrider 180 µg/m<sup>3</sup>. Ved overskridelse skal befolkningen informeres om, at ozonniveauerne er høje, og at de høje koncentrationer vil kunne give anledning til mindre gener.

Den højeste eksponering for ozon ses i bybaggrund eller landbaggrund, mens koncentrationerne på gademålestationerne er langt mindre. Det skyldes, at udledninger af kvælstofoxider fra navnlig trafik nedbryder ozon lokalt i byområder. Måleprogrammet for 2023 for ozon har derfor hovedvægt på bybaggrundsmålestationerne (4 stk.) og landbaggrundsmålestationerne (3 stk.), mens der på gadeniveau kun måles på én station, H.C. Andersens Boulevard.

### 6.1 Status for luftkvalitet

Tabel 6.1 viser resultaterne for årsmiddelkoncentrationer, hvor koncentrationen ved gademålestationen ligger væsentligt lavere end i bybaggrund og landbaggrund, mens der kun er meget lille forskel mellem resultaterne fra baggrundsmålestationerne.

EU har fastlagt en målværdi for ozon for korttids eksponeringen af ozon. Målværdien angiver, at den daglige maksimale 8-timersmiddelværdi ikke må overskride 120 µg/m<sup>3</sup> mere end 25 gange i kalenderåret set som gennemsnit over de seneste tre år (EU, 2008). Som angivet i tabel 6.1, er det højeste antal dage med overskridelse af 120 µg/m<sup>3</sup> for en målestation på 8 gange eller derunder i 2023. I 2021 og 2022 lå antallet af dage med overskridelse ligeledes



under 25 (Ellermann et al., 2023, 2024), og der er derfor ingen overskridelse af målværdien for perioden fra 2021-2023.

EU har desuden fastlagt en langsigtet målsætning på 120 µg/m<sup>3</sup> som maksimum 8-timersmiddelværdi, men tidspunktet for ikrafttrædelse af denne målsætning er ikke fastlagt i det nugældende direktiv (EU, 2008). I 2023 blev den langsigtede målsætning overskredet på alle målestationer med undtagelse af gademålestationen i København på H.C. Andersens Boulevard og bybaggrundsmålestationen i Aarhus (tabel 6.1).

Endelig har EU også en informationstærskel for timemiddelværdien af ozon på 180 µg/m<sup>3</sup> (EU, 2008). Når denne informationstærskel overskrides, skal befolkningen informeres om, at ozonniveauerne er høje, og at de høje koncentrationer vil kunne give anledning til gener. Denne informationstærskel blev ikke overskredet i 2023.

**Tabel 6.1.** Årsmiddelværdier for ozon i 2023 og en række andre parametre til vurdering af overholdelse af de i EU fastlagte målsætninger for ozon (EU, 2008). For ozon er der en gældende målværdi (vurderes som gennemsnit af de seneste tre kalenderår), en langsigtet målsætning, som endnu ikke er trådt i kraft og en informationstærskel, som angiver grænsen for, hvornår befolkningen skal informeres om høje ozonniveauer. EU kræver en datadækningsgrad på mindst 85% af kalenderåret. På basis heraf vurderes datadækningen at være tilstrækkelig på alle målestationer.

	Datadækning	Årsmiddelværdi	Antal dage med maksimal 8-timersmiddelværdi over 120 µg/m <sup>3</sup>	Maksimum 8-timersmiddelværdi	Højeste time-middelværdi
	%	µg/m <sup>3</sup>	Antal dage	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
<i>Målværdi</i>			25*		
Langsigtet målsætning				120	
Informationstærskel					180
<i>Gade</i>					
København, H.C. Andersens Boulevard	91	52	0	113	124
<i>Bybaggrund</i>					
København	91	65	4	128	141
Odense	90	66	8	134	141
Aarhus	91	61	0	120	135
Aalborg	90	65	2	137	143
<i>Landbaggrund</i>					
Keldsnor	91	67	5	129	133
Risø	91	65	2	123	127
Ulborg	90	67	3	146	154

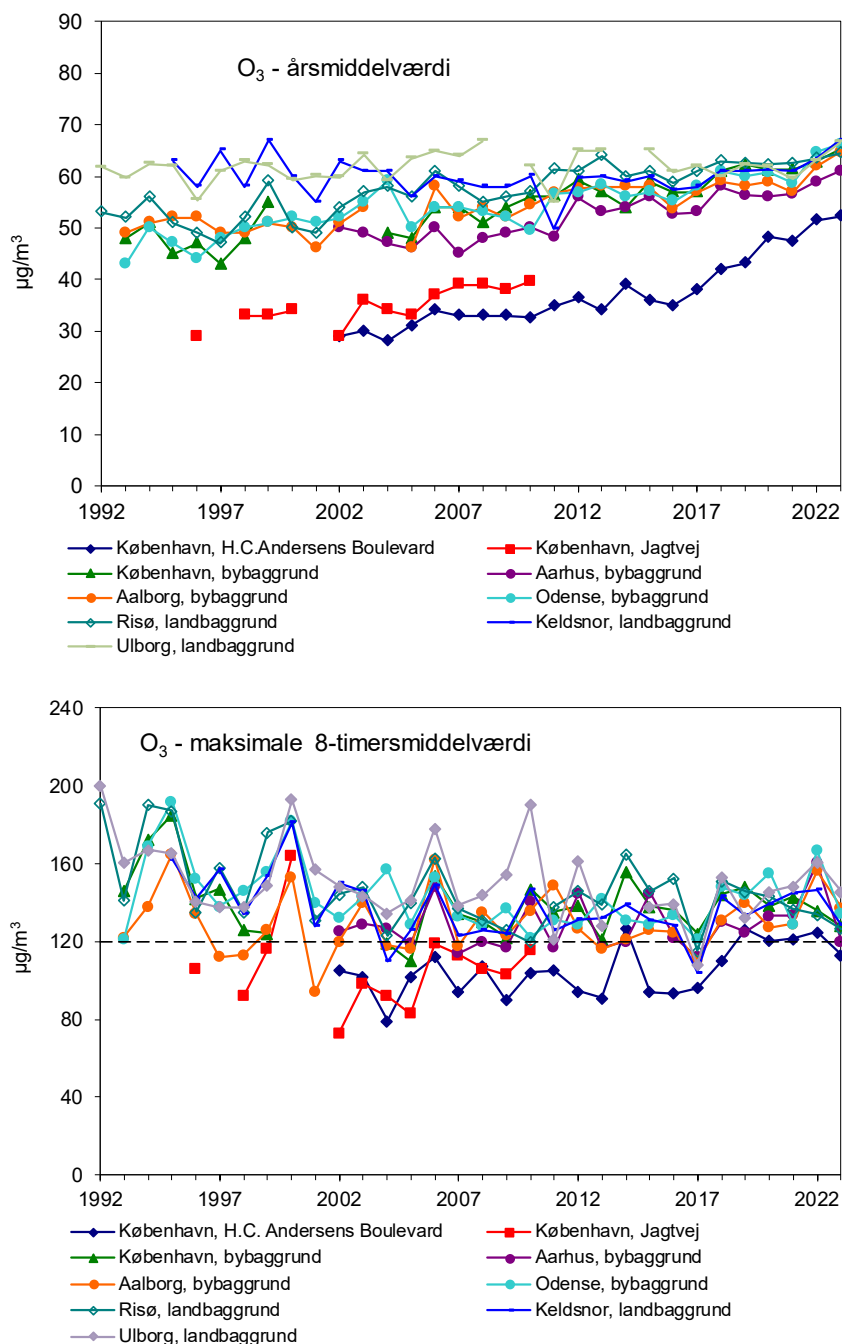
\* Målværdi gælder som gennemsnit for de seneste tre kalenderår

## 6.2 Udviklingstendens

Figur 6.1 viser udviklingstendens for årsmiddelværdien og den maksimale 8-timersmiddelværdi for ozon. For landbaggrundsmålestationerne ses uændrede årsmiddelværdier gennem hele måleperioden, omend der er en svag stigning ved Risø i den første halvdel af måleperioden. Til gengæld ses en svag stigning ved bybaggrundsmålestationerne og en tydelig stigning ved gademålestationerne. Dette billede afspejler, at der navnlig i byerne er sket et stort fald i udledningerne af kvælstofoxid. Det store fald i kvælstofoxid har reduceret nedbrydningen af ozon på lokalt niveau i byerne, hvilket resulterer

i en stigning i ozonkoncentrationerne. Denne stigning ses navnlig ved gade-målestationen på H.C. Andersens Boulevard, som er påvirket af udledningerne fra den stærkt trafikerede gade, og dermed ses indvirkningen af den faldene udledning af kvælstofoxid fra vejtrafikken mest tydeligt her.

For de maksimale 8-timersmiddelverdier er der et fald i 1990'erne og begyndelsen af 2000'erne ved baggrundmålestationerne. Siden midten af 2000'erne har værdierne ligget på omtrent samme niveau. Siden 1990'erne er der dermed sket et fald i udsættelsen for episoder med høje koncentrationsniveauer af ozon.



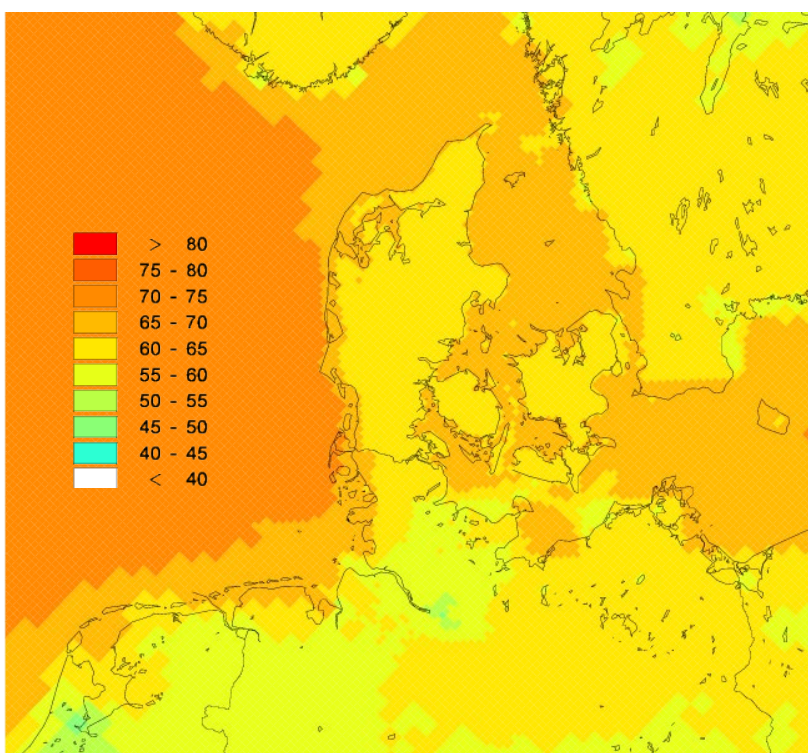
**Figur 6.1.** Årsmiddelværdier (øverst) og den maksimale 8-timersmiddelværdi (nederst) for ozon. Den stiplede linje i den nederste figur angiver EU's langsigtede målsætning, som endnu ikke er trådt i kraft (EU, 2008).

### 6.3 Modelberegninger

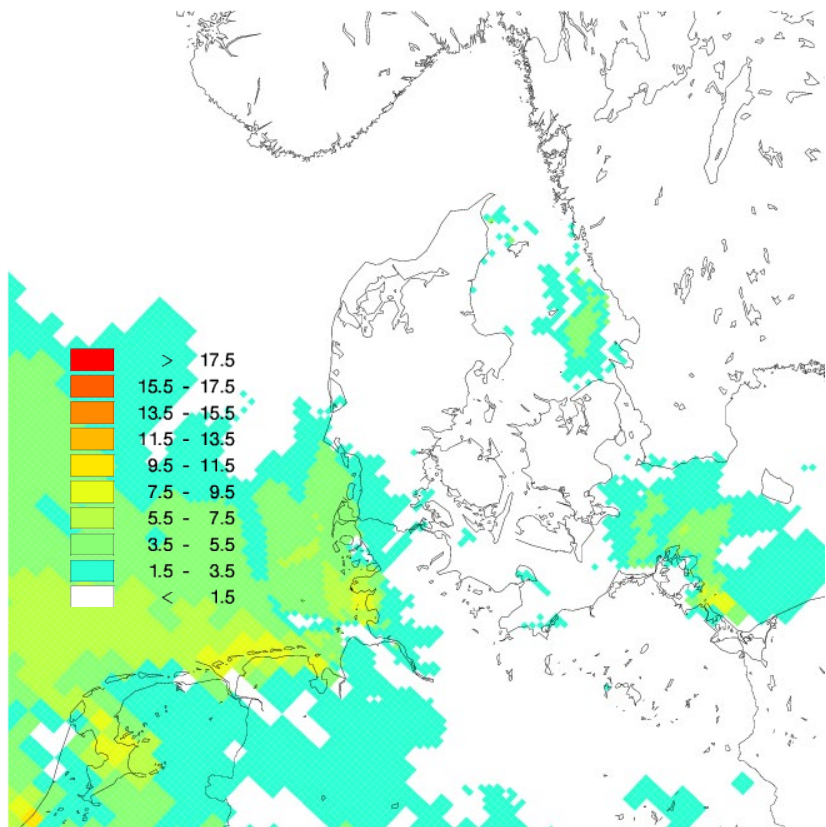
Modelberegninger med regionalskala-modellen DEHM viser, at den geografiske spredning af ozon er lille, og at årsmiddelværdien er på omkring 60-65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i langt hovedparten af landet (Figur 6.2). Dette er i overensstemmelse med resultaterne fra målingerne (Tabel 6.1). Årsmiddelkoncentrationen ligger en smule højere ved kysterne, hvilket skyldes, at afsætningen af ozon på vandoverflader er meget lille sammenlignet med afsætning til landoverflader. Når ozon transporteres til Danmark over vandområder, er der derfor en meget lille fjernelse af ozon fra luften. Herefter transporteres luften videre ind over danske landområder, hvor fjernelsen af ozon øges og koncentrationerne falder.

EU's målværdi for ozon angiver, at den daglige maksimale 8-timersmiddel-værdi ikke må overskride 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mere end 25 gange i kalenderåret set som gennemsnit over de seneste tre år. Figur 6.3 viser den modelberegnete geografiske variation i antallet af dage, hvor den maksimale 8-timersmiddel-værdi overskrider 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i 2023. Der er ingen områder, hvor EU's grænse på 25 dage er overskredet.

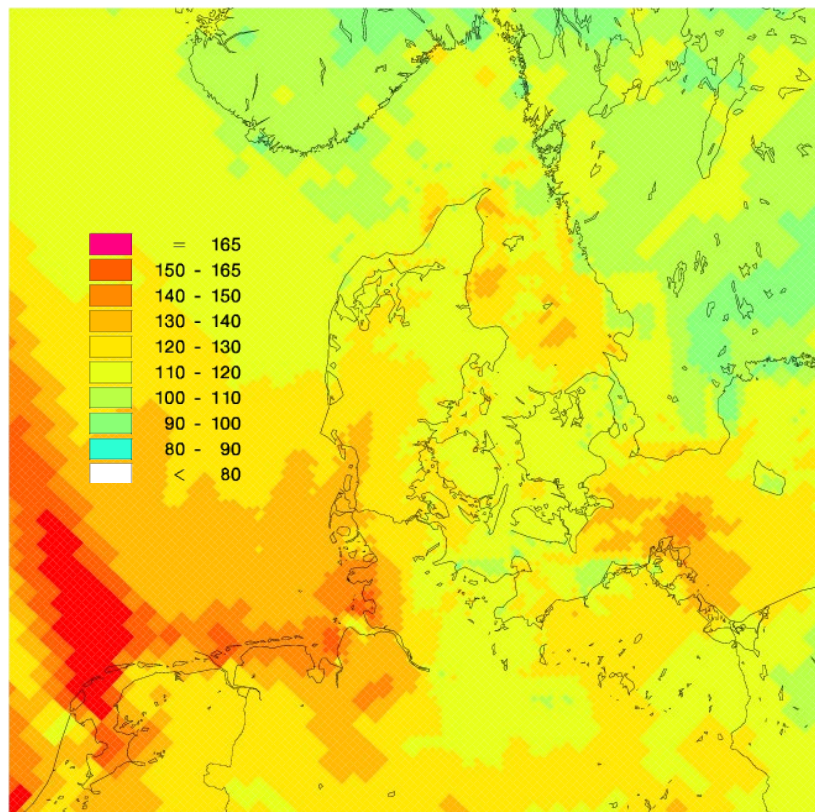
EU's langsigtede målsætning angiver, at den maksimale 8-timersmiddel-værdi ikke må overskride 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i løbet af kalenderåret (EU, 2008). Figur 6.4 viser den geografisk variation for den maksimale 8-timersmiddel-værdi. Modelberegningen viser overordnet set, at EU's langsigtede målsætning er overskredet i det centrale og vestlige Jylland, mens det nordlige og østlige Jylland, Fyn og Sjælland samt Bornholm ligger lige under 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Resultaterne fra modelberegningerne generelt set ligger under måleresultaterne (Tabel 6.1). Den langsigtede målsætning er endnu ikke trådt i kraft, og det vides ikke, hvornår det sker.



**Figur 6.2.** Årsmiddelkoncentrationer for ozon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) i 2023 beregnet med regionalskalamodellen DEHM. Figuren viser gennemsnitlige koncentrationer for gitterceller på 6 km x 6 km.



**Figur 6.3.** Antallet af dage, hvor 8-timersmiddelværdien overskrider  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i 2023 beregnet med regional-skalamodellen DEHM. Figuren viser gennemsnitlige værdier for gitterceller på  $6 \text{ km} \times 6 \text{ km}$ .



**Figur 6.4.** Den maksimale 8-timersmiddelværdi ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) i 2023 beregnet med regional-skalamodellen DEHM. Figuren viser gennemsnitlige værdier for gitterceller på  $6 \text{ km} \times 6 \text{ km}$ .

## 7. Luftbårne partikler

De luftbårne partikler anses for at være ansvarlige for langt hovedparten af de negative helbredseffekter fra luftforureningen. Partikelforureningen består af mange hundrede forskellige slags partikler med forskellige fysiske og kemiske egenskaber. Derfor er der også mange kilder til den luftbårne partikelforurening, som både udledes direkte fra menneskeskabte og naturlige kilder, og som også dannes i stort omfang via de kemiske reaktioner i luften. Typisk inddeles partikler i luften i to grupper, hvoraf den ene gruppe benævnes direkte udledte partikler eller primære partikler (PPM) og den anden gruppe betegnes sekundære partikler.

Dette kapitel omhandler resultaterne fra overvågning af selve massen og antallet af partikler i luften, mens de følgende kapitler præsenterer resultaterne fra overvågningen af forskellige kemiske komponenter (for eksempel tungmetaller og elementært kulstof) i den luftbårne partikelforurening.

Det danske overvågningsprogram er i dag baseret på overvågning af tre fraktioner af partikelforureningen:

- **Partikelantal:** Antal partikler per  $\text{cm}^3$  med diameter mellem 41 og 478/550 nm og mellem 11 og 478/550 nm (forklares yderligere i afsnit 7.2). Denne partikelfraktion bestemmes ved at tælle dem. På trods af det store antal partikler i denne fraktion, er størrelsen af den enkelte partikel så lille, at den samlede masse er ubetydelig. Partikelantal omtales ofte som mængden af ultrafine partikler, hvilket strengt taget ikke er helt korrekt, da de ultrafine partikler kun dækker partikler med diameter op til 100 nm. Partikelantallet i hele 11–550 nm-intervallet er dog skønsmæssigt kun omkring 15–25% højere end antallet af ultrafine partikler i det korrekte størrelsesinterval. Forskellen afhænger af lokalitet (landbaggrund, bybaggrund, gade).
- **PM<sub>2,5</sub>:** Massen af fine partikler med diameter mindre end 2,5  $\mu\text{m}$ . De ultrafine partikler er altså en delmængde af PM<sub>2,5</sub>, men massen af de ultrafine partikler er meget lille, så derfor udgør de ultrafine partikler en ubetydelig andel af PM<sub>2,5</sub>.
- **PM<sub>10</sub>:** Massen af partikler med diameter mindre end 10  $\mu\text{m}$ . PM<sub>2,5</sub> er en delmængde af PM<sub>10</sub>. PM<sub>10</sub> kan i visse sammenhænge med fordel opdeles i de fine partikler (PM<sub>2,5</sub>) og de grove partikler (PM<sub>10</sub> fratrukket PM<sub>2,5</sub>).

EU's luftkvalitetsdirektiv (EU, 2008) omfatter PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> og angiver tre grænseværdier for disse partikelfraktioner:

- For at begrænse langtidseksponeringen for PM<sub>2,5</sub> er der fastlagt en grænseværdi, som angiver, at årsmiddelværdien af PM<sub>2,5</sub> ikke må overstige 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- For at begrænse langtidseksponeringen for PM<sub>10</sub> er der fastlagt en grænseværdi, som angiver, at årsmiddelværdien af PM<sub>10</sub> ikke må overstige 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- For PM<sub>10</sub> er der endvidere også fastsat en korttidsgrænseværdi, som angiver, at døgnmiddelværdien for PM<sub>10</sub> ikke må overskride 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mere end 35 gange i et kalenderår.

EU's luftkvalitetsdirektiv har endvidere fastlagt et nationalt reduktionsmål for at begrænse de skadelige virkninger af luftforurening på menneskers sundhed (EU, 2008). Reduktionsmålet er fastlagt på basis af en "indikator for gennemsnitlig eksponering" (på engelsk Average Exposure Indicator, AEI), som beregnes ud fra den gennemsnitlige bybaggrundskoncentration i Danmark af  $PM_{2,5}$  taget som gennemsnit for en treårig periode. For Danmark betyder reduktionsmålet, at AEI skulle falde med 15% fra 2010 til 2020. Reduktionsmålet beskrives yderligere i afsnit 7.3.

Endeligt indeholder EU's luftkvalitetsdirektiv også en forpligtelse til, at eksponeringskoncentrationen (AEI) ikke må overskride  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for et kalenderår.

Overvågningsprogrammet omfatter en relativt omfattende overvågning af  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$ . I 2023 måles de to parametre samtidigt på fem målestationer (København gade - hhv. H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej, Aarhus gade, København bybaggrund og landbaggrund ved Risø), mens der måles  $PM_{2,5}$  på yderligere tre målestationer (Aarhus og Aalborg bybaggrund samt Hvidovre forstad), og  $PM_{10}$  på yderligere to målestationer (Keldsnor og Odense gade).

Målinger af partikelantal er ikke omfattet af EU's luftkvalitetsdirektiv, og der findes ingen miljømålsætninger for, hvor stort partikelantallet må være. Der er imidlertid et stort nationalt behov for viden om niveauer og udviklingstendens for partikelantallet. Derfor måles partikelantal på tre målestationer i hovedstadsområdet (H.C. Andersens Boulevard, København bybaggrund og Hvidovre forstad) og i landlig baggrund ved Risø.

## 7.1 Udledninger

I det følgende præsenteres resultaterne for opgørelse af de direkte udledninger af luftbårne partikler i Danmark. De direkte udledninger udgør kun en lille del af den målte partikelforurening i Danmark, da der også er naturlige kilder til partikelforureningen, og der dannes mange partikler via de kemiske reaktioner i luften. Derfor er der stor forskel på sammensætningen af kilderne til de direkte udledte partikler og kilderne til den samlede målte partikelforurening i luften.

Der er endvidere også stor forskel på kilderne til de forskellige størrelsesfraktioner af partikler. De fine partikler ( $PM_{2,5}$ ) udgør omkring 52% af de udledte partikler med diameter mindre end  $10 \mu\text{m}$  ( $PM_{10}$ ), mens de grovere partikler med diameter mellem 2,5 og  $10 \mu\text{m}$  ( $PM_{\text{Grove}}$ ) udgør omkring 48% (Tabel 7.1).  $PM_{\text{Grove}}$  er beregnet ud fra forskellen mellem  $PM_{10}$  og  $PM_{2,5}$ .

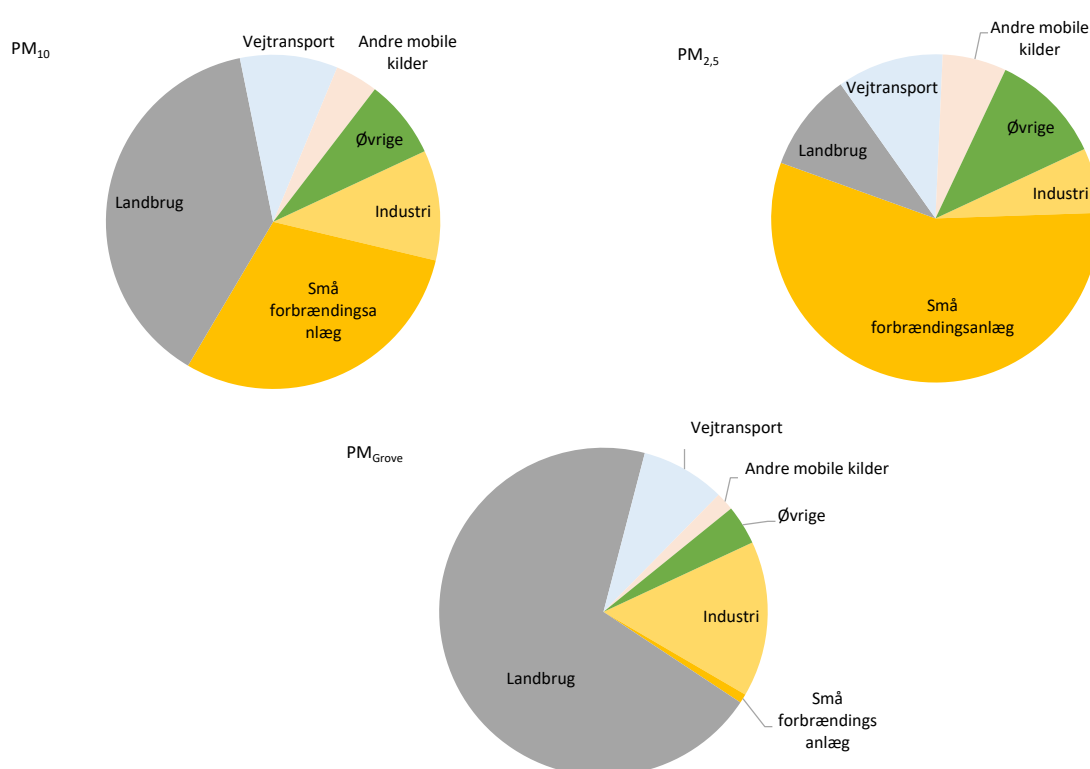
De fine partikler ( $PM_{2,5}$ ) udledes i langt overvejende grad fra ikke-industriell forbrænding (hovedsageligt fra anvendelse af brænde til boligopvarmning, Figur 7.1; Nielsen et al., 2024). I 2022 var omkring 56% af udledningerne fra *Små forbrændingsanlæg* (ikke-industriell forbrænding), og heraf kom alene 48% fra boligopvarmning. Herefter kommer udledningerne fra *Vejtransport* (10%) og *Andre mobile kilder* (6%).

For de grove partikler ( $PM_{\text{grove}}$ ) ses en meget anderledes kildesammensætning, hvor støv fra landbruget i 2022 stod for hovedparten (omkring 70%), mens *Industri* bidrog med omkring 15% og *Vejtransport* med omkring 8% (Tabel 7.1). Årsagen til det store bidrag fra industrielle processer er blandt andet,

at anlæggelse af veje hører under denne sektor ifølge de europæiske retningslinjer for emissionsopgørelser (EEA, 2023). Det skal endvidere bemærkes, at det er vanskeligt at opgøre udledningerne fra landbrug, så disse tal er behæftet med stor usikkerhed.

De direkte udledninger af PM<sub>10</sub> er faldet med omkring 39% siden 1990 (Figur 7.2). Dette fald er hovedsageligt opnået via et fald i udledningerne af de fine partikler (omkring 52%), mens udledningerne af de grove partikler er faldet væsentligt mindre (omkring 13%). Årsagen til den markante top for de grove partikler i 2008 er, at der i 2008 blev anlagt usædvanligt meget ny vej (baseret på informationer fra Danmarks Statistik), hvilket kategoriseres under *Industri*.

Der laves ikke opgørelser over udledningerne af antallet af ultrafine partikler.



**Figur 7.1.** Kilderne til de direkte udledninger af partikelforurening i Danmark i 2022 (Nielsen et al., 2024). Øverst til venstre er PM<sub>10</sub>, øverst til højre er PM<sub>2,5</sub> og nederst i midten er PM<sub>Grove</sub> (partikler med diameter mellem 2,5 og 10 µm). PM<sub>Grove</sub> er beregnet ud fra forskellen mellem PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>. Figurerne viser de fem vigtigste kilder i Danmark, mens de resterende kilder er vist samlet under "Øvrige". Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne.

Faldet i udledningerne af fine partikler (Figur 7.2) skyldes relativt store fald i udledningerne fra *Vejtransport* (omkring 74%) og *Andre mobile kilder* (omkring 78%), men der er også gennem de seneste år sket et betydeligt fald i udledningerne fra *Små forbrændingsanlæg* (ikke-industriel forbrænding) (omkring 41%). Emissionsreduktionerne for *Vejtransport* og *Andre mobile kilder* er især opnået ved indførelse af partikelfiltre. Udledningerne fra *Små forbrændingsanlæg* var på sit højeste i 2008, men siden da er der sket en markant reduktion i udledningerne fra denne sektor, hovedsageligt som følge af forbedret forbrænding i forbindelse med boligopvarmning og igennem de seneste tre år også som følge af fald i brændeforbrug (Nielsen et al., 2024).

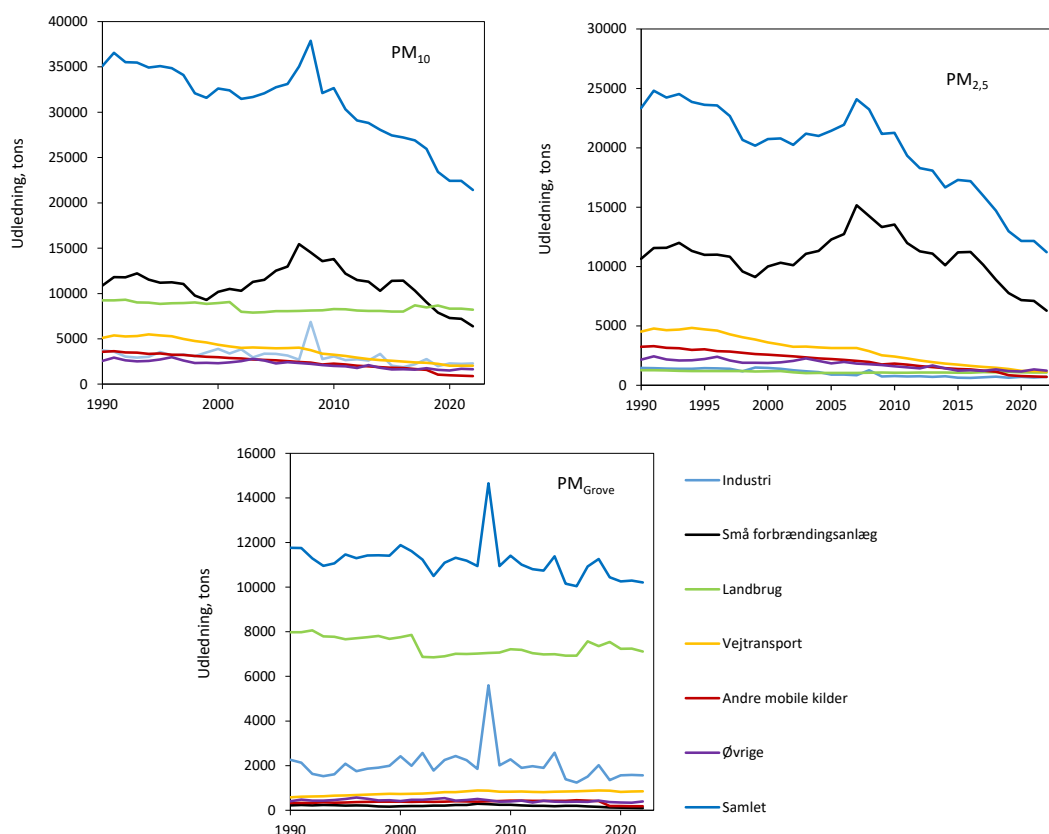
Det relativt mindre fald, som ses for udledningerne af de grove partikler (Figur 7.2), skyldes hovedsageligt et mindre fald i udledningerne fra *Landbrug*, men også fald i de øvrige kilder. Til gengæld er det værd at bemærke, at der ses en stigning i udledningerne fra *Vejtransport*. De grove partikler fra vejtransport kommer fra dæk-, bremse- og vejslid, som det er vanskeligt at reducere via tekniske tiltag. Den stigende vejtransport har derfor givet øgede udledninger.

For EU-27 ses i store træk et tilsvarende mønster i kildesammensætningen og udviklingstendensen (CEIP, 2024).

**Table 7.1.** Kilderne til de direkte udledninger af partikler i Danmark i 2022 (Nielsen et al., 2024). Partikeludledningen angives for PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> og PM<sub>Grove</sub> (partikler med diameter mellem 2,5 og 10 µm). PM<sub>Grove</sub> er beregnet ud fra forskellen mellem PM<sub>10</sub> og PM<sub>2.5</sub>. Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne.

Sektor	GNFR-kode	PM <sub>10</sub>		PM <sub>2.5</sub>		PM <sub>Grove</sub>	
		Tons	%	Tons	%	Tons	%
<b>El- og fjernvarmeproduktion</b>	<b>A</b>	<b>412</b>	<b>2</b>	<b>338</b>	<b>3</b>	<b>73</b>	<b>1</b>
<b>Industri</b>	<b>B</b>	<b>2285</b>	<b>11</b>	<b>718</b>	<b>6</b>	<b>1567</b>	<b>15</b>
<b>Små forbrændingsanlæg</b>	<b>C</b>	<b>6381</b>	<b>30</b>	<b>6289</b>	<b>56</b>	<b>92</b>	<b>1</b>
<b>Flygtige emissioner fra brændsler</b>	<b>D</b>	<b>26</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>18</b>	<b>0</b>
<b>Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter</b>	<b>E</b>	<b>599</b>	<b>3</b>	<b>301</b>	<b>3</b>	<b>298</b>	<b>3</b>
<b>Vejtransport</b>	<b>F</b>	<b>2025</b>	<b>9</b>	<b>1177</b>	<b>10</b>	<b>848</b>	<b>8</b>
- Vejtransport, udstødning	F1-F5	186	1	186	2	0	0
- Vejtransport, dæk-, bremse- og vejslid	F6-F7	1839	9	991	9	848	8
<b>Søfart</b>	<b>G</b>	<b>251</b>	<b>1</b>	<b>249</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Luffart (LTO)</b>	<b>H</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Andre mobile kilder</b>	<b>I</b>	<b>891</b>	<b>4</b>	<b>707</b>	<b>6</b>	<b>184</b>	<b>2</b>
<b>Affald</b>	<b>J</b>	<b>341</b>	<b>2</b>	<b>334</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>0</b>
<b>Landbrug</b>	<b>K+L</b>	<b>8208</b>	<b>38</b>	<b>1089</b>	<b>10</b>	<b>7119</b>	<b>70</b>
<b>Samlet</b>	<b>A - L</b>	<b>21428</b>	<b>100</b>	<b>11221</b>	<b>100</b>	<b>10207</b>	<b>100</b>





**Figur 7.2.** Udviklingen i de direkte udledninger af partikelforurening i Danmark til og med 2022 (Nielsen et al., 2024). Øverst til venstre er  $PM_{10}$ , øverst til højre er  $PM_{2,5}$  og nederst i midten er  $PM_{Grove}$  (partikler med diameter mellem 2,5 og 10  $\mu m$ ).  $PM_{Grove}$  er beregnet ud fra forskellen mellem  $PM_{10}$  og  $PM_{2,5}$ . Emissionssektorerne er fra og med 2022-øpgørelserne i forhold til de foregående år blevet ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne. Denne ændring er ført tilbage til 1990.

## 7.2 Status for luftkvalitet

DCE måler  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$  ved opsamling af luftens partikler på partikelfiltre med Low Volume Samplers (LVS) efterfulgt af gravimetrisk bestemmelse af den opsamlede partikelmængde, hvilket følger EU's referencemetode. I 2023 blev målingerne præget af, at der i slutningen af 2022 opstod problemer med kvaliteten af de anvendte partikelfiltre. Problemerne skyldtes ibrugtagning af en ny batch af den sædvanlige filtertype, som har været anvendt med tilfredsstillende resultaterne igennem mere end 10 år. Problemerne knytter sig til filtre af typen Whatman Grade QM-A Quartz Filter. DCE har erfaret, at der har været tilsvarende problemer i 2023 ved adskillige andre europæiske referencelaboratorier for luftkvalitet, som anvender filtre af samme type og fabrikat. Problemerne påvirker resultaterne for både  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$  (samt målingerne af organisk kulstof i  $PM_{2,5}$  – se kapitel 8) ved alle målestationerne i perioden fra 1. januar til sidst i april, hvor en ny type partikelfiltre fra anden fabrikant blev taget i brug. Ved Risø lykkedes det dog at samle tilstrækkeligt med data for hele året for  $PM_{2,5}$ . Problemerne med partikelfiltrene er detaljeret beskrevet i Ellermann et al. (2024).

Problemerne med partikelfiltrene har resulteret i, at det har været nødvendigt at kassere resultaterne for perioden 1. januar til slut-april. Dette er en årstid, hvor der er en større sandsynlighed for, at der kan optræde relativt høje  $PM$ -koncentrationer, og kassering af data for denne periode vil samlet set kunne forårsage en underestimering af  $PM$ -koncentrationerne. Der er derfor blevet lavet et mere realistisk estimat af årsmiddelværdierne for 2023 ved at anvende

værdier med forhøjet usikkerhed og objektiv estimering af manglende data. For en nærmere beskrivelse af hvordan disse estimater for årsmiddelværdierne for PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> er foretaget, henvises til Ellermann et al. (2024). Overordnet set er der udført følgende:

For PM<sub>2,5</sub> er perioden 1. januar til slut-april blevet kasseret ved kvalitetskontrol ved alle målestationer bortset fra Risø, hvor der var tilstrækkeligt med måleresultater med tilfredsstillende kvalitet, hvilket for en stor del skyldes, at der blev udført en lang række ekstra testmålinger med de originale partikelfiltre. Den gennemsnitlige koncentration af PM<sub>2,5</sub> for perioden med kasserede måleresultater er herefter fastlagt ved objektiv estimering, som for hver station er beregnet på basis af en skalering i forhold til PM<sub>2,5</sub> målt ved Risø. Dette estimat er sammen med de fuldt gyldige målinger for resten af året blevet anvendt til at give et bedste estimat for årsmiddelværdierne for PM<sub>2,5</sub>.

For PM<sub>10</sub> blev det vurderet, at de målte koncentrationer i perioden 1. januar til slut-april var tilstrækkeligt gode til, at de kunne anvendes med forhøjet usikkerhed, svarende til indikative målinger i EU's luftkvalitetsdirektiv (EU, 2008). Denne vurdering er blandt andet baseret på sammenligning af resultaterne for PM<sub>10</sub> med LVS-metoden med resultaterne fra måling af PM<sub>10</sub> med høj tidsopløsning med TEOM-metoden (Tapered Element Oscillating Micro balance). Årsmiddelværdierne for PM<sub>10</sub> er derfor beregnet på basis af LVS-data med forhøjet usikkerhed i perioden fra 1. januar til slut-april kombineret med fuldt gyldige LVS-data fra perioden ca. 1. maj til 31. december.

Alle årsmiddelværdier for PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> for 2023 med undtagelse af PM<sub>2,5</sub> på Risø vil som følge af nævnte filterproblemer derfor være behæftet med større usikkerhed end under normale omstændigheder. På trods af den forhøjede usikkerhed opfylder resultaterne fortsat kravene i EU's luftkvalitetsdirektiv (EU, 2008), hvilket hænger sammen med, at det for Danmark er muligt at basere målingerne på objektive estimater og indikative målinger for henholdsvis PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>. For en nærmere udredning af ovennævnte problemer henvises til Ellermann et al. (2024), men se også bemærkningerne til tabel 7.2. og figur 7.5.

Af tabel 7.2 fremgår det, at niveauerne for årsmiddelværdierne i forhold til grænseværdierne ved gademålestationerne for PM<sub>2,5</sub> er på 30-35% og for PM<sub>10</sub> på 35-50%. Antallet af dage, hvor døgnmiddelværdien overskrider 50 µg/m<sup>3</sup>, ligger også betydeligt under grænseværdien. Der var derfor ingen overskridelse af grænseværdierne for partikelforureningen i 2023 ved nogen af målestationerne.

Måleprogrammet omfatter endvidere målinger af partikelantal, som er en parameter, der angiver den luftbårne forureningen med partikler i nanostørrelse. Som allerede beskrevet er disse partikler så små, at deres masse er meget lille, og derfor måles de ved tælling. Måleresultaterne, der præsenteres i denne rapport, dækker partikler i størrelsen fra 41 til 478/550 nm og i hele området fra 11 til 478/550 nm. I årsrapporterne for 2017 til 2019 indgik ikke partikler med diameter mindre end 41 nm grundet tekniske problemer på de nyligt erhvervede instrumenter. Denne fejl blev rettet i begyndelsen af februar 2020, og det har derfor igen været muligt at inkludere partiklerne under 41 nm. Årsagen til angivelsen af to øvre grænser er, at de gamle og nyere erhvervede instrumenter har lidt forskelligt måleområde. I praksis giver det dog kun anledning til en undseelig forskel, da antallet af partikler mellem 478 og 550 nm er ubetydelig i denne sammenhæng. Yderligere detaljer kan findes i Ellermann et al. (2020).

For partikler i området fra 11 til 478/550 nm varierer partikelantallet fra omkring 9.000 partikler per cm<sup>3</sup> på gademålestationen og ned til omkring 2.800 partikler per cm<sup>3</sup> på landbaggrundmålestationen (tabel 7.3). For partikler i området fra 41 til 478/550 nm varierer partikelantal fra 1.300 til 2.500 partikler per cm<sup>3</sup>. De helt små partikler mellem 10 og 41 nm udgør dermed antalsmæssigt størstedelen af partiklerne og ved gademålestationen udgør disse omkring 70% af partiklerne, hvilket skyldes partikeludledningerne fra vejtrafikken. Der er ingen grænseværdier at sammenligne disse værdier med.

**Tabel 7.2.** Måleresultater for 2023 og grænseværdier for PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>, hvor der angives årsmiddelværdier og de tilhørende grænseværdier fra EU's luftkvalitetsdirektiv (EU, 2008). For PM<sub>10</sub> er der endvidere en grænseværdi for korttidskspnering for PM<sub>10</sub>, som angiver, at døgnmiddelværdien for PM<sub>10</sub> ikke må overskride 50 µg/m<sup>3</sup> mere end 35 gange i et kalenderår (EU, 2008). Til sammenligning med korttidsgrænseværdien angives antallet af dage med overskridelse af 50 µg/m<sup>3</sup>. Grænseværdier og måleresultater er angivet ved ambient tryk og temperatur. EU kræver en dækningsgrad på mindst 85% af kalenderåret, men på grund af filterproblemer er det kun for Risø, at datadækningen opfylder dette krav for PM<sub>2,5</sub> (se noter til tabellen og Ellermann et al. (2024)).

	PM <sub>2,5</sub> Datadækning	PM <sub>2,5</sub> Årsmiddel- værdi	PM <sub>10</sub> Datadækning	PM <sub>10</sub> Årsmiddel- værdi	PM <sub>10</sub> Antal dage med døgnmiddelværdi over 50 µg/m <sup>3</sup>
	%	µg/m <sup>3</sup>	%	µg/m <sup>3</sup>	Antal dage
<b>Grænseværdi</b>		<b>25</b>		<b>40</b>	<b>35</b>
<i>Gade</i>					
København, H.C. Andersens Boulevard	69 <sup>a</sup>	8,7 <sup>b</sup>	69 <sup>a</sup> / 98 <sup>c</sup>	20 <sup>d</sup>	3 <sup>e</sup>
København, Jagtvej	66 <sup>a</sup>	7,5 <sup>b</sup>	69 <sup>a</sup> / 98 <sup>c</sup>	14 <sup>d</sup>	1 <sup>e</sup>
Odense, Grønløkkevej			71 <sup>a</sup> / 99 <sup>c</sup>	14 <sup>d</sup>	0 <sup>e</sup>
Aarhus, Banegaardsgade	67 <sup>a</sup>	7,5 <sup>b</sup>	67 <sup>a</sup> / 99 <sup>c</sup>	14 <sup>d</sup>	0 <sup>e</sup>
Aalborg, Vesterbro	67 <sup>a</sup>	6,9 <sup>b</sup>			
<i>Bybaggrund</i>					
København	69 <sup>a</sup>	6,8 <sup>b</sup>	69 <sup>a</sup> / 94 <sup>c</sup>	12 <sup>d</sup>	0 <sup>e</sup>
Aarhus	68 <sup>a</sup>	6,2 <sup>b</sup>			
Aalborg	68 <sup>a</sup>	6,3 <sup>b</sup>			
<i>Forstad</i>					
Hvidovre	68 <sup>a</sup>	6,7 <sup>b</sup>			
<i>Landbaggrund</i>					
Keldsnor			71 <sup>a</sup> / 98 <sup>c</sup>	13 <sup>d</sup>	2 <sup>e</sup>
Risø	93	6,4	75 <sup>a</sup> / 98 <sup>c</sup>	11 <sup>d</sup>	0 <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Årsagen til at datadækningen med fuldt gyldige værdier for PM<sub>2,5</sub> eller PM<sub>10</sub> kun ligger på omkring 66-69% skyldes filterproblemer i perioden januar til slut-april. Ellermann et al. (2024).

<sup>b</sup> Årsmiddelværdien for PM<sub>2,5</sub> er beregnet ud fra et estimat for perioden januar til slut-april (pga. filterproblemer) i kombination med fuldt gyldige data fra den efterfølgende periode (ca. maj – december), hvor disse problemer er løst med ny filtertype. Estimatet er foretaget på basis af en skalering i forhold til PM<sub>2,5</sub> målt ved Risø, hvor der i 2023 er fuld datadækning. Se Ellermann et al. (2024) for en nærmere beskrivelse af hvordan estimatet er fremkommet for den problematiske periode.

<sup>c</sup> Datadækning for årsmiddelværdien af PM<sub>10</sub>, hvor der indgår både målinger med højeste datakvalitet (ca. maj – december) og målinger med forhøjet usikkerhed (data som ikke har højeste kvalitetsniveau dvs. perioderne januar til april pga. filterproblemer). Se Ellermann et al. (2024).

<sup>d</sup> Årsmiddelværdien for PM<sub>10</sub> er beregnet ud fra data, hvor der indgår både værdier med forhøjede usikkerhed (data som ikke har højeste kvalitetsniveau dvs. perioden januar til slut-april pga. filterproblemer) og data med højeste kvalitetsniveau (perioden ca. maj – december), hvor filterproblemerne er løst med ny filtertype. Se Ellermann et al. (2024).

<sup>e</sup> Antal dage med døgnmiddelværdi for PM<sub>10</sub> over 50 µg/m<sup>3</sup> har i de seneste mange år for alle stationerne ligget langt under grænseværdien på de 35 dage. Eventuelle effekter pga. filterproblemer i perioden januar til slut-april, vil være ubetydelige.

**Tabel 7.3.** Måleresultater for 2023 for årsmiddelværdien for antallet af partikler med diameter i intervallerne 11 - 478/550 nm og 41 - 478/550 nm. Der er ingen grænseværdi for partikelantal. EU kræver en dækningsgrad på mindst 85% af kalenderåret. På basis heraf vurderes datadækningen at være tilstrækkelig på alle målestationer, bortset fra Risø, hvor det er lidt forhøjet usikkerhed som følge af den lidt for lave dækningsgrad grundet tekniske fejl på instrumentet i dele af 2023.

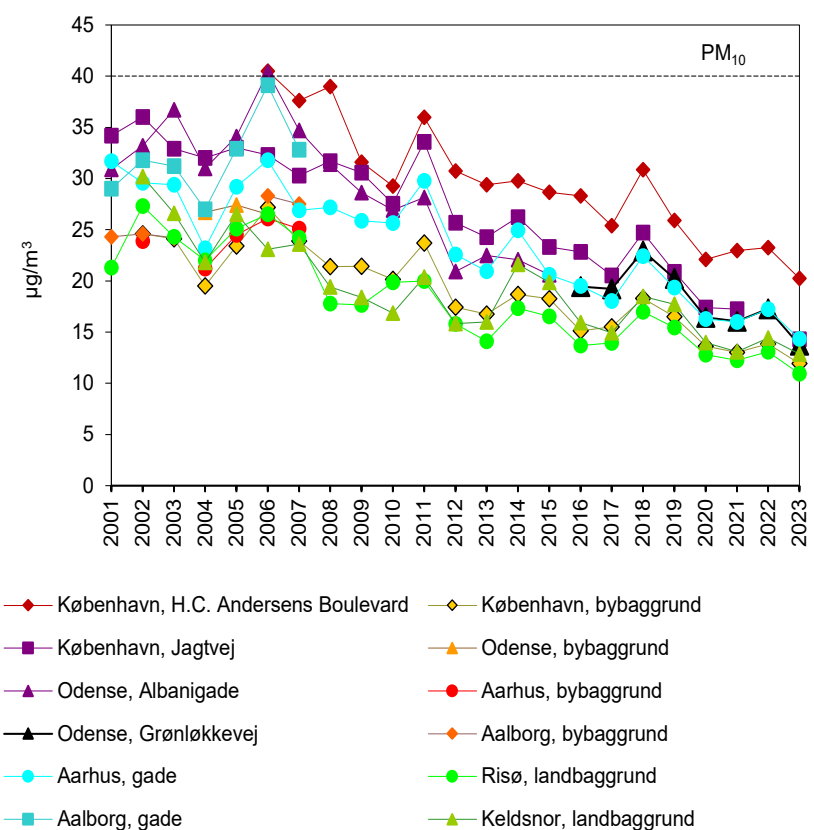
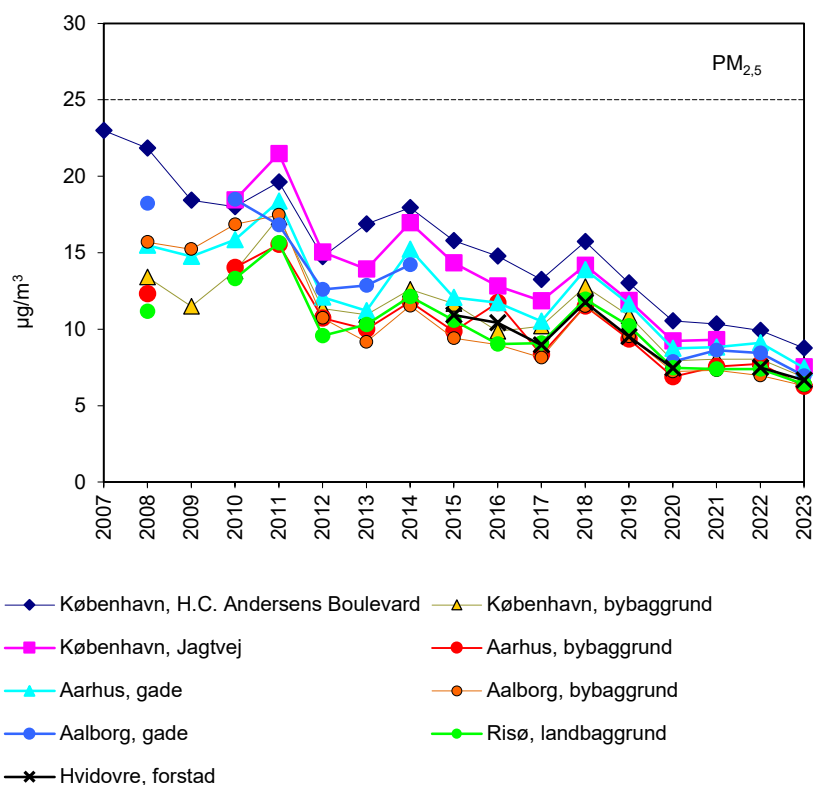
	Partikelantal		
	Datadækning %	11 - 478/550 nm Antal/cm <sup>3</sup>	41 - 478/550 nm Antal/cm <sup>3</sup>
<i>Gade</i> København, H.C. Andersens Boulevard	95	9000	2500
<i>Bybaggrund</i> København	96	3600	1700
<i>Forstad</i> Hvidovre	91	4800	1900
<i>Landbaggrund</i> Risø	69*	2800	1300

\* *Datadækningen ved målestationen på Risø er på 69%. Den reducerede datadækning skyldes tekniske problemer med måleudstyret og medfører en lidt højere usikkerhed på årsmiddelværdien.*

Forholdet PM<sub>10</sub>/PM<sub>2,5</sub> er på gademålestationerne omkring 2,1, mens det på by- og landbaggrundsmålestationerne, ligger på omkring 1,7. Dette hænger sammen med, at PM<sub>10</sub> omfatter en større del af de luftbårne partikler end PM<sub>2,5</sub>. Når man kigger på den samme partikelfraktion (respektiv PM<sub>2,5</sub> eller PM<sub>10</sub>), så ses der en relativt lille forskel mellem niveauerne på de forskellige typer målestationer, og også indenfor de samme typer af målestationer (Tabel 7.2). Til eksempel er der i Københavnsområdet kun ca. 6% og 36% højere værdier for PM<sub>2,5</sub> i henholdsvis bybaggrunden og på gademålestationerne end målt ved landbaggrundsmålestationen ved Risø. Endvidere er PM<sub>2,5</sub> på de fire gademålestationer indenfor ±14% af middelværdien. Årsagen til dette er, at langt hovedparten af PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> er fra luftbåren langtransport, og at der i forbindelse med langtransporten sker en udjævning af de geografiske forskelle. Det skal bemærkes, at ovennævnte procent- og forholdstal er påvirket af omtalte filterproblemer i 2023 og derfor også skal betragtes med forhøjet usikkerhed, men de viser omtrent det samme billede som det foregående år.

### 7.3 Udviklingstendens

Målingerne af PM<sub>10</sub> begyndte i 2001, mens målinger af PM<sub>2,5</sub> først blev påbegyndt i 2007/2008 i forbindelse med revision af EU's luftkvalitetsdirektiv (EU, 2008). Figur 7.3 viser udviklingstendensen for årsmiddelværdien af PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>. Der ses et ensartet forløb ved alle målestationerne. PM<sub>2,5</sub> er faldet med 40-60% og PM<sub>10</sub> med 50-60% siden opstart af målingerne i henholdsvis 2007/2008 og 2001.

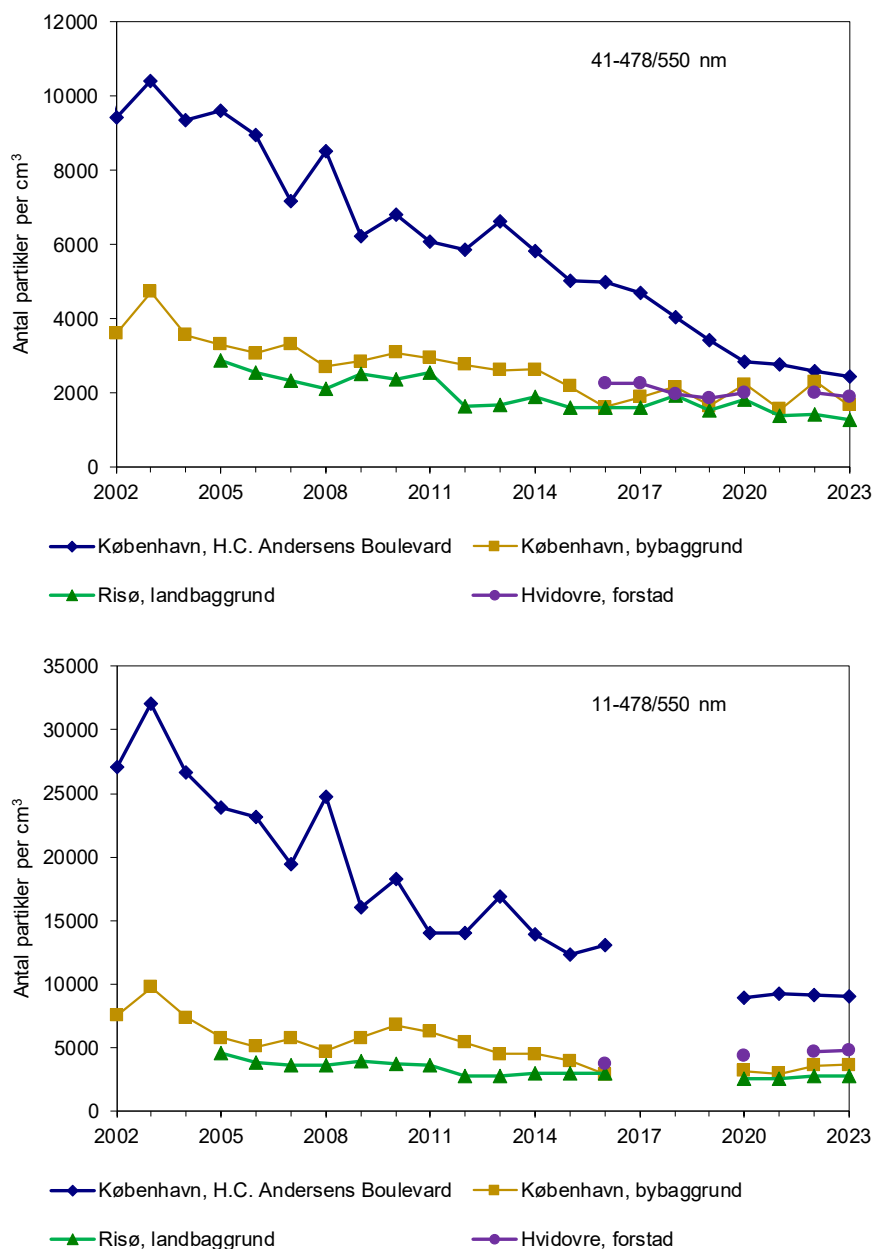


**Figur 7.3.** Udviklingstendens for årsmiddelværdi af PM<sub>2,5</sub> (øverst) og PM<sub>10</sub> (nederst). De stiplede linjer angiver grænseværdierne for årsmiddelværdien af PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> (EU, 2008). Fra og med 2012 er PM-værdierne vist ved ambient temperatur og tryk. Til og med 2011 er PM-værdierne vist ved standard betingelser. Ændringen er ca. 2-4% og er ubetydelig i den grafiske præsentation. PM-værdierne i 2023 med undtagelse af PM<sub>2,5</sub> for Risø er påvirket af filterproblemer, hvilket betyder, at årsmiddelværdierne for 2023 skal betragtes med højere usikkerhed end normalt (se bemærkningerne til tabel 7.2 og Ellermann et al. (2024)).

Figur 7.4 viser udviklingstendensen for partikelantallet for partikler med diameter på 41-478/550 nm (øverst) og udviklingstendensen for partikelantallet for partikler med diameter på 11-478/550 nm (nederst), hvor der mangler data for 2017 til 2019 grundet ovenfor omtalte problemer med målingerne af partikler med diameter under 41 nm.

Der ses i store træk et parallelt fald i partikelantallet for de to fraktioner. Siden 2002 er partikelantallet for den samlede partikelfraktion (11-478/550 nm) faldet med omkring 70% ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard og 60% ved bybaggrundsmålestationen i København. Målinger i landbaggrund ved Risø er først begyndt i 2005, men siden da er partikelantallet faldet med omkring 35% for den samlede partikelfraktion (11-478/550 nm).

Tidsserien for målingerne i forstad (Hvidovre) er relativt kort (begyndt 2015), men siden opstart er partikelantallet faldet med omkring 10% for partikelfractionen fra 41 til 478/550 nm. Tidsserien er relativt kort og derfor er udviklingstendensen forbundet med stor usikkerhed. For partikelfractionen 11-478/550 nm er der med kun tre årsmiddelværdier for få data til, at en beregnet procentvis udviklingstendens giver mening.

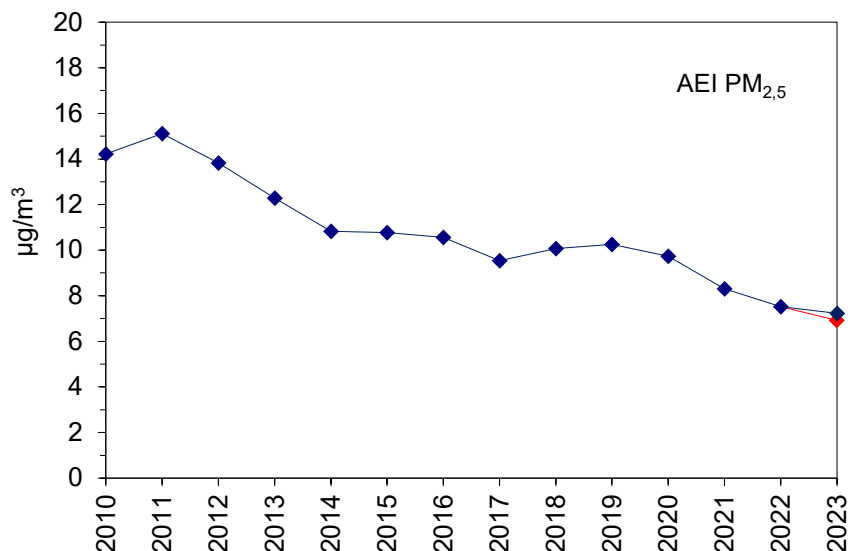


**Figur 7.4.** Antallet af partikler med diameter mellem 41 nm og 478/550 nm (øverst) og antallet af partikler med diameter mellem 11 nm og 478/550 nm (nederst). Manglende data i perioden fra 2017-2019 skyldes instrumenttekniske problemer med at måle partikelantal i området 11-41 nm i disse år. For Hvidovre er 2021-værdien ikke vist pga. lav datadækning forårsaget af stationsflytning.

Det nationale reduktionsmål for  $PM_{2.5}$  afhænger af eksponeringskoncentrationen, Average Exposure Index (AEI) i 2010, som i Danmark lå på  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figur 7.5). AEI for 2010 er beregnet på basis af årgennemsnit for 2008-2010. I henhold til EU's luftkvalitetsdirektiv er det nationale reduktionsmål for Danmark en reduktion i AEI på 15% i 2020 i forhold til 2010 (EU, 2008). For 2020 (gennemsnit for 2018-2020) lå AEI på  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , hvilket er på niveau med de nærmeste år op til 2020. Siden 2010 er der i forhold til 2020 sket et fald i AEI på omkring 30% (Figur 7.5), og Danmark opfyldte dermed EU's nationale reduktionsmål. For 2023 (gennemsnit for 2021-2023) er AEI på  $6,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (uden brug af objektive estimater for perioden januar til april 2023) eller på  $7,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (med brug af objektive estimater for perioden januar til april 2023).

- se figur 7.5), hvilket er et relativt moderat fald i forhold til de seneste år. Siden 2010 i forhold til 2023 er der sket et fald i AEI på omkring 50%.

EU's luftkvalitetsdirektiv indeholder også et krav om, at eksponeringskoncentrationen (AEI) ikke må overskride  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  fra 2015. Denne forpligtelse har været overholdt lige siden den trådte i kraft.



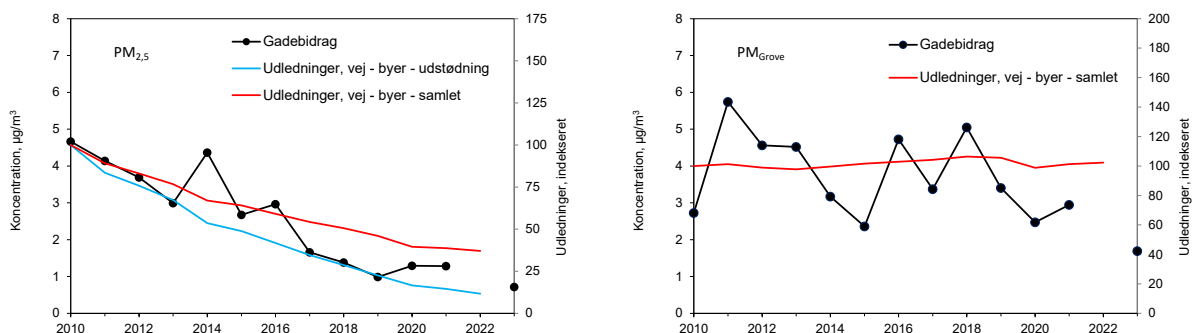
**Figur 7.5.** Udviklingstendens for Average Exposure Index (AEI) for Danmark siden 2010. AEI beregnes som middel af tre år, så indeks for 2010 er gennemsnit fra 2008-2010 og så fremdeles. Den røde del af grafen viser AEI-værdien for 2023 ( $6,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), når beregningen udelukkende er foretaget ud fra data med højeste kvalitetsniveau dvs. data fra perioden ca. 1. maj til 31. december 2023 (datadækning på ca. 70%). Det blå punkt på grafen for 2023 viser AEI-værdien ( $7,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), når rekonstruerede PM<sub>2,5</sub>-data for perioden 1. januar til ca. 30. april 2023 også er inkluderet i beregningen, hvilket antages at give en mere realistisk AEI-værdi. Se starten af dette afsnit og bemærkningerne angående filterproblemerne til tabel 7.2 og Ellermann et al. (2024).

Det giver ikke mening at sammenligne udviklingen i målte luftkoncentrationer for partikelforurening med udviklingstendensen for de direkte udledte partikler, da de direkte udledte partikler kun udgør en lille andel af den samlede partikelforurening i luften. Langt hovedparten af gadebidraget til partikelforurening kommer imidlertid fra de direkte udledte partikler fra trafikken i gaden. Derfor giver det mening at sammenligne udviklingen for det observerede gadebidrag med udviklingen i de direkte udledte partikler fra vejtransport.

Figur 7.6 viser en sådan sammenligning mellem gadebidraget til fine og grove partikler beregnet for målestationen på Jagtvej. For de fine partikler ses et fald på omkring 85% i gadebidraget siden 2010. Udledningerne fra vejtransport, som består af fine partikler fra udstødning samt slid på dæk, bremses og vej, er i store træk faldet i samme takt som faldet i gadebidraget. Faldet i udledningerne skyldes alene fald i udledning af partikler fra udstødningen som følge af forbedringer af køretøjerne, hvor navnlig partikelfiltre spiller en stor rolle. Det er ligeledes faldet i de direkte udledninger af fine partikler, som er den væsentligste årsag til faldet i partikelantallet. Ved gademålestationen er det navnlig den øgede anvendelse af partikelfiltre, som giver anledning til reduktionerne.



For de grove partikler ses stor fluktuation mellem årene, hvilket formentligt skyldes de relativt store usikkerheder, der er forbundet med beregning af gadebidraget for de grove partikler (det beregnes ud fra resultaterne fra fire sæt målinger på to forskellige målestationer, hvilket samlet set giver en større usikkerhed). Den generelle tendens er, at niveauet har været konstant siden 2010. Dette er i overensstemmelse med forventningerne baseret på udviklingen i udledningerne af grove partikler fra vejtransport i byerne. De grove partikler fra vejtrafik kommer udelukkende fra slid på dæk, bremses og vej, og disse udledninger har været på et konstant niveau siden 2010, mens der tidligere har været en stigning på omkring 30% fra 1990 til 2010 (Figur 7.6, Nielsen et al., 2024).



**Figur 7.6.** Udviklingen i gadebidraget til fine ( $PM_{2,5}$ ) og grove partikler ( $PM_{Grove}$ ) ved Jagtvej sammenholdt med den relative udvikling i udledningerne af henholdsvis fine og grove partikler fra vejtransport i byerne (Nielsen et al., 2024). Gadebidraget er beregnet som forskellen mellem målte luftkoncentrationer ved Jagtvej og i bybaggrund i København (H.C. Ørsted Institutet). Der mangler data fra Jagtvej i 2022, da målestationen var midlertidigt lukket i store dele af året grundet vejarbejde. Udlædninger, vej – byer – samlet, betegner det samlede bidrag til hhv.  $PM_{2,5}$  og  $PM_{Grove}$  *alene fra byer* fra sektoren *Vejtransport*; Udlædninger, vej – byer – udstødning, betegner bidraget fra udstødning *alene fra byer* fra sektoren *Vejtransport* til  $PM_{2,5}$  (da hele bidraget fra udstødning ligger i  $PM_{2,5}$ -fraktionen, er der ikke udstødningsudledningsbidrag til den grove partikelfraktion,  $PM_{Grove}$ ). Udlædningerne er indekseret til 100 i 2010. Emissionssektorerne er fra og med 2022-opsørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopsørelserne. Denne ændring er ført tilbage til 1990 og dermed til 2010 i denne figur.

## 7.4 Modelberegninger

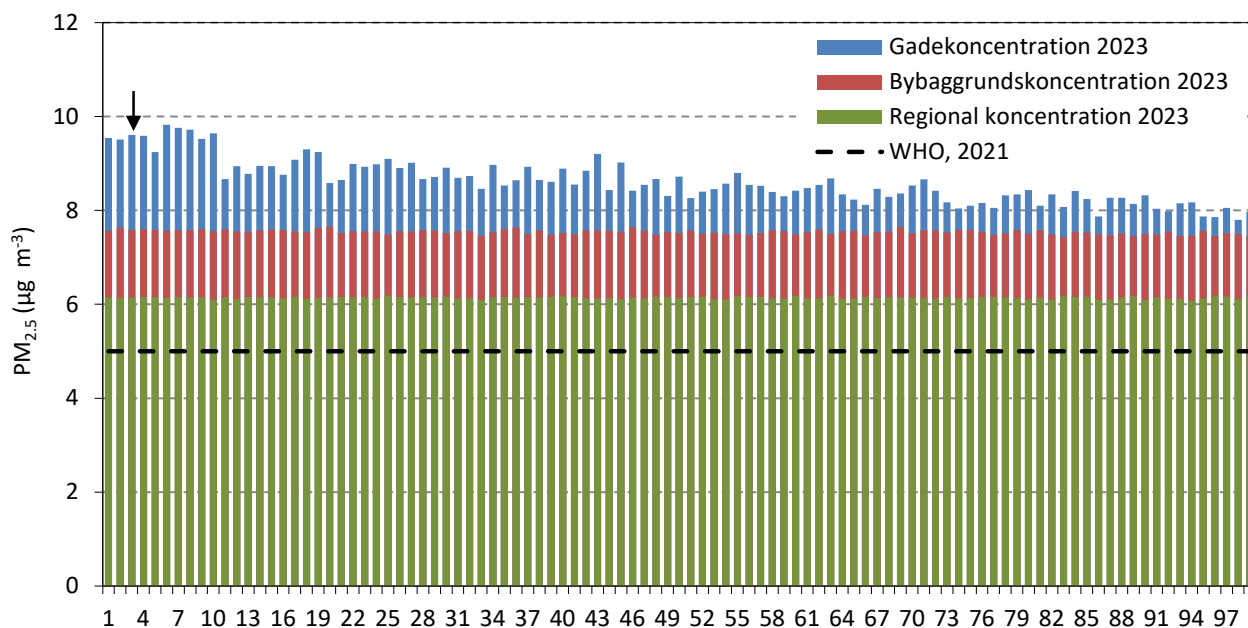
Modelberegninger af årsmiddelkoncentrationer af  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$  for udvalgte gader i København og Aalborg blev første gang rapporteret inden for Det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet i 2017. De udvalgte gader repræsenterer trafikerede gader og er hovedsageligt lukkede gaderum. Koncentrationerne er forhøjede i denne type gader på grund af de høje emissioner og begrænsede spredningsforhold. 99 gader er inkluderet for København og 26 for Aalborg. ÅDT (årsdøgntrafik, dvs. gennemsnitlig døgntrafik over et år) er mellem 3.900 og 75.800 køretøjer om dagen i København og mellem 1.700 og 28.700 køretøjer om dagen i Aalborg.

Der er foretaget modelberegninger af årsmiddelkoncentrationen af  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$  med henblik på at sammenligne med grænseværdier. Grænseværdien for luftkvaliteten som årsmiddel er henholdsvis 25 og 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$  (EU, 2008). Endvidere sammenlignes med WHO's retningslinjer for luftkvalitet, som er hhv. 5 og 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$  (WHO, 2021a).

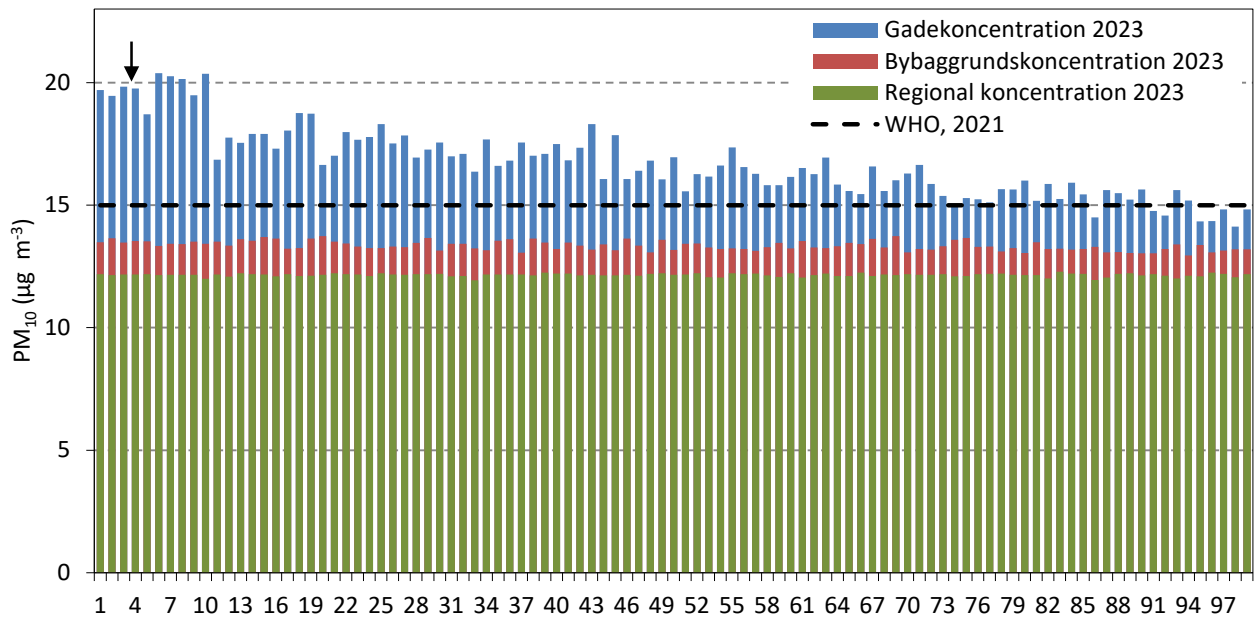
### København

Figur 7.7 og 7.8 viser de modellerede årsmiddelkoncentrationer for  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$  for de udvalgte gadestrækninger i København. Rangordenen fra kvælstofdiioxid er bevaret, og gadenumrene vises i Tabel 7.6.

De modellerede årsmiddelkoncentrationerne for gadestrækningerne for  $PM_{2.5}$  er på 8-10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i 2023 (9-11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i 2022) og for  $PM_{10}$  på 14-20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i 2023 (16-23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i 2022). Der ses således små ændringer i partikelkoncentrationerne fra 2022 til 2023, hvilket også er i overensstemmelse med målingerne. De modellerede årsmiddelkoncentrationer for gadestrækningerne ligger et godt stykke under grænseværdien for  $PM_{2.5}$  på 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  og grænseværdien for  $PM_{10}$  på 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , så i lighed med målingerne ses ingen overskridelse af grænseværdierne for årsmiddelkoncentrationerne i København. Derimod er WHO's nye retningslinjer for luftkvalitet på 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $PM_{2.5}$  og 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $PM_{10}$  ikke opfyldt på nogen af de 99 gadestrækninger i København for  $PM_{2.5}$  og ikke opfyldt for 81 ud af de 99 gader for  $PM_{10}$ .



**Figur 7.7.** Modellerede årsmiddelkoncentrationer for  $PM_{2.5}$  for de 99 udvalgte gadestrækninger i København i 2023. Gaderne er rangordnet efter koncentrationerne af kvælstofdioxid (Kapitel 2.4). Pilen angiver den gadestrækning af H.C. Andersens Boulevard, hvor der er placeret en målestation.



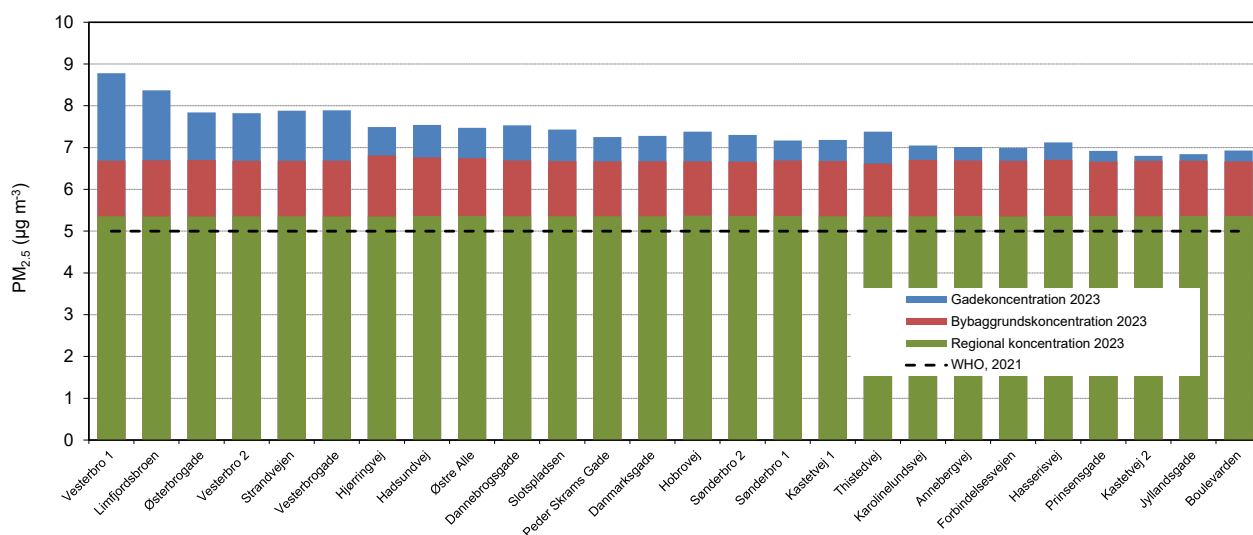
**Figur 7.8.** Modellerede årsmiddelkoncentrationer for PM<sub>10</sub> for de 99 udvalgte gadestrækninger i København i 2023. Gaderne er rangordnet efter koncentrationerne af kvælstofdioxid (Kapitel 2.4). Pilen angiver den gadestrækning af H.C. Andersens Boulevard, hvor der er placeret en målestation.

**Tabel 7.6.** Rangnummer og navne for gadestrækninger, der er vist i Figur 7.7 og 7.8. Gaderne er nummererede (1-98) i forhold til kvælstofdioxidniveauer i 2023 (1 = højeste, 99 = laveste). Tallene i parentes refererer til forskellige delstrækninger af den samme gade, der har mere end én modelberegning. En stjerne (\*) angiver en gadestrækning med en målestation.

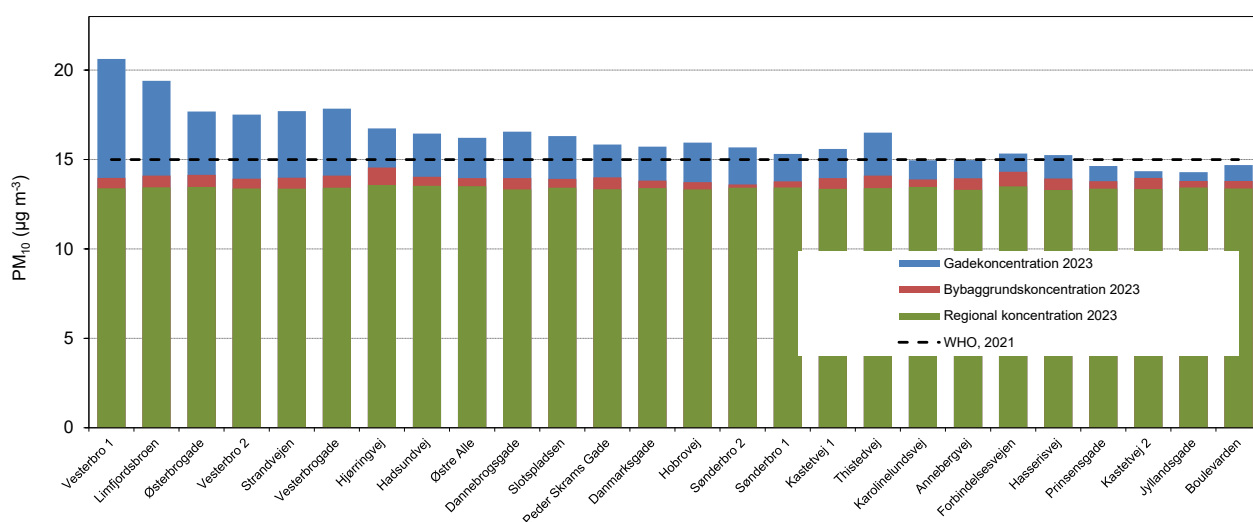
Nr.	Gadenavn	Nr.	Gadenavn	Nr.	Gadenavn
1	H C Andersens Boulevard(2)	34	Gammel Kongevej(1)	67	Folke Bernadottes Allé
2	Øster Søgade	35	Vester Voldgade	68	Bülowsvej(2)
3	Gyldenløvesgade	36	Nørre Voldgade(2)	69	Øster Voldgade(2)
4	H C Andersens Boulevard(3)	37	Nordre Fasanvej(1)	70	Grøndals Parkvej
5*	H C Andersens Boulevard(1)	38	Øster Voldgade(1)	71	Rebildvej
6	Ågade	39	Amagerbrogade(1)	72	Slotsherrensvej(2)
7	Åboulevard(1)	40	Toftegårds Allé(1)	73	Ingerslevsgade
8	Åboulevard(3)	41	Torvegade	74	Blegdamsvej
9	Nørre Søgade	42	Nordre Fasanvej(3)	75	Dag Hammarskjølds Allé
10	Lyngbyvej(2)	43	Jyllingevej(1)	76	Istedgade
11	Hammerichsgade	44	Jagtvej(3)	77	Artillerivej
12	Tagensvej(2)	45	Frederikssundsvej(8)	78	Åholmvej(1)
13	Amagerbrogade(2)	46	Nørre Farimagsgade	79	Godthåbsvej(2)
14	Stormgade	47	Hillerødgade(1)	80	Slotsherrensvej(1)
15	Bredgade	48	Søndre Fasanvej(2)	81	Nørrebrogade
16	Østerbrogade(4)	49	Amager Boulevard	82	Tuborgvej(1)
17	Enghavevej	50	Godthåbsvej(3)	83	Amagerbrogade(3)
18	Tomsgårdsvej(2)	51	Vester Farimagsgade	84	Åholmvej(2)
19	Fredensgade	52	Røde Mellemvej(1)	85	Vesterfælledvej
20	Gothersgade(1)	53	Tagensvej(1)	86	Strandvejen(2)
21	Amagerfælledvej	54	Tuborgvej(2)	87	Frederiksborgvej(1)
22	Bernstorffsgade(2)	55	Gammel Køge Landevej(1)	88	Peter Bangs Vej(1)
23	Vesterbrogade(1)	56	Kalvebod Brygge	89	Røde Mellemvej(2)
24	Frederikssundsvej(3)	57	Roskildevej(1)	90	Frederikssundsvej(5)
25	P Knudsens Gade(2)	58	Hillerødgade(3)	91	Peter Bangs Vej(2)
26	H.C. Ørsteds Vej(2)	59	Jagtvej(2)	92	Bellahøjvej
27	Falkoner Alle(2)	60	Scandiagade	93	Strandvænget(2)
28	Bernstorffsgade(1)	61	Østerbrogade(1)	94	Frederikssundsvej(2)
29	Toldbodgade	62	Hulgårdsvej(2)	95	Halmetgade
30	Vesterbrogade(3)	63	Folehaven(1)	96	Englandsvej(2)
31	Tagensvej(3)	64	Frederikssundsvej(1)	97	Vigerslevvej(2)
32*	Jagtvej(1)	65	Tagensvej(4)	98	Frederiksborgvej(2)
33	Strandvejen(1)	66	Englandsvej(1)	99	Gammel Køge Landevej(2)

### Aalborg

De modellerede årsmiddelkoncentrationer for gadestrækningerne er på 7-9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i 2023 (8-10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i 2022) og 14-21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i 2023 (15-22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i 2022) for henholdsvis  $\text{PM}_{2,5}$  og  $\text{PM}_{10}$  (se Figur 7.9 og 7.10). I gennemsnit er årsmiddelkoncentrationer af  $\text{PM}_{2,5}$  og  $\text{PM}_{10}$  faldet lidt fra 2022 til 2023. Et lille fald ses også i målingerne af  $\text{PM}_{2,5}$  fra 2022 til 2023. Årsmiddelkoncentrationerne for gadestrækningerne ligger et godt stykke under grænseværdien for  $\text{PM}_{2,5}$  på 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  og under grænseværdien for  $\text{PM}_{10}$  på 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Derimod er WHO's nye retningslinjer for luftkvalitet på 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $\text{PM}_{2,5}$  og 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $\text{PM}_{10}$  overskredet på samtlige gadestrækninger i Aalborg for  $\text{PM}_{2,5}$  og for 17 ud af 26 for  $\text{PM}_{10}$ .

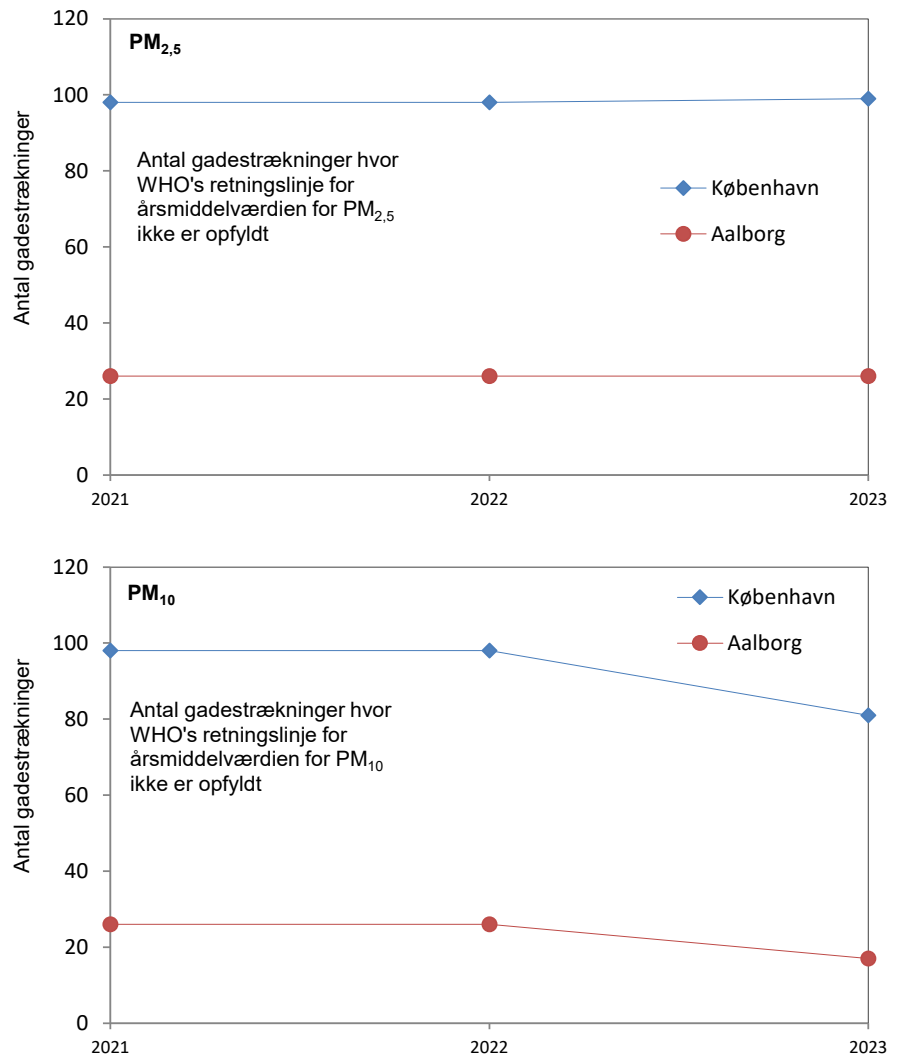


**Figur 7.9.** Modelberegnete årsmiddelmålinger for  $PM_{2,5}$  for 26 udvalgte gadestrækninger i Aalborg i 2023. Gaderne er rangordnet efter koncentrationerne af kvælstofdioxid (Kapitel 2.4).



**Figur 7.10.** Modelberegnete årsmiddelmålinger for  $PM_{10}$  for 26 udvalgte gadestrækninger i Aalborg i 2023. Gaderne er rangordnet efter koncentrationerne af kvælstofdioxid (Kapitel 2.4).

Figur 7.11 viser udviklingen i antallet af gadestrækninger (ud af de udvalgte gadestrækninger for København og Aalborg), hvor WHO-2021-retningslinjerne for  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$  ikke opfyldes. Som det ses, er antallet af gadestrækninger, hvor retningslinjerne ikke opfyldes det samme for  $PM_{2,5}$  alle tre år, mens der sker et fald fra 2022 til 2023 i antallet for  $PM_{10}$ .



**Figur 7.11.** Udviklingen i antallet af de udvalgte gadestrækninger i København og Aalborg, hvor de modellerede årsmiddelkoncentrationer ikke opfylder WHO's retningslinjer for luftkvalitet fra 2021. PM<sub>2,5</sub> (øverst) og PM<sub>10</sub> (nederst).

## 8. Elementært – og organisk kulstof

Elementært kulstof (EC) er den del af den luftbårne partikelforurening, som udgøres af kulstof alene. I daglig tale omtales det ofte som sod, da en stor del af elementært kulstof kommer fra en ufuldstændig forbrænding (for eksempel i udstødning fra køretøjer). Elementært kulstof omtales også som black carbon (BC), fordi elementært carbon er sort. Kemisk set er der stor forskel på de to betegnelser. Elementært kulstof er et mål for mængden af kulstofatomer i en given prøve ( $\mu\text{g}$  elementært kulstof per  $\text{m}^3$ ), hvilket måles med en kemisk analyse af prøven. Black carbon er et mål for, hvor "sort" prøven er, hvilket måles med en absorptionsmåling (kan omregnes til enheden  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Der er en tæt korrelation mellem elementært kulstof og black carbon, som er tæt på at være lineær, men forholdet mellem elementært kulstof og black carbon varierer fra lokalitet til lokalitet grundet lokal variation i den kemiske sammensætning af partikelforureningen (WHO, 2021a).

Organisk kulstof (OC) er den del af den luftbårne partikelforurening, som udgøres af kulstof, der er bundet i organiske kemiske forbindelser. Organisk kulstof er kun den masse, som svarer til kulstofatomerne i de organiske kemiske forbindelser. De organiske kemiske forbindelser indeholder også brint og en række andre atomer, hvoraf ilt, kvælstof, svovl og fosfor er nogle af de hyppigste. For at bestemme den samlede masse af den luftbårne organiske partikelforurening (OM) korrigeres organisk kulstof med en faktor mellem 1,5 og 2,1 afhængigt af lokaliteten (Turpin et al., 2010).

Organisk kulstof udledes direkte i forbindelse med afbrænding af en lang række brændstoffer. Organisk kulstof kan imidlertid også komme fra naturlige kilder, og det kan dannes i forbindelse med den kemiske omdannelse af flygtige organiske forbindelser i luften.

Danmark og de øvrige europæiske lande udarbejder nationale opgørelser over udledningerne af black carbon, mens der ikke laves opgørelser for elementært kulstof. Datagrundlaget for opgørelse af udledningerne af black carbon er begrænset, så derfor er der i den fælleseuropæiske guidebog (EEA, 2019, 2023) ofte tale om estimering af udledningerne af black carbon på baggrund af udledningsfaktorer for elementært kulstof. Derfor er der stor usikkerhed på opgørelser over udledningerne. Da der er omtrent lineær sammenhæng mellem luftkoncentrationerne af elementært kulstof og black carbon, så giver det fagligt set god mening at vurdere udviklingstendensen for målingerne af elementært kulstof i forhold til udviklingen i udledningerne af black carbon.

Der laves endnu ingen nationale opgørelser over udledningerne af organisk kulstof. EU's luftkvalitetsdirektiv indeholder krav om overvågning af luftbåren elementært - og organisk kulstof i den fine partikelfraktion ( $\text{PM}_{2,5}$ ) på en enkelt målestation i hvert medlemsland. Da disse komponenter udgør en vigtig del af den helbredsskadelige partikelforurening, så bliver der på basis af EU-kravet og det nationale vidensbehov samlet set udført målinger ved fire målestationer i Københavnsområdet (gademålestation H.C. Andersens Boulevard, bybaggrund H. C. Ørsted Institut, forstad Hvidovre, landbaggrund Risø). Filterproblemerne for PM-bestemmelse i 2023, som beskrevet i kapitel 7 og i Ellermann et al. (2024), har også direkte påvirket alle målingerne af organisk kulstof (OC) og har været indirekte årsag til manglende målinger af

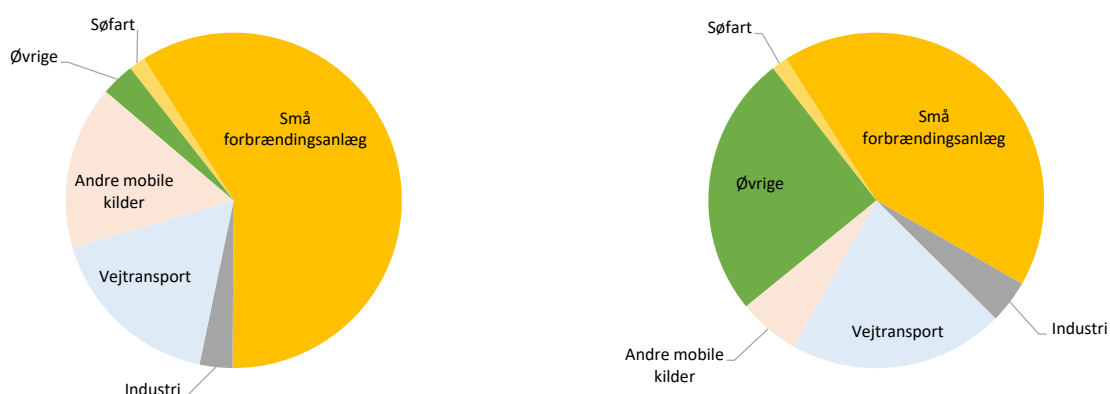
elementært kulstof (EC) på bybaggrundmålestationen på H.C. Ørstedsinstituttet i København.

## 8.1 Udledninger

Den vigtigste kilde til udledningerne af black carbon i 2022 er helt klart fra sektoren *Små forbrændingsanlæg* (ikke-industriel forbrænding), som står for 59% af udledningerne (Figur 8.1 og Tabel 8.1), hvoraf hovedparten er fra boligopvarmning med træfyring. *Vejtransport* og *Andre mobile kilder* bidrager cirka ligeligt med hhv. 17% og 16% af udledningerne og er de hhv. næst- og tredjestørste kilder til black carbon.

Tidligere var det *Vejtransport* og dernæst *Andre mobile kilder*, som var de vigtigste kilder til black carbon, men en række forbedringer på køretøjer og ikke-vejgående maskiner har ført til betydelige fald (omkring 85%) i udledningerne siden 1990 (Figur 8.2). Det er især anvendelsen af partikelfiltre, som har haft stor betydning. Til sammenligning har udledningerne fra sektoren *Små forbrændingsanlæg* kun udvist et mindre fald (26%) i forhold til 1990, hvilket er forklaringen på, at *Små forbrændingsanlæg* har overhalet udledningerne fra mobile kilder (Figur 8.2).

For EU-27 ses et nogenlunde tilsvarende mønster som i Danmark (Figur 8.1 og 8.2), hvor sektoren *Små forbrændingsanlæg* dog udgør mere end halvdelen af udledningerne i Danmark, mens de kun udgør omkring 42% på EU-niveau. Faldet i udledningerne er noget større i Danmark end for EU-27 (Figur 8.2).

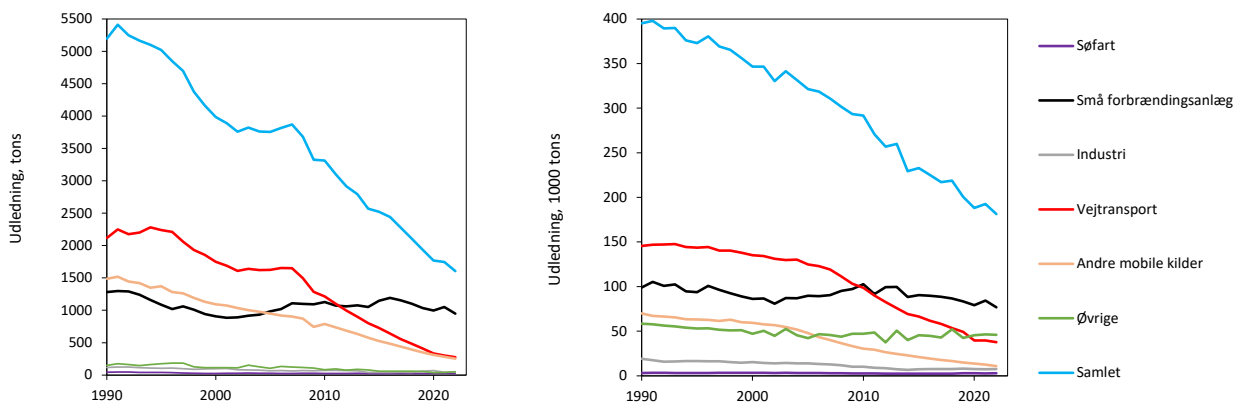


**Figur 8.1.** Kilderne til menneskeskabte udledninger af black carbon i Danmark (venstre) og EU-27 (højre) i 2022. Figureerne viser de fem vigtigste kilder i Danmark, mens de resterende kilder er vist samlet under "Øvrige" (Nielsen et al., 2024, CEIP, 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne.



**Tabel 8.1.** Kilderne til menneskabte udledninger af black carbon i Danmark i 2022 (Nielsen et al., 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne. Denne ændring er ført tilbage til 1990.

Sektor	GNFR-kode	Udledninger 2022	
		Tons	%
<b>EI- og fjernvarmeproduktion</b>	<b>A</b>	<b>14</b>	<b>1</b>
<b>Industri</b>	<b>B</b>	<b>51</b>	<b>3</b>
<b>Små forbrændingsanlæg</b>	<b>C</b>	<b>949</b>	<b>59</b>
<b>Flygtige emissioner fra brændsler</b>	<b>D</b>	<b>19</b>	<b>1</b>
<b>Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter</b>	<b>E</b>	<b>6</b>	<b>0</b>
<b>Vejtransport</b>	<b>F</b>	<b>276</b>	<b>17</b>
- Vejtransport, udstødning	F1-F5	112	7
- Vejtransport, dæk-, bremse- og vejslid	F6-F7	164	10
<b>Søfart</b>	<b>G</b>	<b>25</b>	<b>2</b>
<b>Luftfart (LTO)</b>	<b>H</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
<b>Andre mobile kilder</b>	<b>I</b>	<b>254</b>	<b>16</b>
<b>Affald</b>	<b>J</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Landbrug</b>	<b>K+L</b>	<b>10</b>	<b>1</b>
<b>Samlet</b>	<b>A - L</b>	<b>1606</b>	<b>100</b>



**Figur 8.2.** Udviklingen i udledningerne af black carbon i Danmark (venstre) og EU-27 (højre) siden 1990 (Nielsen et al., 2024; CEIP, 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne. Denne ændring er ført tilbage til 1990.

## 8.2 Status for luftkvalitet

Tabel 8.2 viser årsmiddelmålingerne af elementært kulstof målt ved de fire målestationer i Københavnsområdet, hvor elementært kulstof måles kontinuerligt året rundt. De største koncentrationer ses ved gademålestationen, hvilket hænger sammen med, at trafik er en af de største kilder til elementært kulstof. Næsthøjeste koncentrationer ses i Hvidovre, hvor brændefyring fra nærområderne i højere grad bidrager til koncentrationerne end det er tilfældet ved land- og bybaggrundmålestationerne.

De mindste koncentrationer ses ved landbaggrundmålestationen ved Risø. Der er relativt stor forskel mellem niveauerne, hvor koncentrationen på gademålestationen er omkring en faktor tre højere end på landbaggrund. Til sammenligning er der kun omkring 15-35% højere niveauer af  $PM_{2.5}$  ved gademålestationen sammenlignet med landbaggrund (Afsnit 7.2). De lokale kilder har derfor større betydning for elementært kulstof end for de fine partikler.

Årsmiddelkoncentrationerne af organisk kulstof ligger generelt højere end for elementært kulstof. Der er mindre forskel mellem målestationerne, og der er væsentligt højere baggrundskoncentrationer (Tabel 8.2). Den langtransporterede luftforurening har derfor større betydning for organisk kulstof end for elementært kulstof.

**Tabel 8.2.** Årsmiddelværdier for elementært- og organisk kulstof (hhv. EC og OC) i 2023. Måling af OC på bybaggrundsmålestationen i København indgår ikke i måleprogrammet. På grund af problemer med forhøjet og varierende indhold af organisk kulstof i de filtre, som anvendes til opsamling af EC/OC, blev resultaterne for OC fejlbehæftet i en sådan grad, at de måtte kasseres ved kvalitetskontrol, mens resultaterne for EC ikke blev påvirket og kunne godkendes ved kvalitetskontrol. Dette er årsagen til, at der optræder to datadækningsgrader, en for EC og en for OC. Filterproblemerne ophørte i maj 2023 ved introduktion af en ny filtertype.

	Datadækning EC/OC	Elementært kulstof	Organisk kulstof
	%EC / %OC	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
<i>Gade</i>			
København, H.C. Andersens Boulevard	90/59*	0,44	1,64*
<i>Bybaggrund</i>			
København	53**/ -	0,15**	-
<i>Forstad</i>			
Hvidovre	98/61*	0,26	1,20*
<i>Landbaggrund</i>			
Risø	94/59*	0,15	1,11*

\* Datadækningen for OC er på ca. 60% på grund af filterproblemer januar til maj 2023.

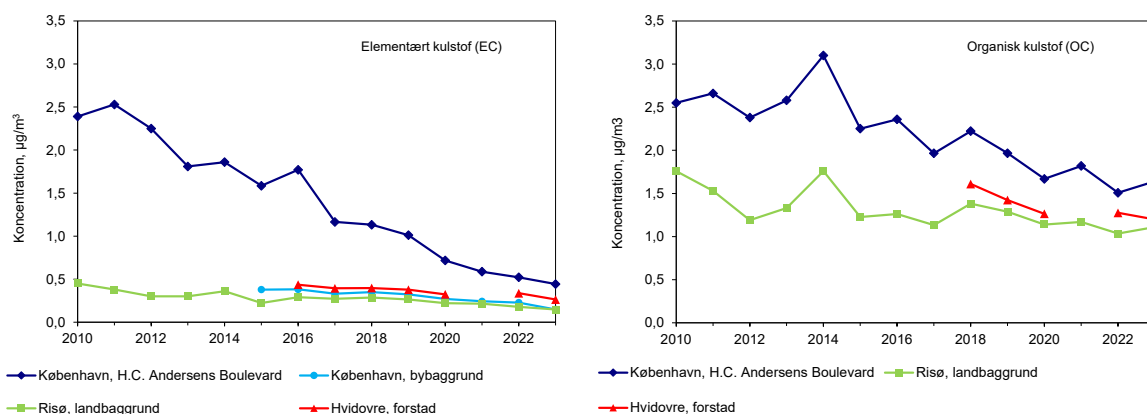
\*\* Datadækningen er på 53% for EC på bybaggrundsmålestationen, København, hvilket skyldes manglende analyser i perioden januar til juli 2023 med årsag i filterproblemerne (der for PM ophørte omkring 1. maj, men havde indvirkninger på EC-analyserne noget tid derefter).

### 8.3 Udviklingstendens

Figur 8.3 viser udviklingstendensen for EC siden begyndelsen af målingerne i 2010. Der ses et fald på omkring 80% siden 2010 ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard. Tilsvarende ses et fald på landbaggrundsmålestationen ved Risø, selv om dette fald er mindre (omkring 60%). Ved bybaggrundsmålestationen og målestationen i forstad ses også tendens til tilsvarende fald (hhv. 60% og 45%), men tidsserierne, der begynder i hhv. 2015 og 2016, er stadig korte, så disse tendenser er behæftede med nogen usikkerhed.

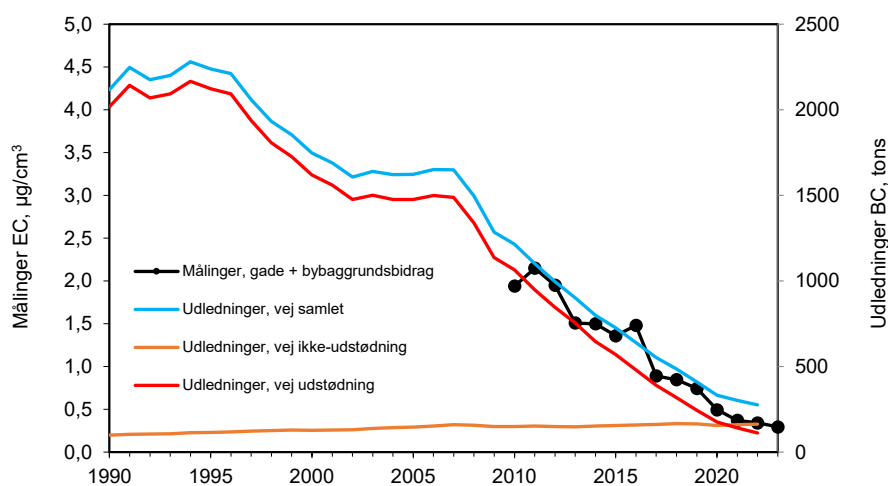
Der ses også fald i årsmiddelkoncentrationerne af organisk kulstof, men det er et noget mindre fald (på hhv. 35% for gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard og 25% ved landbaggrundsmålestationen ved Risø siden 2010) end for elementært kulstof. De relativt høje værdier ved begge målestationer i 2014 skyldes formentligt år til år variationer i de meteorologiske forhold. Ved målestationen i forstad (Hvidovre) ses også tendens til fald af tilsvarende størrelse, men tidsserien, der begynder i 2018, er meget kort, så denne tendens er usikker, og der er behov for målinger gennem længere tid for at kunne opnå en sikker vurdering af udviklingstendensen.

Det skal bemærkes, at Figur 8.3 ikke viser data for Hvidovre 2021 grundet flytning af stationen. Derudover måles der ikke organisk kulstof ved bybaggrundsmålestationen.



**Figur 8.3.** Udviklingstendens for årsmiddelkoncentrationerne af elementært kulstof (venstre) og organisk kulstof (højre). Målingerne blev påbegyndt i 2010 ved gademålestationen (H. C. Andersens Boulevard) og landbaggrund (Risø), mens målingerne i bybaggrund (H.C. Ørsted Institut) og forstad (Hvidovre) først blev påbegyndt i 2015. Målingerne af elementært kulstof ved bybaggrundsmålestationen i København ligger uden for Delprogram for luft under NOVANA og finansieres særskilt af Miljøstyrelsen. Der måles ikke organisk kulstof ved bybaggrundsmålestationen.

Årsagen til det store fald i elementært kulstof skyldes primært reduktionen i udledninger fra transportsektoren. Figur 8.4 viser en sammenligning mellem udviklingstendensen for gade- og bybaggrundsbidraget målt ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard og udviklingstendensen i udledningerne fra vejtrafik. Der ses god overensstemmelse mellem faldet i koncentrationerne og udledningerne, hvilket viser den store betydning, som indførelse af miljøforbedringer på køretøjerne (navnlig partikelfiltre på dieselskøretøjer) har haft på partikelforureningen. Da der ikke er udarbejdet nationale opgørelser over udledningerne af organisk kulstof, er det sværere at vurdere årsagerne til de observerede fald. Det generelle fald i udledningerne af fine partikler og flygtige organiske forbindelser vurderes dog at være nogle af de vigtigste faktorer.



**Figur 8.4.** Udviklingen i målingerne af partikulært bundet elementært kulstof (EC) på gademålestation på H.C. Andersens Boulevard i København (venstre akse) sammenholdt med udviklingen i udledningerne af black carbon (BC) fra vejtrafik (højre akse) (Nielsen et al., 2024). De viste luftkoncentrationer er bidraget fra gade og bybaggrund, som er beregnet ud fra forskellen mellem koncentrationerne ved gademålestationen og landbaggrund. Udledningerne af black carbon kommer dels fra udstødning og dels fra ikke-udstødning (slid på bremses, dæk og vej). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne. Denne ændring er ført tilbage til 1990.

## 9. Tungmetaller

Den luftbårne partikelforurening indeholder en lang række grundstoffer, hvoraf en del er tungmetaller, som er stærkt helbredsskadelige. Forurening med tungmetaller er derfor et vigtigt aspekt af den luftbårne partikelforurening selv om koncentrationerne for de fleste metaller og tungmetaller er 1000 gange lavere ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) end for eksempel elementært kulstof ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Overvågningen af de luftbårne tungmetaller har primært fokus på de fire grundstoffer, som er omfattet af EU's fjerde datterdirektiv (EU, 2004) og luftkvalitetsdirektivet (EU, 2008). Det drejer sig om arsen, bly, cadmium og nikkel (arsen er egentligt ikke et tungmetal, men for overskuelighedens skyld medtages det under tungmetallerne i denne rapportering). Luftkvalitetsdirektivet (EU, 2008) angiver en grænseværdi for bly, og det fjerde datterdirektiv (EU, 2004) angiver målværdier (en slags grænseværdi) for arsen, cadmium og nikkel af hensyn til de langsigtede helbredseffekter af disse stoffer. Årsmiddelværdierne for arsen, bly, cadmium og nikkel må således ikke overstige følgende i et kalenderår:

Arsen	6 $\text{ng}/\text{m}^3$
Bly	500 $\text{ng}/\text{m}^3$
Cadmium	5 $\text{ng}/\text{m}^3$
Nikkel	20 $\text{ng}/\text{m}^3$

Kviksølv indgår ligeledes i det fjerde datterdirektiv, men da luftkoncentrationerne af kviksølv kun varierer meget lidt på europæiske skala, er kravene til overvågningen lempet i forhold til de øvrige stoffer. Overvågningen af kviksølv i Danmark varetages derfor via en samarbejdsaftale mellem Sverige og Danmark, således den danske luftovervågning kan baseres på de svenske målinger på Råö tæt ved Gøteborg. Derfor omtales kviksølv kun kortfattet i kapitlet.

Som supplement til de direktivbundne stoffer overvåges også seks andre tungmetaller (krom, jern, kobber, mangan, vanadium og zink), da disse også er vigtige i relation til de helbredsskadelige effekter af partikelforurening. Da der kun udarbejdes nationale opgørelser for udledninger af krom, kobber og zink, omtales jern, mangan og vanadium kun i forbindelse med selve målingerne af luftkvaliteten.

Overvågningen af de luftbårne tungmetaller blev etableret allerede i begyndelsen af 1980'erne og omfattede et stort antal målestationer. I dag omfatter overvågningen af tungmetaller målinger på to gademålestationer (København og Aarhus), en bybaggrundsmålestation (København) og to landbaggrundsmålestationer (Risø og Anholt). Årsagen til denne reduktion i måleprogrammet er primært, at der er sket et betydeligt fald i luftkoncentrationerne, hvilket har reduceret overvågningsbehovet. Det spiller dog ind, at det har været nødvendigt at udskifte analysemetoden til en mere arbejdskrævende metode. Det er derfor heller ikke muligt at opretholde det samme omfattende måleprogram uden væsentligt højere ressourceforbrug.

## 9.1 Udledninger

De årlige udledninger til luften af de udvalgte tungmetaller ligger på et langt lavere niveau end for de øvrige udledninger omtalt i de øvrige kapitler. For eksempel er de årlige udledninger af elementært kulstof omkring 40 gange større end udledningerne af zink og mere end 10.000 gange højere end for arsen (Tabel 9.1 og 8.1).

I 2022 er udledningerne for kobber og zink højest og dernæst kommer bly, mens de mere helbredsskadelige grundstoffer som arsen, cadmium, nikkel og krom er betydeligt lavere (Tabel 9.1). For arsen er *Industri* og *El- og fjernvarmeproduktion* de største kilder. For cadmium er det *Små forbrændingsanlæg* og *Industri*, som er de største kilder. For nikkel og krom er det *Andre mobile kilder*, der er årsag til de største udledninger. For bly, kobber og zink er *Vejtransport* den største kilde (Tabel 9.1). For kobber stammer 89% af udledningerne fra slid på bremses i forbindelse med *Vejtransport*.

**Tabel 9.1.** Årlige udledninger af tungmetaller i Danmark i 2022 fordelt på hovedkategorier (Nielsen et al., 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne.

Sektor	GNFR-kode	Arsen Tons	Bly Tons	Cadmium Tons	Nikkel Tons	Krom Tons	Kobber Tons	Zink Tons
El- og fjernvarmeproduktion	A	0,04	0,31	0,03	0,25	0,15	0,14	0,30
Industri	B	0,17	2,2	0,07	0,93	0,28	0,25	1,8
Små forbrændingsanlæg	C	0,01	0,82	0,38	0,06	0,68	0,18	15
Flygtige emissioner fra brændsler	D	0	0	0	0	0	0	0
Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter	E	0,01	0,04	0,01	0,21	0,11	3,1	1,9
Vejtransport	F	0,01	7,5	0,05	0,16	0,20	56	30
Søfart	G	0,03	0,02	0	1,3	0,01	0,03	0,09
Luftfart (LTO)	H	0	0,08	0	0	0	0,02	0,01
Andre mobile kilder	I	0,01	0,04	0,01	2,2	1,1	2,9	0,99
Affald	J	0	2,4	0,01	0,01	0,02	0,08	9,4
Landbrug	K+L	0	0	0,02	0	0	0	0,01
Samlet	A - L	0,28	13	0,57	5,1	2,6	63	60

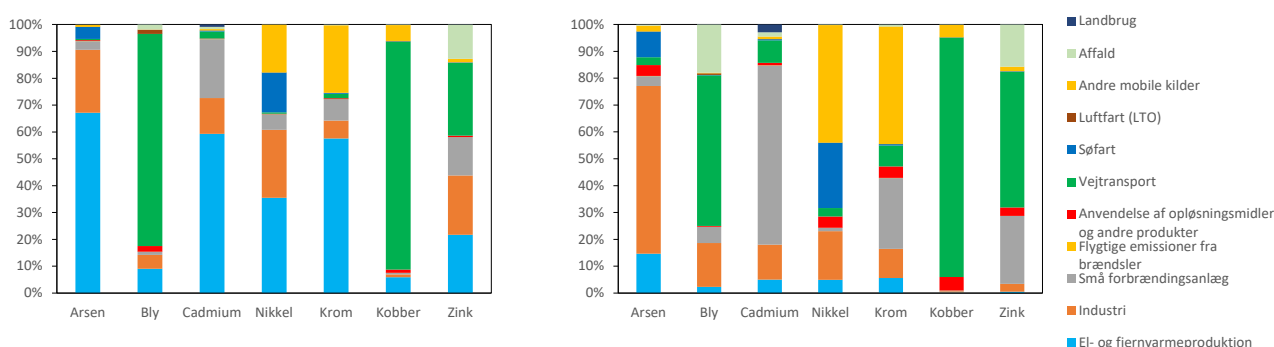
En lang række miljøtiltag har givet anledning til store reduktioner i danske udledninger, og har ligeledes ændret den relative betydning af de forskellige kilder til udledningerne (Figur 9.1 og 9.2). Udledningerne af bly er reduceret med omkring 90% siden 1990, hovedsageligt som følge af udfasningen af anvendelsen af bly i benzin. Mindre brug af kul og forskellige rensningstiltag på forbrændingsanlæg har også bidraget til reduktionerne.

For arsen, nikkel og krom er der sket reduktioner på mellem 68% og 80%, hvilket navnligt skyldes forbedringerne i relation til forbrændingsanlæg. For cadmium er der sket en lidt mindre reduktion på omkring 53%. Faldet skyldes for en stor del fald i udledninger fra stationær forbrænding, men for cadmium er en meget stor andel af udledningerne fra brændefyring og affaldsforbrænding. Disse udledninger er på nogenlunde uændret niveau, så derfor slår faldet i udledningerne fra de større forbrændingsanlæg ikke helt så meget igennem for arsen, nikkel og krom.

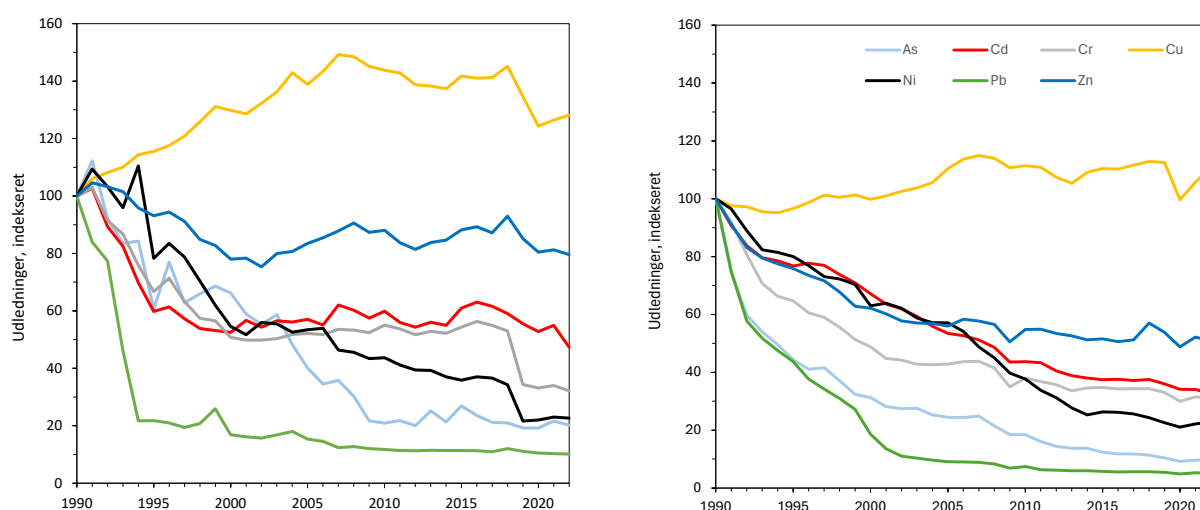
For zink er der kun sket et relativt beskedent fald på omkring 20%. Der har været et relativt stort fald i forbindelse med stationær forbrænding, men dette fald er stort set modsvaret af en øgning af udledningerne fra *Vejtransport*, hvor zink kommer fra slid af bremser og dæk.

Kobber er i modsætning til de øvrige stoffer steget med omkring 28% siden 1990, dog med den mest markante stigning i perioden fra 1990 til midten af nullerne. Herefter har kobber ligget på et mere konstant niveau. Den generelle stigning skyldes øgning af udledningerne fra vejtransport, hvor der har været en stor stigning i udledningen fra slid på bremserne, som følge af en øget vejtrafik.

På EU-niveau er der sket en udvikling, som i store træk svarer til det, der er set for Danmark. Dog er der for EU set en mindre markant stigning i udledningerne af kobber, og der er mere markante fald i udledningerne af zink og cadmium (Figur 9.2).



**Figur 9.1.** Den relative fordeling af kilderne til udledning af arsen, bly, cadmium, nikkel, krom, kobber og zink i 1990 (venstre) og 2022 (højre), (Nielsen et al., 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-øpgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne. Denne ændring er ført tilbage til 1990.



**Figur 9.2.** Relativ udviklingstendens for udledningerne af arsen (As), cadmium (Cd), krom (Cr), kobber (Cu), nikkel (Ni), bly (Pb) og zink (Zn) i Danmark (venstre) og EU (højre), (Nielsen et al., 2024; CEIP, 2024). Udledningerne er indekseret til 100 i 1990. Emissionssektorerne er fra og med 2022-øpgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne. Denne ændring er ført tilbage til 1990.

## 9.2 Luftkvalitet

Tabel 9.2 viser årsmiddelkoncentrationerne for de fire direktivbundne tungmetaller samt seks yderligere tungmetaller. Ved gade- og bybaggrundsmålestationerne er det målinger af indholdet i PM<sub>10</sub>, mens det ved landbaggrundsmålestationerne er målinger af indholdet i TSP (Total Suspended Particulate matter). TSP omfatter partikler, som har diameter op til 15-20 µm, mens PM<sub>10</sub> kun omfatter partikler med diameter op til 10 µm. Der er dermed noget forskel mellem de to partikelfraktioner, som bliver opsamlet ved de forskellige målestationer. Dette har dog mindre betydning i forbindelse med en vurdering af forskellen mellem niveauerne ved de forskellige typer af målestationer.

Årsmiddelværdierne for de fire direktivbundne tungmetaller i 2023 ligger langt under grænse- og målværdierne. Arsen og nikkel er under 10% og bly og cadmium ligger på omkring 1% eller derunder af grænse- og målværdierne.

For nikkel, krom, jern, kobber, mangan og zink er der relativt stor forskel mellem årsmiddelværdierne ved gademålestationer sammenlignet med bybaggrund og landbaggrund. Dette viser betydningen af de lokale udledninger fra vejtrafikken. For arsen, bly, cadmium og vanadium er der mere ensartede årsmiddelværdier på målestationerne, hvilket viser, at de lokale kilder har mindre betydning, og at langtransport af luftforureningen betyder relativt meget.

Tabel 9.3 viser årsmiddelværdierne for den samlede mængde kviksølv på gas- og partikelform ved målestationen på Råö ved Gøteborg. Da de geografiske variationer i koncentrationerne af kviksølv er små, er disse koncentrationsniveauer vurderet til at være repræsentative for Danmark.

**Tabel 9.2.** Årsmiddelværdier i 2023 for de fire tungmetaller (As, Pb, Cd og Ni) omfattet af EU's fjerde datterdirektiv (EU, 2004) samt seks andre udvalgte tungmetaller. Tabellen angiver endvidere EU's grænse- og målværdier for årsmiddelværdier af arsen, bly, cadmium og nikkel. For gade- og bybaggrundsmålestationer angives værdierne som massen af tungmetaller i PM<sub>10</sub>, mens det for landbaggrundsmålestationer er tungmetaller i TSP (Total Suspended Particulate matter). EU kræver en dækningsgrad på mindst 85% af kalenderåret. På basis heraf vurderes datadækningen at være tilstrækkelig på alle målestationer.

	Data- dækning %	Arsen As ng/m <sup>3</sup>	Bly Pb ng/m <sup>3</sup>	Cadmium Cd ng/m <sup>3</sup>	Nikkel Ni ng/m <sup>3</sup>	Krom Cr ng/m <sup>3</sup>	Jern Fe ng/m <sup>3</sup>	Kobber Cu ng/m <sup>3</sup>	Mangan Mn ng/m <sup>3</sup>	Vanadium V ng/m <sup>3</sup>	Zink Zn ng/m <sup>3</sup>
Grænseværdi/ målværdi		6	500	5	20						
<i>Gade (PM<sub>10</sub>)</i>											
København, H.C. Andersens Boulevard	99	0,4	2,0	0,05	1,7	7,0	1441	43	16	1,9	29
Aarhus, Banegaardsgade	96	0,3	1,4	0,04	1,0	1,8	387	15	5,4	1,3	16
<i>Bybaggrund (PM<sub>10</sub>)</i>											
København	96	0,3	1,2	0,04	0,7	0,9	203	5,2	4,1	1,2	8,6
<i>Landbaggrund (TSP)</i>											
Anholt	98	0,2	0,8	0,03	0,6	0,4	69	1,4	2,3	1,2	3,1
Risø	97	0,3	0,9	0,04	0,5	0,7	98	2,4	2,6	1,0	6,0

**Tabel 9.3.** Årsmiddelværdier i 2023 for kviksølv på gasform og partikelform ved Råö, Göteborg, Sverige. Målingerne er foretaget af Swedish Environmental Research Institute, Göteborg (Roux og Nerentorp, 2024). Der foreligger desværre ingen informationer om dækningsgrad, men det vurderes, at den vil være tilstrækkelig god, da disse data er indrapporteret til EU.

	Kviksølv, samlet gasform (ng/m <sup>3</sup> )	Kviksølv, samlet partikelform (ng/m <sup>3</sup> )
Råö, Göteborg, Sverige	1,3	0,0014

### 9.3 Udviklingstendens

Figur 9.3 viser udviklingen i luftkoncentrationerne af de udvalgte tungmetaller. Målingerne af krom, mangan, nikkel og bly blev begyndt allerede i 1983, mens tidsserierne for arsen og kobber er begyndt først i 1990'erne. Målingerne til og med 1999 er foretaget med opsamling af TSP, mens målingerne herefter er baseret på PM<sub>10</sub>, med undtagelse af målingerne på landbaggrundsmålestationerne Risø og Anholt, der også efter 1999 er baseret TSP. Denne ændring vurderes ikke at have væsentlig betydning for hovedparten af de undersøgte stoffer, men for mangan kan der være en systematisk forskel med et skift mod mindre koncentrationer fra før til efter 1999. Forklaringen på dette er formentligt, at vejslid bidrager væsentligt til luftkoncentrationen af mangan, og at partikler fra vejslid generelt set består af store partikler, hvor diameteren kan være over 10 µm. Det store bidrag fra vejslid til luftkoncentrationen af mangan formodes også at være baggrunden for de ekstraordinært høje luftkoncentrationer for mangan på H.C. Andersens Bulevard (Figur 9.3), da vejbelægningen ud for målestationen frem til 2009 indeholdt slagger fra stålvalseværket i Frederiksværk (vejen blev nyasfaltert i 2009).

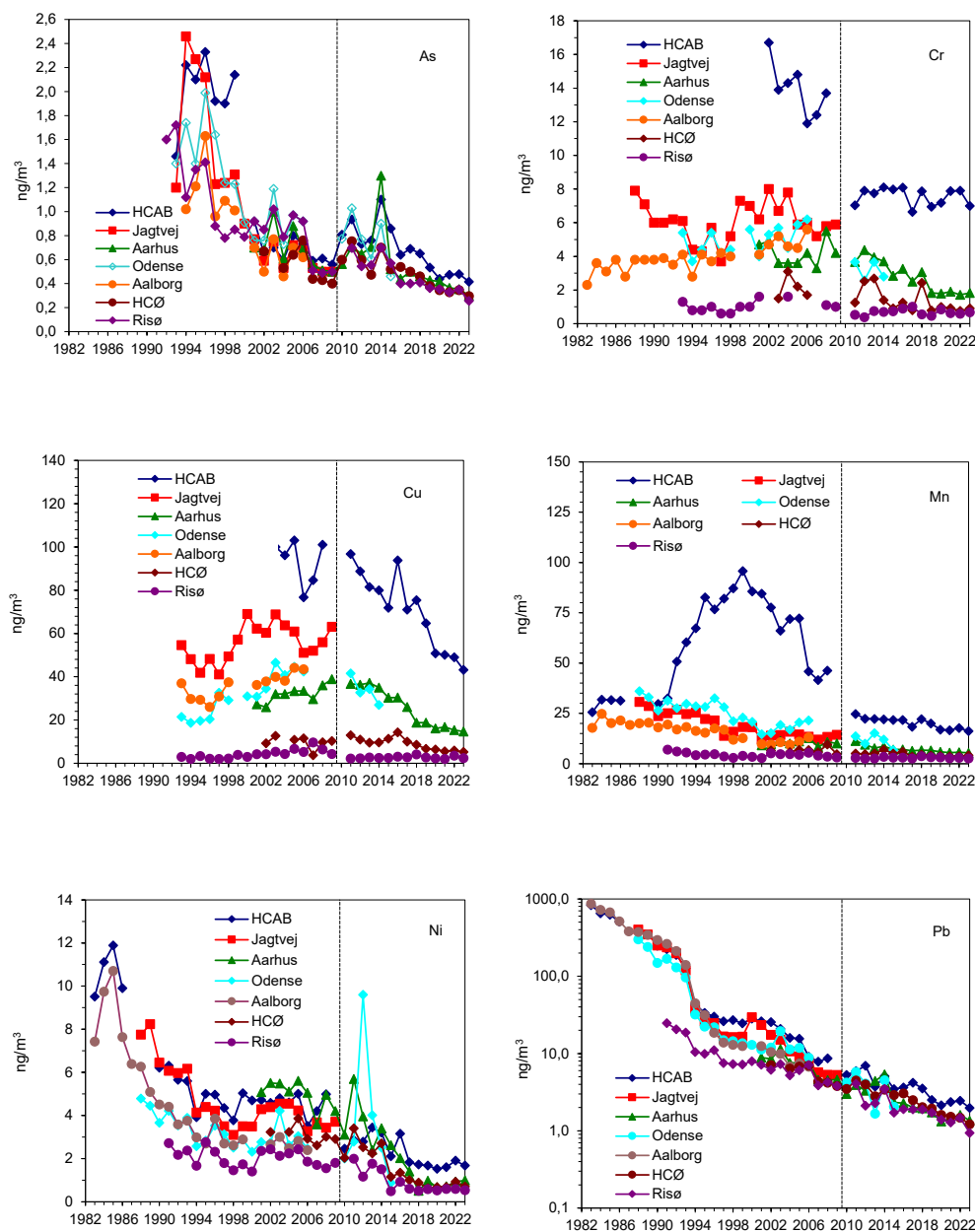
For hovedparten af stofferne er der sket et betydeligt fald i koncentrationerne. Mest markant for bly, hvor koncentrationen er faldet med mere end 99% siden 1982 på H.C. Andersens Boulevard. Arsen er faldet med omkring 80% siden 1990 og nikkel med omkring 85% siden 1982. Mangan er faldet med omkring 45% siden 1982, om end udviklingen er usikker grundet ovenstående omtalte ændringer i opsamlingsmetoden. Disse fald er i rimeligt god overensstemmelse med faldet i udledningerne (Figur 9.2).

For krom og kobber ses et mere komplekst billede. For kobber ses en tendens til en stigning i luftkoncentrationen frem til 2010, hvorefter der ses en tendens til et mindre fald. Dette er i store træk i overensstemmelse med udviklingen for udledningerne, som ligeledes er steget markant siden 1990 og frem til midtnullerne. For krom ses et nogenlunde jævnt niveau for mange af målestationerne med en tendens til et fald i de seneste år. Siden 1995 er der ikke sket væsentlig ændringer i den samlede udledning af krom (Figur 9.2) og udledningen fra *Vejtrransport* har været svagt stigende siden 1990'erne (Nielsen et al., 2024). Der er derfor rimelig overensstemmelse mellem de målte ændringer og udviklingen i udledningerne. På H.C. Andersens Boulevard ses dog et noget anderledes forløb, hvor det store fald fra før 2009 til efter 2009 måske kan hænge sammen med slaggerne i den gamle asfalt lige som for mangan (se ovenfor).

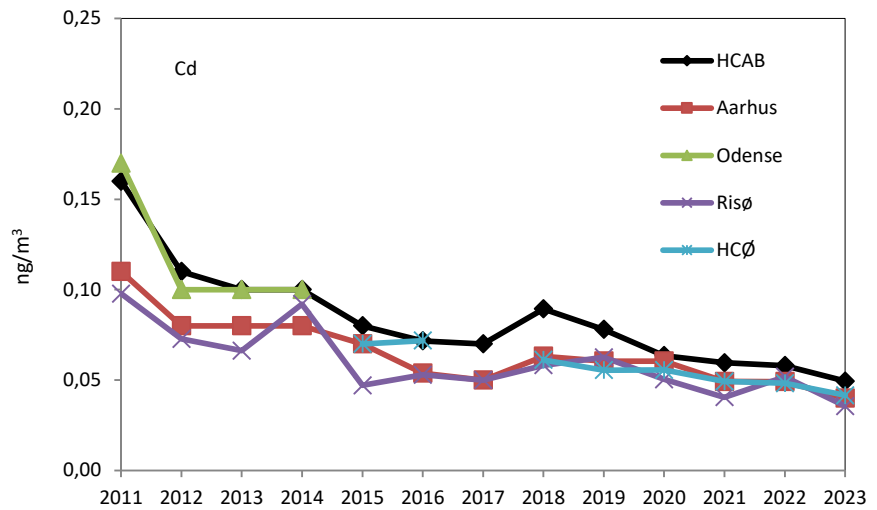
Skift i analysemetode i 2010 gav en stor forbedring af analysekvaliteten for cadmium. Skiftet i analysemetoden gav imidlertid også et skift nedad i luftkoncentrationen, og det har dermed ikke været muligt at følge den langsigtede udviklingstendens for cadmium på samme måde som for de øvrige stoffer. Siden 2010 har der været en tendens til et fald i luftkoncentrationen (Figur 9.4). Koncentrationen ligger dog meget lavt set i



forhold til detektionsgrænsen, så vurdering af tendens skal tages med forbehold for de lave koncentrationer og den relativt store usikkerhed på data.



**Figur 9.3.** Udviklingstendens for årsmiddelværdierne for seks udvalgte tungmetaller (As = arsen; Cr = krom; Cu = kobber; Mn = mangan; Ni = nikkel; Pb = bly). HCAB (H.C. Andersens Boulevard), Jagtvej, Aarhus, Odense og Aalborg er gademålestationer, mens HCØ er bybaggrund og Risø er landbaggrund. Til og med 1999 er det mængden af tungmetaller i TSP (Total Suspended Particulate matter), mens det herefter er tungmetaller i PM<sub>10</sub>. For landbaggrundsmålestationen Risø er opsamlingen også efter 1999 forsat med TSP. For gademålestationen H.C. Andersens Boulevard (HCAB) skete skiftet mellem TSP og PM<sub>10</sub> dog først i 2006. Den stiplede streg angiver et skift i analysemetode fra PIXE-metoden (Proton Induced X-ray Emission) til ICPMS-metoden (Induced Coupled Plasma Mass Spectrometry). For de viste tungmetaller giver dette skift ingen konsekvenser. Bemærk at y-aksen er logaritmisk for bly. Målingerne standsede i 2015 ved Odense gademålestation og i 2009 på Jagtvej.



**Figur 9.4.** Udviklingstendens for årsmiddelværdierne for cadmium (Cd) siden 2011. HCAB (H.C. Andersens Boulevard), Aarhus og Odense er gademålestationer, HCØ er bybaggrundsmålestationen i København, og Risø er landbaggrund. For Risø er der tale om prøveopsamling af TSP (Total Suspended Particulate matter), mens det ved de andre målestationer er udført som prøveopsamling af PM<sub>10</sub>. Denne forskel har ikke betydning for vurdering af udviklingstendensen.

## 10. Polycykliske aromatiske kulbrinter og benz[a]pyren

Polycykliske aromatiske kulbrinter (PAH; også kaldet tjærestoffer) er en gruppe stærkt kræftfremkaldende kemiske forbindelser, som i luften findes både på gasform og bundet til luftbårne partikler. Hovedkilden til udledningerne er forbrænding af forskellige former for brændstoffer, hvor brændefyring er den vigtigste.

De polycykliske aromatiske kulbrinter indgår i EU's fjerde datterdirektiv (2004), hvor der er fastlagt en målværdi (en slags grænseværdi) til beskyttelse af befolkningen mod helbredseffekterne som følge af langtidseksponering for benz[a]pyren. Benz[a]pyren anses for at være en af de vigtigste polycykliske aromatiske kulbrinter og betragtes som en form for indikator for den samlede eksponering for gruppen af kræftfremkaldende polycykliske aromatiske kulbrinter. Målværdien angiver, at årsmiddelværdien af benz[a]pyren ikke må overstige 1 ng/m<sup>3</sup> for et kalenderår (EU, 2004). Det fjerde datterdirektiv stiller endvidere krav om overvågning af yderligere fem andre polycykliske aromatiske kulbrinter (benz[a]anthracen, benz[b]fluoranthren, benz[j]fluoranthren, benz[k]fluoranthren, indeno[1,2,3-cd]pyren og bibenz[a,h]anthracen).

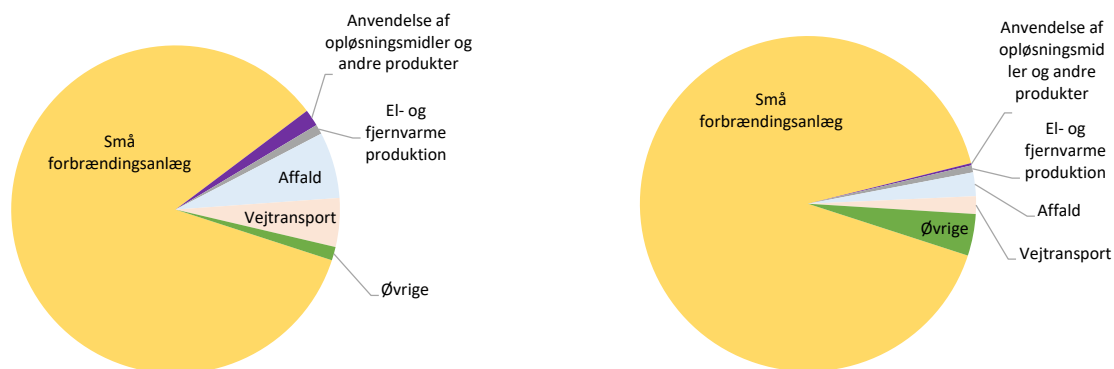
Status og udvikling i luftkoncentrationer af polycykliske aromatiske kulbrinter overvåges i 2023 ved målinger på en gademålestation i København (H.C. Andersens Boulevard) og på forstadsmålestationen i Hvidovre. Det er kun den partikelbundne del af disse polycykliske aromatiske kulbrinter som indgår i overvågningsprogrammet, men denne fase er også langt den vigtigste under danske udendørsforhold.

### 10.1 Udledninger

Opgørelser af udledningerne af benz[a]pyren viser, at *Små forbrændingsanlæg* (ikke-industriel forbrænding) er langt den vigtigste kilde (omkring 85%), og at anvendelse af brændefyring til boligopvarmning står alene for næsten tre-fjerdedele (71%) af de danske udledninger i 2022 (Figur 10.1 og tabel 10.1; Nielsen et al., 2024). De næstvigtigste kilder er *Affald* (7%) og *Vejtransport* (5%), men disse kilder bidrager kun med til sammen omkring 12%.

Udledningen af benz[a]pyren i Danmark er faldet med omkring 65% set over hele perioden fra begyndelsen af 1990'erne til 2022 (Figur 10.2; Nielsen et al., 2024). Udviklingen i udledningen har dog været meget ujævn med en markant transient top i 2007, hvor udledningen næsten var på højde med udledningen fra begyndelsen af 1990'erne. Faldet i udledningen er for langt hovedparten opnået via forbedringer af brændeovne og brænde kedler samt i de seneste år også ved et markant nedsat brændeforbrug.

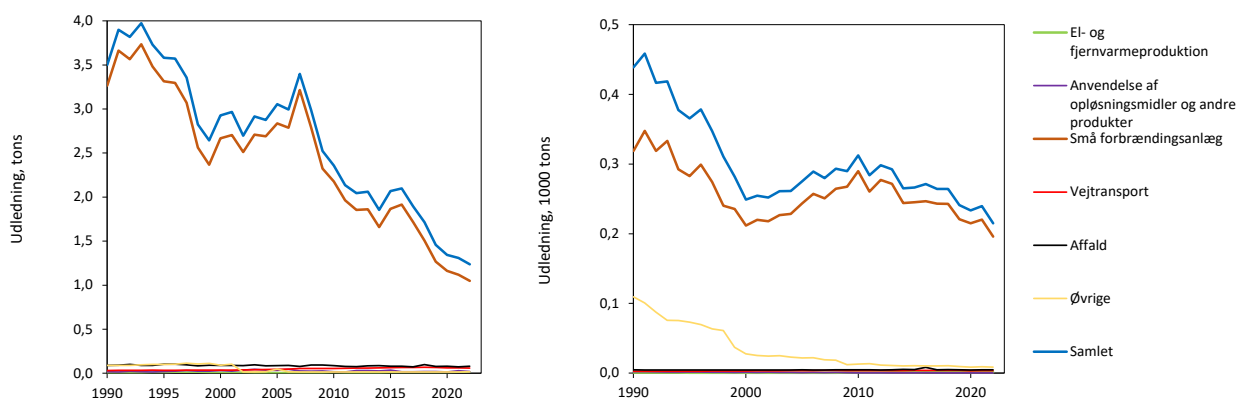
For EU-27 er det også sektoren *Små forbrændingsanlæg*, som står for hovedparten af udledningerne (omkring 91%; Figur 10.1). For EU-27 er de øvrige kilder *Industri* (2,4%) og *Affald* (2,3%), som er de næstvigtigste kilder. Udledningerne fra EU-27 er faldet med omkring 51% siden 1990, hvilket er lidt mindre end i Danmark (Figur 10.2). Igen er det faldet i udledningerne fra sektoren *Små forbrændingsanlæg*, som har haft størst betydning for faldet i de samlede udledninger.



**Figur 10.1.** Kilderne til menneskabte udledninger af benz[a]pyren i Danmark (venstre) og EU-27 (højre) i 2022. Figurene viser de fem vigtigste kilder i Danmark, mens de resterende kilder er vist samlet under "Øvrige" (Nielsen et al., 2024, CEIP, 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne.

**Tabel 10.1.** Kilderne til de menneskabte udledninger af benz[a]pyren i Danmark i 2022 (Nielsen et al., 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne.

Sektor	GNFR-kode	Udledninger 2022	
		Tons	%
<b>EI- og fjernvarmeproduktion</b>	<b>A</b>	<b>0,012</b>	<b>1</b>
<b>Industri</b>	<b>B</b>	<b>0,002</b>	<b>0</b>
<b>Små forbrændingsanlæg</b>	<b>C</b>	<b>1,049</b>	<b>85</b>
<b>Flygtige emissioner fra brændsler</b>	<b>D</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter</b>	<b>E</b>	<b>0,021</b>	<b>2</b>
<b>Vejtransport</b>	<b>F</b>	<b>0,059</b>	<b>5</b>
- Vejtransport, udstødning	F1-F5	0,055	4
- Vejtransport, dæk-, bremse- og vejslid	F6-F7	0,004	0
<b>Søfart</b>	<b>G</b>	<b>0,001</b>	<b>0</b>
<b>Luffart (LTO)</b>	<b>H</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Andre mobile kilder</b>	<b>I</b>	<b>0,006</b>	<b>1</b>
<b>Affald</b>	<b>J</b>	<b>0,081</b>	<b>7</b>
<b>Landbrug</b>	<b>K+L</b>	<b>0,008</b>	<b>1</b>
<b>Samlet</b>	<b>A - L</b>	<b>1,238</b>	<b>100</b>



**Figur 10.2.** Udviklingen i udledningerne af benz[a]pyren i Danmark (venstre) og EU-27 (højre) siden 1990 (Nielsen et al., 2024; CEIP, 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne. Denne ændring er ført tilbage til 1990.

## 10.2 Status for luftkvalitet

Årsmiddelværdierne for benz[a]pyren viser, at EU's målværdi bliver overholdt ved de to målestationer (Tabel 10.2), og endda med god margin. I 2023 var koncentrationerne af benz[a]pyren mere end dobbelt så høj (137% højere) ved målestationen i Hvidovre sammenlignet med gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard (Figur 10.3). Den højere koncentration ved målestationen i Hvidovre sammenlignet med målestationen ved H.C. Andersens Boulevard skyldes hovedsageligt, at målestationen i Hvidovre er placeret i et boligområde med en del anvendelse af brændefyring. Ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard kommer hovedparten af benz[a]pyren ligeledes fra brændefyring, men der er mindre anvendelse af brændefyring tæt ved gademålestationen sammenlignet med omkring målestationen i Hvidovre. Ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard er der endvidere også et mindre bidrag fra den intense trafik på H.C. Andersens Boulevard.

For hovedparten af de øvrige polycykliske aromatiske hydrocarboner ses også, at niveauet er omkring en halv gang højere ved målestationen i Hvidovre sammenlignet med gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard.

**Tabel 10.2.** Årsmiddelværdi for benz[a]pyren og fem udvalgte polycykliske aromatiske kulbrinter i 2023. Endvidere angives målværdi for årsmiddelværdien af benz[a]pyren (EU, 2004). Af analysetekniske årsager var det tidligere ikke muligt at separere benz[b]fluoranthren og benz[k]fluoranthren, men fra og med 2022 er analysemetoden forbedret, så det nu er muligt at separere de tre isomerer. EU kræver en dækningsgrad på mindst 85% af kalenderåret. På basis heraf vurderes datadækningen at være tilstrækkelig på begge målestationer.

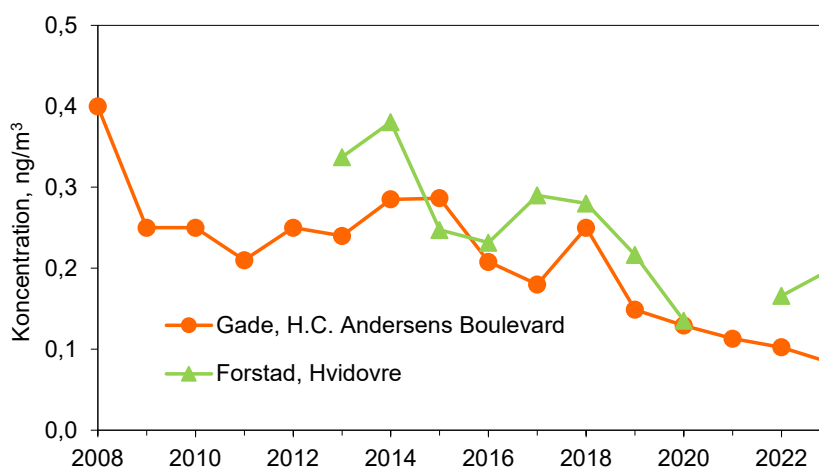
	Data-dækning	Benz[a]-pyren	Benz[a]-anthracen	Benz[b]-fluoranthren	Benz[j]-fluoranthren	Benz[k]-fluoranthren	Indeno [1,2,3-cd]-pyren	Dibenz [a,h]-anthracen
	%	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Målværdi		1						
<b>Gade</b>								
København, H.C. Andersens Boulevard	92	0,08	0,07	0,13	0,08	0,06	0,12	0,01
<b>Forstad</b>								
Hvidovre	94	0,20	0,17	0,28	0,17	0,15	0,32	0,04

### 10.3 Udviklingstendens

Figur 10.3 viser udviklingstendens for årsmiddelværdien af benz[a]pyren siden opstart af målingerne på H.C. Andersens Boulevard i 2007 og Hvidovre i 2013. For begge målestationer ses et fald. På H.C. Andersens Boulevard er årsmiddelmålingen faldet med omkring 70% og ved forstadsmalestationen i Hvidovre ses et fald på omkring 40% siden 2013. Faldet i benz[a]pyren på de to målestationer er i god overensstemmelse med faldet i de danske udledninger af benz[a]pyren, hvor der navnlig i de seneste år er sket et relativt stort fald i udledningerne.

Målestationen i Hvidovre blev flyttet omkring 600 m i 2021, og da udledninger fra brændefyring kan variere betydeligt på lokalskala, så skal det tages med i betragtning, at flytningen i 2021 kan have givet ændringer i niveauet fra 2020 til 2022. Dette kan være årsagen til, at der ved målestationen i Hvidovre ses en stigning fra 2020 til 2022, mens der ved gademaestationen på H.C. Andersens Boulevard ses et fald. Målingerne på den nye lokalitet på andet år kunne tyde på, at flytningen tilsyneladende har givet anledning til en mindre stigning i den målte årsmiddelmålingen.

Ved begge målestationer ses også en del variationer fra år til år. Variation mellem årene skyldes hovedsageligt de naturlige variationer i de meteorologiske forhold, som påvirker selve udledningen, idet varme vintre fører til mindre udledninger og koldere vintre fører til øgede udledninger. De meteorologiske forhold påvirker også selve spredningen af forureningen i luften.



**Figur 10.3.** Udviklingstendens for årsmiddelværdierne for benz[a]pyren ved gademaestationen på H.C. Andersens Boulevard og forstadsmalestationen i Hvidovre. Bemærk at målestationen i Hvidovre blev flyttet omkring 600 m i 2021, og at dette kan give anledning til ændring i niveauet fra 2020 til 2022. Data for 2021 for målestationen i Hvidovre er udeladt grundet flytningen.

# 11. Den kemiske sammensætning af fine partikler

Partikelforureningen udgør den største andel af helbredseffekterne og derfor er det vigtigt at have kendskab til kilderne til partikelforureningen. Den kemiske sammensætning af partikelforureningen kan bidrage med nyttig viden om kilderne, hvilket er baggrunden for, at der i EU's luftkvalitetsdirektiv (EU, 2008) stilles krav om måling af den kemiske sammensætning af de fine partikler (PM<sub>2,5</sub>) ved én baggrundsmålestation. EU's luftkvalitetsdirektiv angiver, at der skal analyseres for de vigtigste uorganiske ioner i de fine partikler (natrium, Na<sup>+</sup>; klorid, Cl<sup>-</sup>; magnesium, Mg<sup>2+</sup>; ammonium, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; nitrat, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; sulfat, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>; kalium, K<sup>+</sup>; calcium, Ca<sup>2+</sup>) elementært kulstof (EC) og organisk stof (OM).

I Kapitel 6 til 10 præsenteredes resultater for den samlede partikelmasse og resultater for udvalgte dele af den kemiske sammensætning af partikelforureningen. I dette kapitel sammenstiller vi denne viden med resultaterne fra måling af de vigtigste uorganiske ioner i de fine partikler. Disse udgør en vigtig del af den langtransporterede del af de fine partikler.

Som baggrund for præsentationen af resultaterne gives indledningsvis en kort introduktion til de luftbårne uorganiske ioner og kilderne til disse.

## 11.1 Kilderne til de uorganiske ioner

De uorganiske ioner i de luftbårne partikler stammer både fra menneskeskabte og naturlige kilder. Endvidere bliver nogle af dem udledt direkte på partikelform, mens andre dannes via de kemiske reaktioner i luften ud fra gasser udledt til luften. De direkte udledte betegnes primære partikler, mens dem der dannes i luften kaldes sekundære partikler. Følgende ioner indgår i måleprogrammet:

### Primære

*Natrium, klorid og magnesium:* Hovedkilden til disse er havsprøjt. Saltning af veje om vinteren bidrager også med en mindre andel i navnlige byer. Havsprøjt bidrager også til en mindre del af den luftbårne sulfat.

*Kalium:* De vigtigste kilder er ophvirvlet støv, og der er også et mindre bidrag fra forbrændingsprocesser.

*Calcium:* Calcium findes i stor mængde i sten, jord m.m., og støv herfra er en af de vigtigste kilder. På gadeniveau stammer en væsentlig del af calcium fra slitage af asfalt.

### Sekundære

*Sulfat:* Svovldioxid omdannes via en række kemiske processer til luftbåren partikulært sulfat. De vigtigste udledninger er dermed forbrændingsprocesser, som er hovedkilderne til udledningerne af svovldioxid.

*Nitrat:* Kvælstofoxider omdannes ligeledes via de kemiske reaktioner i luften til luftbåren partikulært nitrat. De største kilder er forbrændingsprocesserne.

*Ammonium*: Ammonium dannes i luften, når ammoniak reagerer med sulfat og nitrat. Hermed dannes ammoniumsulfat og ammoniumnitrat, som findes på partikelform. Ammoniak og dermed også ammonium stammer for langt hovedparten fra landbrug, mens kun en mindre del er fra transportsektoren.

Sulfat, nitrat og ammonium betegnes samlet de "sekundære uorganiske ioner". Disse er kædet sammen via de kemiske reaktioner i luften, og der er stor korrelation mellem koncentrationerne af de tre ioner. Det tager typisk timer at få omdannet de udledte gasser til ammoniumsulfat og ammoniumnitrat, så derfor kommer disse luftforureningskomponenter ikke fra de lokale kilder. Tværtimod, så er opholdstiden i atmosfæren relativt lang for disse partikulære luftforureningskomponenter (dage til adskillige uger), og de kan derfor transporteres mange hundrede kilometer via luften.

De uorganiske ioner i de fine partikler bliver overvåget med målinger foretaget på landbaggrundsmålestationen ved Risø. Frem til og med 2016 blev der også foretaget tilsvarende målinger ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard. Der var kun lille forskel mellem koncentrationerne målt på de to målestationer (Ellermann et al., 2017). Årsagen til dette er, at disse partikelkomponenter hovedsageligt er langtransporteret, hvilket er grunden til, at den geografiske variation mellem for eksempel by og land er lille. Det er derfor fagligt forsvarligt at benytte resultaterne fra Risø til at estimere koncentrationerne på gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard og bybaggrundsmålestationen i København (H.C. Ørsted Institutet). Estimerne baseres på resultaterne fra perioden, hvor der var målinger på både Risø og H.C. Andersens Boulevard.

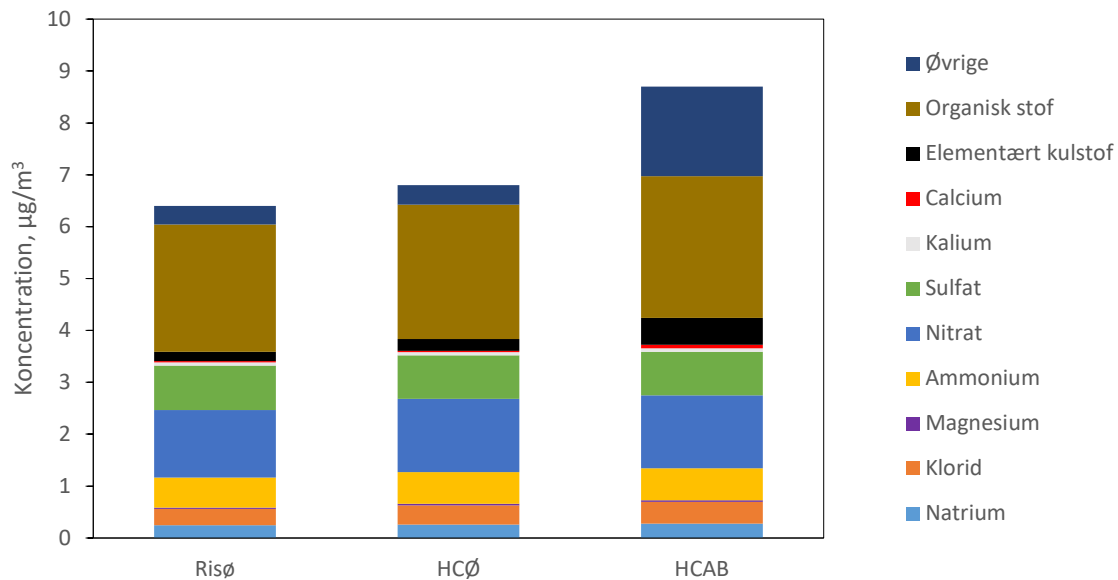
## 11.2 Status for 2023

Figur 11.1 og Tabel 11.1 viser den gennemsnitlige sammensætning af de kemiske komponenter i de fine partikler ved landbaggrundsmålestationen ved Risø, bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Institutet og gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard. Årsmiddelværdierne for de uorganiske ioner er stort set ens på de tre målestationer og udgør omkring 53% af indholdet i de fine partikler på landbaggrundsmålestationen, 53% på bybaggrundsmålestationen og 43% på gademålestationen. De ensartede koncentrationsniveauer skyldes som nævnt tidligere, at de uorganiske ioner for langt størstedelen er langtransporteret via atmosfæren.

Elementært kulstof udgør kun en meget lille andel af de fine partikler i land- og bybaggrund (3%), mens det udgør 6% på gademålestationen, hvilket hænger sammen med de store bidrag fra vejtrafik. Organisk partikulært stof er på stort set samme niveau på de tre målestationer med kun en lille forøgelse på gademålestationen set i forhold til landbaggrundsmålestationen. Relativt set udgør organisk stof mellem 31% og 38% af den samlede mængde fine partikler (se Kapitel 8 for yderligere informationer om elementært kulstof og organisk stof).

Den resterende andel betegnet 'øvrige' dækker de komponenter for hvilke, der ikke foretages analyser i de fine partikler (nogle af dem måles i PM<sub>10</sub>, men der foreligger ikke tilstrækkelig viden til at ekstrapolere til indholdet i fine partikler). Det forventes, at de øvrige partikelkomponenter består af vand associeret med uorganiske ioner, metaller og tungmetaller, karbonat, uopløselige mineraler og jordstøv (for eksempel sand) og en meget lille andel polycykliske aromatiske kulbrinter.





**Figur 11.1.** Årsmiddelkoncentrationer for de kemiske komponenter i de fine partikler (PM<sub>2.5</sub>) ved landbaggrundsmålestationen ved Risø, bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Institutttet og gademålestationen ved H.C. Andersens Boulevard i 2023. For bybaggrundsmålestationen og gademålestationen er data for en stor del baseret på estimater. De estimerede koncentrationer fremgår af Tabel 11.1. Sektoren *Øvrige* omfatter de kemiske komponenter, som der ikke bliver lavet analyser for.

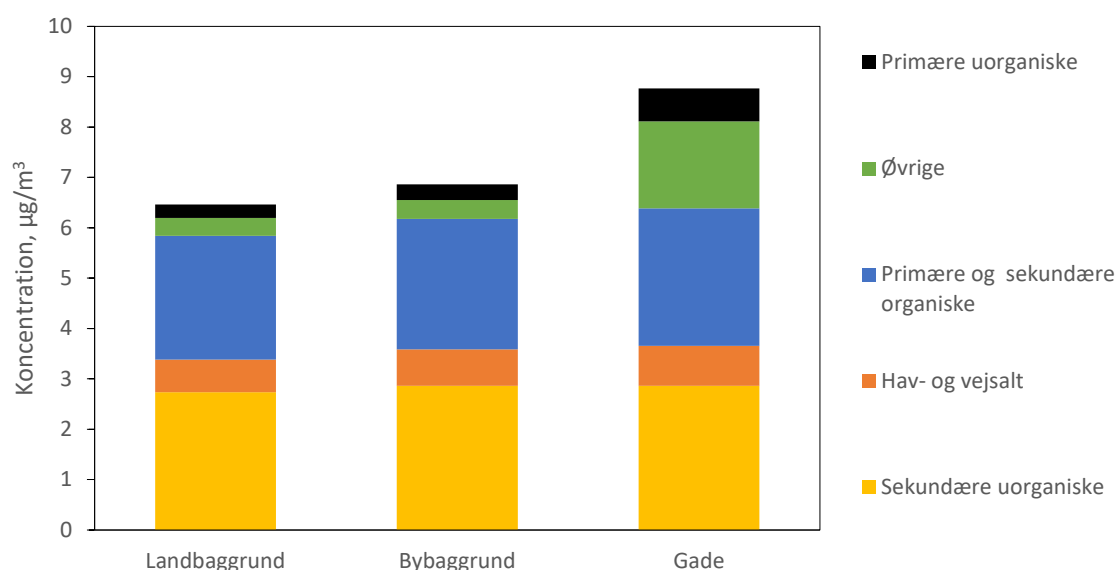
**Tabel 11.1.** Årsmiddelkoncentrationer for de kemiske komponenter i de fine partikler (PM<sub>2.5</sub>) ved landbaggrundsmålestationen ved Risø, bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Institutttet og gademålestationen ved H.C. Andersens Boulevard i 2023. Til sammenligning vises den samlede mængde fine partikler (PM<sub>2.5</sub>). For bybaggrundsmålestationen og gademålestationen er data for en stor del baseret på estimater. De estimerede koncentrationer er vist med rødt i tabellen. *Øvrige* omfatter de kemiske komponenter, som der ikke analyseres for. Dækningsgraden er for alle målte koncentrationer præsenteret i denne og resten af tabellerne i afsnit 11 er over 85%, og der er derfor tilstrækkelig god dækningsgrad, idet EU's krav er mindst 85%.

	<b>Landbaggrund</b>	<b>Bybaggrund</b>	<b>Gade</b>
	<b>Risø</b>	<b>HCØ</b>	<b>HCAB</b>
	<b>µg/m³</b>	<b>µg/m³</b>	<b>µg/m³</b>
PM <sub>2.5</sub>	7,4	8,0	9,9
Natrium	0,24	0,25	0,27
Klorid	0,31	0,37	0,42
Magnesium	0,03	0,03	0,03
Ammonium	0,70	0,74	0,74
Nitrit	1,6	1,8	1,8
Sulfat	0,94	0,93	0,93
Kalium	0,06	0,06	0,06
Calcium	0,03	0,03	0,08
Elementært kulstof	0,18	0,23	0,52
Organisk stof	2,5	2,6	2,7
Øvrige	0,81	1,0	2,3

For at få et bedre overblik over kilderne til de kemiske komponenter, så er der lavet en inddeling i følgende grupper:

- Hav- og vejsalt - naturlige bidrag fra havsalt samt bidrag af luftbåren salt som følge af saltning af veje om vinteren.
- Primære uorganiske - direkte udledte partikelkomponenter bestående af elementært kulstof, kalium, og calcium.
- Sekundære uorganiske - uorganiske partikelkomponenter (sulfat, nitrat og ammonium) dannet kemisk i atmosfæren ud fra udledninger af ammoniak, svovldioxid og nitrogenoxider.
- Primære og sekundære organiske - organisk stof, hvor det ikke med de nuværende analysemetoder er muligt at opdele mellem primære og sekundært dannede partikelkomponenter.
- Øvrige - de dele af  $PM_{2.5}$ , der ikke laves målinger for i de fine partikler, herunder vand associeret med de uorganiske ioner, metaller og tungmetaller, karbonat, uopløselige mineraler og jordstøv (for eksempel sand) og en meget lille andel polycykliske aromatiske kulbrinter.

Figur 11.2 og Tabel 11.2 viser de kemiske komponenter opdelt i forhold til ovenstående grupper. De sekundære uorganiske partikelkomponenter udgør den største andel (33-43%; størst andel i landbaggrund og lavest i gade), og der er lille forskel mellem de tre målestationer, hvilket skyldes, at langtransporterede komponenter udgør de væsentligste bidrag. Hav- og vejsalt (9-11%) og de primære og sekundære organiske partikelkomponenter (31-43%) viser også en jævn fordeling mellem målestationerne, hvilket er tegn på en høj grad af langtransport og lille indflydelse fra de lokale kilder. De primære uorganiske partikelkomponenter udgør til gengæld en væsentlig større andel på gademålestationen (8%) end i landbaggrund og bybaggrund (begge omkring 4%). Elementært kulstof, som for en stor dels vedkommende stammer fra vejtrafik, udgør hovedparten af de primære uorganiske partikelkomponenter, hvilket er årsagen til den markant højere værdi på H.C. Andersens Boulevard.

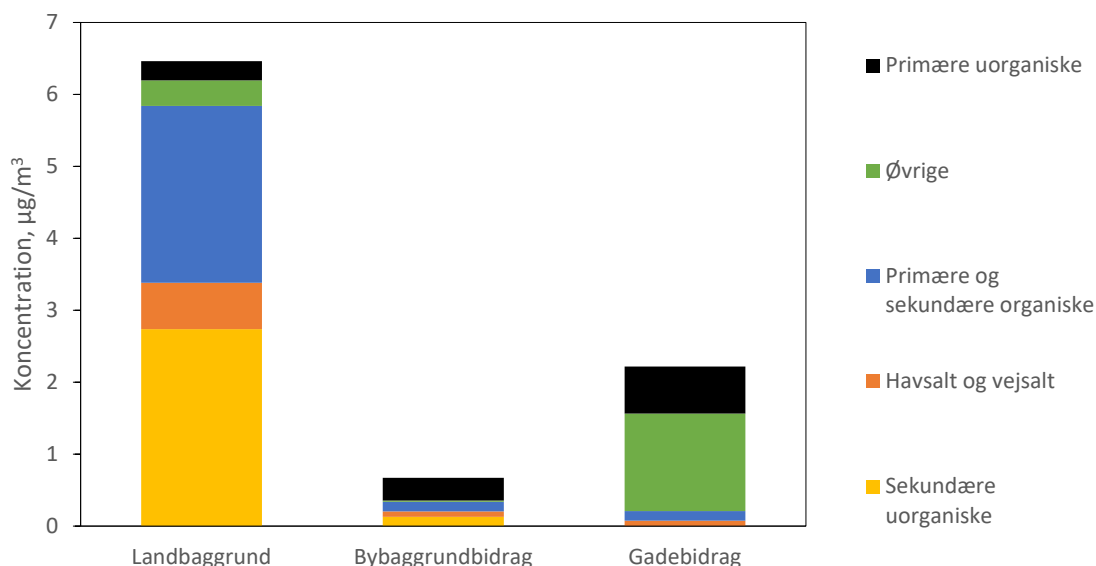


**Figur 11.2.** Årsmiddelkoncentrationer for de kemiske komponenter opdelt i grupper ved landbaggrundsmålestationen ved Risø, bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Institutet og gademålestationen ved H.C. Andersens Boulevard i 2023. For bybaggrundsmålestationen og gademålestationen er data for en stor del baseret på estimater. De estimerede koncentrationer fremgår af Tabel 11.2.

**Tabel 11.2.** Årsmiddelkoncentrationer for de kemiske komponenter opdelt i grupper ved landbaggrundsmålestationen ved Risø, bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Institutet og gademålestationen ved H.C. Andersens Boulevard i 2023. Til sammenligning vises også den samlede mængde fine partikler (PM<sub>2,5</sub>). For bybaggrundsmålestationen og gademålestationen er data for en stor del baseret på estimater (se Tabel 11.1).

	<b>Landbaggrund</b>	<b>Bybaggrund</b>	<b>Gade</b>
	<b>Risø</b>	<b>HCØ</b>	<b>HCAB</b>
	<b>µg/m<sup>3</sup></b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>
PM <sub>2,5</sub>	6,4	6,8	8,7
Hav- og vejsalt	0,65	0,72	0,80
Primære uorganiske	0,27	0,31	0,65
Sekundære uorganiske	2,7	2,9	2,9
Primære og sekundære organiske	2,5	2,6	2,7
Øvrige	0,4	0,4	1,7

Figur 11.3 præsenterer resultaterne for bidragene fra landbaggrund, bybaggrund og gade til den samlede mængde af fine partikler ved H.C. Andersens Boulevard. Landbaggrund udgør langt den største andel og for gademålestationen ved H.C. Andersens Boulevard er omkring 74% fra landbaggrund, mens bybaggrund og gadebidrag står for henholdsvis omkring 5% og 22%. De sekundære uorganiske partikelkomponenter, hav- og vejsalt, primære og sekundære organiske partikelkomponenter kommer overvejende fra landbaggrund. Den største del af gruppen af øvrige partikelkomponenter ses ved landbaggrund, hvilket kunne hænge sammen med, at indholdet af vand i partiklerne primært er associeret med gruppen af hydrofile uorganiske ioner. De primære uorganiske partikelkomponenter (navnlig elementært kulstof) bidrager mest til gadebidraget, hvilket igen stemmer med det store bidrag fra vejtrafik. De primære uorganiske partikelkomponenter udgør således omkring 18% af gadebidraget til partikelforureningen ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard.



**Figur 11.3.** Årsmiddelkoncentrationer i 2023 for de kemiske komponenter i de fine partikler ved H.C. Andersens Boulevard opdelt i forhold til om de kommer fra landbaggrund, bybaggrundsbidraget eller gadebidraget. Bybaggrundsbidrag er beregnet ud fra forskel mellem resultaterne for bybaggrundsmålestationen (H.C. Ørsted Institutet) og landbaggrundsmålestationen (Risø) og gadebidrag er beregnet ud fra forskel mellem gademålestationen (H.C. Andersens Boulevard) og bybaggrundsmålestationen. Der indgår en række estimater som baggrund for de viste tal (se Tabel 11.1).

Luftkoncentrationerne af fine partikler lå i 2023 omkring 15% lavere end i 2022, hvilket dels hænger sammen med den høje nedbør i 2022 og dels kan være forårsaget af den store usikkerhed på resultaterne for de fine partikler i 2023 (kapitel 7). Der er en del variation i ændringerne fra 2022 og 2023 mellem de kemiske komponenter og for de tre forskellige målestationer. Mængden af hav- og vejsalt, primære uorganiske og primære og sekundære organiske komponenter er stort set uændret fra 2022 til 2023, mens der er sket et relativt stort fald i de sekundære uorganiske ioner. Endelig er der også sket et stort fald i de øvrige komponenter. Det er endnu ikke klarlagt, hvad der er årsag til det store fald i de øvrige komponenter.

## 12. Helbredseffekter og samfundsmæssige omkostninger relateret til luftforurening

Ifølge WHO er luftforurening anset for at være verdens største enkeltstående miljørelaterede sundhedsrisiko. Omkring 4,2 millioner mennesker døde for tidligt i 2016 som følge af eksponering for udendørs luftforurening (WHO, 2021b). Anden forskning tyder dog på, at antallet af for tidlige dødsfald, som følge af udendørs luftforurening snarere er knapt 9 millioner mennesker for 2015 globalt set (Burnett et al., 2018; Lelieveld et al., 2019). Denne omfattende effekt af luftforurening på den menneskelige sundhed er årsagen til, at modelberegninger af helbredseffekter af luftforurening og tilhørende omkostninger i Danmark er en del af Delprogram for luft under NOVANA.

Der er foretaget en række modelberegninger til dette års afrapportering af NOVANA med henblik på at kvantificere bidraget fra de forskellige udledningssektorer til luftforureningen i Danmark for 2023. Beregningerne er gennemført for 2023 på basis af meteorologiske data for 2023, udledningsdata for 2022 for Danmark og udledningsdata for 2021 for Europa, hvilket svarer til de senest opdaterede datasæt på det tidspunkt, hvor beregningerne er gennemført. Modelberegninger er gennemført med modelsystemet EVA<sub>v</sub>7.3, som er en integreret del af multi-skala modelsystemet DEHM/UBM til beregning af luftforurening og konsekvenser heraf. EVA<sub>v</sub>7.3 giver mulighed for at kvantificere bidraget fra internationale, regionale, nationale og lokale kilder til luftforurening, og dermed også til effekterne af luftforurening på menneskelig sundhed fra de forskellige kilder. For flere detaljer om EVA<sub>v</sub>7.3 systemet, se kapitel 1.5.

Beregningerne er udført ved, at der først er gennemført modelberegninger for alle kilder, og dernæst modelberegninger, hvor udledningerne fra hver enkelt udledningssektor er reduceret, en ad gangen, med 30% for Danmark eller Europa. Bidraget fra den enkelte udledningssektor er så beregnet ud fra forskellen mellem luftkoncentrationerne, når alle kilder er inkluderet, og luftkoncentrationerne, når den pågældende sektors og det pågældende områdes (Danmark eller Europa) kilder er reduceret med 30% i beregningerne og derefter skaleret op til 100% (se næste afsnit). For *Søfart* og *Naturlige kilder* er reduktionen foretaget for hele modelområdet, som omfatter den nordlige halvkugle.

Den specifikke procentsats, der vælges til reduktion af emissionerne, er et kompromis imellem, om man ønsker at studere en marginal ændring, eller om man ønsker at vide, hvor meget den enkelte emissionssektor reelt bidrager til helbredseffekterne og de relaterede samfundsmæssige omkostninger. For at beregne det totale bidrag fra en emissionssektor, som repræsenterer det scenario, at den enkelte emissionssektor ikke er til stede, kan en 100% reduktion vælges. Da sammenhængen mellem emissionsreduktioner og luftkoncentrationer imidlertid ikke er lineær (pga. ikke-lineær atmosfærisk kemi) vil størrelsen af procentsatsen have indflydelse på resultatet. En 100% reduktion vil i nogle tilfælde give anledning til store ændringer, som ikke er skalérbare til marginale emissionsreduktioner. De 30% er valgt ud fra en betragtning om, at når vi analyserer danske udledningssektors bidrag til helbredseffekter og omkostninger i Danmark, så er en 30% reduktion et marginalt bidrag, da det kun påvirker den generelle kemiske sammensætning i atmosfæren i mindre grad, mens en 30% reduktion også er et tilstrækkeligt

stort bidrag til, at signalet i modellerne er tydeligt, selv for de mindre emissionssektorer. Følsomhedsstudier viser, at der kan være op til 20% forskel i bidraget fra en sektor, afhængig af om de danske emissionssektorer bliver reduceret med 30% eller 100%.

Den samme procentsats (30%) er anvendt for de udenlandske kilder. Når en hel europæisk udledningssektor reduceres med 30%, har det noget større betydning for den samlede atmosfærekemi, som helt grundlæggende er ikke-lineær, og dette har i nogen udstrækning betydning for resultaterne, der viser, hvor stort det totale bidrag er fra de udenlandske emissionssektorer til Danmark. Hvis udledningsreduktionen er relativt stor, vil ligevægten i baggrundskemien forandre sig sådan, at en reduktion af udledningerne i modellerne vil påvirke kemien, og dette vil i sig selv være medbestemmende for, hvor stort bidraget fra den pågældende sektor vil blive (en slags feedback, som både kan være positiv og negativ). Dette gælder specielt for de udenlandske kilder, hvor en hel sektor i Europa er reduceret, en ad gangen. Den ikke-lineære atmosfærekemi er velbeskrevet i modellerne, så der er ikke tale om en usikkerhed i beskrivelsen af processerne til grund for beregningerne, men i stedet at resultaterne afhænger af, hvilke slags scenarier for reduktion af emissioner, man vælger. Et eksempel på ikke-lineariteten er, at hvis man ændrer kvælstofoxidemissionerne over et større område signifikant, så vil det påvirke dannelsen af ozon, som igen påvirker dannelsen af frie OH-radikaler i atmosfæren. Denne påvirker reaktionshastighederne for stort set alle stoffer, som fx dannelsen af sekundære uorganiske partikler.

I det følgende er modelsystemet DEHM/UBM benyttet til at beregne bidragene til luftkoncentrationerne for forskellige stoffer fra danske og europæiske kilder opdelt på forskellige emissionssektorer i henhold til den opdeling, der anvendes internationalt og i de danske udledningsopgørelser; Gridded Nomenclature For Reporting (GNFR). Desuden er bidragene fra *Søfart* og *Naturlige kilder* fra hele den nordlige halvkugle beregnet. Med udgangspunkt i beregningerne af kildeopsplitning på luftkoncentrationer, er der udført beregninger med EVA<sub>v</sub>7.3 modelsystemet, som muliggør adskillelse af helbredseffekterne og relaterede samfundsmæssige omkostninger fra danske og øvrige europæiske kilder, samt *Søfart* og *Naturlige kilder*. *Søfart* og *Naturlige kilder* fylder relativt meget i forhold til de øvrige udledninger. Eksempelvis bidrager *Naturlige kilder* i Europa relativt mere til ozonkoncentrationen i Danmark, i forhold til menneskeskabte kilder i Europa, hvilket primært skyldes udledninger af flygtige organiske forbindelser (VOC'er) fra vegetation (f.eks. skove).

Afsnit 12.1 og 12.2 giver et overblik over status og trends med hensyn til helbredseffekter og relaterede omkostninger. I afsnit 12.3 er den detaljerede kildeopgørelse til helbredseffekter vist og afsnit 12.4 omhandler de relaterede samfundsmæssige omkostninger. Usikkerheder er diskuteret i afsnit 12.5.

Helbredseffekter som følge af luftforurening, er primært associeret med eksponering for fine partikler (PM<sub>2,5</sub>), kvælstofdioxid (NO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>) og svovldioxid (SO<sub>2</sub>). Af disse komponenter, er det PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> og O<sub>3</sub>, som oftest analyseres i studier af luftforureningens omkostninger, da effekten af disse tre komponenter er dominerende, sammenlignet med effekten af svovldioxid og andre komponenter. Atmosfæriske partikler betragtes som ansvarlige for dødelighed og sygelighed relateret til luftforurening, primært via hjertekarsygdomme og luftvejslidelser. Indtil 2020, var et review publiceret af Hoek et al. (2013) den mest omfattende analyse af de effekter på hjerte, kar og luftveje, der er fundet i studier af langtidseksponering, og Hoek et al.

konkluderede, at den relative risiko for at dø for tidligt som følge af langtidseksponering for partikler er 6,2% per 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  stigning i  $\text{PM}_{2,5}$ . Denne relative risiko (som WHO også tidligere har anbefalet at anvende i relation til estimering af helbredseffekter fra luftforurening (WHO, 2013)) er anvendt i EVA5.2-systemet i tidligere rapporter.

I efteråret 2020 fremkom et nyt systematisk review/meta-analyse af Chen and Hoek (2020) bestilt af WHO, hvor det på baggrund af en række større internationale studier konkluderes, at det bedste estimat for den relative risiko for at dø for tidligt, er 8% per 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  stigning i  $\text{PM}_{2,5}$  – en stigning i forhold til den tidligere værdi. I september 2021 publicerede WHO en samlet gennemgang af dette og andre meta-reviews vedrørende  $\text{PM}_{2,5}$ , og herunder drøftes et estimat for en nedre tærskelværdi, hvorunder der ikke er sikker evidens. Det nyeste meta-review citeret i WHO-rapporten af Burnett et al. (2018) viser evidens for helbredseffekter ned til en tærskel på 2,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ved brug af ikke-lineære koncentrations-responsfunktioner, mens andre studier, heriblandt danske og nordeuropæiske studier, ikke har påvist en nedre tærskelværdi. Eksponeringen er med udgangspunkt i forsigtighedsprincippet derfor opgjort uden en nedre tærskelværdi for  $\text{PM}_{2,5}$  (se afsnit 12.5 nedenfor).

Modeller, der beskriver luftforurening, har en tendens til at underestimere koncentrationen af  $\text{PM}_{2,5}$ , når man sammenligner modellernes resultater med målinger. I international litteratur benævnes dette som "the mass closure problem" eller "missing mass problem". I takt med, at forskningen udvikler sig og modellerne bliver bedre, reduceres dette massegab. I forbindelse med beregningerne af helbredseffekter og omkostninger, er det imidlertid en udfordring, da en stor del af effekterne oppebæres som følge af eksponering for partikler, og hvis modellerne løbende bliver bedre og bedre til at beskrive partiklerne, så vil modelberegningerne i samme takt vise stigende helbredseffekter og omkostninger, også selvom udledninger viser en nedadgående tendens. Derfor er der gennem de seneste år gjort forskellige forsøg på at korrigere for den manglende masse i forbindelse med beregninger af helbredseffekter og omkostninger, hvor en faktor på 1,33 er benyttet til at kalibrere de modellerede  $\text{PM}_{2,5}$ -koncentrationer. Som beskrevet i afsnit 1.4 er dette ikke længere nødvendigt, da en dybere analyse af de enkelte stoffer indeholdt i  $\text{PM}_{2,5}$  viste, at den manglende masse overvejende kunne tilskrives en underestimering af de primært udledte organiske partikler (POA), samt indholdet af vand i partiklerne.

I dette års beregninger er der lavet følgende opdateringer i modelsystemet:

- Modellerede koncentrationer af primært emitterede organiske partikler (POA) er nu justeret med en faktor 2,25 i forhold til målinger i Danmark og Europa (se afsnit 1.4). Betegnelsen  $\text{PPM}_{2,5}$ , som vil fremgå af tabellerne, indeholder den menneskeskabte del af de primært emitterede partikler, og består af mineralsk støv/aske/metaller/mv., elemental carbon (EC) og POA.
- Der er implementeret et modul for optagelse af vand i ammonium-, sulfat- og nitratholdige partikler, samt havsalt (se afsnit 1.4). Vandet indgår under "Øvrig  $\text{PM}_{2,5}$ " i resultaterne. Vand i partiklerne er ikke i sig selv sundhedsskadelig, men da sammenhængen til dødelighed og sygelighed er fundet ud fra den totale masse af  $\text{PM}_{2,5}$  (inkl. vand) i epidemiologiske studier, er det vigtigt at inkludere et estimat for den manglende masse i form af vand for at give et så realistisk estimat for den totale dødelighed og sygelighed som muligt.

- Den totale PM<sub>2,5</sub> (summen af PPM<sub>2,5</sub> og øvrig PM<sub>2,5</sub>) har nu en god overensstemmelse med målte værdier af PM<sub>2,5</sub> uden brug af den tidligere kalibreringsfaktor på 1,33 (se bilag 1).
- Emissioner er nu opdelt i GNFR-sektorer (Gridded Nomenclature For Reporting) mod tidligere SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution).
- Der er benyttet opdaterede beregningspriser for helbredseffekter som nu er opgjort i 2022-priser (Brandt et al., 2023) mod tidligere 2016-priser (Andersen et al., 2019).
- Hele tidsserien 1990-2023 i figurerne 12.1 og 12.2 er genberegnet med ovenstående opdateringer.

## 12.1 Status og trends for helbredseffekter

Tabel 12.1 viser helbredseffekter pga. luftforurening i Danmark, beregnet med modelsystemet EVA7.3. Resultaterne er angivet for de forskellige helbredsudfald (både dødelighed og sygelighed), som er inkluderet i modelsystemet, og viser middelværdier for den treårige periode fra 2021-2023, sådan at variationer fra år til år, som skyldes forskellig meteorologi midles ud. Modelberegningerne inkluderer helbredseffekter af korttidseksposering for PM<sub>2,5</sub>, kvælstofdioxid, ozon og svovldioxid, og langtidseksposeringen for PM<sub>2,5</sub> og kvælstofdioxid. Antallet af tilfælde af for tidlig død som følge af langtidseksposering for luftforurening beregnes ud fra antallet af tabte leveår (Years Of Life Lost – YOLL) på basis af, at et tilfælde af for tidlig død i gennemsnit svarer til 11,4 tabte leveår. Dette tal er beregnet på baggrund af levetidstabeller opdateret med mortalitetsdata fra Danmarks Statistik for 2019.

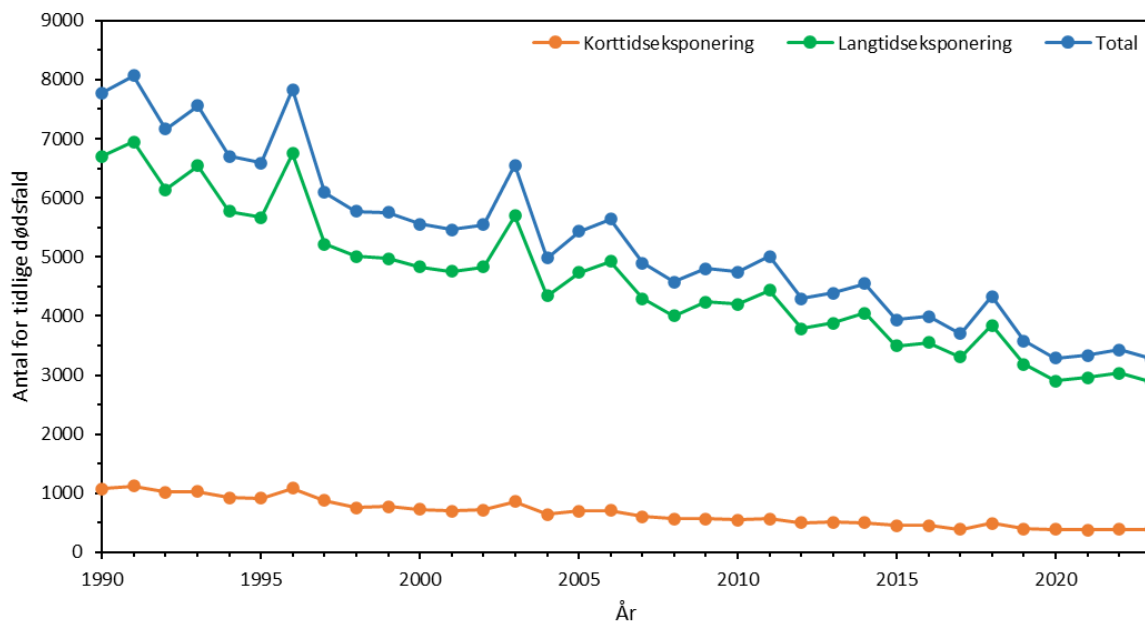
**Tabel 12.1.** Antal tilfælde af helbredseffekter som følge af luftforureningen i Danmark. Beregningerne er udført med EVA7.3 modelsystemet, og tallene angiver gennemsnittet for perioden 2021-2023 for hele Danmark opdelt på luftforureningskomponenterne svovldioxid (SO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), kvælstofdioxid (NO<sub>2</sub>), PPM<sub>2,5</sub> (menneskeskabt primær PM<sub>2,5</sub>), øvrig PM<sub>2,5</sub>, og PM<sub>2,5</sub> (sum af primær og øvrig PM<sub>2,5</sub>).

Helbredseffekt	Antal tilfælde						Total*
	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	PPM <sub>2,5</sub>	Øvrig PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>2,5</sub>	
For tidlig død (korttidseksposering)	11	111	5	92	166	258	386
For tidlig død (langtidseksposering)			5	1.050	1.910	2.960	2.960
For tidlig død (total)	11	111	10	1.140	2.080	3.210	3.350
Hospitalsindlæggelser, åndedrætsbesvær		168	1.050	438	793	1.230	2.450
Hospitalsindlæggelser, hjertekarsygdomme		550		306	554	861	1.410
Hoste børn				99	179	279	279
Kronisk bronkitis voksne				899	1.630	2.530	2.530
Kronisk bronkitis børn				3.150	9.550	12.700	12.700
Tabte arbejdsdage				56.900	104.000	161.000	161.000
Dage med restriktioner i aktivitet				708.000	1.280.000	1.990.000	1.990.000
Dage med mindre restriktioner i aktivitet		493.000					493.000
Lungekræft				143	261	404	404
Spædbarnsdød				0	0	0	0

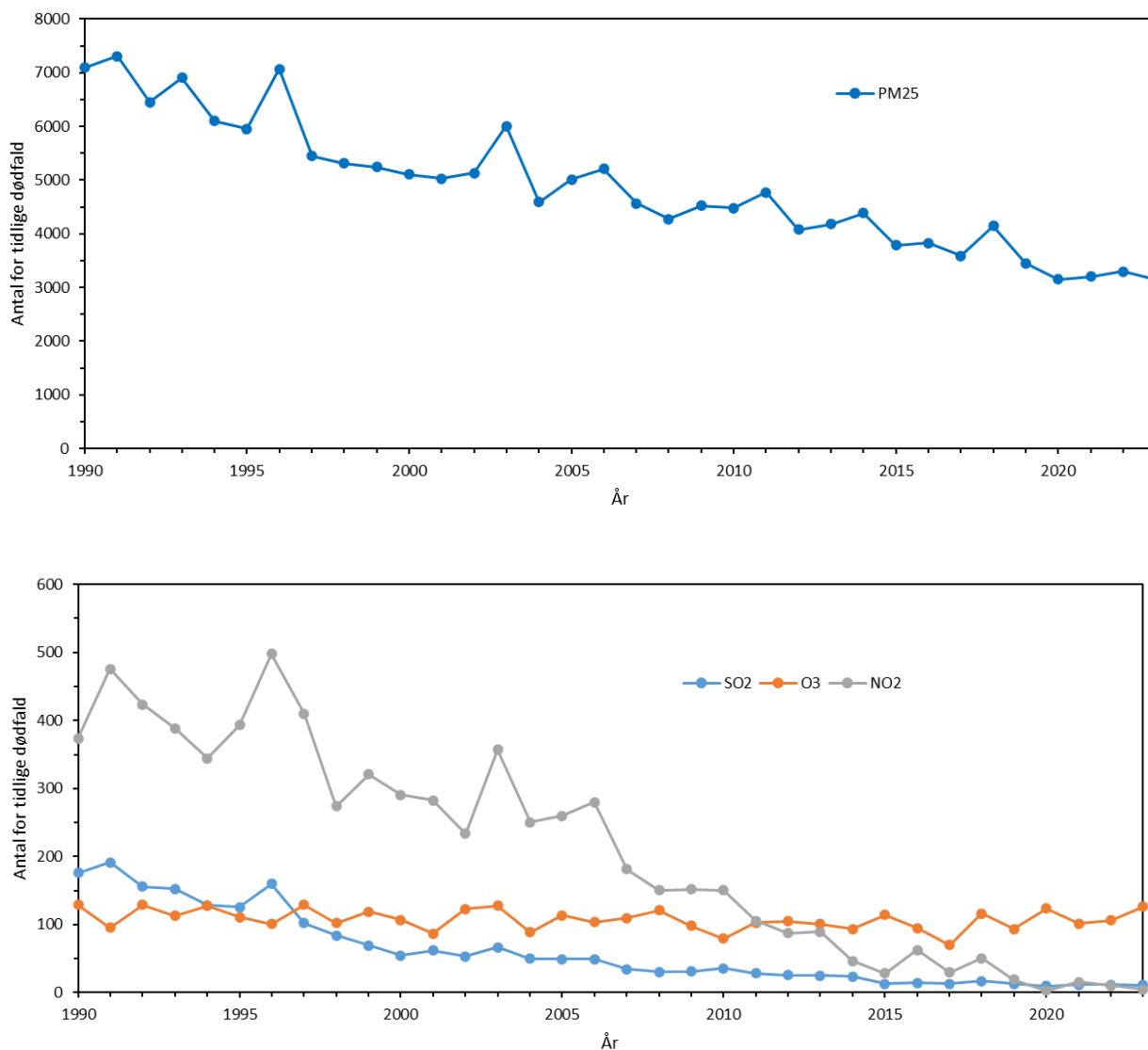
\*Bemærk at totalerne ikke nødvendigvis stemmer præcist med summen af tilfælde forårsaget individuelt af de kemiske komponenter. Dette skyldes afrunding og beregning af middelværdi.



Eksposering for PM<sub>2,5</sub> er ansvarlig for omkring 95,8% af tilfældene af for tidlig død, ozon for omkring 3,3%, svovldioxid for omkring 0,3% og kvælstofdioxid for omkring 0,3% som gennemsnit over de tre år fra 2021-2023. Der er sket en udvikling i forhold til tidligere år, hvor kvælstofdioxid betyder mindre, fordi de nye retningslinjer fra WHO indebærer en tærskelværdi på 10 µg/m<sup>3</sup> på både korttids- og langtidseksponeringen i relation til for tidlige dødsfald. Efterhånden som koncentrationerne af kvælstofdioxid nærmer sig tærskelværdien pga. reduktioner i udslip, vil antallet af for tidlige dødsfald nærme sig nul. Bemærk, at spædbørnsdød nu praktisk talt er nul (< 0,1).



**Figur 12.1.** Det samlede antal tilfælde af for tidlige dødsfald per år i perioden 1990-2023, som følge af den samlede luftforurening af PM<sub>2,5</sub>, ozon (O<sub>3</sub>) kvælstofdioxid (NO<sub>2</sub>) og svovldioxid (SO<sub>2</sub>) i Danmark, samt antal tilfælde fordelt på langtids- og korttidseksponering. Beregningerne er foretaget med EVA7.3.



**Figur 12.2.** Antal tilfælde af for tidlige dødsfald per år i perioden 1990-2023, fordelt på luftforureningskomponenterne PM<sub>2.5</sub> (øverst) og kvælstofdioxid (NO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>) og svovldioxid (SO<sub>2</sub>) (nederst) i Danmark. Beregningerne er foretaget med EVA7.3.

Risikoen for de for tidlige dødsfald ved eksponering for luftforurening er relativt jævnt fordelt over Danmark, dog med en gradient fra de sydlige dele af Danmark til de nordlige dele (højest risiko i sydøst) og en lidt højere risiko i de større byer. Årsagen til dette er, at PM<sub>2.5</sub> er hovedansvarlig for tilfældene af for tidlig død. Den geografiske variation i koncentrationerne af PM<sub>2.5</sub> består til dels af en gradient fra sydøst til nord, fordi størstedelen af PM<sub>2.5</sub> kommer fra langtransport af luftforurening fra det europæiske kontinent syd for Danmark. Derudover er PM<sub>2.5</sub> lidt højere i byerne, og kvælstofdioxidkoncentrationerne er højere i de større byer, hvilket samlet giver en lidt større risiko i for tidlig død i byerne (10-20%).

Udviklingstendensen for de for tidlige dødsfald som følge af både korttids- og langtidseksponering er beregnet for perioden 1990-2023 med EVA7.3 modelsystemet ved at gennemføre beregninger for hvert enkelt år i perioden. I figur 12.1 er denne udviklingstendens præsenteret, og det ses, at det samlede antal tilfælde af for tidlig død er faldet fra omkring 7.800 tilfælde per år i 1990 til omkring 3.280 tilfælde per år i 2023. Dette svarer til en reduktion på omkring 58%. Årsagen til dette fald er reduktionerne i koncentrationerne af luftforureningen (se blandt andet afsnit 2.3 og 7.3). Variationer fra år til år skyldes

reduktioner i emissioner generelt samt naturlige variationer i de meteorologiske forhold. Figur 12.2 viser udviklingstendenserne for antallet af for tidlige dødsfald fordelt på PM<sub>2,5</sub>, kvælstofdioxid, ozon og svovldioxid. Ændringerne i antal tilfælde følger generelt ændringerne i luftkoncentrationerne. Betydningen af for tidlige dødsfald som følge af korttidseksponering er blevet mindre i den opdaterede EVA7.3, da der nu er en tærskelværdi knyttet til korttidseksponering af kvælstofdioxid. Antal for tidlige dødsfald som følge af ozon ses fortsat at være svagt stigende som følge af globalt stigende baggrundskoncentrationer af ozon.

Med modellerne i EVA7.3 systemet er det muligt at estimere, hvor stor en andel af helbredseffekterne relateret til luftforurening, der skyldes udledningerne i Danmark, og hvor stor en andel, der skyldes udlandets udledning. For den udenlandske andel, er det udledningerne i de europæiske lande, som spiller den største rolle, mens der er et mindre interkontinentalt bidrag. Tabel 12.2 viser, at kilder i udlandet for år 2023 er ansvarlige for omkring 2.540 for tidlige dødsfald (svarende til omkring 77%), mens de danske kilder er ansvarlige for omkring 744 for tidlige dødsfald (23%). Bidraget fra danske kilder til for tidlige dødsfald til Danmark er steget fra ca. 18% i 2022 til ca. 23% i 2023. I 2022 var bidraget fra danske kilder for tidlige dødsfald til Danmark ekstraordinært lavt, sandsynligvis pga. de meteorologiske forhold i det år.

De danske udledning bidrager ikke alene til helbredseffekter i Danmark, men også til omkring 1.600 for tidlige dødsfald årligt i de øvrige europæiske lande i 2023. "Import" af helbredseffekter relateret til luftforurening er derfor omkring 37% større end "eksport" fra Danmark til de øvrige lande. Af resultaterne i tabellen ses også, at de danske udledning forårsager omkring 53% færre tilfælde af for tidlige dødsfald i Danmark (omkring 744) i forhold til, hvad de danske udledning forårsager i udlandet (omkring 1.600) grundet grænseoverskridende langtransport af luftforurening ( $100\% \times [1600 - 744] / 1600 = 53\%$ ).

**Tabel 12.2.** Bidrag fra udledning i udlandet og Danmark til antal tilfælde af for tidlige dødsfald i Danmark og Europa. Beregningerne er foretaget med EVA7.3 modelsystemet for år 2023 (tallene er afrundet).

Bidrag	Antal tilfælde af for tidlig død	% af samlet
Samlet luftforurening i Danmark	3.280	100
Udlandets bidrag til Danmark	2.540	77
Danmarks bidrag til Danmark	744	23
Danmarks bidrag til Europa inkl. Danmark	2.340	100
Danmarks bidrag til Europa ekskl. Danmark	1.600	68

## 12.2 Status for luftforureningens samfundsmæssige omkostninger som følge af helbredseffekter

Tabel 12.3 viser de samlede årlige samfundsmæssige omkostninger som følge af helbredseffekter af luftforureningen i Danmark i 2023. De samlede helbredsrelaterede omkostninger relateret til luftforurening i Danmark er estimeret til omkring 60 milliarder kr. i 2023. Den økonomiske værdisætning af forskellige helbredseffekter er her baseret på Brandt et al. (2023) og angivet i 2022-priser. Da den økonomiske værdisætning af de enkelte helbredseffekter er opdateret i forhold til tidligere rapportering, der var angivet i 2026-priser, kan disse ikke direkte sammenlignes med tidligere rapporteringer (Brandt et al., 2023).

Tabel 12.3 viser også fordelingen af de helbredsrelaterede omkostninger på bidraget fra udledninger i udlandet og i Danmark. Bidraget fra udlandet estimeres til 47 milliarder kr. (78% af de samlede helbredsrelaterede omkostninger i Danmark), mens bidraget fra danske udledninger udgør omkring 13 milliarder kr. inden for Danmark (22%). Bidraget fra danske udledninger til luftforureningens helbredsrelaterede omkostninger i Europa eksklusive Danmark er beregnet til omkring 33 milliarder kr., sådan at ca. 72% af omkostningerne relateret til danske landbaserede kilder havner i udlandet. Fordelingen i tabellen ligner meget fordelingen i tabel 12.2, da antallet af for tidlige dødsfald fylder meget i beregningen af de helbredsrelaterede omkostninger.

**Tabel 12.3.** Bidrag fra udledninger fra udlandet til Danmark og bidraget fra udledninger i Danmark til de totale helbredsrelaterede omkostninger fra luftforurening, beregnet med EVA7.3 modelsystemet for år 2023.

Bidrag	Mia. DKK	% af total
Samlet luftforurening i Danmark	60	100
Udlandets bidrag til Danmark	47	78
Danmarks bidrag til Danmark	13	22
Danmarks bidrag til Europa inkl. Danmark	46	100
Danmarks bidrag til Europa ekskl. Danmark	33	72

### 12.3 Kilder til helbredseffekter af luftforureningen i Danmark i 2023

Tabel 12.4 viser helbredseffekterne fordelt på de forskellige luftforureningskomponenter i Danmark. Tabellen svarer til tabel 12.1, men angiver udelukkende data for 2023, hvor tabel 12.1 angiver data for gennemsnittet af 2021-2023. Samlet set giver luftforureningen anledning til omkring 3.280 for tidlige dødsfald i 2023, med PM<sub>2,5</sub> som den største bidragsyder (omkring 3.140 for tidlige dødsfald) og ozon som den næststørste (omkring 126 for tidlige dødsfald). Kvælstofdioxid og svovldioxid bidrager i 2023 kun minimalt, idet antallet af for tidlige dødsfald som følge af eksponering til disse to komponenter er faldet signifikant i perioden 1990-2023 (se figur 12.2).

**Tabel 12.4.** Antal tilfælde af helbredseffekter i 2023 som følge af luftforureningen i Danmark. Beregningerne er udført med EVA7.3 modelsystemet for hele Danmark opdelt på luftforureningskomponenterne svovldioxid (SO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), kvælstofdioxid (NO<sub>2</sub>), PPM<sub>2,5</sub> (menneskeskabt primær PM<sub>2,5</sub>), øvrig PM<sub>2,5</sub>, og PM<sub>2,5</sub> (sum af primær og øvrig PM<sub>2,5</sub>). (Tallene er afrundede).

Helbredseffekt	Antal tilfælde						Total
	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	PPM <sub>2,5</sub>	Øvrig PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>2,5</sub>	
For tidlig død (korttidseksposering)	11	126	3	90	162	252	392
For tidlig død (langtidseksposering)			3	1.030	1.860	2.890	2.890
For tidlig død (total)	11	126	5	1.120	2.020	3.140	3.280
Hospitalsindlæggelser, åndedræts-		191	1.020	430	773	1.200	2.420
Hospitalsindlæggelser, hjerte-		622		300	540	841	1.460
Hoste børn				98	175	272	272
Kronisk bronkitis voksne				882	1.590	2.470	2.470
Kronisk bronkitis børn				3.090	9.620	12.700	12.700
Tabte arbejdsdage				55.800	101.000	157.000	157.000
Dage med restriktioner i aktivitet				694.000	1.250.000	1.940.000	1.940.000
Dage med mindre restriktioner i aktivitet		559.000					559.000
Lungekræft				140	254	395	395
Spædbarnsdød				0	0	0	0

#### Bidrag fra udenlandske og danske kilder til helbredseffekter i Danmark

Tabel 12.5 viser bidraget til helbredseffekter i Danmark fra de forskellige udenlandske og danske kilder for 2023 opdelt på GNFR-sektorer.

Danske kilder bidrager med i alt omkring 744 for tidlige dødsfald, hvoraf *Små forbrændingsanlæg* bidrager med ca. 324 for tidlige dødsfald, *Landbrug* med ca. 197 for tidlige dødsfald og *Vejtransport* med ca. 102 for tidlige dødsfald, heraf ca. 44 fra udstødning og ca. 58 fra ikke-udstødning. For hospitalsindlæggelser pga. åndedrætsbesvær er det udstødning fra vejtransport i Danmark, der er den største bidragsyder, mens for hospitalsindlæggelser for hjertekarsygdomme er det små forbrændingsanlæg fra husholdninger i Danmark, der er den største bidragsyder. Danske kilder giver desuden anledning til over 450.000 sygedage (dage med restriktioner i aktiviteter).

Udenlandske kilder bidrager med i alt ca. 2.540 for tidlige dødsfald, hvoraf *Naturlige kilder* og *Søfart* bidrager med henholdsvis omkring 1.020 og 362 for tidlige dødsfald. Landbrugssektoren i Europa (uden for Danmark) bidrager med omkring 517 for tidlige dødsfald i Danmark og *Vejtransport* bidrager med omkring 267, *El- og fjernvarmeproduktion* med ca. 136, *Små forbrændingsanlæg* med ca. 278, og *Industri* med ca. 269 for tidlige dødsfald i Danmark. *Andre mobile kilder* i udlandet bidrager også væsentligt med omkring 84 for tidlige dødsfald i Danmark.

Summen af helbredseffekter fra alle kilder, både danske og udenlandske er angivet i tabel 12.5, sammen med antallet af helbredseffekter fra den totale luftforurening fra alle kilder samlet. De to tal giver ikke nødvendigvis det samme pga. ikke-lineære atmosfærekemiske processer. En forskel på op til knapt 20% ses afhængigt af helbredseffekt. Især for helbredseffekter relateret til kvælstofdioxid (f.eks. for tidlig død som følge af korttidseksposering) og ozon (f.eks. dage med mindre restriktioner i aktivitet) vil der være stor forskel, også fordi helbredseffekterne først kommer, når koncentrationen er over en vis tærskelværdi.

Tabel 12.6 viser de procentvise bidrag fra de enkelte udledningssektorer i Danmark og udlandet til helbredseffekter i Danmark i 2023.

*Små forbrændingsanlæg* fra husholdninger (primært boligopvarmning med fast brændsel som træ, træpiller og halm, og i mindre grad boligopvarmning med olie og gas) i Danmark bidrager mest til antallet af for tidlige dødsfald (ca. 8,6% ud af det samlede antal fra alle danske og udenlandske kilder), efterfulgt af *Landbrug* med 5,2% og *Vejtransport* med 2,7%. *Vejtransport* er opdelt i udledninger fra udstødning og udledninger, som ikke er relateret til udstødning (dæk-, bremse- og vejslid), hvor det ses, at bidraget fra udstødningsdelen er en smule mindre end ikke-udstødningsdelen. Udstødningsdelen stammer fra udledninger af partikler, men også udledning af kvælstofoxid, som i atmosfæren omdannes til nitrat, som er en del af øvrig  $PM_{2.5}$ . Væsentlige bidragsydere er desuden andre mobile kilder med ca. 0,9% og kraftværker med ca. 0,6%. For dage med mindre restriktioner i aktivitet, bidrager *Vejtransport* med -2% og *El- og fjernvarmeproduktion* med -0,4%. Det bemærkes, at tallene er negative, hvilket vil sige, at disse sektorer bidrager til at mindske antallet af dage med mindre restriktioner i aktivitet. Dette skyldes, at denne effekt udelukkende er koblet til eksponering for ozon, og i dette tilfælde er det sektorer med relativt store udledninger af kvælstofoxider, der har indflydelse. De negative tal skyldes ikke-lineær kemi med betydning for dannelsen af ozon, hvor nogle udledninger bidrager til at mindske koncentrationen af ozon lokalt.

**Tabel 12.5.** Danske og udenlandske kilders bidrag til helbredseffekter i Danmark i 2023 fordelt på udledningssektorer. Summen af alle kilder er givet sammen med helbredseffekterne fra den totale luftforurening. Differencen i % skyldes ikke-lineære atmosfærekemiske processer. Bemærk at totalerne ikke nødvendigvis stemmer præcist med summen af de kemiske komponenter, hvilket skyldes afrunding af de præsenterede tal. LTO står for "Landing and Take Off" og vi medregner derfor ikke udslip fra cruising i luftfart, da det sker højt oppe i atmosfæren.

GNFR	Emissionssektor	For tidlige dødsfald fra korttidseksponering (PM <sub>2,5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> )	For tidlige dødsfald fra langtidseksponering (PM <sub>2,5</sub> , NO <sub>2</sub> )	Totalt antal for tidlige dødsfald (PM <sub>2,5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> )	Hospitalindlæggelser, åndedrætsbesvær (PM <sub>2,5</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> )	Hospitalindlæggelser, hjertekar-sygdomme (PM <sub>2,5</sub> , O <sub>3</sub> )	Hoste børn (PM <sub>2,5</sub> )	Kronisk bronkitis voksne (PM <sub>2,5</sub> )	Kronisk bronkitis børn (PM <sub>2,5</sub> )	Tabte arbejdsdage (PM <sub>2,5</sub> )	Dage med restriktioner i aktivitet (PM <sub>2,5</sub> )	Dage med mindre restriktioner i aktivitet (O <sub>3</sub> )	Lungekræft (PM <sub>2,5</sub> )
<b>Danske kilder</b>													
A	El- og fjernvarmeproduktion	6	18	24	60	2	1	13	42	809	10.170	-2.440	2
B	Industri	6	36	42	52	11	3	31	102	1.930	24.300	55	4
C	Små forbrændingsanlæg	27	297	324	160	85	28	254	895	16.100	200.000	-1.490	40
D	Flygtige emissioner fra brændsler	1	2	3	1	1	0	1	4	89	1.110	877	0
E	Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter	3	22	25	10	9	2	20	67	1.200	15.600	1.770	3
F1-F5	Vejtransport, udstødning	7	37	44	234	-3	3	26	82	1.630	20.400	-12.500	4
F6-F7	Vejtransport, dæk-, bremse og vejslid	5	53	58	23	16	5	47	164	2.880	36.800	225	7
H	Luftfart (LTO)	0	1	1	3	1	0	1	3	61	754	552	0
I	Andre mobile kilder	3	30	34	56	7	3	25	86	1.590	19.700	-1.260	4
J	Affald	1	6	6	3	3	1	5	16	309	3.860	841	1
K+L	Landbrug	17	179	197	160	56	17	152	476	9.720	120.000	4.320	21
<b>Udenlandske kilder</b>													
A	El- og fjernvarmeproduktion	14	122	136	78	47	12	104	326	6.640	82.000	9.940	14
B	Industri	30	238	269	137	107	23	203	652	13.000	160.000	34.200	28
C	Små forbrændingsanlæg	26	253	278	126	88	24	215	734	13.700	170.000	13.600	33
D	Flygtige emissioner fra brændsler	3	13	16	7	11	1	11	35	713	8.820	6.200	1
E	Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter	6	8	14	8	28	1	7	23	432	5.320	23.300	1
F	Vejtransport	35	232	267	174	139	22	197	633	12.600	156.000	64.800	27
H	Luftfart (LTO)	0	4	4	3	2	0	3	9	189	2.340	685	0
I	Andre mobile kilder	11	73	84	56	42	7	62	202	3.970	49.000	18.900	9
J	Affald	2	18	20	8	7	2	16	53	1.000	12.400	1.800	2
K+L	Landbrug	50	467	517	237	182	45	397	1.220	25.400	314.000	42.300	54
M	Andet	1	8	8	3	3	1	6	20	411	5.080	486	1
G	Søfart	43	319	362	408	159	31	270	860	17.300	213.000	60.300	37
-	Naturlige kilder	156	860	1.020	467	649	83	731	7.040	46.800	578.000	361.000	94
<b>Sum alle kilder</b>		<b>453</b>	<b>3.300</b>	<b>3.750</b>	<b>2.470</b>	<b>1.650</b>	<b>315</b>	<b>2.800</b>	<b>13.800</b>	<b>178.000</b>	<b>2.210.000</b>	<b>628.000</b>	<b>388</b>
<b>Total luftforurening</b>		<b>392</b>	<b>2.890</b>	<b>3.280</b>	<b>2.420</b>	<b>1.460</b>	<b>272</b>	<b>2.470</b>	<b>12.700</b>	<b>157.000</b>	<b>1.943.000</b>	<b>559.000</b>	<b>343</b>
<b>Difference i % mellem sum af sektorer og total luftforurening</b>		<b>15</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>13</b>

**Tabel 12.6.** Danske og udenlandske kilders bidrag til helbredseffekter i Danmark i 2023 fordelt på udledningssektorer i %.

GNFR	Emissionssektor	For tidlige dødsfald fra korttids-eksponering (PM <sub>2,5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> )	For tidlige dødsfald fra langtids-eksponering (PM <sub>2,5</sub> , NO <sub>2</sub> )	Totalt antal for tidlige dødsfald (PM <sub>2,5</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> )	Hospitalsindlæggelser, åndedrætsbesvær (PM <sub>2,5</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> )	Hospitalsindlæggelser, hjertekarsygdomme (PM <sub>2,5</sub> , O <sub>3</sub> )	Hoste børn (PM <sub>2,5</sub> )	Kronisk bronkitis voksne (PM <sub>2,5</sub> )	Kronisk bronkitis børn (PM <sub>2,5</sub> )	Tabte arbejdsdage (PM <sub>2,5</sub> )	Dage med restriktioner i aktivitet (PM <sub>2,5</sub> )	Dage med mindre restriktioner i aktivitet (O <sub>3</sub> )	Lungekræft (PM <sub>2,5</sub> )
<b>Danske kilder</b>													
A	El- og fjernvarmeproduktion	1,2	0,6	0,6	2,4	0,1	0,4	0,5	0,3	0,5	0,5	-0,4	0,5
B	Industri	1,3	1,1	1,1	2,1	0,6	1,1	1,1	0,7	1,1	1,1	0,0	1,2
C	Små forbrændingsanlæg	6,1	9,0	8,6	6,5	5,2	9,0	9,1	6,5	9,0	9,1	-0,2	10,4
D	Flygtige emissioner fra brændsler	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
E	Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter	0,6	0,7	0,7	0,4	0,5	0,7	0,7	0,5	0,7	0,7	0,3	0,8
F1-F5	Vejtransport, udstødning	1,5	1,1	1,2	9,5	-0,2	0,9	0,9	0,6	0,9	0,9	-2,0	0,9
F6-F7	Vejtransport, dæk-, bremse og vejslid	1,1	1,6	1,5	0,9	1,0	1,6	1,7	1,2	1,6	1,7	0,0	1,9
H	Luftfart (LTO)	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
I	Andre mobile kilder	0,8	0,9	0,9	2,2	0,4	0,9	0,9	0,6	0,9	0,9	-0,2	1,0
J	Affald	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
K+L	Landbrug	3,8	5,4	5,2	6,5	3,4	5,4	5,4	3,5	5,4	5,4	0,7	5,4
<b>Udenlandske kilder</b>													
A	El- og fjernvarmeproduktion	3,1	3,7	3,6	3,2	2,8	3,7	3,7	2,4	3,7	3,7	1,6	3,5
B	Industri	6,7	7,2	7,2	5,5	6,5	7,3	7,2	4,7	7,3	7,2	5,4	7,2
C	Små forbrændingsanlæg	5,7	7,7	7,4	5,1	5,4	7,7	7,7	5,3	7,7	7,7	2,2	8,4
D	Flygtige emissioner fra brændsler	0,6	0,4	0,4	0,3	0,6	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	1,0	0,4
E	Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter	1,3	0,2	0,4	0,3	1,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	3,7	0,3
F	Vejtransport	7,7	7,0	7,1	7,1	8,4	7,1	7,0	4,6	7,1	7,0	10,3	7,1
H	Luftfart (LTO)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
I	Andre mobile kilder	2,4	2,2	2,2	2,3	2,5	2,2	2,2	1,5	2,2	2,2	3,0	2,3
J	Affald	0,4	0,6	0,5	0,3	0,4	0,6	0,6	0,4	0,6	0,6	0,3	0,6
K+L	Landbrug	11,1	14,2	13,8	9,6	11,0	14,2	14,2	8,9	14,2	14,2	6,7	14,0
M	Andet	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
G	Søfart	9,5	9,7	9,7	16,5	9,6	9,7	9,7	6,3	9,7	9,7	9,6	9,5
-	Naturlige kilder	34,6	26,1	27,1	18,9	39,3	26,3	26,2	51,2	26,2	26,2	57,5	24,3
	<b>Sum alle kilder</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Der ses desuden et bidrag på ca. 9,5% fra *Vejtransport* (udstødning) til hospitalsindlæggelser pga. åndedrætsbesvær. Største bidragsyder til hospitalsindlæggelser for hjertekarsygdomme er *Små forbrændingsanlæg* med ca. 5,2%. Hvis udledningen af kvælstofoxider er tilstrækkeligt stor, vil påvirkningen af ozon også påvirke dannelsen af hydroxylradikaler i atmosfæren, som igen har stor indflydelse på en række reaktionshastigheder for andre kemiske reaktioner i atmosfæren, herunder dannelsen af de sekundære uorganiske partikler, ammoniumsulfat og -nitrat, som bidrager væsentligt til den samlede koncentration af PM<sub>2,5</sub>. Dannelsen af de sekundære partikler er således også påvirket af ikke-lineær atmosfærekemi.

I Tabel 12.6 er desuden angivet de procentvise bidrag fra de forskellige udledningssektorer i udlandet til helbredseffekter i Danmark. *Naturlige kilder* (i



både Danmark og udland) bidrager mest til helbredseffekter i Danmark sammenlignet med de øvrige udledningssektorer. *Naturlige kilder* bidrager f.eks. med omkring 18,9% til hospitalsindlæggelser grundet åndedrætsbesvær og med omkring 57,5% til dage med mindre restriktioner i aktivitet. Sidstnævnte er kun relateret til ozon, hvor der er et relativt stort bidrag fra *Naturlige kilder*. Følgende naturlige kilder er inkluderet i modellen:

- havsalt (udledninger via havsprøjt),
- jordemissioner (kvælstofoxider),
- udledninger af kvælstofoxider fra lyn,
- kvælstofoxider og primære PM<sub>2,5</sub>-emissioner fra skovbrande,
- ammoniak fra havet,
- svovldioxid fra vulkaner,
- flygtige organiske forbindelser (VOC) fra vegetation, som fungerer som forløbere for dannelse af ozon og sekundære organiske partikler (SOA).

*Søfart* bidrager med omkring 9,7% til antallet af for tidlige dødsfald og *Naturlige kilder* med omkring 27,1%. *Landbrug* i udlandet bidrager med ca. 13,8% til antallet af for tidlige dødsfald i Danmark og *Vejtransport* er på omkring 7,1% i bidrag til helbredseffekter i Danmark. Endelig er bidraget fra *Små forbrændingsanlæg* og *Industri* nogenlunde lige stort og i størrelsesordenen 7%.

## 12.4 Danske og udenlandske kilders bidrag til omkostningerne fra luftforureningen i Danmark 2023

Kilderne til samfundsmæssige omkostninger fra luftforureningen i Danmark er beregnet for 2023 ved hjælp af EVA<sub>v</sub>7.3. Der er anvendt en opdateret økonomisk værdisætning sammenlignet med NOVANA-rapporteringen for 2022 (Ellermann et al., 2022; Andersen et al., 2019). Beregningerne for 2023 er baseret på "Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 4.0" (Brandt et al., 2023) og angivet i 2022-priser. Beregningerne med EVA<sub>v</sub>7.3 modelsystemet er gennemført, så det er muligt at adskille de samfundsmæssige omkostninger fra danske hhv. europæiske kilder.

Tabel 12.7 viser de samlede samfundsmæssige omkostninger fordelt på de forskellige luftforureningskomponenter, som giver anledning til helbredseffekter i Danmark i 2023. Det ses, at de samlede omkostninger, som følge af luftforureningen i Danmark fra såvel udenlandske som danske kilder, er på omkring 60 milliarder kr. i 2023. For tidlige dødsfald, som følge af korttids- og langtidseksposering, tegner sig for den største del af omkostningen, omkring 55 milliarder kr. Sygedage (dage med restriktioner i aktivitet) tegner sig for ca. 2,6 milliarder kr. og kronisk bronkitis (børn) for ca. 928 mio. kr.

**Table 12.7.** De samlede samfundsmæssige omkostninger i 2023 fra luftforureningen med svovldioxid (SO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), kvælstofdioxid (NO<sub>2</sub>), primær PM<sub>2,5</sub>, øvrig PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>2,5</sub> (sum af primær og øvrig PM<sub>2,5</sub>) og total i Danmark dvs. al luftforurening både fra danske og udenlandske kilder (mio. kr., 2022 priser).

Omkostninger (mio. kr.)							
Helbredseffekt	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	PPM <sub>2,5</sub>	Øvrig PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>2,5</sub>	Total
For tidlig død (korttidseksposering)	397	4.610	91	3.290	5.920	9.220	14.300
For tidlig død (langtidseksposering)			37	14.600	26.400	41.000	41.000
For tidlig død (total)	397	4.610	127	17.900	32.300	50.200	55.300
Hospitalsindlæggelser, åndedrætsbesvær		13	71	30	53	83	167
Hospitalsindlæggelser, hjertekarsygdomme		68		35	62	97	165
Hoste børn				1	2	3	3
Kronisk bronkitis børn				329	598	928	928
Tabte arbejdsdage				132	240	372	372
Dage med restriktioner i aktivitet				931	1.680	2.610	2.610
Dage med mindre restriktioner i aktivitet		417		0	0	0	417
Lungekræft				78	142	220	220
Spædbørnsdød				1	0	1	1
Total	397	5.110	198	19.400	35.100	54.500	60.200

### Bidrag fra danske og udenlandske kilder til luftforureningens samfundsmæssige omkostninger i Danmark

Table 12.8 viser fordelingen af bidraget til luftforureningens samfundsmæssige omkostninger i Danmark (i mio. kr.) opgjort fra kilder i udlandet og Danmark, mens table 12.9 giver bidragene i procent. Det samlede bidrag til omkostninger i Danmark fra danske kilder er ca. 13 mia. kr. Heraf bidrager *Små forbrændingsanlæg* med ca. 5,6 mia. kr., *Vejtransport* med ca. 1,6 mia. kr. og *Landbrug* med ca. 3,4 mia. kr. For *Landbrug*, er det bidraget til dannelsen af sekundære uorganiske partikler (ammoniumholdige partikler), der har størst betydning, mens det for *Små forbrændingsanlæg* er udledningen af primære partikler. De samlede bidrag fra kvælstofdioxid pga. udledning fra danske kilder er på ca. 175 mio. kr., og primært udledte partikler og øvrige partikler fra danske kilder bidrager med henholdsvis ca. 8,5 og ca. 4,1 mia. kr., mens danske kilder bidrager til færre helbredsrelaterede omkostninger (ca. -82 mio. kr.) fra ozon, pga. udledninger af kvælstofoxider. De helbredsrelaterede omkostninger fra udledninger af svovldioxid fra danske kilder er beregnet til ca. 186 mio. kr.

Det er specielt *Industri, El- og fjernvarmeproduktion* og *Små forbrændingsanlæg*, der bidrager til luftforureningens omkostninger i Danmark fra danske kilder for svovldioxid. For ozon, er det specielt *Vejtransport, Andre mobile kilder* og *El- og fjernvarmeproduktion*, der bidrager, men negativt, sådan at kilderne (ved udledning af kvælstofoxider) bidrager til at mindske ozonkoncentrationerne. De samme sektorer er væsentlige bidragsydere til kvælstofdioxid. Udslip af kvælstofoxider bidrager til omkostningerne via dannelsen af kvælstofdioxid og nitratholdige partikler, mens der er en gevinst fra mindre ozon i byområderne.

**Tabel 12.8.** De samlede omkostninger i 2023 som følge af luftforureningen i Danmark fra danske og udenlandske kilder, fordelt på sektorer og udvalgte undersektorer i mio. kr. (2022 priser). Yderst til højre vises de totale omkostninger, de øvrige søjler er omkostningerne fordelt på svovldioxid (SO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), kvælstofdioxid (NO<sub>2</sub>), primær PM<sub>2,5</sub>, øvrig PM<sub>2,5</sub>, og PM<sub>2,5</sub> (sum af primær og øvrig PM<sub>2,5</sub>). Differencen mellem summen af alle kilder og omkostningerne fra den totale luftforurening, skyldes ikke-lineære atmosfærekemiske processer, kilder uden for Europa, samt tærskelværdier for O<sub>3</sub> og NO<sub>2</sub>. \*Resultater for NO<sub>2</sub> er skaleret i forhold til total luftforurening (se tekst).

GNFR	Emissionssektor	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	PPM <sub>2,5</sub>	Øvrig PM <sub>2,5</sub>	Total PM <sub>2,5</sub>	Total
<b>Danske kilder</b>		<b>Mio. kr. (2022 priser)</b>						
A	El- og fjernvarmeproduktion	50	-22	42	143	139	282	352
B	Industri	79	1	9	407	267	674	762
C	Små forbrændingsanlæg	28	-13	12	5.300	295	5.590	5.620
D	Flygtige emissioner fra brændsler Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter	19	8	0	5	26	31	58
E		2	16	0	397	24	421	440
F1-F5	Vejtransport, udstødning	3	-114	86	141	426	567	541
F6-F7	Vejtransport, dæk-, bremse og vejslid	0	2	0	979	29	1.010	1.010
H	Luftfart (LTO)	1	5	0	2	19	21	27
I	Andre mobile kilder	2	-12	15	412	140	552	557
J	Affald	2	8	0	50	57	107	117
K+L	Landbrug	0	39	10	649	2.720	3.370	3.420
<b>Udenlandske kilder</b>								
A	El- og fjernvarmeproduktion	45	93	1	186	1.850	2.040	2.180
B	Industri	61	316	1	1.160	2.920	4.080	4.500
C	Små forbrændingsanlæg	20	126	0	3.320	1.320	4.640	4.790
D	Flygtige emissioner fra brændsler Anvendelse af opløsnings- midler og andre produkter	3	57	0	46	172	218	278
E		0	215	0	102	47	149	363
F	Vejtransport	3	599	2	719	3.290	4.010	4.610
H	Luftfart (LTO)	0	6	0	2	57	59	65
I	Andre mobile kilder	1	174	1	347	926	1.270	1.450
J	Affald	0	16	0	199	135	335	351
K+L	Landbrug	-9	389	1	505	7.470	7.980	8.360
M	Andet	0	4	0	5	123	128	132
G	Søfart	33	559	17	545	4.860	5.400	6.010
-	Naturlige kilder	-4	3.350	0	2.690	6.320	9.010	12.400
<b>Sum alle kilder</b>		<b>340</b>	<b>5.820</b>	<b>198</b>	<b>18.300</b>	<b>33.600</b>	<b>51.900</b>	<b>58.300</b>
<b>Total luftforurening</b>		<b>397</b>	<b>5.110</b>	<b>198</b>	<b>19.400</b>	<b>35.100</b>	<b>54.500</b>	<b>60.200</b>
<b>Difference i % mellem sum af sektorer og total luftforurening</b>		<b>-14</b>	<b>14</b>	<b>0*</b>	<b>-6</b>	<b>-4</b>	<b>-5</b>	<b>-3</b>

Europæiske landbaserede kilder bidrager til luftforureningens omkostninger med sammenlagt ca. 2 mia. kr. mht. ozon, mens *Naturlige kilder* fra hele den nordlige hemisfære dominerer med et bidrag på ca. 3,4 mia. kr. Hertil skal nævnes, at ozon kan have en relativt lang levetid i atmosfæren (op til flere uger), og ozon skal således ses i en global sammenhæng, hvor kilder i f.eks. Sydøstasien kan være en væsentlig bidragsyder (bidrag fra den sydlige hemisfære er ikke medtaget her, men vurderes at være minimale). Desuden er der et væsentligt bidrag af ozon fra stratosfæren, som er beskrevet i modellen, men ikke kvantificeret her.

For kvælstofdioxid er bidraget fra udenlandske kilder omkring 23 mio. kr., hvor den største enkelte bidragsyder er *Søfart* med ca. 17 mio. kr. Bidraget fra de primært udledte partikler fra udlandet er samlet omkring 9,8 mia. kr., hvor de største kilder er *Små forbrændingsanlæg* med omkring 3,3 mia. kr., *Naturlige kilder* med ca. 2,7 mia. kr., *Industri* med omkring 1,2 mia. kr., *Vejtransport* med ca. 719 mio. kr., og *Søfart* med ca. 545 mio. kr.

Det største bidrag fra udenlandske kilder kommer fra øvrig PM<sub>2,5</sub>, som indbefatter de sekundært dannede uorganiske partikler og havsalt, som udgør en stor andel af *Naturlige kilder*. *Landbrug* i Europa bidrager med ca. 7,5 mia. kr. til luftforureningens omkostninger i Danmark fra øvrig PM<sub>2,5</sub> og *Søfart* med omkring 4,9 mia. kr. Det er emissioner af svovldioxid, kvælstofoxider og ammoniak, der bidrager til de sekundært dannede uorganiske partikler, som typisk er langtransporteret i atmosfæren.

Sammenlagt udgør bidraget fra de europæiske landbaserede kilder til de totale omkostninger i Danmark ca. 27 mia. kr., med størst bidrag fra *Landbrug* (ca. 8,4 mia. kr.), *Vejtransport* (med ca. 5 mia. kr.) og *Industri* (ca. 4,5 mia. kr.) og *Små forbrændingsanlæg* med ca. 4,8 mia. kr. Derudover bidrager *Søfart* med omkring 6 mia. kr. og de *Naturlige kilder* med ca. 12,4 mia. kr.

Summen af luftforureningens omkostninger for de forskellige stoffer, der bidrager til helbredseffekter, både danske og udenlandske, er angivet i tabel 12.8, ligesom de totale omkostninger, som skyldes den totale luftforurening fra alle kilder. De to tal giver ikke nødvendigvis det samme pga. ikke-lineære atmosfærekemiske processer, menneskeskabte kilder uden for Europa, samt tærskelværdier, hvorunder der ikke regnes effekter, som har særlig betydning for kvælstofdioxid og ozon. Desuden er der en mindre effekt fra det såkaldte Gibb's fænomen (numeriske oscillationer i Eulerske modeller pga. stærke gradienter), som kan have forskellig betydning, afhængigt af om alle sektorer er kørt samlet eller om sektorerne er kørt enkeltvis. Der er en særlig udfordring mht. beregninger af bidrag fra kvælstofdioxid, som skyldes tærskelværdien på 10 µg/m<sup>3</sup>. Reduktion i de enkelte sektorer kan resultere i, at koncentrationerne for hver sektor kommer under tærskelværdien, som det også kan gøre, når alle sektorer reduceres samlet. Derfor kan summen af bidragene fra de enkelte sektorer blive meget større end den totale luftforurening for kvælstofdioxid. For at undgå misvisende resultater for bidragene fra de enkelte kilder til kvælstofdioxid, er disse blevet skaleret med den samlede omkostning fra den totale luftforurening.

Tabel 12.9 viser fordelingen af bidraget til de totale omkostninger i Danmark fra udenlandske og danske kilder opgjort på sektorer i procent. For svovldioxid er det specielt *El- og fjernvarmeproduktion* og *Industri* i Danmark, der bidrager med ca. 14,7% og 23,2%, og sammenlignelige procentsatser fra de tilsvarende udenlandske kilder. Svovldioxid i sig selv er dog den mindste bidragsyder til de samlede omkostninger, da udledninger af svovldioxid er reduceret betragteligt i de seneste årtier. *Vejtransport*, *El- og fjernvarmeproduktion* og *Andre mobile kilder* er de væsentligste bidragsydere i Danmark til omkostningerne forbundet med ozon og kvælstofdioxid. For de primært emitterede partikler (PPM<sub>2,5</sub>) er det hovedsageligt *Små forbrændingsanlæg*, samt *Vejtransport*, der bidrager med hhv. ca. 28,9% og ca. 6,1%. For *Vejtransporten*, er bidraget fra udledningerne, der ikke er relateret direkte til udstødning (dæk-, bremse- og vejslid) knapt syv gange så stort, som bidraget fra udstødning. Inden for øvrig PM<sub>2,5</sub> bidrager *Landbrug* med omkring 8,1%.

**Tabel 12.9.** De samlede omkostninger i 2023 som følge af luftforureningen i Danmark fra danske og udenlandske kilder, fordelt på sektorer og udvalgte undersektorer i %. Yderst til højre angives de totale omkostninger i % for alle stoffer. De øvrige søjler angiver omkostningerne i % fordelt på svovldioxid (SO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>) og kvælstofdioxid (NO<sub>2</sub>), primær PPM<sub>2,5</sub>, øvrig PM<sub>2,5</sub>, og PM<sub>2,5</sub> (sum af primær og øvrig PM<sub>2,5</sub>).

GNFR	Emissionssektor	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	PPM <sub>2,5</sub>	Øvrig PM <sub>2,5</sub>	Total PM <sub>2,5</sub>	Total
<b>Danske kilder</b>								
A	El- og fjernvarmeproduktion	14,7	-0,4	21,4	0,8	0,4	0,5	0,6
B	Industri	23,2	0,0	4,7	2,2	0,8	1,3	1,3
C	Små forbrændingsanlæg	8,4	-0,2	6,3	28,9	0,9	10,8	9,6
D	Flygtige emissioner fra brændsler Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter	5,6	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
E		0,7	0,3	0,1	2,2	0,1	0,8	0,8
F1-F5	Vejtransport, udstødning	1,0	-2,0	43,2	0,8	1,3	1,1	0,9
F6-F7	Vejtransport, dæk-, bremse og vejslid	0,0	0,0	0,0	5,3	0,1	1,9	1,7
H	Luffart (LTO)	0,2	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0
I	Andre mobile kilder	0,5	-0,2	7,5	2,3	0,4	1,1	1,0
J	Affald	0,6	0,1	0,0	0,3	0,2	0,2	0,2
K+L	Landbrug	-0,1	0,7	5,0	3,5	8,1	6,5	5,9
<b>Udenlandske kilder</b>								
A	El- og fjernvarmeproduktion	13,2	1,6	0,3	1,0	5,5	3,9	3,7
B	Industri	18,1	5,4	0,4	6,3	8,7	7,9	7,6
C	Små forbrændingsanlæg	5,7	2,2	0,2	18,2	3,9	8,9	8,2
D	Flygtige emissioner fra brændsler Anvendelse af opløsnings- midler og andre produkter	1,0	1,0	0,0	0,3	0,5	0,4	0,5
E		-0,1	3,7	0,0	0,6	0,1	0,3	0,6
F	Vejtransport	0,9	10,3	1,2	3,9	9,8	7,7	7,9
H	Luffart (LTO)	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1
I	Andre mobile kilder	0,3	3,0	0,5	1,9	2,8	2,5	2,5
J	Affald	0,0	0,3	0,0	1,1	0,4	0,6	0,6
K+L	Landbrug	-2,7	6,7	0,4	2,8	22,2	15,4	14,3
M	Andet	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	0,2	0,2
G	Søfart	9,8	9,6	8,5	3,0	14,4	10,4	10,3
-	Naturlige kilder	-1,0	57,5	0,0	14,7	18,8	17,3	21,2
<b>Sum alle kilder</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Lægges bidraget fra de forskellige kemiske stoffer sammen (i total), ses det, at *Små forbrændingsanlæg* i Danmark bidrager samlet med omkring 9,6%, mens *Vejtransport* bidrager med ca. 2,7% og *Landbrug* bidrager med ca. 5,9% ud af de totale omkostninger.

Ser man på bidraget fra udlandet mht. de primært emitterede partikler, bidrager *Små forbrændingsanlæg* med ca. 18%, *Søfart* med ca. 3%, *Industri* med ca. 6% og *Vejtransport* med ca. 4%. For øvrig PM<sub>2,5</sub> er det *Naturlige kilder* (herunder havsalt, skovbrande, sekundære uorganiske partikler fra naturlige kilder af kvælstofoxider og sekundære organiske partikler, der dannes fra udledninger af flygtige organiske forbindelser fra vegetation), der er dominerende med ca. 19%. Dernæst kommer *Landbrug* med ca. 22% (som skyldes ammoniakudledninger), *Søfart* med ca. 14% og *Vejtransport* med ca. 9,8%. Forbrænding af fossile brændstoffer i *El- og fjernvarmeproduktion* og *Industri*, samt *Små forbrændingsanlæg*, bidrager mellem ca. 4-9% for hver sektor. Overordnet set, når man betragter de samlede luftforureningsbidrag fra sektorerne, bidrager *Naturlige*

kilder med ca. 21%, Landbrug og Søfart med hhv. ca. 14,3% og 10,3%, Vejtransport med ca. 7,9% og Små forbrændingsanlæg med ca. 8,2%.

Der ses negative værdier for ozon i Danmark, hvilket skyldes et velkendt fænomen, hvor de danske udledninger af kvælstofoxider bidrager til at mindske ozonkoncentrationerne lokalt i Danmark pga. ikke-lineær atmosfærekemi. Desuden ses der mindre negative værdier for svovldioxid for fx Landbrug og Naturlige kilder. Dette skyldes også ikke-lineær atmosfærekemi.

## 12.5 Usikkerhed og perspektiver for fremtidige beregninger

Usikkerhederne på beregnede helbredseffekter og omkostninger fra luftforurening er betydelige. Førende internationale forskere på området har vurderet, at deres egne beregninger er behæftet med en usikkerhed på op til  $\pm 50\%$  (Lelieveld et al., 2019). DCE vurderer, at usikkerhederne på beregningerne præsenteret i nærværende rapport ligger på samme niveau.

En væsentlig del af usikkerhederne relaterer sig til de eksponerings-responsfunktioner, som anvendes. Eksponerings-responsfunktionerne i EVA systemet blev opdateret i 2022, baseret på WHO's nye retningslinjer og det gav anledning til ændringer for blandt andet for tidlige dødsfald som følge af eksponering for kvælstofdioxid, hvor den tidligere tærskelværdi for kvælstofdioxid på  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (kun gældende for langtidseksponering) nu er ændret til  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , men til gengæld gælder både for korttids- og langtidseksponering (se beskrivelsen i afsnit 1.5). Generelt betyder det, at antallet af for tidlige dødsfald som følge af langtidseksponering for kvælstofdioxid vurderes at stige, og at antallet af for tidlige dødsfald som følge af korttidseksponering for kvælstofdioxid vurderes at falde. I dette års afrapportering er antallet af for tidlige dødsfald som følge af kvælstofdioxid faldet til et ubetydeligt niveau, hvilket skyldes, at koncentrationer i stort omfang nu er tæt på eller under tærskelværdien i bybaggrunden og på landet.

Helbredseffekter fra ozon kommer primært fra eksponering fra høje koncentrationer. Der benyttes en parameter (SOMO35), hvor det er ozonkoncentrationer over 35 ppb ( $=70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), som summeres. De nye analyser fra WHO (WHO, 2021a) indikerer, at det kunne være mere korrekt at summere ozonkoncentrationer over 32 ppb ( $=64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), men da evidensen vurderes til at være moderat, og forskellen er lille, er 35 ppb bevaret som tærskelværdi for ozon.

Nyere danske og nordeuropæiske studier (Hvidtfeldt et al., 2019; Raaschou-Nielsen et al., 2020; 2023; So et al., 2020; Strak et al., 2021; Chen et al., 2022; Stafoggia et al., 2022; Xu et al., 2023) tyder på, at den relative risiko for dødelighed som følge af langtidseksponering for  $\text{PM}_{2.5}$  kan være højere end de 1,08, som WHO's meta-studie kommer frem til. WHO's analyser (WHO, 2021a) foreslår endvidere, at der kan være en tærskelværdi på  $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $\text{PM}_{2.5}$ -koncentrationens effekt på dødelighed. For at undersøge hvad denne variation i parametre betyder for antallet af for tidlige dødsfald, er der gennemført følsomhedsberegninger. Disse beregninger ser udelukkende på antallet af for tidlige dødsfald, som følge af korttids- og langtidseksponering.

Tabel 12.10 viser resultaterne af beregninger af antallet af for tidlige dødsfald i Danmark for 2023 for tre følsomhedsberegninger (DK-A til DK-C) samt et basisscenario. Den relative risiko på 1,12 er baseret på de ovenfor nævnte nyere danske og nordeuropæiske studier (hvoraf nogle af studierne giver endnu

højere værdier). Disse studier har ikke forudsat en tærskelværdi for eksponeringen for PM<sub>2,5</sub>, dvs. scenario DK-B, som indebærer ca. 1.500 (ca. 50%) flere for tidlige dødsfald sammenlignet med basisscenariet. Der er endvidere usikkerhed omkring tærskelværdien på 10 µg/m<sup>3</sup>, der anvendes for kvælstofdioxid, da der stadigvæk ikke er mange studier på dette område. Hvis tærskelværdien ikke anvendes på kvælstofdioxid, vil det indebære ca. 500 flere for tidligere dødsfald i 2023.

**Tabel 12.10.** Antallet af for tidlige dødsfald i Danmark for 2023 (som følge af både korttids- og langtidseksponering) fra sensitivtetsberegninger foretaget med ændringer i relativ risiko og tærskelværdi for PM<sub>2,5</sub>.

Scenario	PM <sub>2,5</sub> relativ risiko	PM <sub>2,5</sub> tærskelværdi (µg/m <sup>3</sup> )	Antal for tidlige dødsfald
Basis	1,08	0	3.280
DK-A	1,08	2,4	2.260
DK-B	1,12	0	4.810
DK-C	1,12	2,4	3.290

Der mangler fortsat viden om, hvilke dele af partikelforureningen, som forårsager helbredseffekterne. Der anvendes den samme eksponerings-responsfunktion for alle de kemiske PM<sub>2,5</sub>-komponenter, da det på nuværende tidspunkt stadig er det bedste bud baseret på den tilgængelige viden. Dette understøttes bl.a. af en række analyser af de enkelte komponenters betydning (se fx, Raaschou-Nielsen et al., 2023). Mere viden på dette område vil potentielt set kunne ændre på de estimerede helbredseffekter relateret til de forskellige kemiske stoffer og udledningssektorer.

Der er usikkerhed forbundet med opgørelsen af hvilke kilder, der bidrager til helbredseffekterne, da dette afhænger af, hvilken procentsats udledningerne bliver reduceret med. Dette skyldes ikke-lineær atmosfærekemi, som er godt beskrevet i luftforureningsmodellerne. Denne ikke-linearitet betyder, at bestemmelsen af en udledningssektors bidrag til Danmark afhænger af, hvor meget man reducerer sektoren med i de beregninger, der ligger til grund for bestemmelsen. I denne rapport er der benyttet 30% udledningsreduktioner for hver sektor, som efterfølgende er skaleret op til 100%. Ikke-lineariteten har særlig betydning for de udenlandske kilder, hvis størrelser er betragtelige (f.eks. sektor F, som inkluderer al *Vejtransport* i Europa). Reduceres udledninger fra denne sektor for hele Europa i modellen, vil det medføre en ændret "baggrundskemi" over Europa, som så igen påvirker størrelsen af bidraget fra sektoren. Der er ikke tale om en betydelig usikkerhed, eller manglende viden på området, men i stedet en velforstået ikke-lineær sammenhæng mellem størrelsen på udledningsreduktionen og bidraget fra de respektive udledningssektorer. Dette gælder i mindre grad for danske kilder, da udledningerne er relativt mindre, på nær for kvælstofdioxid, hvor den nye tærskelværdi for korttidseksponering har stor indvirkning på resultaterne. De primære partikler (PPM<sub>2,5</sub> og havsalt) er lineære, da de ikke indgår i atmosfærekemiske reaktioner.

Forskerne tilknyttet DCE følger løbende med i de videnskabelige landvindinger i relation til vurdering af helbredseffekterne af luftforureningen og implementerer disse i estimering af helbredseffekterne, så snart de er velkonsoliderede, og det er praktisk og økonomisk muligt. Forskerne på Institut for Miljøvidenskab ved Aarhus Universitet koordinerer og deltager løbende i adskillige forskningsprojekter omkring helbredseffekter fra luftforurening, bl.a. under EU's forskningsprogrammer. Fremtidig opdatering af modelsystemet vil fortsat og så vidt muligt ske på basis af en dialog med andre forskningsmiljøer på området. Opdateringerne vil ske med passende mellemrum, når der er sket væsentlige fremskridt i forskningen og forståelsen af de helbredsrelaterede effekter af luftforureningen.

## 13. Luftkvalitet og WHO's nye anbefalinger

I september 2021 offentliggjorde WHO nye vejledende retningslinjer for helbredsskadelig luftforurening (WHO, 2021a). Siden offentliggørelsen af de hidtidige retningslinjer fra 2006 er der på globalt plan udført omfattende forskning på området, og derfor er der i dag etableret en meget større viden om de helbredsskadelige effekter af luftforureningen. Det er denne viden, som danner grundlag for WHO's opdatering af retningslinjerne fra 2006.

Retningslinjerne omfatter alle de vigtigste helbredsskadelige luftforureningskomponenter, dvs. kvælstofdioxid, carbonmonoxid, svovldioxid, ozon og partikler (PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>), og for disse er der opstillet retningslinjer for både korttids- og langtidsudsættelse. WHO har også vurderet, om der skulle opstilles retningslinjer for ultrafine partikler og black carbon, men det blev vurderet, at det videnskabelige grundlag ikke var tilstrækkeligt til på nuværende tidspunkt at fastlægge retningslinjer for disse komponenter.

Opdateringen har for hovedparten af luftforureningskomponenterne ført til en væsentlig skærpelse af retningslinjerne, hvor niveauerne for retningslinjerne er blevet væsentligt nedsat. Eneste undtagelse er svovldioxid, hvor WHO fandt, at de videnskabelige resultater viste, at niveauerne for retningslinjerne kunne øges.

I det følgende gives en kort gennemgang af, hvordan luftforureningsniveauet i 2023 i Danmark er i forhold til de nye retningslinjer fra WHO for kvælstofdioxid, carbonmonoxid, svovldioxid, ozon og partikler (PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>).

### 13.1 Kvælstofdioxid

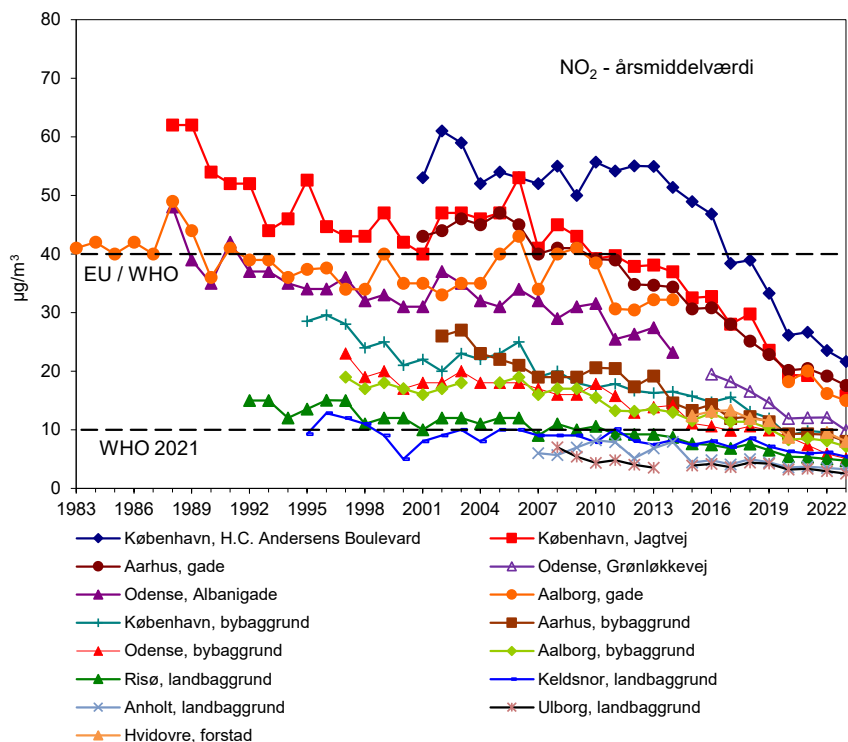
Tabel 13.1 viser, at luftkoncentrationerne af kvælstofdioxid lå under WHO's retningslinjer fra 2006. Den nye retningslinje for årsmiddelkoncentrationen er blevet reduceret til 10 µg/m<sup>3</sup> svarende til 25% af den hidtidige retningslinje fra WHO og EU's grænseværdi. Ved alle gademålestationerne ligger årsmiddelkoncentrationerne i gennemsnit næsten dobbelt så højt som den nye retningslinje. Til gengæld er årsmiddelkoncentrationerne under den nye retningslinje ved alle by- og landbaggrundsmålestationerne. I Figur 13.1 sammenholdes udviklingstendensen for årsmiddelkoncentrationerne med EU-grænseværdien samt den hidtidige og nye retningslinje fra WHO.

Retningslinjen for den maksimale timemiddelkoncentration forblev uændret, og her ligger koncentrationerne under denne retningslinje på alle målestationerne. WHO har indført en ny korttidsgrænse for 99%-fraktilen af døgnmiddelværdi i et kalenderår (svarer omtrent til den 4. højeste døgnmiddelværdi). Denne retningslinje er opfyldt på samtlige målestationer.



**Tabel 13.1.** Sammenligning mellem måleresultater for 2023 for kvælstofdioxid fra de danske målestationer og WHO's retningslinjer fra 2021 (WHO, 2021a).

	Årsmiddel $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Maksimal timemiddelværdi $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Døgnmiddel 99%-fraktil $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>WHO 2006</b>	<b>40</b>	<b>200</b>	
<b>WHO 2021</b>	<b>10</b>	<b>200</b>	<b>45</b>
<i>Gade</i>			
København, H.C. Andersens Boulevard	22	129	43
København, Jagtvej	16	86	36
Odense, Grønløkkevej	10	81	28
Aarhus, Banegaardsgade	18	81	38
Aalborg, Vesterbro	15	104	39
<i>Bybaggrund</i>			
København	7,8	57	23
Odense	5,1	57	18
Aarhus	8,0	85	24
Aalborg	7,1	68	24
<i>Forstad</i>			
Hvidovre	8,0	62	25
<i>Landbaggrund</i>			
Anholt	3,2	51	12
Keldsnor	5,4	94	21
Risø	4,7	44	15
Ulborg	2,5	36	10



**Figur 13.1.** Udviklingstendens for årsmiddelværdi af kvælstofdioxid sammenlignet med EU's grænseværdi (EU, 2008) og WHO's retningslinjer fra 2006 og 2021 (WHO, 2021a). EU's grænseværdi og WHO's retningslinje fra 2006 er begge på 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , hvorfor dette angives som EU/WHO.

## 13.2 Carbonmonoxid

For carbonmonoxid er der kun fastlagt retningslinjer for korttidseksponering. WHO har opretholdt de to retningslinjer fra 2006 og har indført en ny vedrørende 99%-fraktilen for døgnmiddelkoncentrationerne af carbonmonoxid. Tabel 13.2 sammenholder måleresultaterne fra de danske målestationer med de tre retningslinjer for korttidseksponering, og det fremgår tydeligt, at koncentrationsniveauerne i Danmark ligger langt under de fastlagte retningslinjer.

Der er endvidere en fjerde retningslinje i form af en 15-minutters-middelværdi af carbonmonoxid ( $100.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; WHO, 2021a). Da målingerne er baseret på  $\frac{1}{2}$ -timesmiddelværdier, kan der ikke laves en direkte vurdering. Grundet det lave koncentrationsniveau i Danmark, kan det imidlertid udelukkes, at denne retningslinje vil kunne blive overskredet i Danmark.

**Tabel 13.2.** Sammenligning mellem måleresultater for 2023 for carbonmonoxid fra de danske målestationer og WHO's retningslinjer fra 2021 (WHO, 2021a).

	Maksimal timemiddelværdi $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Maksimal 8-timers middelværdi $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Døgnmiddel 99%-fraktil $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>WHO 2006</b>	<b>35000</b>	<b>10000</b>	
<b>WHO 2021</b>	<b>35000</b>	<b>10000</b>	<b>4000</b>
<i>Gade</i>			
København, H.C.Andersens Boulevard	1756	773	430
Odense, Grønløkkevej	1121	748	333
Aarhus, Banegaardsgade	717	549	377
Aalborg, Vesterbro	1209	663	384
<i>Bybaggrund</i>			
København	544	367	258
<i>Landbaggrund</i>			
Risø	525	465	370

## 13.3 Svovldioxid

For svovldioxid er der ligeledes kun fastlagt retningslinjer for korttidseksponeringen. Ved opdateringen af WHO-retningslinjerne i 2021 blev retningslinjen for 99%-fraktilen af døgnmiddelkoncentrationerne af svovldioxid øget fra 20 til  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (WHO, 2021a). Niveauerne ved målestationerne (Tabel 13.3) lå kun på omkring 25% af den gamle retningslinje, så derfor er der ingen problemer med overholdelse af den nye retningslinje.

WHO har endvidere opretholdt en retningslinje for 10-minutters-middelværdi af svovldioxid ( $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; WHO, 2021a). Da målingerne er baseret på  $\frac{1}{2}$ -timesmiddelværdier kan der ikke laves en direkte vurdering, men grundet de lave timemiddelværdier i Danmark kan det udelukkes, at denne grænse vil kunne blive overskredet ved målestationerne i Danmark

**Tabel 13.3.** Sammenligning mellem måleresultater for 2023 for svovldioxid fra de danske målestationer og WHO's retningslinjer fra 2021 (WHO, 2021a).

	<b>Døgnmiddel 99%-fraktil µg/m<sup>3</sup></b>
<b>WHO 2006</b>	<b>20</b>
<b>WHO 2021</b>	<b>40</b>
<i>Gade</i>	
København, H.C.Andersens Boulevard	1,9
Aalborg, Vesterbro	2,1

### 13.4 Ozon

WHO har indført en ny retningslinje for langtidseksponering for ozon kaldet "ozon peak season". Denne retningslinje baseres på et gennemsnit af de maksimale daglige 8-timersmiddelværdier beregnet for de seks på hinanden følgende måneder i et kalenderår, hvor der måles de højeste værdier (WHO, 2021a). Ud fra målingerne på målestationerne er det fastlagt, at gennemsnittet i Danmark skal beregnes fra marts til og med august. Tabel 13.4 viser resultaterne for ozon peak season for de danske målestationer. For by- og landbaggrund ligger ozon peak season fra 34% til 42% over den anbefalede grænse, mens niveauet er noget lavere ved gademålestationen ved H.C. Andersens Boulevard. Her ligger niveauet omkring 20% over retningslinjen. Det lavere niveau ved gademålestationen skyldes den lokale nedbrydning af ozon grundet udledning af kvælstofoxider fra vejtrafikken.

WHO har endvidere opretholdt den gamle retningslinje for korttidseksponering for ozon baseret på 99%-fraktilen af 8-timersmiddelkoncentrationerne i et kalenderår. By- og landbaggrund ligger i 2023 fra 15% til 35% over denne WHO-2021-retningslinje, mens ozonkoncentrationerne ved gademålestationen ved H.C. Andersens Boulevard er 13% over WHO-2021-retningslinjen (Tabel 13.4).

**Tabel 13.4.** Sammenligning mellem måleresultater for 2023 for ozon fra de danske målestationer og WHO's retningslinjer fra 2021 (WHO, 2021a).

	<b>Ozon Peak season* µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Maksimal 8-timers Middelværdi 99%-fraktil µg/m<sup>3</sup></b>
<b>WHO 2006</b>		<b>100</b>
<b>WHO 2021</b>	<b>60</b>	<b>100</b>
<i>Gade</i>		
København, H.C.Andersens Boulevard	72	102
<i>Bybaggrund</i>		
København	85	121
Odense	89	126
Aarhus	82	112
Aalborg	84	114
<i>Landbaggrund</i>		
Keldsnor	85	122
Risø	86	118
Ulborg	84	119

\* Ozon peak season angiver gennemsnit for den maksimale daglige løbende 8-timersmiddelværdi beregnet for de seks på hinanden følgende måneder med de højeste værdier. For Danmark er det fra marts til august.

### 13.5 Partikler, PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>

For de luftbårne partikler (PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>) er der kommet stærk evidens for, at der er betydelige helbredseffekter selv ved udsættelse for lave koncentrationniveauer. På basis af dette har WHO nedsat alle retningslinjerne fra 2006 til 2021 (WHO, 2021a; Tabel 13.5) og for langtidseksponeringen for PM<sub>2,5</sub> er der tale om en halvering. Årsmiddelkoncentrationerne for PM<sub>2,5</sub> lå i 2023 under den gamle retningslinje på 10 µg/m<sup>3</sup> ved alle målestationer i by- og landbaggrund og ved gademålestationerne. Selv ved H.C. Andersens Boulevard var der tale om overholdelse. Koncentrationerne ved gademålestationerne ligger fra omkring 40% til 75% over den nye retningslinje og ved by- og landbaggrundsmålestationerne er niveauet fra omkring 25% til 35% over retningslinjen.

For PM<sub>10</sub> ses omtrent det samme billede, hvor niveauerne var overholdt på alle målestationerne inklusive ved H.C. Andersens Boulevard set i forhold til den gamle retningslinje. I forhold til den nye retningslinje så er der kun ved H.C. Andersens Boulevard at den ikke opfyldes, men alle andre gade-, by- og landbaggrundsmålestationer i det danske målenetværk, ligger nu lavere end den nye retningslinje.

Figur 13.2 viser udviklingstendenserne for årsmiddelværdierne af PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> sammenholdt med EU-grænseværdi og den gamle og nye retningslinje fra WHO.

Retningslinjen for korttidseksponering for PM<sub>2,5</sub> baseret på 99%-fraktilen af døgnmiddelværdierne blev overholdt ved tre ud af ni målestationerne set i forhold til de gamle WHO-retningslinjer fra 2006, men set i forhold til de nye retningslinjer, så ses det, at alle målestationer ligger langt over retningslinjen (60-125%). Koncentrationsniveauet for PM<sub>10</sub> er noget lavere i forhold til retningslinjerne. For PM<sub>10</sub> ligger niveauerne under den gamle retningslinje for alle målestationerne, og det er kun ved gademålestationen ved H.C. Andersens Boulevard, at den nye retningslinje ikke er opfyldt, omend det kun ligger omkring 4% over retningslinjen.

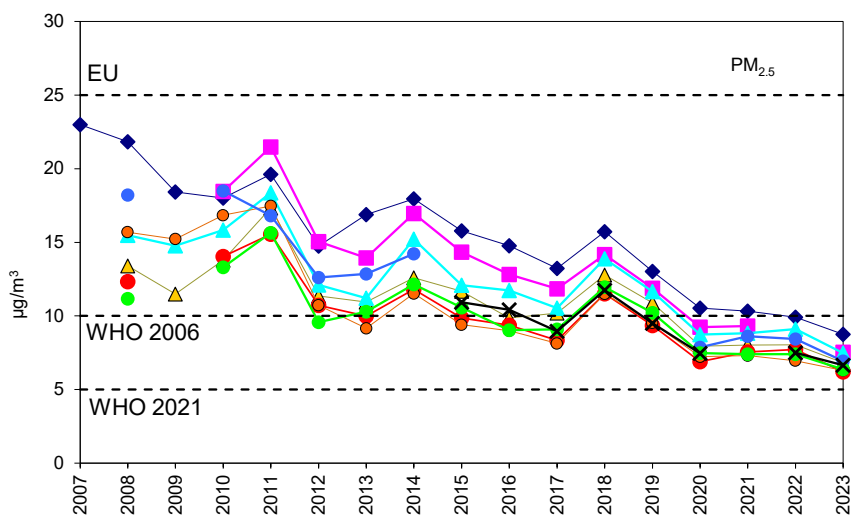
Tabel 13.5 illustrerer endvidere, at det hovedsageligt er PM<sub>2,5</sub>, der skal reduceres for at kunne komme til at overholde de nye retningslinjer fra WHO angående partikler, og at man vil komme væsentligt nærmere på at overholde retningslinjen for PM<sub>10</sub>, hvis blot man sørger for overholdelse af retningslinjen for PM<sub>2,5</sub>. Dette hænger sammen med, at PM<sub>2,5</sub> indgår som en delmængde af PM<sub>10</sub>, så hvis der opnås for eksempel en 5 µg/m<sup>3</sup> reduktion af PM<sub>2,5</sub> ved H.C. Andersens Boulevard, så vil PM<sub>10</sub> ved H.C. Andersens Boulevard ligeledes blive reduceret med 5 µg/m<sup>3</sup>, hvorved årsmiddelværdien i forhold til 2023-målingen kommer ned på 15 µg/m<sup>3</sup>, og dermed vil retningslinjen for langtidseksponering af PM<sub>10</sub> næsten være opfyldt.

**Tabel 13.5.** Sammenligning mellem måleresultater for 2023 for PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> fra de danske målestationer og WHO's retningslinjer fra 2021 (WHO, 2021a).

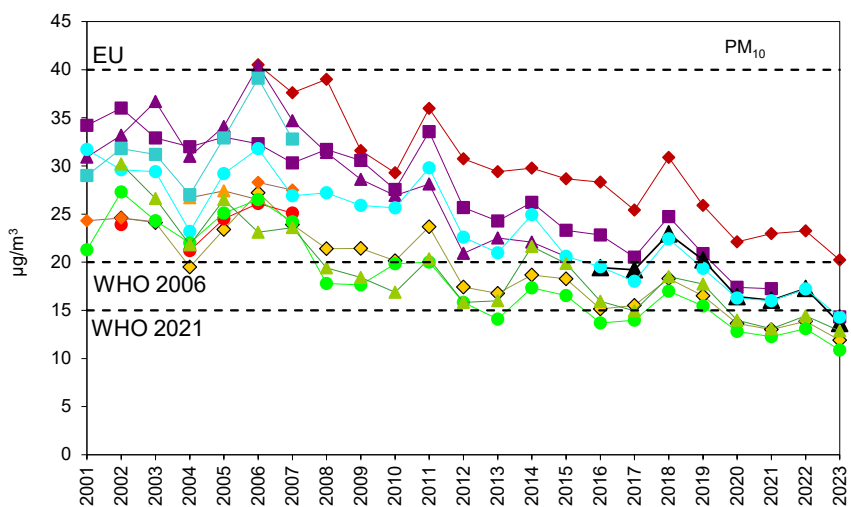
	PM <sub>2,5</sub> Årsmiddel µg/m <sup>3</sup>	PM <sub>10</sub> Årsmiddel µg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2,5</sub> Døgnmiddel 99%-fraktil µg/m <sup>3</sup>	PM <sub>10</sub> Døgnmiddel 99%-fraktil µg/m <sup>3</sup>
<b>WHO 2006</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>
<b>WHO 2021</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>45</b>
<i>Gade</i>				
København, H.C. Andersens Boulevard	8,7 <sup>a</sup>	20 <sup>b</sup>	34	47
København, Jagtvej	7,5 <sup>a</sup>	14 <sup>b</sup>	31	32
Odense, Grønløkkevej		14 <sup>b</sup>		29
Aarhus, Banegaardsgade	7,5 <sup>a</sup>	14 <sup>b</sup>	29	33
Aalborg, Vesterbro	6,9 <sup>a</sup>		27	
<i>Bybaggrund</i>				
København	6,8 <sup>a</sup>	12 <sup>b</sup>	26	30
Aarhus	6,2 <sup>a</sup>		24	
Aalborg	6,3 <sup>a</sup>		26	
<i>Forstad</i>				
Hvidovre	6,7 <sup>a</sup>		25	
<i>Landbaggrund</i>				
Keldsnor		13 <sup>b</sup>		33
Risø	6,4	11 <sup>b</sup>	25	28

<sup>a</sup> Årsmiddelværdien for PM<sub>2,5</sub> er beregnet ud fra et estimat for perioden januar til slut-april (pga. filterproblemer) i kombination med fuldt gyldige data fra den efterfølgende periode (ca. maj – december), hvor disse problemer er løst med ny filtertype. Estimatet er foretaget på basis af en skalering i forhold til PM<sub>2,5</sub> målt ved Risø, hvor der i 2023 er fuld datadækning. For en nærmere beskrivelse af hvordan estimatet er fremkommet for den problematiske periode, se Ellermann et al. (2024).

<sup>d</sup> Årsmiddelværdien for PM<sub>10</sub> er beregnet ud fra data, hvor der indgår både værdier med forhøjede usikkerhed (data som ikke har højeste kvalitetsniveau dvs. perioden januar til slut-april pga. filterproblemer) og data med højeste kvalitetsniveau (perioden ca. maj – december), hvorefter filterproblemerne er løst med ny filtertype. Se Ellermann et al. (2024).



- ◆ København, H.C. Andersens Boulevard
- ◆ København, Jagtvej
- ▲ Aarhus, Banegaardsgade
- Aalborg, gade
- ✕ Hvidovre, forstad
- ▲ København, bybaggrund
- Aarhus, bybaggrund
- Aalborg, bybaggrund
- Risø, landbaggrund



- ◆ København, H.C. Andersens Boulevard
- ◆ København, Jagtvej
- ▲ Odense, Albanigade
- ▲ Aarhus, gade
- Aalborg, gade
- ◆ København, bybaggrund
- ▲ Odense, bybaggrund
- Aarhus, bybaggrund
- Aalborg, bybaggrund
- Risø, landbaggrund
- ▲ Keldsnor, landbaggrund

**Figur 13.2.** Udviklingstendens for årsmiddelværdi af  $PM_{2.5}$  (øverst) og  $PM_{10}$  (nederst) sammenlignet med EU's grænseværdier (EU, 2008) og WHO's retningslinjer fra 2006 og 2021 (WHO, 2021a).

## 13.6 Sammenfatning

Figur 13.3 giver et samlet overblik over, hvordan koncentrationsniveauerne for kvælstofdioxid, carbonmonoxid, svovldioxid, ozon og partikler (PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>) i 2023 er ved de danske målestationer sammenholdt med de opdaterede retningslinjer fra WHO (2021).

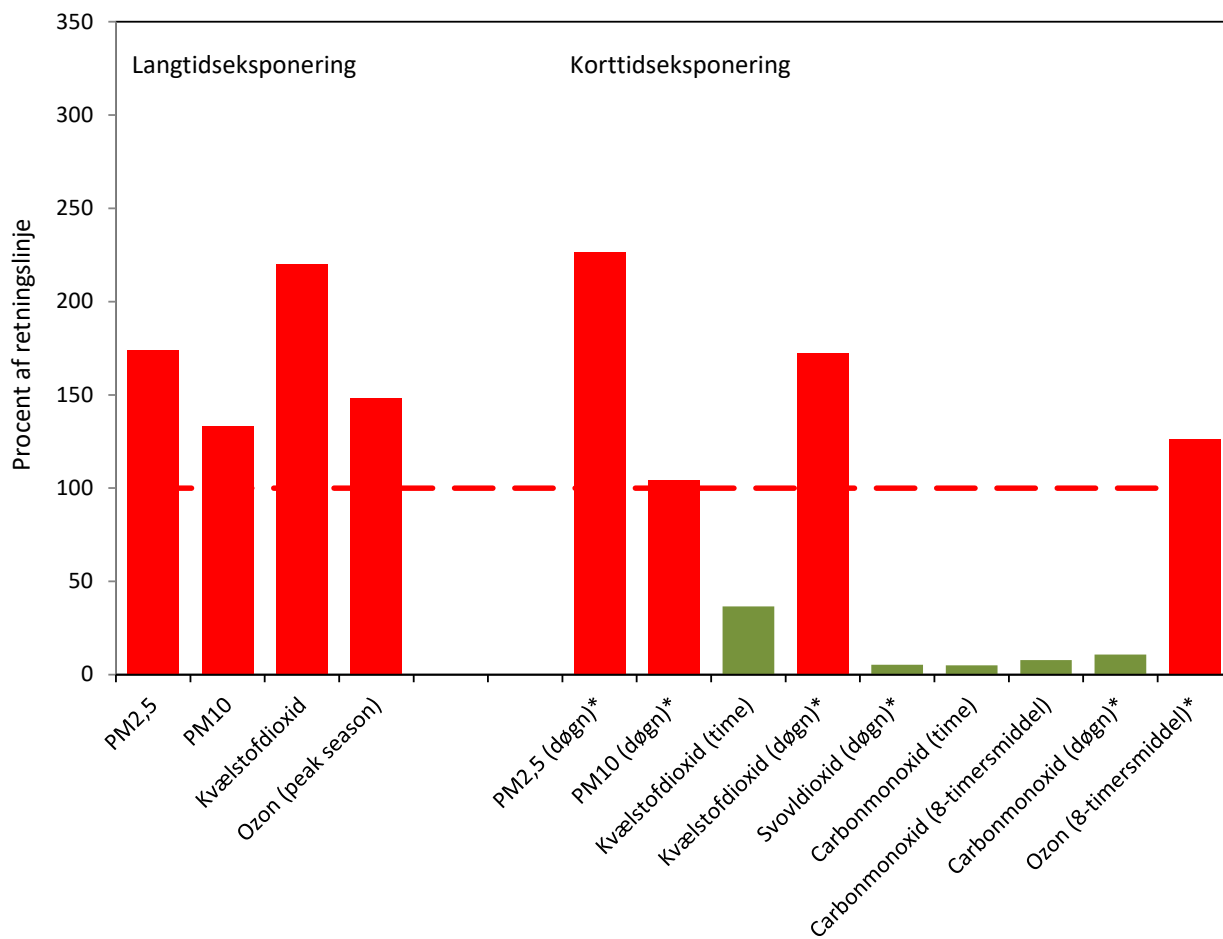
Grænse- og målværdier er indekseret til 100%. For langtidseksponering angiver søjlerne, hvor høj årsmiddelværdien var i procent af grænse- eller målværdien ved den målestation i Danmark, hvor der blev målt den højeste årsmiddelværdi.

For korttidseksponering er værdierne for retningslinjerne fastlagt på den måde, at der må være et vist antal overskridelser af en fastlagt grænse. Som eksempel gælder det for PM<sub>10</sub>, at døgnmiddelværdierne ikke må overskride 50 µg/m<sup>3</sup> mere end 35 gange per kalenderår. Procentsatsen vist i Figur 13.3 angiver døgnmiddelkoncentrationen for den 36. højeste døgnmiddelværdi. For 2023 gælder således, at den 36. højeste døgnmiddelkoncentration ligger på 65% af grænseværdien på 50 µg/m<sup>3</sup>, og dermed opfyldes retningslinjen for døgnmiddelværdien af PM<sub>10</sub>. Figuren præsenterer resultaterne for de andre grænseværdier på tilsvarende vis, hvor der dog er fastlagt forskelligt antal tilladte mål for, hvornår retningslinjerne ikke er opfyldt for de forskellige luftforureningskomponenter.

Koncentrationerne for langtidseksponering ligger for alle luftforureningskomponenter over de nye retningslinjer, hvor PM<sub>2,5</sub> og kvælstofdioxid er længst over retningslinjen.

For korttidseksponering ses ligeledes, at koncentrationerne ligger over de nye retningslinjer for PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, kvælstofdioxid og ozon. Til gengæld er niveauerne for svovldioxid og carbonmonoxid klart under de nye retningslinjer.

Det er de mest helbredsskadelige luftforureningskomponenter (partikler, kvælstofdioxid og ozon), som ligger længst over retningslinjerne. Dette er med til at understrege, at der er behov for at reducere luftforureningen med disse komponenter yderligere, hvis det ønskes, at der opnås en reduktion af de helbredsskadelige effekter fra luftforureningen, som er beskrevet i Kapitel 12.



**Figur 13.3.** Oversigt over luftkvaliteten i Danmark 2023 sammenholdt med WHO's nye retningslinjer vedrørende udsættelse for helbredsskadelige luftforureningskomponenter (WHO, 2021a). Figuren er opdelt i retningslinjer vedrørende langtids- og korttidseksponering. Det er de højeste værdier målt ved de danske målestationer, som angives som procent af WHO's retningslinjer, der er indekseret til 100%. De langsigtede retningslinjer er baseret på årsmiddelkoncentrationer og for ozon på parameteren kaldet Ozon peak season, som beregnes ud fra gennemsnit af den maksimale daglige løbende 8-timersmiddelværdi beregnet for de seks på hinanden følgende måneder med de højeste værdier. De kortsigtede retningslinjer er fastlagt ud fra kalenderårets højeste timemiddelværdi, 99%-fraktilen af døgnmiddel og den maksimale daglige 8-timersmiddelværdi. Hvis en parameter er mærket med stjerne (\*), angiver det, at det er 99%-fraktilen som anvendes.



## 14. Referencer

Andersen, M. S., L. M. Frohn Rasmussen og J. Brandt, 2019. Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 3.0. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. Dato: 14. marts 2019. pp. 22. Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet. [http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2019/Miljoekonomiske\\_beregningspriser\\_for\\_emissioner.pdf](http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2019/Miljoekonomiske_beregningspriser_for_emissioner.pdf)

Andersen, M.S., L.M. Frohn, S.S. Jensen, J.S. Nielsen, P.B. Sørensen, O. Hertel, J. Brandt, and J. Christensen, 2004. Sundhedseffekter af luftforurening – beregningspriser. Faglig rapport fra DMU, nr. 507, pp. 85. [http://www2.dmu.dk/1\\_Viden/2\\_Publikationer-/3\\_Fagrapporter/rapporter/FR507.pdf](http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_Publikationer-/3_Fagrapporter/rapporter/FR507.pdf)

Andersen, M.S., 2017: Co-benefits of climate mitigation: Counting statistical lives or life-years? I: Ecological Indicators, Bind 79, 2017, s. 11-18.

Anenberg, S. C., A. Belova, J. Brandt, N. Fann, S. Greco, S. Guttikunda, M.-E. Heroux, F. Hurley, M. Krzyzanowski, S. Medina, B. Miller, K. Pandey, J. Roos, R. Van Dingenen, 2015. Survey of ambient air pollution health risk assessment tools. *Risk Analysis*. DOI: 10.1111/risa.12540.

Bach, H., M. S. Andersen, J. B. Illerup, F. Møller, K. Birr-Pedersen, J. Brandt, T. Ellermann, L. M. Frohn, K. M. Hansen, F. Palmgren, J. Seested and M. Winther, 2006. Vurdering af de samfundsøkonomiske konsekvenser af Kommissionens temastrategi om luftforurening, Faglig rapport fra DMU, Nr 586, 2006.

Barré, J., Petetin, H., Colette, A., Guevara, M., Peuch, V.H., Rouil, L., Engelen, R., Inness, A., Flemming, J., Pérez García-Pando, C., Bowdalo, D., Meleux, F., Geels, C., Christensen, J.H., Gauss, M., Benedictow, A., Tsyro, S., Friese, E., Struzewska, J., Kaminski, J.W., Douros, J., Timmermans, R., Robertson, L., Adani, M., Jorba, O., Joly, M. & Kouznetsov, R. 2021: Estimating lockdown-induced European NO<sub>2</sub> changes using satellite and surface observations and air quality models, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(9), 7373-7394. <https://doi.org/10.5194/acp-21-7373-2021>

Berkowicz, R., 2000a: OSPM - A parameterized street pollution model, *Environmental Monitoring and Assessment* 2000, 65, 323-331. doi: 10.1023/A:1006448321977.

Berkowicz, R., 2000b: A simple model for urban background pollution. *Environ. Monit. Assess.* 65 (1/2), 259-267.

Blomgren, H. 2021: Personlig korrespondance den 27. oktober 2021.

Brandt, J., Christensen, J.H. Frohn, L.M. Palmgren, F. Berkowicz R. & Zlatev, Z., 2001: Operational air pollution forecasts from European to local scale. *Atmospheric Environment*, Vol. 35, Sup. No. 1, pp. S91-S98.

Brandt, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M. & Berkowicz, R., 2003: Air pollution forecasting from regional to urban street scale – implementation and validation for two cities in Denmark. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 28, pp. 335-344.

Brandt, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Berkowicz, R. & Palmgren, F. 2000: The DMU-ATMI THOR Air Pollution Forecast System. System Description, National Environmental Research Institute, Roskilde Denmark 60 pp. -NERI Technical Report No. 321. [https://www2.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Publikationer/3\\_fagrapporter/rapporter/fr321.pdf](https://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/fr321.pdf)

Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. Bønløkke, T. Sigsgaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E. Kaas and L. M. Frohn, 2013a. Contribution from the ten major emission sectors in Europe to the Health-Cost Externalities of Air Pollution using the EVA Model System – an integrated modelling approach. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 13, pp. 7725-7746, 2013. [www.atmos-chemphys.net/13/7725/2013/](http://www.atmos-chemphys.net/13/7725/2013/), doi:10.5194/acp-13-7725-2013.

Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. Bønløkke, T. Sigsgaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E. Kaas and L. M. Frohn, 2013b. Assessment of Past, Present and Future Health-Cost Externalities of Air Pollution in Europe and the contribution from international ship traffic using the EVA Model System. *Atmospheric Chemistry and Physics*. Vol. 13, pp. 7747-7764, 2013. [www.atmos-chemphys.net/13/7747/2013/](http://www.atmos-chemphys.net/13/7747/2013/). doi:10.5194/acp-13-7747-2013.

Brandt, J., Jensen, S.S., Andersen, M.S., Plejdrup, M.S., Nielsen, O.K. 2016. Helbredseffekter og helbredsomkostninger fra emissionssektorer i Danmark. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 47 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 182 <http://dce2.au.dk/pub/SR182.pdf>

Brandt, J., M. S. Andersen, J. Bønløkke, J. H. Christensen, K. M. Hansen, O. Hertel, U. Im, S. S. Jensen, M. Ketzel, O.-K. Nielsen, M. S. Plejdrup, T. Sigsgaard and C. Geels, 2015. High-resolution modelling of health impacts and related external cost from air pollution using the integrated model system EVA. Proceedings from ITM 2015, 34th International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application. 4-8 May, 2015, Montpellier, France. pp. 125-128.

Brandt, J., Silver, J.D., Christensen, J.H., Andersen, M.S., Bønløkke, J.H., Sigsgaard, T., Geels, C., Gross, A., Hansen, A.B., Hansen, K.M., Hedegaard, G.B., Kaas, E. & Frohn, L.M., 2011: Assessment of Health-Cost Externalities of Air Pollution at the National Level using the EVA Model System, CEEH Scientific Report No 3, Centre for Energy, Environment and Health Report series, March 2011, pp. 98.

Brandt, J., Silver, J.D., Frohn, L.M., Geels, C., Gross, A., Hansen, A.B., Hansen, K.M., Hedegaard, G.B., Skjøth, C.A., Villadsen, H., Zare, A. & Christensen, J.H., 2012: An integrated model study for Europe and North America using the Danish Eulerian Hemispheric Model with focus on intercontinental transport, *Atmospheric Environment*, Volume 53, June 2012, pp. 156-176, doi:10.1016/j.atmosenv.2012.01.011.

Brandt, J., J. H. Christensen og M. S. Andersen. 2023. Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 4.0. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 23 s. Fagligt notat nr. 2023 | 54. [https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2023/N2023\\_54.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2023/N2023_54.pdf)

Burnett R, Chen H, Szyszkowicz M, Fann N, Hubbell B, Pope CA III et al. (2018). Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 115(38m):9592-7. doi: 10.1073/pnas.1803222115.

Burnett, R., Chena, H., Szyszkowicza, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope III, C. A., Apte, J. S., Brauer, M., Cohen, A., Weichenthal, S., Coggin, J., Di Q., Brunekreef B., Frostad, J., Lim, S. S., Kan, H., Walker, K. D., Thurston, G. D., Hayes, R. B., Lim, C. C., Turner, M. C., Jerrett, M., Krewski, D., Gapstur, S. M., Diver, W. R., Ostro, B., Goldberg, D., Crouse, D. L., Martin, R. V., Peters, P., Pinault, L., Tjepkema, M., van Donkelaar, M., Villeneuve, P. J., Miller, A. B., Yin, P., Zhou, M., Wang, L., Janssen, N. A. H., Marra, M., Atkinson, R. W., Tsang, H., Thach, T. Q., Cannon, J. B., Allen, R. T., Hart, J. E., Laden, F., Cesaroni, G., Forastiere, F., Weinmayr, G., Jaensch, A., Nagel, G., Concin, H. and Spadar, J. V., Global estimates of mortality associated with longterm exposure to outdoor fine particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 38 (115), pp. 9592-9597. doi: 10.1073/pnas.1803222115. 2018.

Bønløkke, J. H., T. Sigsgaard, J. Brandt, L. M. Frohn, E. M. Flachs, H. Brønnum-Hansen, M.-L. Sigsgaard-Andersen, 2011. CEEH Scientific Report No. 7a - Description of the CEEH health effect model. Centre for Energy, Environment and Health Report Series, pp. 76, 2011. ISSN 1904-7495.

CEIP, 2024: <https://www.ceip.at/webdab-emission-database>

Chen J, Hoek G, 2020. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: a systematic review and meta-analysis. *Environ Int*. 143:105974. doi: 10.1016/j.envint.2020.105974. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105974>

Chen, J. S. Rodopolou, K. de Hoogh, M. Strak, Z. J. Andersen, R. Atkinson, M. Bauwelinck, T. Bellander, J. Brandt, G. Cesaroni, H. Concin, D. Fehcht, F. Forastiere, J. Gulliver, O. Hertel, B. Hoffmann, U. A. Hvidtfeldt, N. Janssen, K.-H. Jöckel, J. Jørgensen, K. Katsouyanni, M. Ketzel, J. O. Klompmaker, A. Lager, K. Leander, S. Liu, P. Ljungman, C. J. MacDonald, P. K.E. Magnusson, A. Mehta, G. Nagel, B. Oftedal, G. Pershagen, A. Peters, O. Raaschou-Nielsen, M. Renzi, D. Rizzuto, E. Samoli, Y. T. van der Schouw, S. Schramm, P. Schwarze, T. Sigsgaard, M. Sørensen, M. Stafoggia, A. Tjønneland, W. M. M. Verschuren, D. Vienneau, G. Weinmayr, K. Wolf, B. Bru-nekreef, G. Hoek, 2021. Long-term exposure to fine particle elemental components and natural and cause-specific mortality – a pooled analysis of eight European cohorts within the ELAPSE project. *Environmental Health Perspectives*. Volume 129, Issue 4, 1 April 2021, Page 47000. <https://doi.org/10.1289/EHP8368>

Chen, J., Hoek, G., de Hoogh, K., Rodopoulou, S., Andersen, Z.J., Bellander, T., Brandt, J., Fecht, D., Forastiere, F., Gulliver, J., Hertel, O., Hoffmann, B., Hvidtfeldt, U.A., Verschuren, W.M.M., Jöckel, K.-H., Jørgensen, J.T., Katsouyanni, K., Ketzel, M., Brynedal, B., Leander, K., Liu, S., Ljungman, P., Faure, E., Magnusson, P.K.E., Nagel, G., Pershagen, G., Peters, A., Raaschou-Nielsen, O., Rizzuto, D., Samoli, E., van der Schouw, Y.T., Schramm, S., Severi, G., Stafoggia, M., Strak, M., Sørensen, M., Tjønneland, A., Weinmayr, G., Wolf, K., Zitt, E., Brunekreef, B., Thurston, G.D., 2022. Long-term exposure to source-specific fine particles and mortality – a pooled analysis of 14 European cohorts within the ELAPSE project. *Environmental Science & Technology*. 2022, 56, 13, 9277–9290. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01912>

Christensen, J.H., 1997: The Danish Eulerian Hemispheric Model – a three-dimensional air pollution model used for the Arctic, *Atm. Env.*, 31, 4169–4191.

DCE (2021). [Air Pollutants \(au.dk\)](#)

DØRS (2016). Værdi af statistisk liv, Luftforurening, Danmark fossilfri 2025. Diskussionsoplæg. Udarbejdet af formandskabet for De Økonomiske Råd til Møde i Det Miljøøkonomiske Råd den 1. marts 2016. 248 s.

EEA, 2019. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report No 13/2019. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>.

EEA, 2020. Air quality in Europe – 2020 report. EEA Report No 9/2020. 162 pp., European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark. [Air quality in Europe - 2020 report – European Environment Agency \(europa.eu\)](#)

EEA, 2023. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023. Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report No 06/2023. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023>.

Ellermann, T. og Jensen, S.S. 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.

Ellermann, T., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M., Massling, A., Bossi, R., Frohn, L.M., Geels, C., Jensen, S.S., Nielsen, O.-K., Winther, M., Bech Poulsen, M., Monies, C. og Sørensen, M.B. 2022: Luftkvalitet 2020. Status for den nationale luftkvalitetsovervågning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 144 s. - Videnskabelig rapport nr. 467. <http://dce2.au.dk/pub/SR467.pdf>

Ellermann, T., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M., Massling, A., Bossi, R., Frohn, L.M., Geels, C., Jensen, S.S., Ole-Kenneth Nielsen, O.-K., Winther, M., Poulsen, M.B., Monies, C., Sørensen, M.B., Andersen, M.S. og Sigsgaard, T., 2023. Luftkvalitet 2021. Status for den nationale luftkvalitetsovervågning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 148 s. - Videnskabelig rapport nr. 533. <http://dce2.au.dk/pub/SR533.pdf>

Ellermann, T., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketznel, M., Massling, A., Bossi, R., Frohn, L.M., Geels, C., Jensen, S.S., Ole-Kenneth Nielsen, O.-K., Winther, M., Poulsen, M.B., Monies, C., Sørensen, M.B., Andersen, M.S. og 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. <http://dce2.au.dk/pub/SR580.pdf>

Ellermann, T., Bossi, R., Nygaard, J., Christensen, J., Løfstrøm, P., Monies, C., Geels, C., Nilsen, I. E., & Poulsen, M. B., 2021: Atmosfærisk deposition 2019. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 90s. – Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 415. <http://dce2.au.dk/pub/SR415.pdf>

Ellermann, T., Nordstrøm, C., Nygaard, J. og Massling, A., 2020: Status for måling af luftkvalitet i 2019. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 14 s. - Notat nr. 2020 | 41.

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

Ellermann, T., Nygaard, J., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketznel, M., Massling, A., Bossi, R. & Jensen, S.S. 2017: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2016. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 78 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 234. <http://dce2.au.dk/pub/SR234.pdf>

Ellermann, T., Nygaard, J., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketznel, M., Massling, A., Bossi, R., Frohn, L.M., Geels, C. & Jensen, S.S. 2020. The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2018. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 83 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 218. <http://dce2.au.dk/pub/SR360.pdf>

Ellermann, T., Nøjgaard, J.K. & Bossi, R. 2011: Supplerende målinger til luftovervågning under NOVANA – benzen og PAH. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 42 s. – Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 3

EU, 2004: Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. Official Journal of the European Union L23/3.

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, 2016: Europa-Parlamentets og Rådets Direktiv (EU) 2016/2284 af 14. december 2016 om nedbringelse af nationale emissioner af visse luftforurenende stoffer, om ændring af direktiv 2003/35/EF og om ophævelse af direktiv 2001/81/EF. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016L2284>

Finansministeriet (2017): Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger. August 2017.

Frohn, L.M., Ketzel, M., Christensen, J.H., Brandt, J., Im, U., Massling, A., Andersen, C., Plejdrup, M.S., Nielsen, O.-K., Manders, A. and Raaschou-Nielsen, O., 2021: "Modelling ultrafine particle number concentrations at address resolution in Denmark from 1979 to 2018 – Part 1: regional and urban scale modelling and evaluation". *Atmospheric Environment*, vol. 264, 118631. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118631>.

Frohn, L. M., C. Geels, C. Andersen, C. Andersson, C. Bennet, J. H. Christensen, U. Im, N. Karvosenoja, P. A. Kindler, J. Kukkonen, S. Lopez-Aparicio, O.-K. Nielsen, Y. Palamarchuk, V.-V. Paunu, M. S. Plejdrup, D. Segersson, M. Sofiev and J. Brandt, 2022. Evaluation of multidecadal high-resolution atmospheric chemistry transport modelling for exposure assessments in the continental Nordic countries. *Atmospheric Environment*. Volume 290, 1 December 2022, 119334. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119334>

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>.

Hoek, G., Krishnan, R.M., Beelen, R. et al. Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review. *Environ Health* 12, 43 (2013). <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-43>.

Holland, M., Berry J. & Forster, D. Eds. 1999: Externe Externalities of Energy Volume 7: Methodology 1998 Update. European Commission, Directorate-General XII, Science, Research and Development. Brussels. Pp. 518. ISBN: 9282877825.

Hvidtfeldt, U., C. Geels, M. Sørensen, M. Ketzel, J. Khan, A. Tjønneland, J. H. Christensen, J. Brandt, O. Raaschou-Nielsen, 2019. Long-term residential exposure to PM<sub>2.5</sub> constituents and mortality in a Danish cohort. *Environment International*. Volume 133, Part B, December 2019, 105268. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105268>.

Im, U., Christensen, J. H., Nielsen, O.-K., Sand, M., Makkonen, R., Geels, C., Anderson, C., Kukkonen, J., Lopez-Aparicio, S., and Brandt, J.: Contributions of Nordic anthropogenic emissions on air pollution and premature mortality over the Nordic region and the Arctic, *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 12975–12992, <https://doi.org/10.5194/acp-19-12975-2019>, 2019.

Im, U., Brandt, J., Bauer, S.E., Tsigaridis, K., Frohn, L.M., Geels, C., 2023. Present-day and future PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub>-related global and regional premature mortality in the EVA v6.0 health impact assessment model. *Environmental Research*. 2023 Jan 1;216(Pt 4):114702. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114702>

Jensen, S.S., Winther, M., Løfstrøm, P., Ketzel, M., Frohn, L.M. 2021. Kortlægning af udviklingen i luftforurening fra krydstogtskibe og andre skibe i fem danske havne. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 129 s. – Videnskabelig rapport nr. 413. <http://dce2.au.dk/pub/SR413.pdf>

Jensen, S.S., Berkowicz, R., Hansen, H. Sten. & Hertel, O. 2001: A Danish decision-support GIS tool for management of urban air quality and human exposures. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 6, Issue 4, 2001, pp. 229-241.

Jensen, S.S., Ketznel, M., Becker, T., Christensen, J., Brandt, J., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, O.-K., Hertel, O., Ellermann, T. 2017: High Resolution Multi-scale Air Quality Modelling for All Streets in Denmark. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 52 (2017) 322-339. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.019>.

Jensen, S.S., Winther, M., Løfstrøm, P., Frohn, L.M. 2019: Kortlægning af luftforurening fra krydstogtskibe. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 78 s. - Videnskabelig rapport nr. 316. <http://dce2.au.dk/pub/SR316.pdf>

Jensen, S.S., Ketznel, M., Khan, J., Valencia, V.H., Brandt, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Nielsen, O.-K. Plejdrup, M.S., Ellermann, T. 2021: Luften på din vej 2.0. DCE-Nationalt Center for Miljø og Energi, 62 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 445, <http://dce2.au.dk/pub/SR445.pdf>

Jensen, S.S., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Ketznel, M., Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., 2023. 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., Andersen, C., Ketznel, M., Winther, M. 2024. Evaluering af skærpede miljøzoner for dieselpersonbiler. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 80 s. - Videnskabelig rapport nr. 608.

Johansson, L., Jalkanen, J.-P., and Kukkonen, J. 2017: Global assessment of shipping emissions in 2015 on a high spatial and temporal resolution *Atmospheric Environment* 167, 403-415, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.042>, 2017.

Ketznel, M., Jensen, S.S, Brandt, J., Ellermann, T., Olesen, H.R., Berkowicz, R. & Hertel, O. 2013: Evaluation of the Street Pollution Model OSPM for Measurements at 12 Streets Stations Using a Newly Developed and Freely Available Evaluation Tool. *J Civil Environ Eng*, S1:004. doi:10.4172/2165-784X.S1-004.

Ketznel, M., Frohn, L.M., Christensen, J.H., Brandt, J., Massling, A., Andersen, C., Im, U., Jensen, S.S., Khan, J., Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Manders, A., van der Gon, H.D., Kumar, P., Raaschou-Nielsen, O. (2021): Modelling ultrafine particle number concentrations at address resolution in Denmark from 1979 to 2018 - Part 2: Local and street scale modelling and evaluation. *Atmospheric Environment*, vol. 264, 118633. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118633>.

Khan, J., K. Kakosimos, O. Raaschou-Nielsen, J. Brandt, S.S. Jensen, T. Ellermann, M. Ketznel, 2018: Development and Performance Evaluation of New AirGIS - A GIS Based Air Pollution and Human Exposure Modelling System. Submitted to *Atmospheric Environment*.

Lehtomaki, H., Geels, C., Brandt, J., Rao, S., Yaramenka, K., Astrom, S., Andersen, M. S., Frohn, L. M., Im, U., and Hanninen, O. 2020: Deaths Attributable to Air Pollution in Nordic Countries: Disparities in the Estimates, Atmosphere-Basel, 11, ARTN 467.

Lelieveld, J., Klingmüller, K., Pozzer, A., Pöschl, U., Fnais, M., Daiber, A., Münzel, T. Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. European Heart Journal 40, 1590-1596. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz135>, 2019.

Miljø- og ligestillingsministeriet, 2017: Bekendtgørelse om vurdering og styring af luftkvaliteten. Bekendtgørelse nr. 1472 af 12/12/2017 (In Danish). København, Danmark.

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Mikkelsen, M.H., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Fauser, P., Albrektsen, R., Hjelgaard, K.H. & Bruun, H.G., 2024. Annual Danish Informative Inventory Report to UNECE. Emission inventories from the base year of the protocols to year 2022. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 628 pp. Scientific Report No. 595.

Olesen, H.R., Winther, M., Ellermann, T., Christensen, J., Plejdrup, M. 2009: Ship emissions and air pollution in Denmark. Present situation and future scenarios. 134 pp. Environmental Project No. 1307, 2009. Miljøprojekt. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen, Denmark.

Ottosen, T.-B., Kakosimos, K. E., Johansson, C., Hertel, O., Brandt, J., Skov, H., Berkowicz, R., Ellermann, T., Jensen, S. S. & Ketznel, M. 2015: Analysis of the impact of inhomogeneous emissions in a semi-parameterized street canyon model. I : Geoscientific Model Development Discussions. 8, 3231-3245, 2015. doi:10.5194/gmd-8-3231-2015.

Plejdrup, M.S., Nielsen, O.-K., Gyldenkerne, S. & Bruun, H.G. 2021. Spatial high-resolution distribution of emissions to air - SPREAD 3.0. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 208 pp. Technical Report No. 215 <http://dce2.au.dk/pub/TR215.pdf>

Raaschou-Nielsen, O., E. Thorsteinson, S. Antonsen, G. J Holst, A. Tjønneland, M. Ketznel, T. Sigsgaard, C. Geels, J. Brandt, C. B Pedersen, U. A. Hvidtfeldt, 2020 Air pollution and mortality in the Danish population - a nationwide study. The Lancet EClinicalMedicine. Vol. 28, November 2020. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2020.100605>.

Raaschou-Nielsen, O., Antonsen, S., Agerbo, E., Hvidtfeldt, U.A., Geels, C., Frohn, L.M., Christensen, J.H., Brandt, J., Pedersen, C.B., 2023. PM2.5 air pollution components and mortality in Denmark. Environment International, Volume 171, January 2023, 107685. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107685>

Roux, M.S. og Nerentorp, M. 2024. HG-data tilsendt fra Marta Segura Roux (stedfortræder for Michelle Nerentorp), IVL Svenska Miljöinstitutet, Göteborg, Sverige.



Simpson, D., Benedictow, A., Berge, H., Bergström, R., Emberson, L. D., Fagerli, H., Flechard, C. R., Hayman, G. D., Gauss, M., Jonson, J. E., Jenkin, M. E., Nyíri, A., Richter, C., Semeena, V. S., Tsyro, S., Tuovinen, J.-P., Valdebenito, Á., and Wind, P., 2012: The EMEP MSC-W chemical transport model – technical description, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 7825–7865, <https://doi.org/10.5194/acp-12-7825-2012>.

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D., Duda, M. G., Powers, J. G. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3 (No. NCAR/TN-475+STR). University Corporation for Atmospheric Research. doi:10.5065/D68S4MVH

So, R. J. T. Jørgensen, Y.-H. Lim, A. J. Mehta, H. Amini, L. H. Mortensen, R. Westendorp, M. Ketzler, O. Hertel, J. Brandt, J. H. Christensen, C. Geels, L. M. Frohn, T. Sigsgaard, E. V. Bräuner, S. S. Jensen, C. Backalarzj, J. E. Laursen, M. K. Simonsen, S. Loft, T. Cole-Hunter, Z. J. Andersen, 2020. Long-term exposure to low levels of air pollution and mortality adjusting for road traffic noise: A Danish Nurse Cohort study. *Environment International*. Volume 143, October 2020, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105983>

Stafoggia, M., B. Oftedal, J. Chen, S. Rodopoulou, M. Renzi, R. Atkinson, M. Bauwelinck, J. O. Klomp maker, A. Mehta, D. Vienneau, Z. J. Andersen, T. Bellander, J. Brandt, G. Cesaroni, H. Concin, K. de Hoogh, D. Fecht, J. Gulliver, O. Hertel, B. Hoffmann, U. A. Hvidtfeldt, K.-H. Jöckel, J. Jørgensen, K. Katsouyanni, M. Ketzler, D. T. Kristoffersen, A. Lager, K. Leander, S. Liu, P. Ljungman, P. K. E. Magnusson, G. Nagel, G. Pershagen, A. Peters, O. Raaschou-Nielsen, D. Rizzuto, S. Schramm, P. Schwarze, G. Severi, T. Sigsgaard, M. Sørensen, M. Strak, A. Tjønneland, Y. T. van der Schouw, M. Verschuren, G. Weinmayr, K. Wolf, E. Samoli, F. Forastiere, B. Brunekreef, G. Hoek, N. A. H. Janssen, 2022. Long-term Exposure to Low Ambient Air Pollution Concentrations and Cause-specific Mortality among 28 Million Subjects – Results from seven European administrative cohorts within the ELAPSE Project. *The Lancet Planetary Health*. Volume 6, Issue 1, January 2022, Pages e9-e18. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00277-1](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00277-1)

Strak, M., G. Weinmayr, S. Rodopolou, J. Chen, K. de Hoogh, Z.J. Andersen, R. Atkinson, M. Bauwelinck, T. Bellander, J. Brandt, G. Cesaroni, H. Concin, D. Fecht, F. Forastiere, J. Gulliver, O. Hertel, B. Hoffmann, U.A. Hvidtfeldt, N.A.H. Janssen, K.-H. Jöckel, J. Jørgensen, M. Ketzler, J.O. Klomp maker, A. Lager, K. Leander, S. Liu, P. Ljungman, C.J. MacDonald, P.K.E. Magnusson, A. Mehta, G. Nagel, B. Oftedal, G. Pershagen, A. Peters, O. Raaschou-Nielsen, M. Renzi, D. Rizzuto, Y.T. van der Schouw, S. Schramm, P. Schwarze, T. Sigsgaard, M. Sørensen, M. Stafoggia, A. Tjønneland, D. Vienneau, K. Wolf, K. Katsouyanni, B. Brunekreef, G. Hoek, E. Samoli, 2021. Long-term exposure to low-level air pollution and mortality in eight European cohorts within the ELAPSE project: pooled analysis. *BMJ*. 2021; 374; n1904 doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.n1904>

Turpin, B.J. & Lim, H.-J., 2010: Species Contributions to PM<sub>2.5</sub> Mass Concentrations: Revisiting Common Assumptions for Estimating Organic Mass, *Aerosol Science and Technology*, 35: 1, 602 – 610, First published on: 30 November 2010 (iFirst). DOI: 0.1080/02786820119445URL. Available at: <http://dx.doi.org/10.1080/02786820119445>

Vejdirektoratet, 2021: <https://www.vejdirektoratet.dk/side/trafikkens-udvikling-i-tal>. (Besøgt august 2021).

WHO Regional Office for Europe, 2013: Health risks of air pollution in Europe—HRAPIE project: recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/health-risks-of-air-pollution-in-europe-hrapie-projectrecommndations-for-concentrationresponse-functions-forcostbenefit-analysis-of-particulate-matter,-ozone-and-nitrogendioxide>

WHO, 2014. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/> (webpage accessed 12/11-2020).

WHO, 2021a. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: [CC BY-NC-SA 3.0 IGO](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/). <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>

WHO, 2021b. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).

Xu, S., A. Marcon, R. Jacobsen Bertelsen, B. Benediktsdottir, J. Brandt, L. M. Frohn, C. Geels, T. Gislason, J. Heinrich, M. Holm, C. Janson, R. Jogi, I. Markevych, H. Orru, A. Oudin, V. Schlünssen, T. Sigsgaard, A. Johannessen, 2023. Long-term exposure to low-level air pollution and greenness and mortality in Northern Europe. The Life-GAP Project. Environment International. Nov:181:108257. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108257>

## Bilag 1

I overvågningsprogrammet suppleres de permanente målinger med modelberegninger for kvælstofdioxid,  $PM_{2,5}$ , og  $PM_{10}$  på gadeniveau samt ozon, på regionalt niveau. Modelberegningerne bliver gennemført med det integrerede multiskala modelsystem DEHM/UBM/AirGIS, som er i stand til at beregne luftforureningskoncentrationer på regionalt niveau og bybaggrunds niveau samt for udvalgte gader på begge vejsider. Modelsystemet DEHM/UBM/AirGIS består af følgende modeller: Danish Eulerian Hemispheric Model, DEHM (Christensen 1997; Brandt et al., 2012), Urban Background Model, UBM (Brandt et al., 2001; Brandt et al., 2003; Frohn et al., 2022) og Operational Street Pollution Model, OSPM® (Berkowicz 2000a; Ketzel et al., 2012).

Dette bilag beskriver kalibrering, justering og dokumentation af modelberegningernes kvalitet.

### Modelkalibrering og -validering

I rapporteringen for 2013 blev modelberegningerne med OSPM væsentlig forbedret med revisioner af modellen. Disse forbedringer er relateret til beregning af den generelle bygningshøjde, revision af emissionsfaktorer for kvælstofoxider for Euro 5 og 6 personbiler og brug af nye rejsehastigheder for trafikken baseret på GPS-data fra Vejdirektoratet (SpeedMap) og efterfulgt af rekalkibrering af modellen. Bilag 3 i Ellermann et al. (2014) beskriver ændringer og deres indflydelse på modelresultaterne. Modelopsætning for denne rapportering for 2023 er tæt på opsætningen for 2013 og efterfølgende år.

Sammenligning mellem model og målinger for kvælstofdioxidkoncentrationerne for 2023 er vist i tabel A.1.

Sammenligning mellem model og målinger for kvælstofdioxidkoncentrationerne for 2023 viser både under- og overestimering på -34 % til 12 % for de fem gademålestationer. Modelresultater for kvælstofdioxid viser ca. samme overensstemmelse med målingerne som i sidste års beregninger.

De modellerede årsmiddelkoncentrationerne for kvælstofdioxid er væsentligt under EU's grænseværdi på  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , men væsentligt over WHO's retningslinjer på  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , på alle gademålestationer. Bybaggrund- og landbaggrundsmålestationer overholder WHO's nye retningslinjer.

**Table A.1.** Sammenligning af modellerede og målte årsmiddelkoncentrationer for kvælstofdioxid i 2023.

Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Målinger	Modelresultater	Difference	Model
<b>Gade:</b>				
København/HCAB / 1103	21,7	22,1	1,7%	DEHM/UBM/OSPM
København/Jagtvej / 1257	15,8	17,7	12%	DEHM/UBM/OSPM
Aarhus / 6153	17,6	11,6	-34%	DEHM/UBM/OSPM
Aalborg / 8152	15	12,4	-17%	DEHM/UBM/OSPM
Odense / 9156	10	9,8	-2,3%	DEHM/UBM/OSPM
<b>Bybaggrund:</b>				
København / 1259	7,8	11,1	42%	DEHM/UBM
Aarhus / 6160	8,1	7,3	-9,3%	DEHM/UBM
Odense / 9159	5,1	6,8	33%	DEHM/UBM
Aalborg / 8159	7,2	7,3	0,6%	DEHM/UBM
<b>Forstad:</b>				
Hvidovre / 2650	8,1	9,2	14%	DEHM/UBM
<b>Landbaggrund:</b>				
Risø / 2090	4,8	7,7	61%	DEHM/UBM
Keldsnor / 9055	5,4	7,6	40%	DEHM/UBM
Ulborg / 7060	2,5	3,7	46%	DEHM/UBM
Anholt / 6001	3,3	4,9	51%	DEHM/UBM

Sammenligning mellem modellerede og målte  $\text{PM}_{2,5}$ - og  $\text{PM}_{10}$ -koncentrationer er vist hhv. i tabel A.2 og tabel A.3. De modellerede partikelkoncentrationer for både  $\text{PM}_{2,5}$  og  $\text{PM}_{10}$  på de fire gademålestationer viser relative afvigelser fra de målte værdier fra -1% til 29% med en tendens til en overestimering. Der findes også en mindre overestimering på bybaggrunds-, landbaggrunds-, og forstadsmålestationer fra 13% til 31%. Her må bemærkes, at der er en større usikkerhed i de målte PM-værdier i 2023 pga. problemer med skift af filtermateriale og en stor andel af manglende målinger.

De modellerede  $\text{PM}_{2,5}$ -årsmiddelkoncentrationerne er væsentligt under EU's grænseværdi på  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , men over WHO's nye retningslinjer på  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , hvilket gælder alle typer af stationer.

For de modellerede  $\text{PM}_{10}$ -årsmiddelkoncentrationerne er de ligeledes væsentligt under EU's grænseværdi på  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , men gademålestationer er over WHO's nye retningslinjer på  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Bybaggrund- og landbaggrundsmålestationer overholder WHO's nye retningslinjer.

**Tabel A.2.** Sammenligning mellem årsmidler af modellerede (inkl. korrektion) og målte PM<sub>2,5</sub>-koncentrationer i 2023. Målinger i denne tabel er angivet for atmosfæriske standardbetingelser, mens tabellen i kapitel 7 giver værdier under betingelser i omgivelserne. Derfor optræder der minimale forskelle.

Enhed: µg/m <sup>3</sup>	Målinger	Modelresultater	Difference	Model anvendt
<b>Gade:</b>				
Copenhagen/HCAB / 1103	7,5	8,7	17%	DEHM/UBM/OSPM
Copenhagen/Jagtvej / 1257	6,2	8,0	29%	DEHM/UBM/OSPM
Aarhus / 6153	6,3	7,6	20%	DEHM/UBM/OSPM
Aalborg / 8152	5,8	7,0	21%	DEHM/UBM/OSPM
<b>Bybaggrund:</b>				
Copenhagen / 1259	5,8	6,9	19%	DEHM/UBM
Aarhus / 6160	5,4	6,8	26%	DEHM/UBM
Aalborg / 8159	5,5	6,4	17%	DEHM/UBM
<b>Forstad:</b>				
Hvidovre / 2650	5,8	6,8	17%	DEHM/UBM
<b>Landbaggrund:</b>				
Risø / 2090	6,4	7,7	20%	DEHM/UBM

**Tabel A.3.** Sammenligning mellem modellerede og målte PM<sub>10</sub>-koncentrationer i 2023. Målinger i denne tabel er angivet for atmosfæriske standardbetingelser, mens tabellen i kapitel 7 giver værdier under betingelser i omgivelserne. Derfor optræder der minimale forskelle.

Enhed: µg/m <sup>3</sup>	Målinger	Modelresultater	Difference	Model anvendt
<b>Gade:</b>				
København/HCAB / 1103	20,2	19,2	-5,1%	DEHM/UBM/OSPM
København/Jagtvej / 1257	14,3	16,7	17	DEHM/UBM/OSPM
Aarhus / 6153	14,3	16,8	18%	DEHM/UBM/OSPM
Odense / 9156	13,6	16,2	19%	DEHM/UBM/OSPM
<b>Bybaggrund:</b>				
Copenhagen / 1259	11,9	13,4	13%	DEHM/UBM
<b>Landbaggrund:</b>				
Risø / 2090	10,9	14,1	30%	DEHM/UBM
Keldsnor / 9055	12,9	16,8	31%	DEHM/UBM

### Detaljer om kalibrering af OSPM og validering af modelresultater

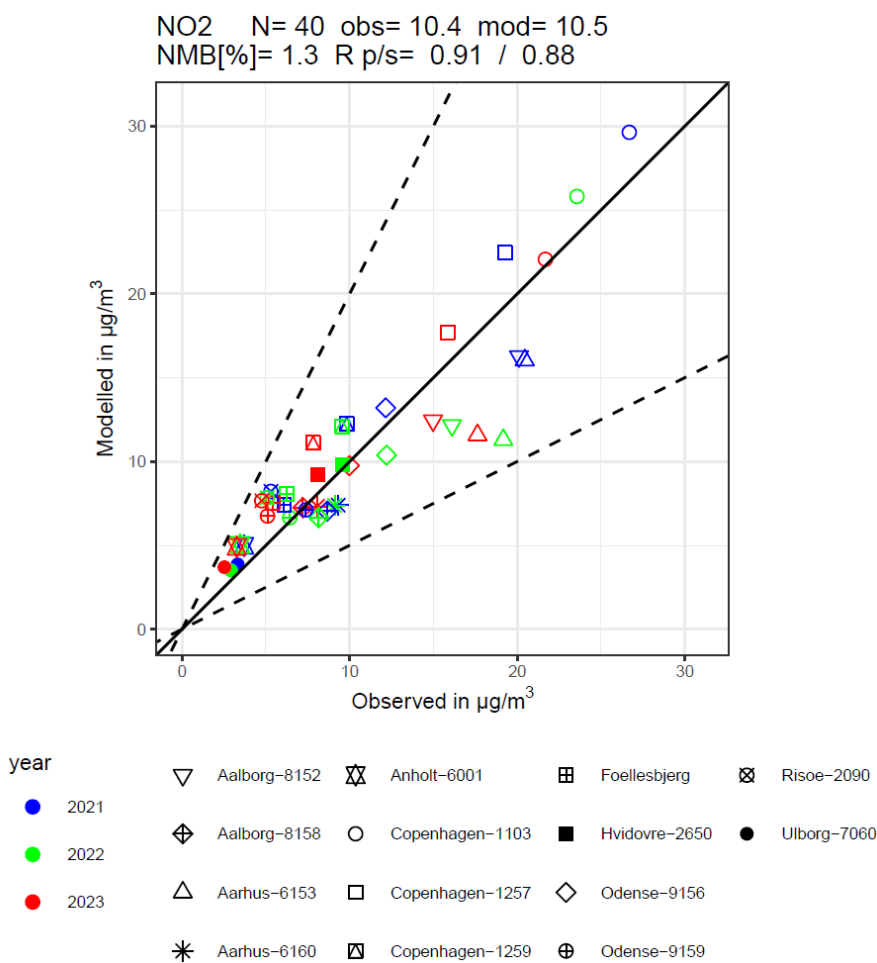
Tidligere er koncentrationerne af PM<sub>2,5</sub> blevet justeret med en faktor 1,33, som har været nødvendig for at opnå såkaldt "mass-closure" i modellerne, hvilket dækker over, at luftforureningsmodeller generelt har underestimeret PM<sub>2,5</sub> koncentrationerne i forhold til tilsvarende målingerne. Der har konsekvent manglet ca. 33% af massen i de modellerede koncentrationer i forhold til målingerne, både i Danmark og Europa. I år er der ikke justeret med denne faktor, da underestimeringen er adresseret for de primært emitterede organiske partikler (POA) samt manglende vand i partiklerne, se uddybning heraf i afsnit 1.4.

Nedenunder viser vi en række scatterplots, som illustrerer sammenhængen mellem modelberegningerne og målinger. Figurerne indeholder data for årene 2021 til 2023 fra alle stationer: Gade-, bybaggrund- og landmålestationer. Vi vælger at inkludere data fra tre år for at have et tilstrækkeligt antal

observationer til at vurdere modelperformance med og for at udglatte udsving, som kunne optræde, hvis kun et enkelt år blev brugt.

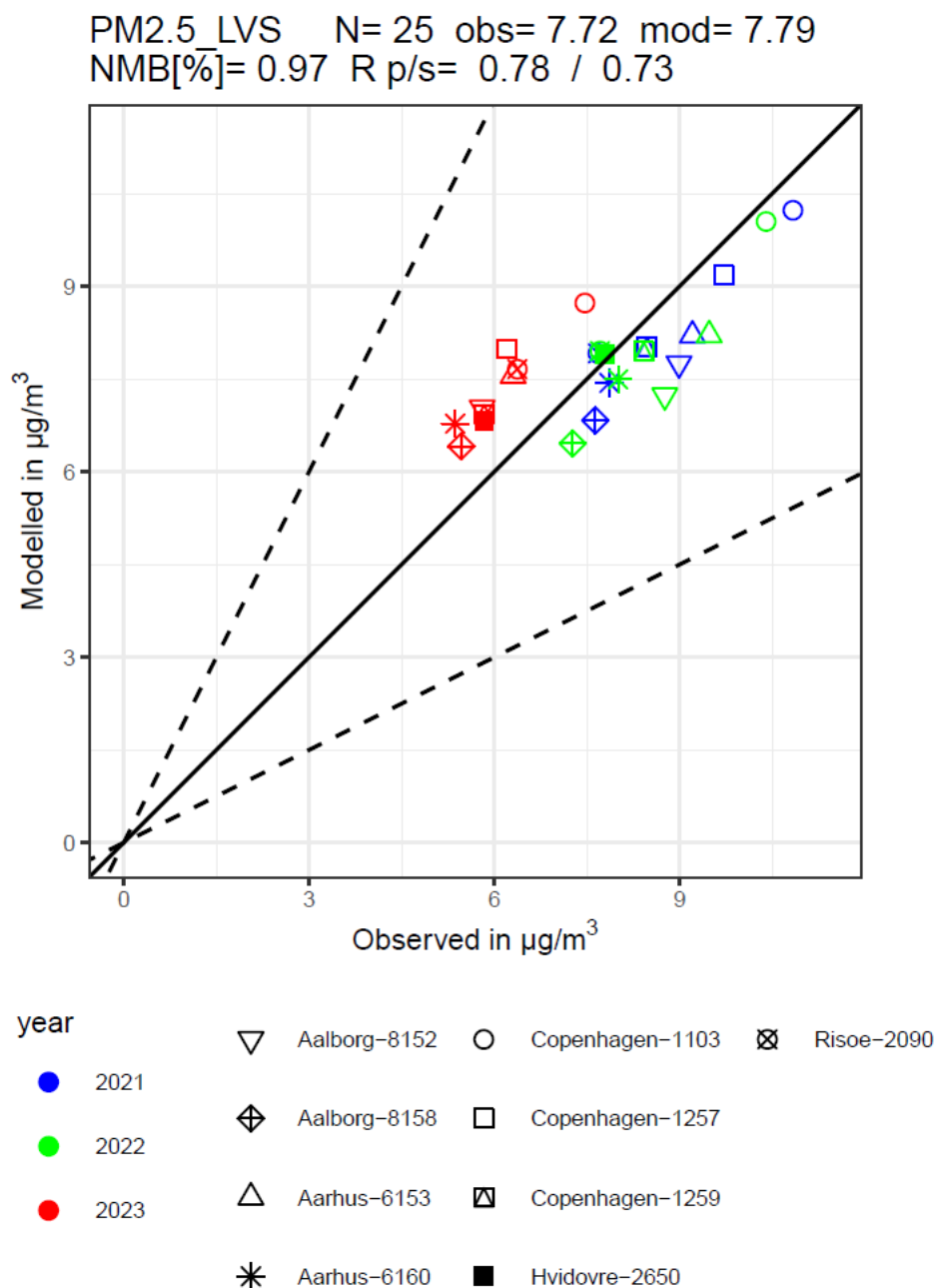
De forskellige målestationer med navn og stationsnumre er angivet i figurerens signaturforklaringer.

I figur A.1 vises korrelation mellem modelleret og målt årsmiddel for kvælstofdioxid fra 2021 til 2023. Der findes 40 datapunkter og det gennemsnitlige målte niveau er  $10,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mens modelleret niveau er  $10,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Korrelationskoefficienter efter Pearson eller Spearman (R p/s) er høj (0,91 / 0,88) og den Normalized Mean Bias (NMB) er meget lav (1,3%) – mere end en halvering i sammenligning med sidste års rapportering.



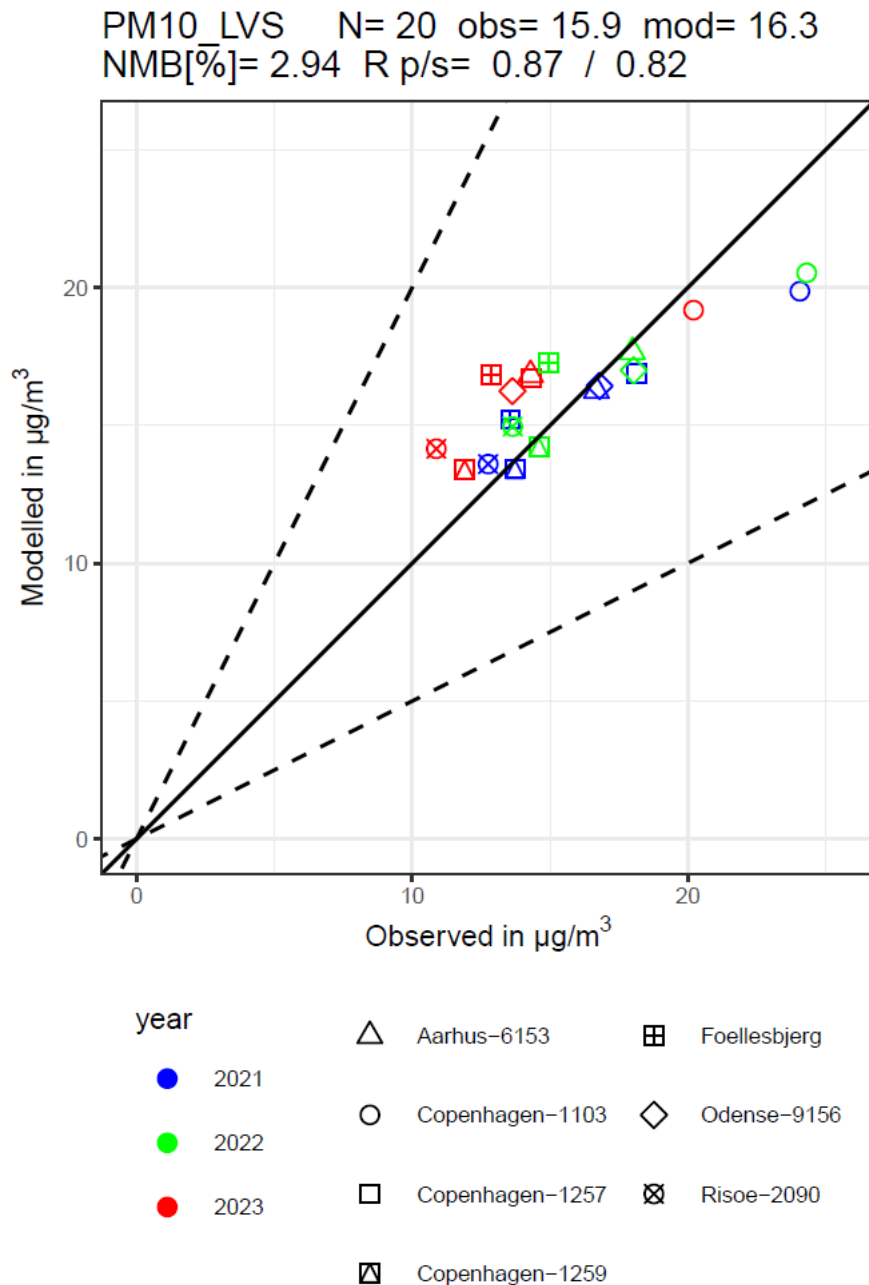
**Figur A.1.** Sammenligning mellem modellerede og målte årsmiddelkoncentrationer af kvælstofdioxid for alle stationer for 2021-2023.

I figur A.2 vises sammenhæng mellem modelleret og målt årsmiddel for PM<sub>2,5</sub> fra 2021 til 2023. Der findes 25 datapunkter og det gennemsnitlige målte niveau er 7,7 µg/m<sup>3</sup>, mens modelleret niveau er 7,8 µg/m<sup>3</sup>. Korrelationskoefficienter efter Pearson eller Spearman (R p/s) er 0,78 og 0,73 og lidt lavere end i sidste års rapportering, som muligvis hænger sammen med de tidligere nævnte større usikkerheder for målinger i 2023. Den Normalized Mean Bias (NMB) er meget lav (1%), og er på samme niveau i sammenligning med sidste års rapportering.



Figur A.2. Sammenligning mellem de modellerede og målte årsmiddelkoncentrationer af PM<sub>2,5</sub> for alle stationer for 2021-2023.

I figur A.3 vises sammenhængen mellem modelleret og målt årsmiddel for PM<sub>10</sub> fra 2021 til 2023. Der findes 20 datapunkter, og det gennemsnitlige målte niveau er 15,9 µg/m<sup>3</sup>, mens modelleret niveau er 16,3 µg/m<sup>3</sup>. Korrelationskoefficienter efter Pearson eller Spearman (R p/s) er 0,87 og 0,82 og dermed lidt lavere end i sidste års rapportering. Den Normalized Mean Bias (NMB) er meget lav (2,9 %), og er på samme niveau i sammenligning med sidste års rapportering.



Figur A.3. Sammenligning mellem modellerede og målte årsmiddelkoncentrationer af PM<sub>10</sub> for alle stationer for 2021-2023.



# LUFTKVALITET 2023

NOVANA – Status for den nationale luftkvalitetsovervågning i Danmark

Rapporten giver en status for 2023 fra den nationale overvågning af luftkvaliteten i Danmark, som har fokus på forureningen i byerne. Formålet med overvågningen er at dokumentere status og følge udviklingen i luftkvaliteten med henblik på at påvise effekten af reduktionstiltag. Endvidere præsenteres data fra de nationale emissionsopgørelser samt resultater fra modelberegninger af status for og kilderne til helbredseffekterne, herunder de økonomiske omkostninger i relation til luftforureningen. I 2023 blev luftkvaliteten målt i de fire største byer og ved fire målestationer i baggrundsområder uden for byerne. I forbindelse med målingerne af  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$ , var der i de fire første måneder omfattende problemer med kvaliteten af de leverede partikelfiltre. Konsekvenser af dette er detaljeret beskrevet i Ellermann et al. (2024). I 2023 blev der ikke målt overskridelser af EU's grænse- og målværdier i Danmark, mens hovedparten af WHO's retningslinjer for luftkvalitet, seneste opdateret i 2021, ikke blev opfyldt. Endvidere blev der gennemført modelberegninger for luftkvaliteten i Aalborg og København. Modelberegningerne viste ingen overskridelse af grænseværdien, men WHO's retningslinjer for luftkvalitet blev ikke opfyldt i flere tilfælde. Luftkoncentrationerne har for langt de fleste luftforureningskomponenter været faldende gennem de seneste årtier, hvilket skyldes faldet i udledningerne i Danmark og de øvrige europæiske lande. Modelberegningerne af helbredseffekterne viser, at der i 2023 var omkring 3.280 for tidlige dødsfald, samt en række andre helbredseffekter som følge af luftforureningen. Antallet af for tidlige dødsfald som følge af luftforureningen er faldet med omkring 58% siden 1990.

ISBN: 978-87-7156-906-3

ISSN: 2244-9981