



# Luftkvalitet 2023

## Status for den nationale luftkvalitetsovervågning i Danmark

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. xxx

2024



AARHUS  
UNIVERSITET  
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI



# Luftkvalitet 2023

Status for den nationale luftkvalitetsovervågning i Danmark

---

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. xxx

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. XXX
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="http://dce2.au.dk/pub/komm/SRxxx_komm.pdf">http://dce2.au.dk/pub/komm/SRxxx_komm.pdf</a>
Finansiel støtte:	Miljø- og Ligestillingsministeriet
Bedes citeret:	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. 2024. Luftkvalitet 2023. Status for den nationale luftkvalitetsovervågning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 157 s. - Videnskabelig rapport nr. xxx. <a href="https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Foreloebige_udgaver_novana/Luftkvalitet_2023.pdf">https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Foreloebige_udgaver_novana/Luftkvalitet_2023.pdf</a>
	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-xxx-x
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	157

# 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>53</b>
3.1 Udledninger	53
3.2 Status for luftkvalitet	55
3.3 Udviklingstendens	55
<b>4. Svovldioxid, SO<sub>2</sub></b>	<b>58</b>
4.1 Udledninger	58
4.2 Status for luftkvalitet	60
4.3 Udviklingstendens	61
<b>5. Flygtige organiske forbindelser, VOC</b>	<b>63</b>
5.1 Udledninger	63
5.2 Status for luftkvalitet	65
5.3 Udviklingstendens	67
<b>6. Ozon, O<sub>3</sub></b>	<b>69</b>
6.1 Status for luftkvalitet	69
6.2 Udviklingstendens	70
6.3 Modelberegninger	72
<b>7. Luftbårne partikler</b>	<b>74</b>

7.1	Udledninger	75
7.2	Status for luftkvalitet	78
7.3	Udviklingstendens	81
7.4	Modelberegninger	86
<b>8.</b>	<b>Elementært – og organisk kulstof</b>	<b>92</b>
8.1	Udledninger	93
8.2	Status for luftkvalitet	94
8.3	Udviklingstendens	95
<b>9.</b>	<b>Tungmetaller</b>	<b>97</b>
9.1	Udledninger	98
9.2	Luftkvalitet	100
9.3	Udviklingstendens	101
<b>10.</b>	<b>Polycykliske aromatiske kulbrinter og benz[a]pyren</b>	<b>104</b>
10.1	Udledninger	104
10.2	Status for luftkvalitet	106
10.3	Udviklingstendens	107
<b>11.</b>	<b>Den kemiske sammensætning af fine partikler</b>	<b>108</b>
11.1	Kilderne til de uorganiske ioner	108
11.2	Status for 2023	109
<b>12.</b>	<b>Helbredseffekter og samfundsmæssige omkostninger relateret til luftforurening</b>	<b>114</b>
12.1	Status og trends for helbredseffekter	117
12.2	Status for luftforureningens samfundsmæssige omkostninger som følge af helbredseffekter	120
12.3	Kilder til helbredseffekter af luftforureningen i Danmark i 2023	121
12.4	Danske og udenlandske kilders bidrag til omkostningerne fra luftforureningen i Danmark 2023	126
12.5	Usikkerhed og perspektiver for fremtidige beregninger	131
<b>13.</b>	<b>Luftkvalitet og WHO's nye anbefalinger</b>	<b>133</b>
13.1	Kvælstofdioxid	133
13.2	Carbonmonoxid	135
13.3	Svovldioxid	135
13.4	Ozon	136
13.5	Partikler, PM <sub>2,5</sub> og PM <sub>10</sub>	137
13.6	Sammenfatning	140
<b>14.</b>	<b>Referencer</b>	<b>142</b>
<b>Bilag 1</b>		<b>152</b>
	Detaljer om kalibrering af OSPM og validering af modelresultater	154

1

# Sammenfatning

2

3

4

5

6

7

8

9

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.

10

11

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

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

- 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.

23

24

25

26

27

28

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.

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

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 O<sub>3</sub>. Alle disse luftforureningskomponenter kan give anledning til negative helbredseffekter.

39

## Status og udviklingstendens for udledninger af luftforurening

40

41

42

43

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-

44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53

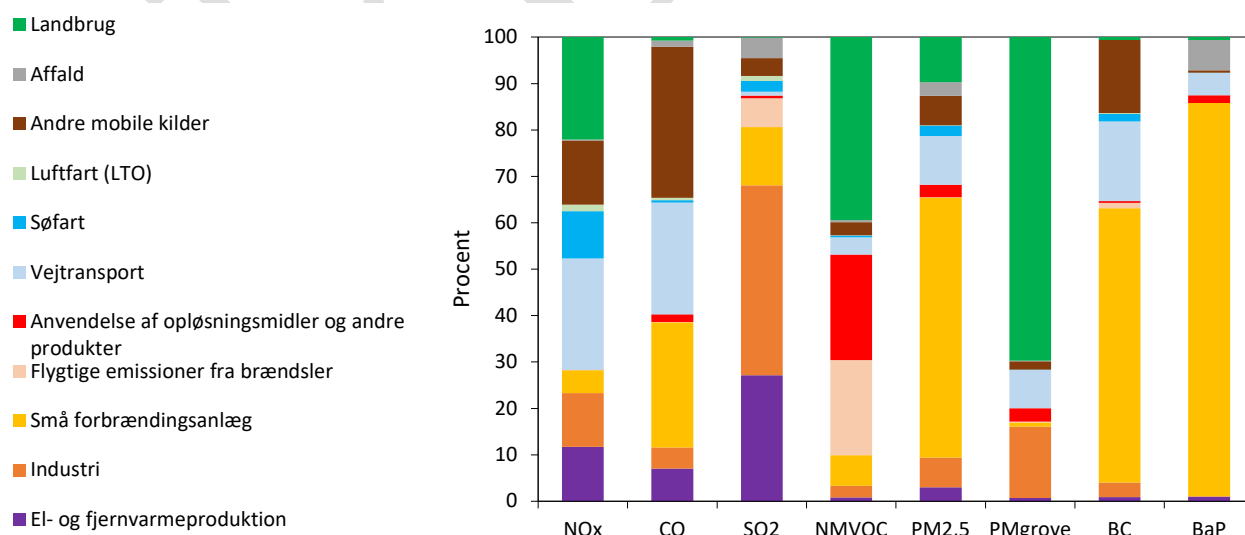
forureningskomponenter fra 1990 til 2022. Viden om kilderne og udviklingstendensen for udledningerne giver en god baggrund for at forstå årsagerne til den geografiske fordeling af og udviklingstendenserne for luftforureningskomponenterne. Data om de danske udledninger er baseret på de nationale opgørelser 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).

54  
55  
56  
57  
58  
59

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.

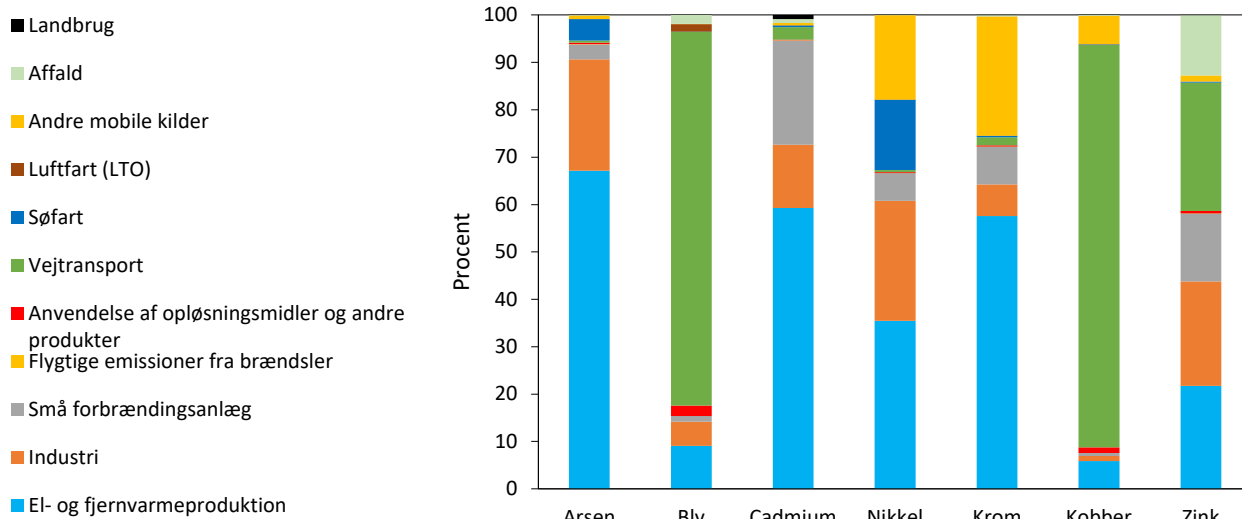
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73

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-opsørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR i kildeopgørelserne.

74

## Status og udvikling for luftkvalitet

75

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.

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

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.

87

88

89

90

91

92

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.

93

94

95

96

97

98

99

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

100

101

102

103

104

105 i det øvrige Danmark, mens kun omkring 26% af forureningen med fine par-  
106 tikler kommer fra kilder i København.

107 PM<sub>10</sub> (partikler med diameter under 10 µm) overholdt grænseværdien på  
108 40 µg/m<sup>3</sup> som årsmiddelværdi på alle målestationer. Ligeledes var der ingen  
109 målestationer i måleprogrammet, hvor det tilladte antal overskridelser af den  
110 daglige middelværdi for PM<sub>10</sub> (50 µg/m<sup>3</sup> må ikke overskrides mere end 35  
111 gange årligt) blev overskredet. PM<sub>10</sub> er faldet med 50-60% siden opstart af  
112 målingerne i 2001.

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

121 I perioden fra 2016 til 2019 var der tekniske vanskeligheder med måling af  
122 antallet af de helt små partikler med diameter fra 11 nm til 41 nm. Derfor præ-  
123 senterer rapporten resultaterne fra måling af partikelantal for partikler med  
124 diameter i området for både 41- 478/550 nm og 11-478/550 nm (mangler data  
125 i perioden fra 2016-2019). Antallet af partikler i området fra 11-478/550 nm  
126 var i 2023 omkring 9.000 partikler per cm<sup>3</sup> på gademålestationen H. C. Ander-  
127 sens Boulevard, hvilket er omkring en faktor to højere end ved forstadsstati-  
128 onen i Hvidovre og omkring en faktor tre højere end ved by- og landbag-  
129 grundstationen ved henholdsvis H. C. Ørsted Institutet og Risø. Siden 2002  
130 er partikelantallet for begge fraktioner faldet med omkring 70% og 60% ved  
131 henholdsvis gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard og  
132 bybaggrundsmålestationen i København. I landbaggrund ved Risø er  
133 partikelantallet siden 2005 faldet med omkring 35% for fraktionen fra 11-  
134 478/550 nm.

135 Luftkoncentrationerne af elementært kulstof (EC) er på omkring 0,5 µg/m<sup>3</sup>  
136 ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard, mens der er væsentligt  
137 lavere koncentrationer i bybaggrund og landbaggrundsmålestationen (om-  
138 kring 0,15-0,25 µg/m<sup>3</sup>). Der er sket et stort fald i luftkoncentrationerne af ele-  
139 mentært kulstof. Størst fald ses ved gademålestationen på H.C. Andersens  
140 Boulevard, hvor luftkoncentrationerne er faldet med omkring 80% siden 2010,  
141 hvilket korrelerer med faldet i udledningerne af black carbon.

142 Luftkoncentrationerne af svovldioxid og carbonmonoxid er lavt i forhold til  
143 grænseværdierne, og der er ingen overskridelser af disse. Siden starten af må-  
144 lingerne i 1994 er koncentrationerne ved gademålestationerne faldet med om-  
145 kring 95% og 85% for henholdsvis svovldioxid og carbonmonoxid.

146 Ozonkoncentrationerne i 2023 var på niveau med tidligere år. Der er ikke fast-  
147 sat egentlige grænseværdier for ozon, men kun 'målværdier' og 'langsigtede  
148 mål' (hensigtsværdier). Målværdien for ozon angiver, at 8-timersmålværdi-  
149 erne ikke må overskrides mere end 25 gange som gennemsnit for tre år. I 2023  
150 var der ingen overskridelser af målværdien for beskyttelse af sundhed. Det  
151 planlagte langsigtede mål (8-timersmiddelværdi på 120 µg/m<sup>3</sup>) er endnu ikke  
152 trådt i kraft, og der er ikke taget beslutning om hvornår, dette skal ske. Så-  
153 fremt det langsigtede mål havde været gældende, ville den langsigtede mål-

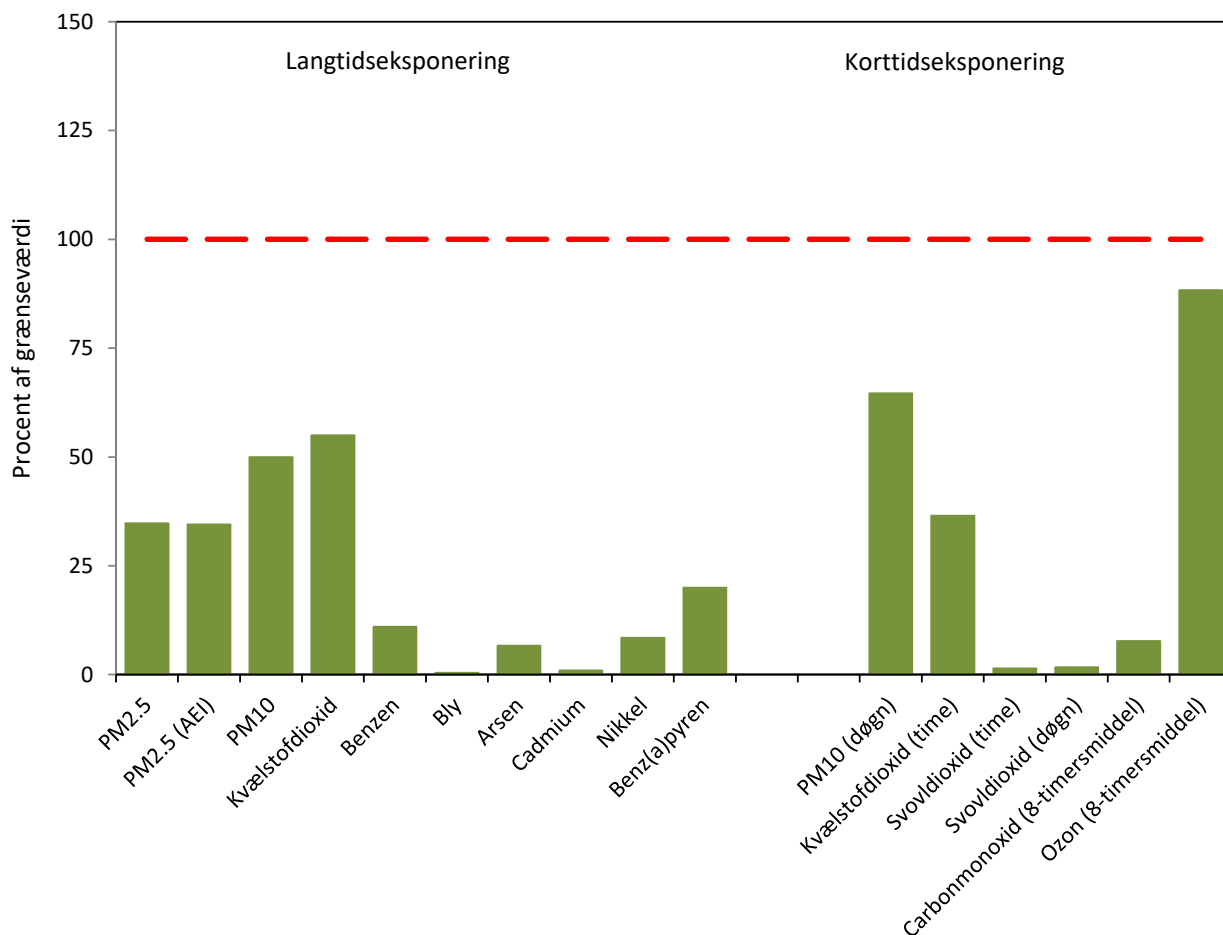


203  
204  
205

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.

206  
207

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 årsmiddelkoncentrationer, mens de kortsigtede grænse- og målværdier er baseret på time-, døgn- eller 8-timersmiddelværdier. 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 middelkoncentrationen for PM<sub>2.5</sub> i bybaggrund i København, Aarhus og Aalborg.

208  
209  
210  
211  
212  
213  
214

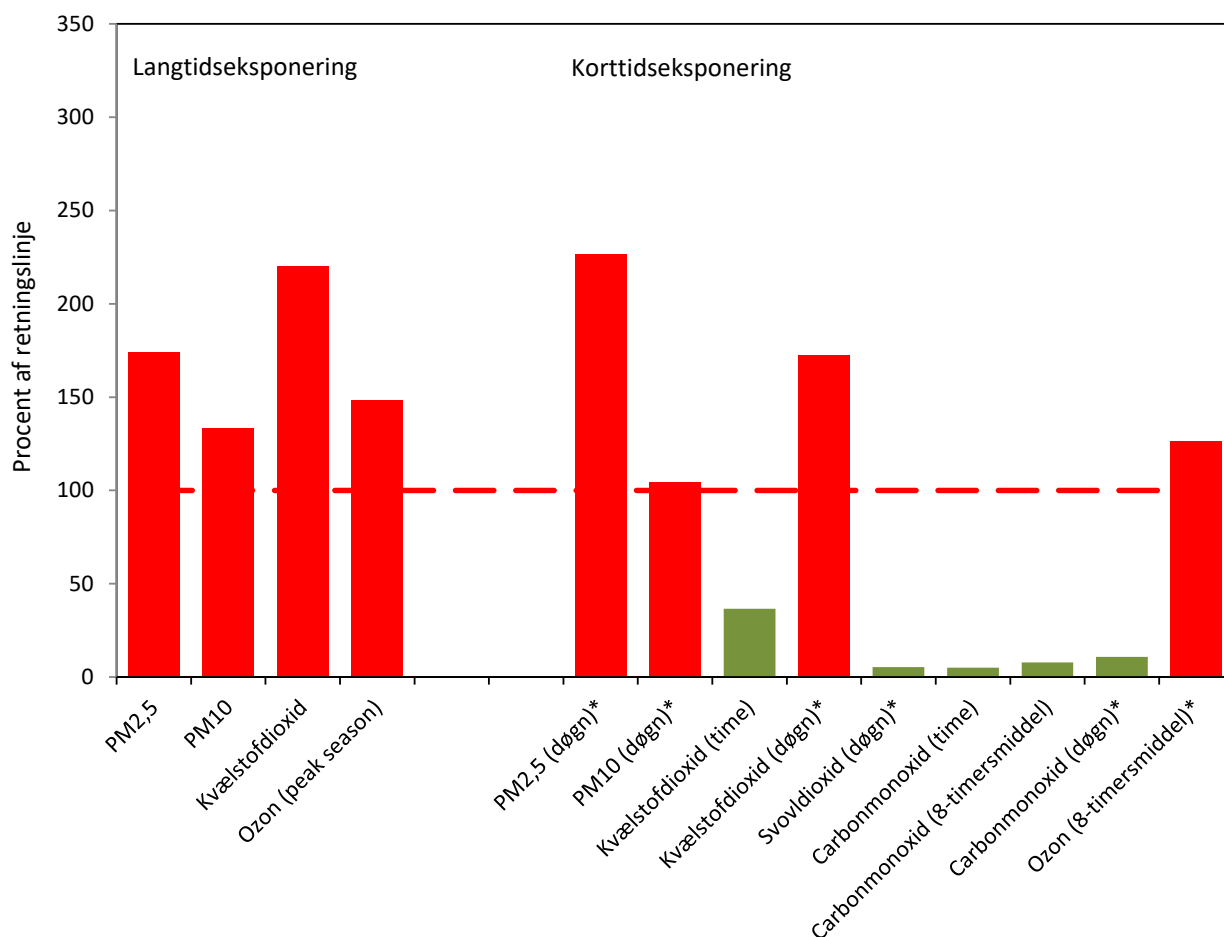
I september 2021 offentliggjorde WHO opdaterede retningslinjer for luftforureningen for de mest helbredsskadelige luftforureningskomponenter (WHO, 2021a). Figur 4 giver et samlet overblik over, hvordan koncentrationsniveauerne for kvælstofdioxid, carbonmonoxid, svovldioxid, ozon og partikler (PM<sub>2.5</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.

215  
216  
217

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>,

218  
219  
220  
221  
222  
223  
224  
225

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 korttidseksposering. 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.

226  
227  
228  
229  
230  
231  
232  
233

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.

## 234 Helbredseffekter og økonomiske omkostninger af luftforureningen 235

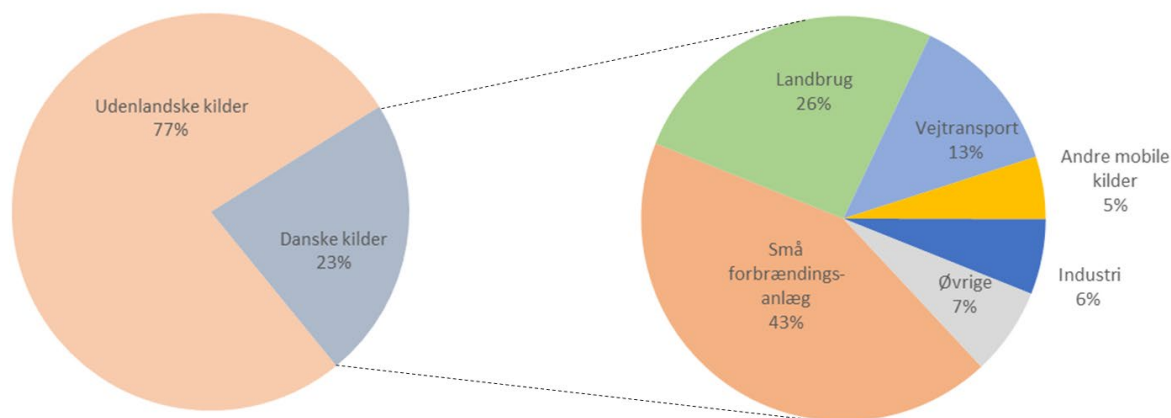
236 Modelberegningerne af helbredseffekterne viser, at luftforureningen i 2023 er  
237 skyld i omkring 3.280 for tidlige dødsfald og en lang række andre negative  
238 helbredseffekter. Antallet af for tidlige dødsfald er faldet med ca. 380 i forhold  
239 til den seneste årsrapportering for 2022, hvilket især skyldes ændringer i for-  
240 sudsætningerne for modelberegningerne, ændringer i emissioner og forskel-  
241 ligheder i meteorologien fra år til år. Beregningerne viser et fald i helbredsef-  
242 fekterne fra omkring 7.800 tilfælde af for tidlig død per år i 1990 til omkring  
243 3.280 tilfælde per år i 2023. Dette svarer til en reduktion på omkring 58%.

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

248 I forbindelse med denne rapportering er der foretaget omfattende beregnin-  
249 ger af bidraget fra kilderne til helbredseffekterne og de samfundsmæssige  
250 omkostninger relateret til luftforureningen i Danmark. Disse beregninger vi-  
251 ser, at omkring 744 tilfælde af for tidlig død kan tilskrives udledninger fra  
252 danske kilder, hvilket svarer til omkring 23% af det samlede antal for tidlige  
253 dødsfald som følge af luftforureningen i Danmark. De resterende omkring  
254 77% stammer fra udenlandske udledninger, herunder *Naturlige kilder* og (in-  
255 ternational) *Søfart*. Tilsvarende fordeling mellem danske og udenlandske ud-  
256 ledninger ses for omkostninger som følge af luftforureningen. Beregningerne  
257 viser også, at danske udledninger er ansvarlig for omkring 1.600 for tidlige  
258 dødsfald i udlandet.

259 Figur 5 og Tabel 1 viser de vigtigste kilders bidrag til antallet af for tidlige  
260 dødsfald i Danmark. De vigtigste danske kilder til for tidlige dødsfald er *Små*  
261 *forbrændingsanlæg* (navnlig boligopvarmning med brænde), som er ansvarlig  
262 for omkring 324 tilfælde svarende til omkring 43% af tilfældene af for tidlige  
263 dødsfald fra danske kilder. *Små forbrændingsanlæg* udgør omkring 9% af til-  
264 fældene af for tidlige dødsfald set i forhold til den samlede luftforurening fra  
265 danske, internationale og *Naturlige kilder*. *Landbrug* og *Vejtransport* er de næst-  
266 vigtigste danske kilder.

267 Usikkerhederne er betydelige på beregningerne af helbredseffekterne og om-  
268 kostninger fra luftforureningen. Førende internationale forskere på området  
269 har vurderet, at deres egne beregninger er behæftet med en usikkerhed på  
270  $\pm 50\%$  (Lelieveld et al., 2019). DCE vurderer, at usikkerhederne på beregnin-  
271 gerne 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.

272  
273  
274  
275  
276  
277

**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 ift. det samlede danske bidrag	Andel fra danske kilder ift. den samlede luftforurening	Andel fra udenlandske kilder ift. 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>

278

279

280  
281  
282  
283  
284  
285  
286  
287

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.

Udkast



## Summary

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

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

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

310 The monitoring of air quality is based on an integration of measurements and  
 311 model calculations. The measurements are carried out at nine monitoring sta-  
 312 tions in the four largest cities in Denmark, one suburban monitoring station  
 313 in Hvidovre and four regional background monitoring stations placed on the  
 314 countryside. The model calculations are carried out using DCE's suite of in-  
 315 ternationally recognised air quality models.

316 The monitoring program covers the most relevant air pollutants that have im-  
 317 pact on human health and those that are covered by the EU air quality direc-  
 318 tives (EU, 2004; EU, 2008). The program includes measurements of sulphur  
 319 dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub>), particles with diameters less than  
 320 10 and 2.5 micrometers respectively (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>), particle number, ele-  
 321 mentary carbon (EC), organic carbon (OC), benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), toluene (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>),  
 322 carbon monoxide (CO), ozone (O<sub>3</sub>), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH),  
 323 a number of heavy metals including lead (Pb), arsenic (As), cadmium (Cd),  
 324 and nickel (Ni), and finally a number of volatile organic compounds (VOCs)  
 325 that are precursors to formation of ozone.

### 326 Emission inventories

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

330  
331  
332

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.

333  
334  
335  
336  
337

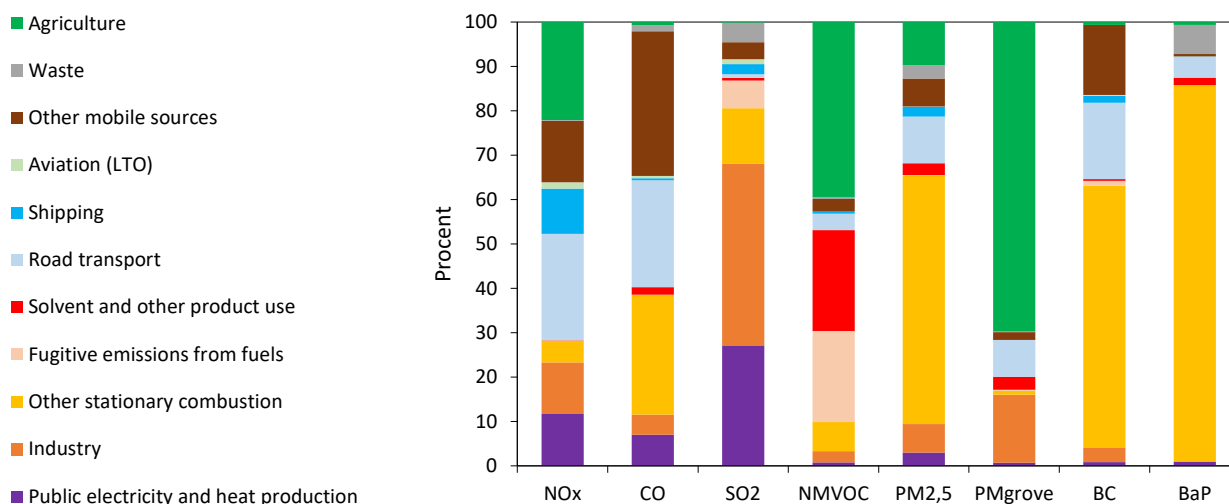
Data on emissions from Danish sources are obtained from the official national emission inventories prepared by DCE for the Danish Ministry of Environment (Nielsen et al., 2024). Emission data from the remaining EU member states are obtained from the European emission database (EMEP) (CEIP, 2024).

338  
339  
340  
341  
342

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.

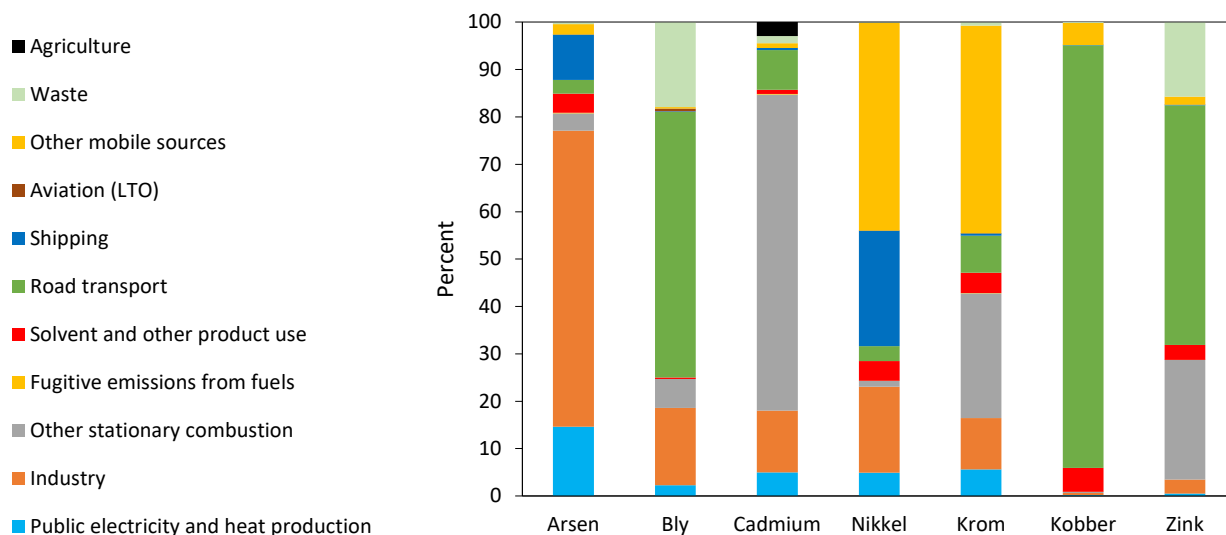
343  
344  
345  
346  
347  
348  
349  
350  
351  
352  
353  
354  
355  
356

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.

357



**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

388 in Copenhagen and at the most polluted street monitoring station in Denmark  
389 (H.C. Andersens Boulevard, Copenhagen). This analysis shows that only  
390 about 26% of PM<sub>2.5</sub> at H.C. Andersens Boulevard originates from sources in  
391 Copenhagen, while about 74% of the concentration of PM<sub>2.5</sub> originates from  
392 sources in foreign countries and sources in the remaining part of Denmark.

393 In the period from 2016 to 2019 there was technical difficulties with measure-  
394 ments of particle number concentrations for particles with diameter between  
395 11 to 41 nm. Hence, the annual report presents both data for the particle range  
396 from 41- 478/550 nm and 11-478/550 nm (lacks data from 2016 to 2019). The  
397 number of particles in the range 11-478/550 nm was about 9,000 particles per  
398 cm<sup>3</sup> at the street measurement station at H.C. Andersens Boulevard. This is  
399 about a factor of two higher than at the suburban measurement station in  
400 Hvidovre and about a factor of three higher than the urban and rural back-  
401 ground measurement stations. Since 2002 the particle numbers for both size  
402 fractions have decreased by about 70% and 60% at the street measurement  
403 station on H.C. Andersens Boulevard and the urban background measure-  
404 ment station in Copenhagen, respectively. In the rural background at Risø, the  
405 particle number has decreased about 35% since 2005 for the fraction 11-478/55  
406 nm.

407 The limit values for nitrogen dioxide were not exceeded at any of the moni-  
408 toring stations in Denmark. Model calculations at 99 selected street segments  
409 in Copenhagen and 26 selected street segments in Aalborg in 2023 showed  
410 likewise no exceedances of the long-term limit value based on the annual av-  
411 erage concentration. The annual average concentrations of nitrogen dioxide  
412 at the street monitoring stations have been reduced with about 65% since  
413 2005.

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

419 The annual average concentrations of elemental carbon (EC) were about  
420 0.5 µg/m<sup>3</sup> at the street measurement station at H.C. Andersens Boulevard  
421 while the concentrations were considerably lower in the urban and rural back-  
422 ground (0.15-0.25 µg/m<sup>3</sup>). A large decrease in the concentrations has been  
423 measured for elemental carbon. The largest decrease has been measured at  
424 the street measurement station at H.C. Andersens Boulevard (about 80%)  
425 which is in agreement with the emission data.

426 In 2023, the annual average ozone concentrations were at the same level as in  
427 the previous years. No clear trend is observed for the average ozone concentra-  
428 tion during the last years except for the street monitoring station at H.C. Ander-  
429 sensens Boulevard where there is an increase in ozone due to the reduced emis-  
430 sions of nitrogen oxides from traffic. The target value states that the maximum  
431 daily 8-hour mean ozone concentration must not exceed 120 µg/m<sup>3</sup> more than  
432 25 times annually on average for three years. The target value was not exceeded  
433 at any of the monitoring stations, but the long-term objective for this parameter  
434 (maximum daily 8-hour mean ozone concentration must not exceed 120 µg/m<sup>3</sup>)  
435 was exceeded at all Danish stations except for the street measurement station at  
436 H.C. Andersens Boulevard and at the urban background station in Aarhus.  
437 The target value entered into force in 2010 while the long-term objective has not

438 entered into force and the date for this has not yet been decided. The infor-  
439 mation threshold of 180 µg/m<sup>3</sup> was not exceeded during 2023.

440 Measurements of volatile organic compounds at the urban background moni-  
441 toring station in Copenhagen showed concentration levels in the range of  
442 about 0.15 to 1.0 µg/m<sup>3</sup> for the selected 17 different compounds. Benzene is  
443 the only volatile organic compound with a settled air quality limit value (EU,  
444 2008). In 2023 the annual average concentrations were about 10% of the limit  
445 value for the two street measurement stations in Copenhagen. Volatile or-  
446 ganic compounds can act as precursors for the formation of ozone, and the  
447 aim of these measurements is to improve the general understanding of the  
448 ozone formation at a European level. The formation of ozone in Denmark is  
449 in general small due to moderate solar radiation. Ozone pollution in Denmark  
450 is mainly the result of long-range transport of pollutants from other European  
451 countries south of Denmark. The annual average concentrations for most of  
452 the measured volatile organic compounds have been reduced significantly  
453 since 2010. The concentrations of benzene have decreased with about 90%  
454 since 1998.

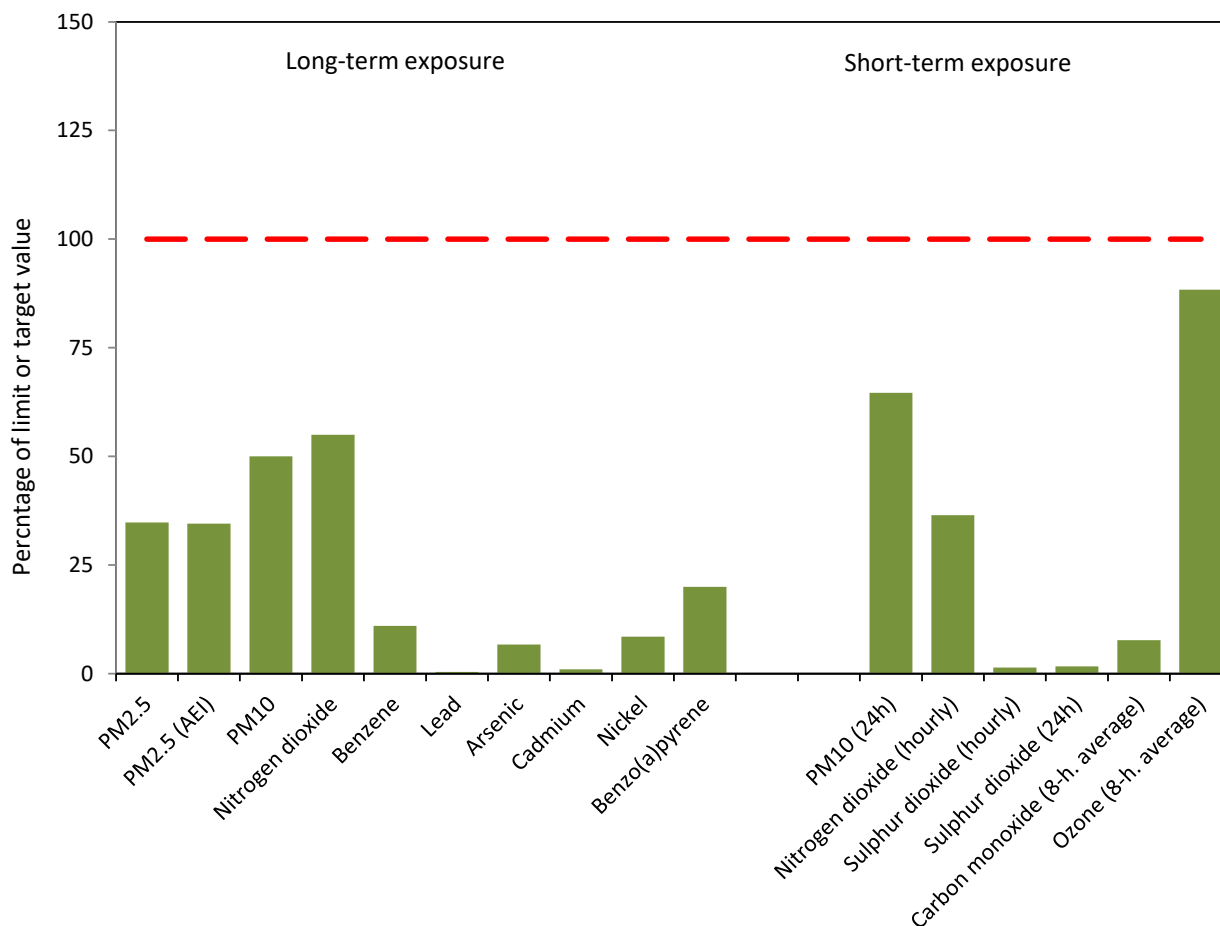
455 Measurements of the concentrations of particle bound polycyclic aromatic hy-  
456 drocarbons were performed at H.C. Andersens Boulevard, Copenhagen and  
457 at the suburban monitoring station at Hvidovre. The average concentrations  
458 of benzo[a]pyrene in 2023 were 0.08 ng/m<sup>3</sup> and 0.20 ng/m<sup>3</sup> at H. C. Ander-  
459 sensen Boulevard and Hvidovre, respectively. The target value for benzo[a]py-  
460 rene (1 ng/m<sup>3</sup>) was not exceeded in 2023. The annual average concentrations  
461 have been reduced with about 60-70% at H.C. Andersens Boulevard and  
462 Hvidovre since 2008 and 2013, respectively.

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

467 Figure 3 gives an overview of the air quality in Denmark in relation to the EU  
468 limit and target values. The limit and target values are set to 100%. For long-  
469 term exposure, the columns show how high the annual averages were in per-  
470 centage of the limit or target values for the measurement station in Denmark  
471 where the highest annual average were measured for each of the parameters.  
472 A value above 100% correspond to exceedance and a value equal to or below  
473 100% corresponds to compliance with the limit or target value.

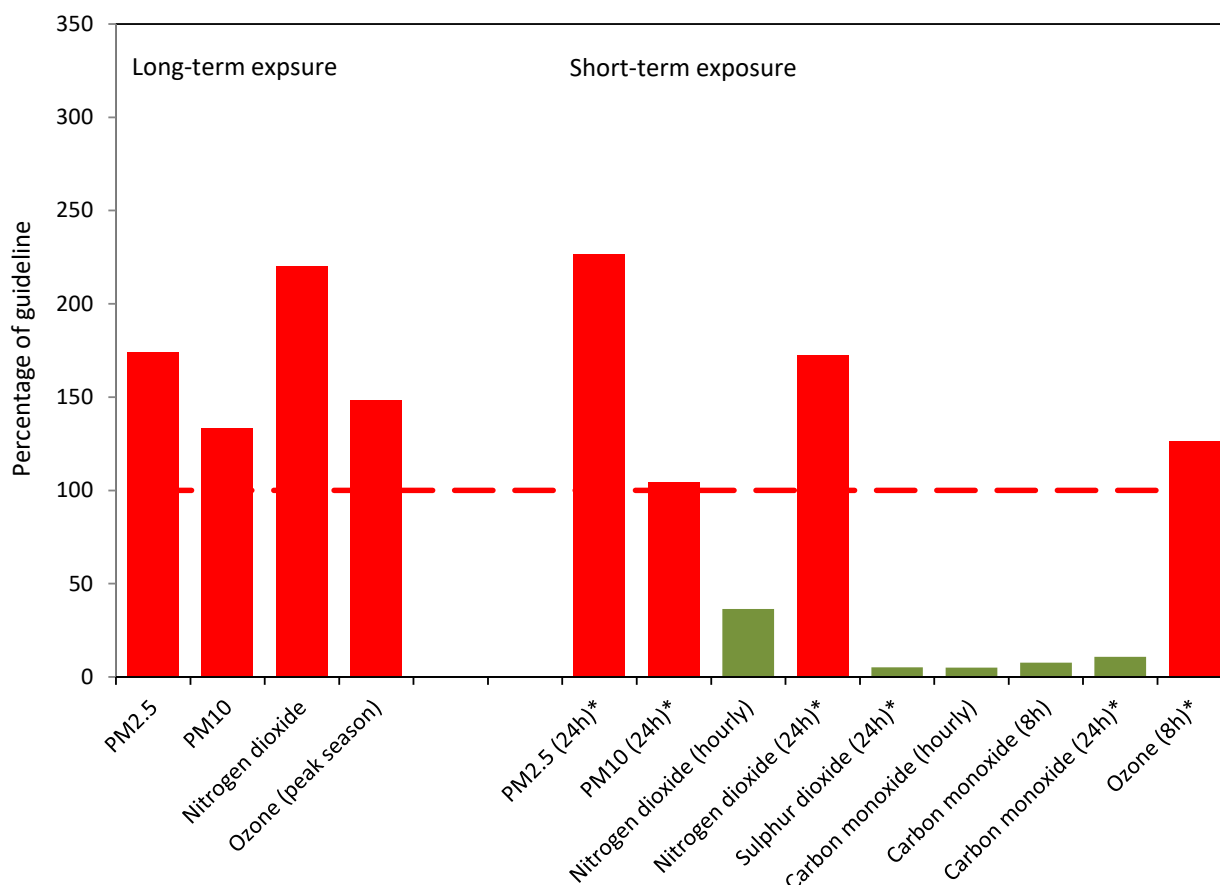
474 The limit values in relation to the short-term exposures have in the EU di-  
475 rective been defined based on a concentration limit that must not be exceeded  
476 more than a specified number of times during a calendar year. As an example,  
477 the 24-hour average concentration of PM<sub>10</sub> must not be exceeded more than  
478 35 times within a calendar year. The percentage given for PM<sub>10</sub> (24-hour av-  
479 erage) in Figure 3 corresponds to the 36<sup>th</sup> highest 24-hour average concentra-  
480 tion. For 2023 the 36<sup>th</sup> highest concentration is 65% of the limit value and hence  
481 there is no exceedance of the limit value. Figure 3 presents data for the other  
482 short-term limit values in a similar way, although the number of allowed ex-  
483 ceedances vary for the different limit values.

484 All columns in Figure 3 are below 100% and hence there are no exceedances  
485 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.

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



**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.

500  
501  
502  
503  
504  
505

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.

506  
507  
508  
509  
510  
511  
512  
513  
514

### 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.

515  
516  
517  
518

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%.

519  
520  
521

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.

522  
523  
524  
525  
526  
527  
528  
529

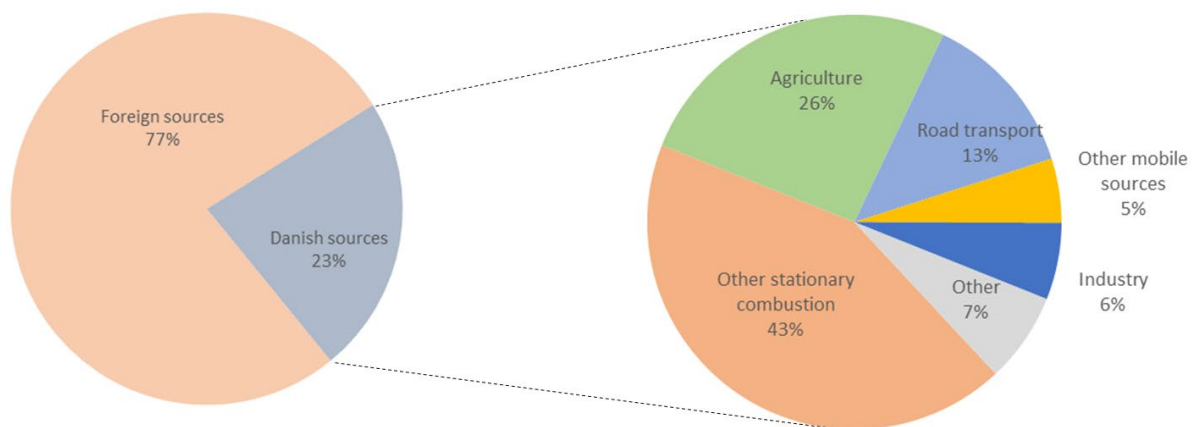
A detailed analysis of the air pollution related sources of health effects and external costs in Denmark have been carried out as part of this reporting. It shows that within Denmark about 744 premature deaths are due to Danish emissions. This corresponds to about 23% of the total number of premature 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.

530  
531  
532  
533  
534  
535  
536  
537  
538

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.

539  
540  
541  
542  
543

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, exhaust	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.

544  
545  
546  
547  
548  
549

## 1. Indledning

551 Den danske overvågning af luftkvalitet er i dag samlet i Delprogram for luft  
 552 under det Nationale Overvågningsprogram for Vandmiljø og Natur (NO-  
 553 VANA). Overvågningsprogrammet består af to dele med fokus på henholds-  
 554 vis den helbredsskadelige effekt af luftforurening og på luftforureningens på-  
 555 virkning af vandmiljø og natur. Resultaterne fra overvågningsprogrammet  
 556 præsenteres årligt i form af to årsrapporter, hvor nærværende rapport præ-  
 557 senterer resultater med fokus på den helbredsskadelige effekt af luftforure-  
 558 ningen. Den anden rapport (Atmosfærisk deposition 2023) har fokus på over-  
 559 vågning af tilførslen af luftforurening til vandmiljøet og naturen. Denne rap-  
 560 port om luftkvaliteten i 2023 og rapporten om den atmosfæriske deposition i  
 561 2023 er planlagt til offentliggøres i december 2024 i sammenhæng med den  
 562 øvrige rapportering under NOVANA.

563 DCE - Nationalt center for miljø og energi udfører overvågningen af luftkva-  
 564 litet for Miljøstyrelsen, Miljø- og Ligestillingsministeriet. Overvågning udfø-  
 565 res i overensstemmelse med bekendtgørelse Nr. 1472 fra den 12. december  
 566 2017 fra Miljø- og Ligestillingsministeriet, som implementerer EU's to luftkva-  
 567 litetsdirektiver (EU, 2004; EU, 2008) i dansk lovgivning.

568 DCE står for gennemførelse af målingerne og driften af overvågningsnetvær-  
 569 ket samt den nationale og internationale rapportering af data fra overvåg-  
 570 ningsprogrammet. Selve driften af overvågningsnetværket foretages i et sam-  
 571 arbejde med Københavns, Aarhus, Aalborg og Odense Kommune.

572 Overvågning af luftkvalitet i relation til den helbredsskadelige effekt af luft-  
 573 forureningen har i dag følgende hovedformål:

- 574 • Dokumentation af status for luftkvaliteten i Danmark, herunder vurdering  
 575 af overholdelse af EU's luftkvalitetskriterier angivet i de to luftkvalitetsdi-  
 576 rektiver (EU, 2004; EU 2008). Luftkvalitetskriterierne er angivet i form af  
 577 grænseværdier, målværdier, langsigtet målsætning og nationalt redukti-  
 578 onsmål. De danske luftkvalitetskriterier er identiske med EU's.
- 579 • Overvågning af udviklingstendensen for de forskellige luftforurenings-  
 580 komponenter. Dette er navnlig vigtigt, da det på denne baggrund er mu-  
 581 ligt at vurdere effekten af de miljøtiltag, som gennemføres på både natio-  
 582 nalt og internationalt niveau.
- 583 • Information til befolkningen om luftkvalitet og varsling i tilfælde af over-  
 584 skridelse af EU-direktivernes varslingsgrænser (primært ozon).
- 585 • Dokumentation af de helbredsskadelige effekter af luftforureningen og de  
 586 samfundsmæssige omkostninger som følge af de helbredsskadelige effek-  
 587 ter.

588 Overvågningsprogrammet omfatter alle de vigtigste luftforureningskompo-  
 589 nenter af relevans for vurdering af de helbredsskadelige effekter af luftforu-  
 590 reningen. Dette drejer sig om følgende:

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

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

597 Overvågningen gennemføres ved at udnytte den synergi, der opnås ved at  
598 integrere overvågningsmålinger med resultater fra modelberegninger med  
599 DCE's luftkvalitetsmodeller. Målingerne er essentielle for at dokumentere sta-  
600 tus ved målestationerne og måling af udviklingstendenserne samt viden om  
601 kildebidraget til de målte koncentrationer. Modelberegningerne har deres  
602 styrke i forhold til kortlægning af luftkvaliteten for større geografiske områ-  
603 der samt vurdering af kilderne til luftforureningen. Vurdering af helbredsef-  
604 fekterne og de heraf følgende økonomiske omkostninger er ligeledes baseret  
605 på modelberegninger.

606 Inden præsentationen af selve resultaterne gives en kort introduktion til op-  
607 gørelserne af udledningerne, målnetværket, målemetoderne og modelbereg-  
608 ningerne.

609 I de følgende kapitler gennemgås resultaterne for hver luftforureningskom-  
610 ponent eller gruppe af luftforureningskomponenter. Hvert kapitel indledes  
611 med en kort status for udledningerne og udviklingstendenserne for disse.  
612 Herefter gennemgås status for luftkvaliteten og ændringerne af denne. Ende-  
613 ligt afsluttes kapitlet med præsentation af modelresultater for udvalgte luft-  
614 forureningskomponenter. Dog bliver der ikke lavet modelberegninger for alle  
615 luftforureningskomponenter.

616 Det næstsidste kapitel præsenterer resultaterne fra beregning af helbredsef-  
617 fekterne af luftforureningen og de økonomiske effekter af disse. Dette kapitel  
618 omfatter også resultater fra beregning af kilderne til helbredseffekterne.

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

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

## 632 **1.1 Opgørelse af udledninger**

633 I forbindelse med konventionen om langtrækkende grænseoverskridende  
634 luftforurening samt EU's direktiv om nationale emissionslofter (EU, 2016) har  
635 Danmark en forpligtelse til årligt at opgøre udledninger af en række luftforu-  
636 renende stoffer. Opgørelserne følger internationalt vedtagne retningslinjer,  
637 herunder de tekniske retningslinjer i den fælleseuropæiske guidebog (EEA,  
638 2019, 2023).

639 Udledningerne opgøres for alle menneskeskabte kilder og baserer sig på sta-  
 640 tistiske data for aktivitetsniveau, f.eks. energistatistikken og landbrugsstati-  
 641 stikken samt udledningsfaktorer, som baserer sig på national eller internatio-  
 642 nal forskning. Opgørelserne dokumenteres i en årlig rapport, som beskriver  
 643 datagrundlag, metoder og resultater (Nielsen et al., 2024).

644 Udledningerne rapporteres for en række internationalt definerede sektorer.  
 645 For at præsentere resultaterne overskueligt i denne rapport er de aggregeret  
 646 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
Lufft (LTO)	Civil lufft 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

647 Der er udarbejdet tidsserier for udviklingen i udledningerne, som for alle luft-  
 648 forureningskomponenter går tilbage til 1990. Enkelte går længere tilbage, for  
 649 eksempel tidsserien for svovldioxid, som går tilbage til 1980. De nationale op-  
 650 gørelser bliver årligt forbedret på basis af ny internationalt anerkendt viden.  
 651 Opgørelserne for 2022 blev også forbedret på visse områder, hvilket er doku-  
 652 menteret i Nielsen et al. (2024). I forbindelse med forbedringer af opgørelserne  
 653 bliver hele tidserien genberegnet, således der forligger konsistente tidsserier  
 654 for udledningerne.

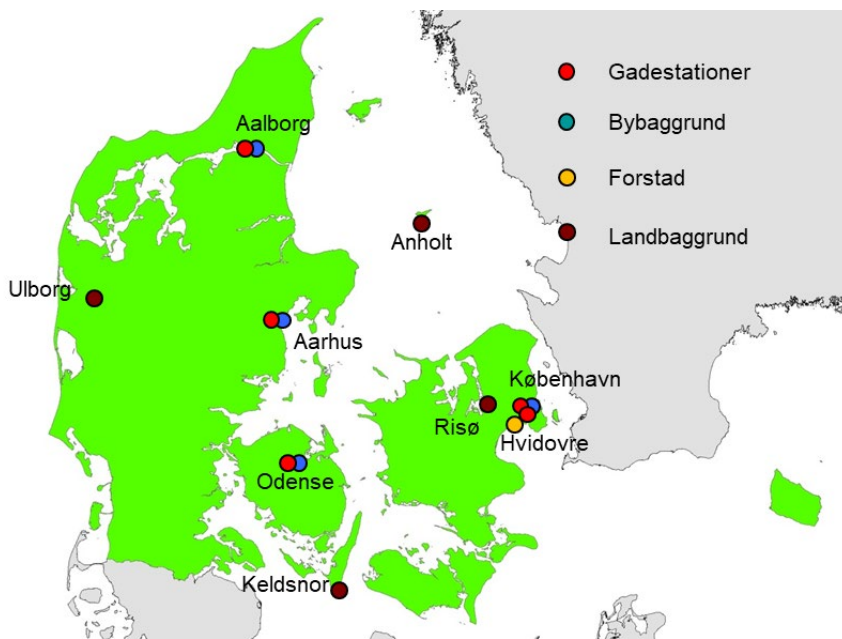
655 Baseret på opgørelserne foretages en geografisk fordeling af udledningerne  
 656 som input til modelberegningerne. Dette foretages i SPREAD-modellen  
 657 (Plejdrup et al., 2021), der fordeler udledningerne på et 1 km x 1 km gitternet  
 658 for det danske territorie.

## 659 1.2 Målenetværk

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

663  
664  
665

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.

666

Målestationerne er inddelt i fire kategorier:

667  
668  
669

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

670  
671

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

672  
673  
674

*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.

675

*Gademålestation:* Målestation placeret i stærkt trafikeret gade.

676  
677  
678  
679

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.

680  
681  
682  
683

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.

684  
685  
686  
687

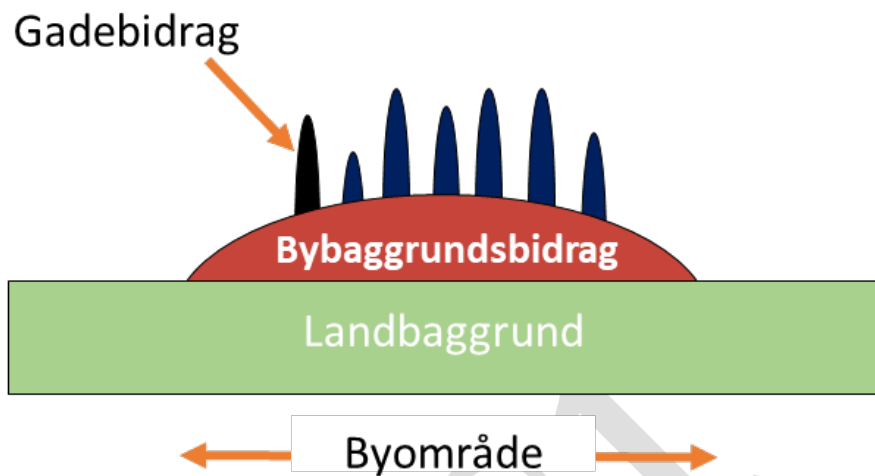
Forskellen mellem koncentrationer ved bybaggrundsmålestation og landbaggrundsmålestation angiver det, der kaldes bybaggrundsbidraget, og forskellen mellem koncentrationer ved gademålestation og bybaggrundsmålestation angiver gadebidraget.

688  
689

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

690  
691

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.

692  
693  
694  
695  
696  
697  
698  
699  
700

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.

701 **Tabel 1.2.** Oversigt over de målte parametre ved de forskellige målestationer. Målingerne af elementært kulstof og partikelantal  
 702 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 Institutet	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.

703

704

705

706

707

708

709

710

**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.

712  
713  
714  
715  
716  
717  
718

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.

719  
720  
721  
722  
723  
724  
725  
726  
727

#### 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



728 på basis af de 14 målestationer. Herved opnås en bedre vurdering af overhol-  
729 delse af EU's grænse- og målværdier samt WHO's retningslinjer for kvælstof-  
730 dioxid og partikler.

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

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

744 Modellerne er integreret i det samlede modelsystem DEHM/UBM/AirGIS  
745 (også kaldt "Thor" systemet), som er grundigt beskrevet i en række internati-  
746 onale publikationer og på DCE's hjemmesider (Brandt et al., 2000, 2001 og  
747 2003; Jensen et al., 2017; Khan et al., 2018; Frohn et al., 2022;  
748 <http://www.au.dk/THOR>). Modelsystemet består af følgende delelementer:

749 DEHM (Danish Eulerian Hemispheric Model): Denne model dækker hele den  
750 nordlige halvkugle og anvendes til beskrivelse af luftforureningen på stor  
751 geografisk skala. Modelberegningerne inkluderer beskrivelse af udlednin-  
752 gerne, den atmosfæriske transport, de kemiske og fysiske processer i atmosfæ-  
753 ren samt afsætning af luftforureningen på land- og vandoverflader. Model-  
754 len er opdelt i fire niveauer med stigende geografisk opløsning. For den nord-  
755 lige halvkugle anvendes en geografisk opløsning med gitterceller på 150 km  
756 x 150 km (niveau 1), mens der for selve Danmark anvendes den højeste geo-  
757 grafisk opløsning med gitterceller på 5,6 km x 5,6 km (niveau 4). Det er resul-  
758 tater for niveau 4, som anvendes i forbindelse med modelberegningerne præ-  
759 senteret i denne rapport. Modellen dækker de nederste 15 km af atmosfæren  
760 i forskellig vertikale lag og indeholder et omfattende kemisk modul til bereg-  
761 ning af de relevante kemiske reaktioner i den lavere del af atmosfæren. Mo-  
762 dellens er dokumenteret i Christensen (1997), Brandt et al. (2012) og på  
763 <http://au.dk/DEHM>.

764 UBM (Urban Background Model): Oprindeligt var denne model kun beregnet  
765 til at beskrive luftforureningen i baggrundsområder i byer, men siden er mo-  
766 dellens blevet udvidet til at dække hele Danmark. Modellen gør det muligt at  
767 opnå en endnu bedre geografisk opløsning end med DEHM. UBM har en geo-  
768 grafisk opløsning på 1 km x 1 km, som giver en god beskrivelse af luftforure-  
769 ningen i både by- og landområder. Modellen beskriver spredningen af luft-  
770 forureningen fra lokale kilder (indenfor 25 km's radius) og indeholder en be-  
771 skrivelse af de kemiske reaktioner, som det er nødvendigt at inkludere på  
772 denne skala, hvilket omfatter simpel fotokemi for beregning af NO<sub>2</sub>. Resulta-  
773 ter fra DEHM indgår som input til UBM. UBM er i de senere år blevet væsent-  
774 ligt forbedret i forhold til beskrivelse af de fysiske processer og håndtering af  
775 udledningerne (areal- og punktkilder), samt udbygning af modellen til flere  
776 vertikale lag, således at modellen i dag giver væsentligt mere realistiske re-  
777 sultater i sammenligning med målinger. Modellen er dokumenteret i en

778  
779

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.

780  
781  
782  
783  
784  
785  
786  
787  
788  
789  
790

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 NO<sub>2</sub>, 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 Ketzl et al. (2012).

791  
792  
793  
794  
795  
796  
797

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>).

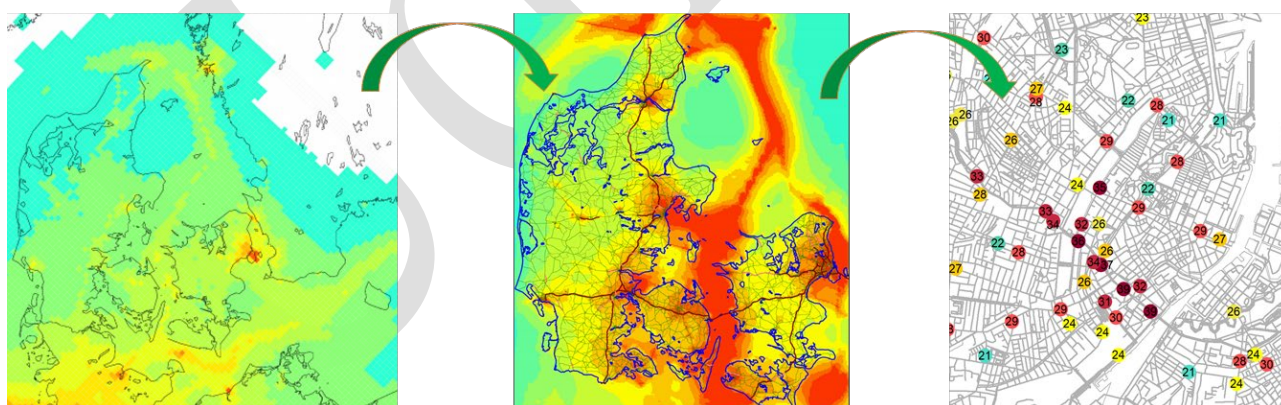
798  
799  
800  
801  
802  
803

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).

Regional model - DEHM

Bybaggrundsmodel - UBM

Gaderumsmodel - OSPM



**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.

804

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

805  
806  
807  
808

*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

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

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

821 Udledningerne for skibe er ligeledes ændret i forhold til tidligere modelbe-  
822 regninger. Fra og med rapporteringen i 2022 er udledningerne baseret på det  
823 globale datasæt fra det Finske Meteorologisk Institut, som baserer opgørel-  
824 serne på STEAM-modellen (se Johansson et al., 2017) og [https://perma-](https://perma-link.aeris-data.fr/CAMS-GLOB-SHIP)  
825 [link.aeris-data.fr/CAMS-GLOB-SHIP](https://perma-link.aeris-data.fr/CAMS-GLOB-SHIP)). Udledningerne estimeres ved brug af  
826 globale data med høj geografisk og tidslig opløsning fra Automatic Identifica-  
827 tion System (AIS), som gør det muligt at estimere udledningerne fra de indi-  
828 viduelle skibe, og tager hensyn til ændringer i bl.a. svovlindhold i skibs-  
829 brændstof. Den rummelige opløsning er på  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  svarende i det danske  
830 område til ca. 7 km x 11 km (hhv. Ø-V og N-S) og den tidslige opløsning er på  
831 månedsbasis. Derudover bliver den rummelige fordeling genfordelt for hav-  
832 områderne omkring Danmark ved brug af et specielt STEAM-udledningsda-  
833 tasæt med høj rummelig opløsning på 1 km x 1 km, hvilket hovedsageligt  
834 flytter eventuelle skibseudledninger over land til havområder og opkoncen-  
835 trerer udledningerne for færge- og skibsruter. Fordelen med det nye datasæt  
836 er, at man tager hensyn til variationen af skibsaktiviteterne imellem de enkelte  
837 år og de enkelte måneder.

838 *Trafikdata:* Modelberegningerne med OSPM kræver detaljerede data om tra-  
839 fikken på den enkelte gadestrækning (trafikmængde, hastighed, køretøjs-  
840 sammensætning m.m.). Hvert år opdateres trafikdata på basis af de nyeste data  
841 fra Københavns Kommune og Aalborg Kommune vedrørende årsdøgntrafik-  
842 ken (ÅDT) og køretøjs sammensætning (i kategorierne: personbiler, varebiler,  
843 lastbiler <32t, lastbiler >32t, busser). Trafikdata er så vidt muligt baseret på  
844 automatiske eller manuelle trafiktællinger på den enkelte gadestrækning. Op-  
845 lysninger om rejsehastigheder på strækningerne er fra Vejdirektoratets data-  
846 sæt SpeedMap, som er baseret på GPS-målinger af køretøjer.

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

854 Kvaliteten af resultaterne fra modelberegningerne vurderes løbende ved sam-  
855 menligning mellem model- og måleresultater (Bilag 1). På basis af denne sam-  
856 menligning vurderes også behovet for en eventuel justering af modelresulta-  
857 terne, således der opnås forbedret overensstemmelse mellem modelresultater

858 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>).

861 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.

872 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.

882 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.

890 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.

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

## 901 **1.5 Helbredseffekter og økonomiske omkostninger som følge af luftforureningen**

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

905 ninger foretages med EVA-modelsystemet (Economic Valuation of Air Pollu-  
906 tion), som baseres på den såkaldte Impact-pathway metode ("påvirkningsve-  
907 jens metode"; Figur 1.4), hvor nedenstående trinvis beregninger gennemfø-  
908 res.

909 Detaljerede informationer om udledninger anvendes til beregning af luftkon-  
910 centrationerne. Disse beregninger gennemføres med de to modeller DEHM  
911 og UBM, som er beskrevet i afsnit 1.4.

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

916 Herefter benyttes eksponerings-responsfunktioner til at beregne helbredsef-  
917 fakterne af luftforureningen. Der anvendes en række eksponerings-respons-  
918 funktioner, som hver for sig beskriver sammenhængen mellem de enkelte hel-  
919 bredseffekter og eksponeringen for de forskellige luftforureningskomponen-  
920 ter. Modelsystemet baseres på internationalt anerkendte eksponerings-re-  
921 spons-funktioner fremkommet i regi af WHO, og opdateres løbende (WHO,  
922 2021a).

923 Endeligt beregnes de samfundsmæssige omkostninger af luftforureningen ud  
924 fra en økonomisk værdisætning af de forskellige helbredseffekter, som er in-  
925 kluderet i EVA-modellen (Brandt et al., 2023). Dette inkluderer bl.a. en øko-  
926 nomisk værdisætning af statistisk liv. Denne værdisætning er baseret på et  
927 studie udarbejdet for Det Økonomiske Råd (DØRS, 2016) og følger i øvrigt  
928 principperne i Finansministeriet (2017). I dette års beregninger er den økono-  
929 miske værdisætning baseret på "Miljøøkonomiske beregningspriser for emis-  
930 sioner 4.0" (Brandt et al., 2023) og angivet i 2022-priser, mod tidligere 2016-  
931 priser (Andersen et al., 2019).

932 I 2021 offentliggjorde WHO nye anbefalinger til grænseværdier (se kapitel 13)  
933 vedrørende helbredsskadelig luftforurening (WHO, 2021a). Dette arbejde er  
934 baseret på en omfattende gennemgang af videnskabelige studier af sammen-  
935 hængen mellem luftforurening og helbredseffekter, udført af en forsker-  
936 gruppe udpeget af WHO. Funderet i dette detaljerede arbejde er EVA-syste-  
937 met blevet opdateret, så de anvendte eksponering-respons-funktioner, som  
938 før var baseret på WHO's anbefalinger fra 2013 (WHO, 2013), nu er baseret på  
939 de nyeste resultater (WHO, 2021a). De væsentligste ændringer knytter sig til  
940 estimatet for mortalitet fra langtidseksponering af PM<sub>2.5</sub> og lang- og korttids-  
941 eksponering af NO<sub>2</sub>. For PM<sub>2.5</sub> har mange studier peget på, at helbredsrisi-  
942 koen er større end tidligere antaget. Den relative risiko for at dø for tidligt  
943 som følge af langtidseksponering for partikler vurderes nu at være 8% per  
944 10 µg/m<sup>3</sup> stigning i PM<sub>2.5</sub> (mod tidligere 6,2%).

945 For langtidseksponering af NO<sub>2</sub> lød den tidligere WHO-anbefaling på at  
946 bruge en tærskelværdi på 20 µg/m<sup>3</sup> i modelberegninger af dødelighed, mens  
947 det nu vurderes, at en tærskelværdi på 10 µg/m<sup>3</sup> er mere korrekt. Endvidere  
948 er risikoen ved NO<sub>2</sub>-langtidseksponering justeret ned fra ca. 5% til 2% per 10  
949 µg/m<sup>3</sup> stigning.

950 For dødelighed relateret til korttidseksponering for NO<sub>2</sub> anvendes nu en  
951 døgnmiddelværdi, mod den maximale timekoncentration i løbet af døgnet,  
952 der blev anvendt før. Yderligere indikerer gennemgangen af de nyeste stu-  
953 dier, at risikoen har været underestimeret, og det anbefales at ændre risikoen

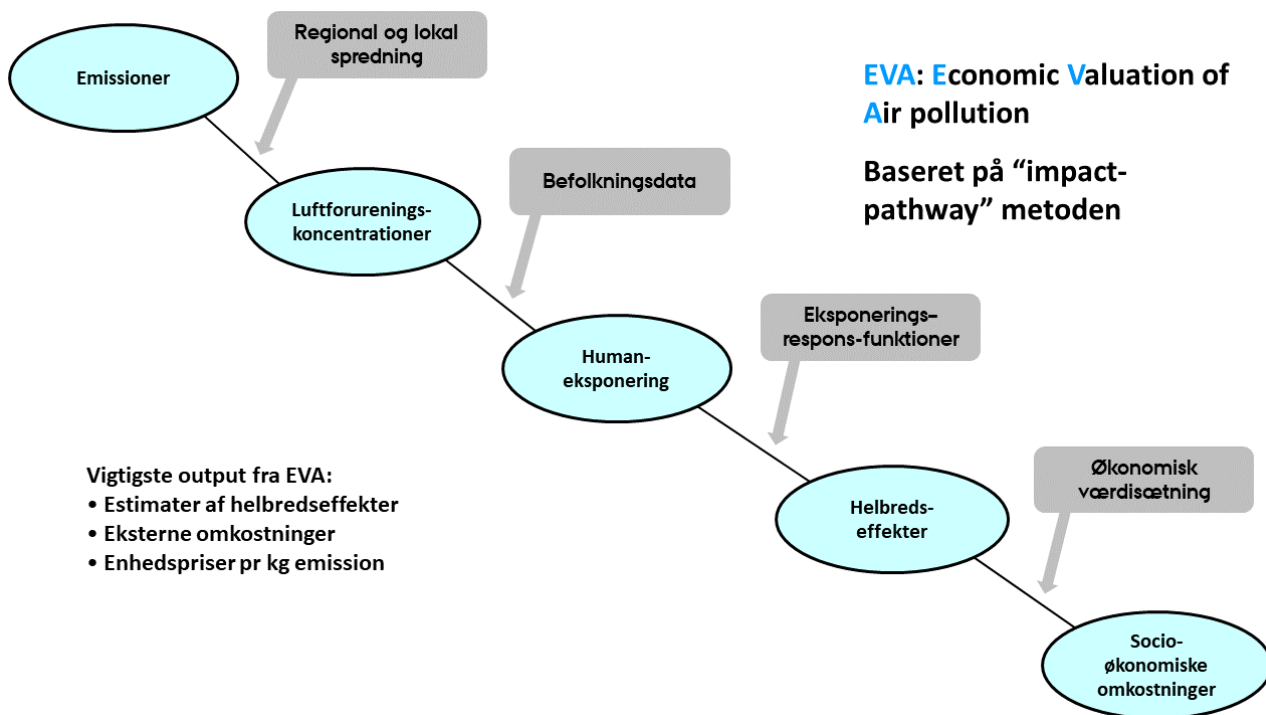
954 fra 0,27% til 0,71% per 10 µg/m<sup>3</sup> stigning i NO<sub>2</sub>. Også her anbefales en tær-  
955 skelværdis på 10 µg/m<sup>3</sup> mod tidligere 0.

956 SO<sub>2</sub> var ikke inkluderet i de tidligere anbefalinger fra WHO (2013) og EVA  
957 inkluderede derfor en eksponering-respons-funktion fremkommet i ExternE  
958 projektet (Holland et al., 1999). I det nye WHO-arbejde er SO<sub>2</sub> vurderet, og  
959 således at korttidseksponering for SO<sub>2</sub> i den nye EVA-version tillægges større  
960 risiko.

961 WHO begrundes bl.a. opdateringen og de ændrede anbefalinger med, at der  
962 i de senere år er kommet mange nye epidemiologiske studier ud fra både lav-  
963 , middel- og højindkomstlande, hvilket betyder, at der nu er en øget viden om  
964 de negative helbredseffekter relateret til relativt lave luftforureningsniveauer  
965 (WHO, 2021a). Dette underbygges af nyere studier fra Danmark og Nordeu-  
966 ropa (Hvidtfeldt et al., 2019; So et al., 2020; Raaschou-Nielsen et al., 2020; 2023;  
967 Chen et al., 2021; 2022; Strak et al., 2021; Stafoggia et al., 2022; Xu et al., 2023).  
968 I afsnit 12.5 præsenteres sensitivitetberegninger med EVA, hvor bl.a. forskel-  
969 lige eksponering-respons-funktioner for PM<sub>2,5</sub> baseret på disse studier er be-  
970 nytet.

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

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



984  
 985  
 986

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

987  
 988  
 989  
 990  
 991  
 992  
 993  
 994  
 995

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>

996  
997

998  
999  
1000  
1001  
1002  
1003

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).

1004  
1005  
1006

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

1007  
1008  
1009

- 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.

1010  
1011  
1012

- 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.

1013  
1014  
1015  
1016  
1017  
1018  
1019

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.

1020

### 2.1 Udledninger

1021  
1022  
1023  
1024  
1025

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.

1026  
1027  
1028  
1029  
1030  
1031  
1032  
1033

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.

1034  
1035  
1036  
1037  
1038  
1039

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



1040  
1041  
1042  
1043

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).

1044  
1045  
1046

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.



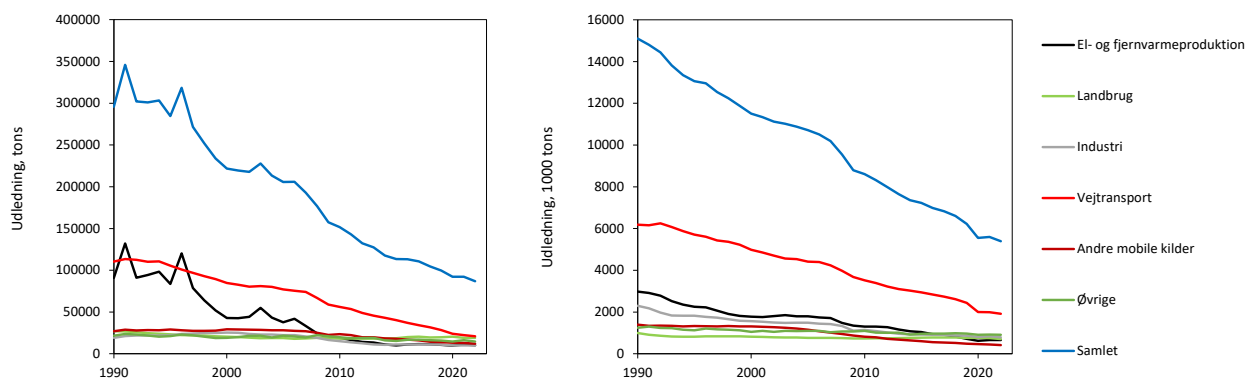
**Figur 2.1.** Kilderne til menneskeskabte udledninger af kvælstofoxider i Danmark (venstre) og EU-27 (højre) i 2022. Figurene viser de fem vigtigste kilder i Danmark, mens de resterende kilder er vist samlet under "Øvrige" (Nielsen et al., 2024, CEIP, 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne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

1047

**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>

1048



**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 NO<sub>2</sub>), 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.

1049

## 2.2 Status for luftkvalitet

1050

Tabel 2.2 giver en status for luftkvaliteten for kvælstofdioxid ved målestationerne i 2023. Årsmiddelmålingerne ligger ved alle målestationer under grænseværdien på 40 µg/m<sup>3</sup>, der er fastsat af hensyn til langtidseffekter (årsmiddelværdien af kvælstofdioxid, må ikke overskride 40 µg/m<sup>3</sup> i et kalenderår (EU, 2008)). Selv ved den mest forurenede gademålestation (H.C. Andersens Boulevard) var årsmiddelværdien omkring 45% under grænseværdien.

1051

1052

1053

1054

1055

1056

1057

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. Af tabel 2.2 fremgår, at den maksimale timemiddelværdi ved alle målestationer lå et godt stykke under 200 µg/m<sup>3</sup>. I forhold til grænseværdien var timemiddelværdierne af kvælstofdioxid meget lave, og der var ingen overskridelse af grænseværdien for timemiddelværdien af kvælstofdioxid i 2023.

1058

1059

1060

1061

1062

1063

1064

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

1065

1066

**Tabel 2.2.** Årsmiddelkoncentrationer for NO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> i 2023, samt højeste timemiddelværdi for NO<sub>2</sub>. Desuden grænseværdierne for NO<sub>2</sub>, 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). NO<sub>x</sub> angives i ækvivalenter af NO<sub>2</sub> (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

1067  
1068  
1069  
1070  
1071  
1072  
1073  
1074  
1075  
1076  
1077  
1078

For kvælstofdioxid ses en væsentlig forskel mellem de målte koncentration-niveauer ved de fem gademålestationer, hvilket primært skyldes forskel i udledninger 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).

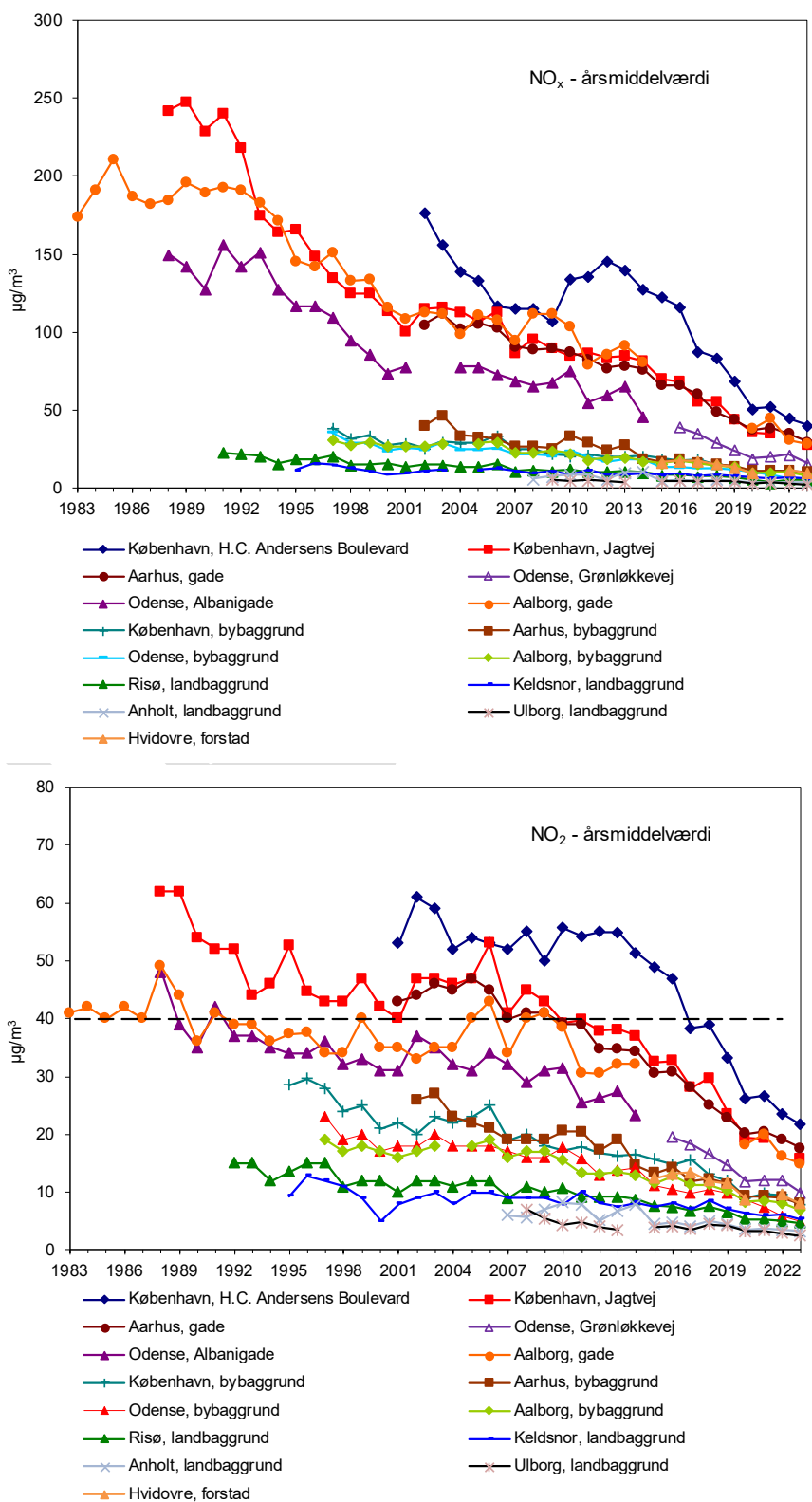
1079  
1080  
1081  
1082  
1083  
1084  
1085

### 2.3 Udviklingstendens

Figur 2.3 viser udviklingstendenserne for årsmiddelværdierne af NO<sub>x</sub> og NO<sub>2</sub>. Fra 2022 til 2023 er der sket et tydeligt fald i koncentrationniveauerne. For NO<sub>x</sub> ses et markant fald siden målingernes begyndelse i 1983. For gademålestationerne er der sket et fald på omkring 85% siden begyndelsen af målingerne. For NO<sub>2</sub> ses et meget anderledes udviklingsforløb med et svagt fald i 1980'erne og begyndelsen af 1990'erne, som efterfølges af stort set

1086  
1087  
1088  
1089  
1090

uændrede niveauer i slut 1990'erne og begyndelsen af 2000'erne. Fra omkring 2005 og til i dag er der tilgængæld 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 NO<sub>x</sub> (øverst) og NO<sub>2</sub> (nederst). For NO<sub>2</sub> angiver den stiplede linje EU's grænseværdi (EU, 2008). Det markant anderledes for-

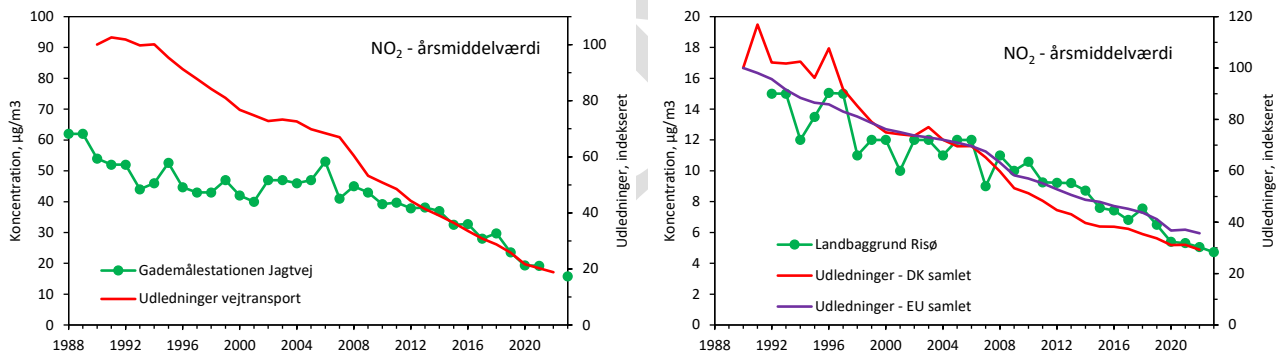
løb, som ses for H.C. Andersens Boulevard (navnlig for NO<sub>x</sub>), skyldes omlægning af vejbanerne på H.C. Andersens Boulevard i 2010, som flyttede trafikken tættere på målestationen (for yderligere detaljer se Ellermann et al., 2020a).

1091  
1092  
1093  
1094  
1095  
1096  
1097  
1098  
1099  
1100  
1101  
1102  
1103  
1104  
1105  
1106  
1107

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 dieselmotorer og stigende andel af oxiderende katalysatorer på dieselmotorerne. 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 dieselmotorer med katalysatorer, som stærkt begrænser udledningerne af kvælstofoxider fra dieselmotorerne, 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.

1108  
1109  
1110  
1111  
1112

Figur 2.4 (højre) viser faldet i kvælstofdioxid ved landbaggrundsstationen 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.

1113  
1114  
1115  
1116  
1117  
1118  
1119  
1120

## 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.

1121 Der er foretaget modelberegninger med henblik på at bestemme de årlige  
1122 middelkoncentrationer af NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> for at kunne sammenholde med  
1123 EU's grænseværdier og WHO's retningslinjer for luftkvalitet.

1124 Både København og Aalborg er blandt de fem miljøzonebyer i Danmark. Ef-  
1125 fekten af de skærpede miljøzoner vedtaget i 2019 er indregnet. De skærpede  
1126 krav omfatter per 1. januar 2022, at alle lastbiler og busser (både bybusser og  
1127 turistbusser) skal være mindst Euro 6 eller have monteret et partikelfilter. De  
1128 skærpede krav for dieselvarebiler omfatter per 1. juli 2022, at dieselvarebiler  
1129 skal være mindst Euro 5 eller med monteret partikelfilter. Kravene er regnet  
1130 som fuldt implementeret i 2022. Den 1. oktober 2023 trådte forbud mod die-  
1131 selpersonbiler uden partikelfilter i kraft i miljøzonerne. Da kravene trådte i  
1132 kraft sidst på året, vil effekten heraf blive henregnet til 2024 (Jensen et al.,  
1133 2024).

1134 På baggrund af nummerpladeanalyse koblet til motorregisteret har det været  
1135 muligt at estimere andelen af elbiler (Jensen et al., 2024). Andelen af elbiler  
1136 varierer mellem 10% og 14% i midten af 2023 i miljøzonebyerne (Køben-  
1137 havn/Frederiksberg, Aarhus, Odense, Aalborg). Oplysninger fra trafikskelska-  
1138 berne viser, at andelen af elbusser er på 40-100%. Denne elektrificering bidra-  
1139 ger til lavere emissioner af kvælstofoxider. Taxier bliver i stigende grad elek-  
1140 triske, men dette kan endnu ikke afspejles i OSPM's emissionsmodul, hvor  
1141 taxier antages at være Euronorm 6 dieslbiler.

#### 1142 **2.4.1 Modelberegninger for København**

1143 Modelberegningerne af årsmiddelkoncentrationen af kvælstofdioxid for  
1144 gadestrækninger i København i 2023 vises i Figur 2.5 som søjlediagram og i  
1145 Figur 2.6 som kort. Gennemsnittet af årsmiddelkoncentrationerne for  
1146 kvælstofdioxid i alle 99 gadestrækninger faldt fra 2022 til 2023 med omkring  
1147 1 µg/m<sup>3</sup> (resultaterne for 2022 kan findes i Ellermann et al., 2024). Målingerne  
1148 på H.C. Andersens Boulevard viser et fald med omkring 1 µg/m<sup>3</sup> i  
1149 årsmiddelkoncentrationerne af kvælstofdioxid fra 2022 til 2023, og  
1150 bybaggrundsstationen på H.C. Ørsted Institutet samt landstationen på Risø  
1151 viser et lille fald på hhv. 0,3 og 1,7 µg/m<sup>3</sup>. For Jagtvej fandtes der meget få  
1152 målinger i 2022 (datadækning på 10%) pga. vejarbejde, hvorfor der ikke er  
1153 grundlag for at beregne et fald fra 2022 til 2023 for Jagtvej.

1154 Ændringer i gadekoncentrationerne er et resultat af en kombination af  
1155 ændringer i trafikken, udledningsfaktorer, baggrundskoncentrationer og  
1156 meteorologi.

1157 ÅDT (årsdøgntrafik - dvs. gennemsnitlig døgntrafik over et år) var mellem  
1158 3.900 og 75.800 køretøjer om dagen i København baseret på trafiktællinger  
1159 udført i efteråret 2023. Den gennemsnitlige trafik for de 99 gader var stort set  
1160 uændret fra 2022 til 2023 dog med et meget lille fald i den gennemsnitlige  
1161 trafik på 1,7 % og uændret andel af tunge køretøjer på 4,2 %, hvilket alt andet  
1162 lige fører til marginalt lavere beregnede koncentrationer. Der er antaget  
1163 samme rejsehastigheder som sidste år. Der er sket mindre ændringer i ÅDT  
1164 og i andelen af tunge køretøjer på nogle af de gadestrækninger, der indgår i  
1165 modelberegningerne, hvilket kan påvirke resultaterne fra de enkelte  
1166 gadestrækninger.

1167 Udledningsfaktorerne for køretøjer viser et fald som følge af den generelle  
1168 udskiftning af køretøjsparken, hvor stigningen i andel af Euro 6-køretøjer  
1169 med lave udledninger og udskiftning af ældre køretøjer med højere

1170  
1171  
1172  
1173  
1174  
1175  
1176

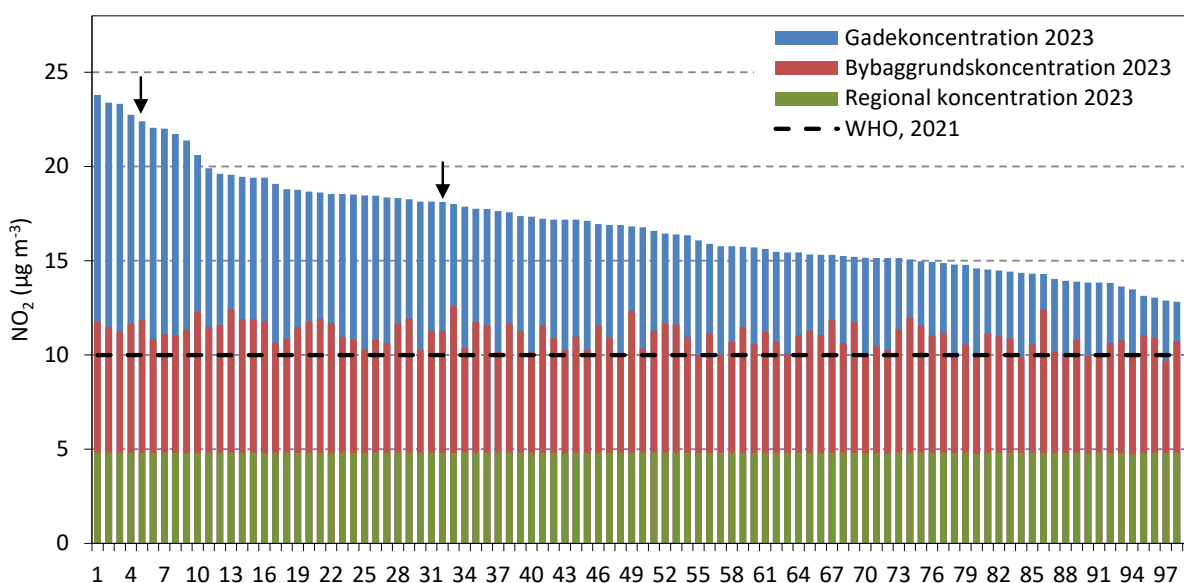
udledninger spiller en væsentlig rolle kombineret med effekten af de skærpede miljøzonekrav og øget elektrificering af trafikken. Den direkte andel af kvælstofdioxid i udstødningen (den procentvise andel af kvælstofdioxid set i forhold til den samlede udledning af kvælstofoxider) er steget fra 12% i 2022 til 15% i 2023. De lavere udledningsfaktorer vil føre til lavere modelberegnete koncentrationer af kvælstofdioxid, mens stigende direkte NO<sub>2</sub>-andel vil give højere koncentrationer.

1177  
1178  
1179  
1180

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.

1181  
1182

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.

1183  
1184  
1185

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

1186  
1187  
1188  
1189  
1190  
1191

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 modelberegnete årsmiddelkoncentration for kvælstofdioxid i 2023 var på H.C. Andersens Boulevard (2) med 23,8 µg/m<sup>3</sup>. Den femte højeste er, hvor målestationen er placeret på H.C. Andersens Boulevard, mens årsmiddelkoncentrationen er den 32. højeste ved målestationen på Jagtvej.

1192  
1193  
1194  
1195

I forhold til WHO's nye retningslinjer for luftkvalitet på 10 µg/m<sup>3</sup> for årsmiddelværdien af NO<sub>2</sub> (WHO, 2021a) er de ikke opfyldt for nogen af de 99 gader i København, men niveauerne ligger langt under EU-grænseværdien på 40 µg/m<sup>3</sup>.

1196

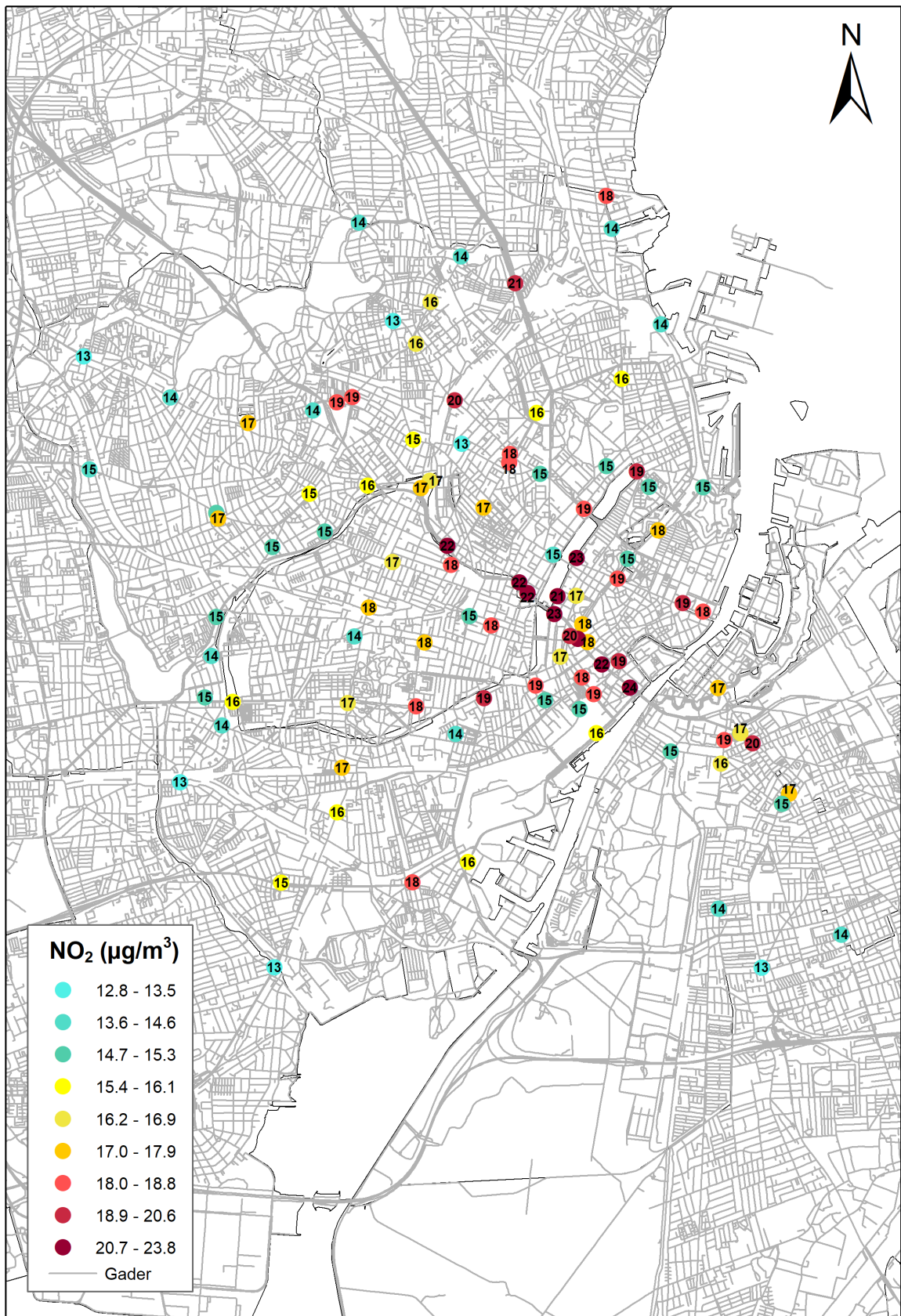
1197  
1198  
1199

**Tabel 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)

1200





**Figur 2.6.** Kortet viser placeringen af de udvalgte gadestrekninger 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 gadestrekning 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.

1201

## 2.4.2 Modelberegninger for Aalborg

1202  
1203  
1204  
1205  
1206  
1207  
1208  
1209  
1210

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.

1211  
1212  
1213  
1214  
1215  
1216  
1217  
1218  
1219

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.

1220  
1221  
1222  
1223  
1224  
1225  
1226

Årsmiddelkoncentrationerne for kvælstofdioxid for de 26 udvalgte gadestrækninger ligger i intervallet fra 8 µg/m<sup>3</sup> og op til 19 µg/m<sup>3</sup> (Figur 2.7). Gennemsnitligt er årsmiddelkoncentrationerne for de 26 udvalgte gadestrækninger i 2023 omkring 1,6 µg/m<sup>3</sup> lavere end den gennemsnitlige årsmiddelkoncentration for 2022. Målingerne viser tilsvarende lidt lavere koncentrationer i 2023 i forhold til 2022 ved gadestationen og ved bybaggrundsstationen.

1227  
1228  
1229  
1230  
1231  
1232  
1233  
1234

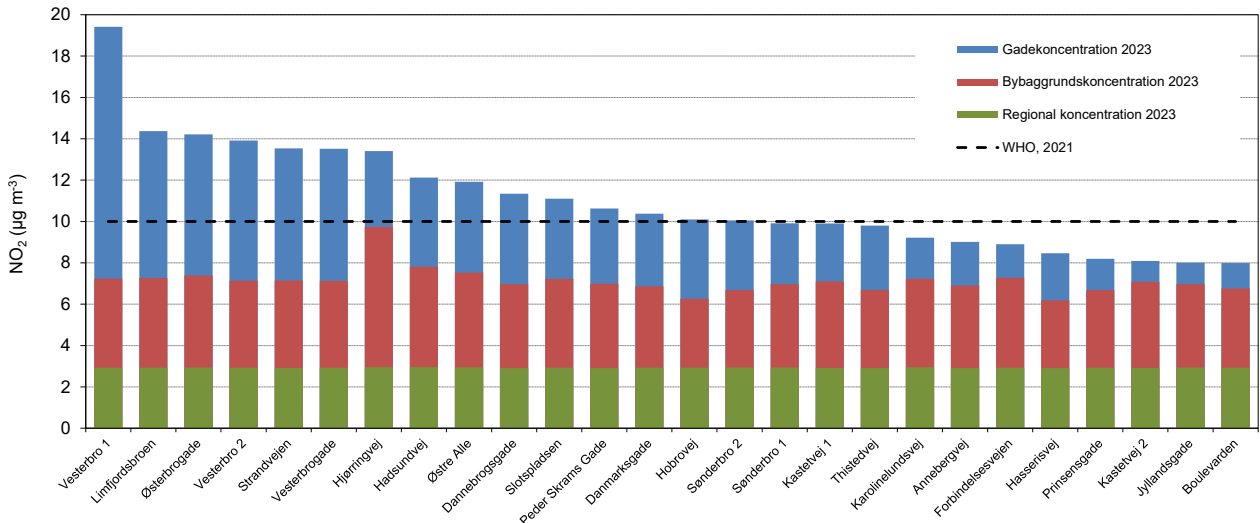
I november 2019 startede målingerne på den nye placering på Vesterbro (Vesterbro 2). Den tidligere placering af målestationen var tættere på Limfjorden (Vesterbro 1). Bemærk at den højeste beregnede NO<sub>2</sub>-koncentration er for gadestrækningen, hvor den tidligere målestation lå, men på den modsatte 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.

1235  
1236  
1237  
1238  
1239  
1240

Ifølge modelberegningerne blev grænseværdien for årsmiddelkoncentration (40 µg/m<sup>3</sup>) 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 µg/m<sup>3</sup> for årsmiddelværdien af NO<sub>2</sub> (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 µg/m<sup>3</sup>, da retningslinjen er defineret som et heltal.

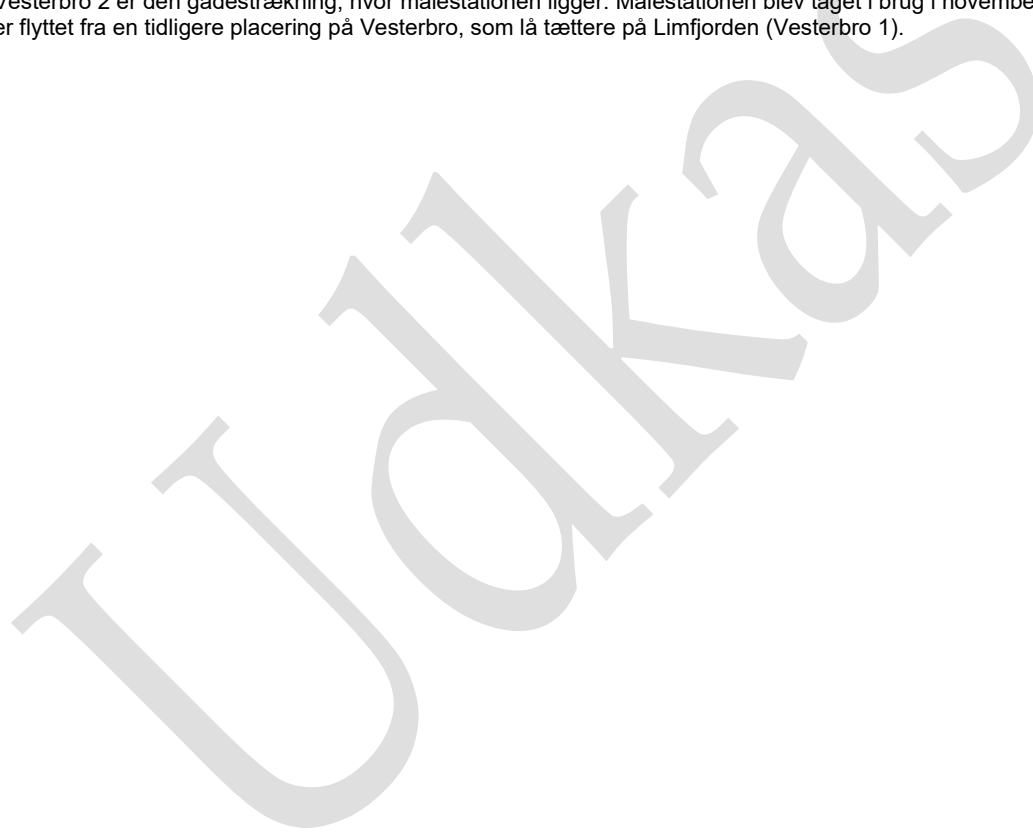
1241

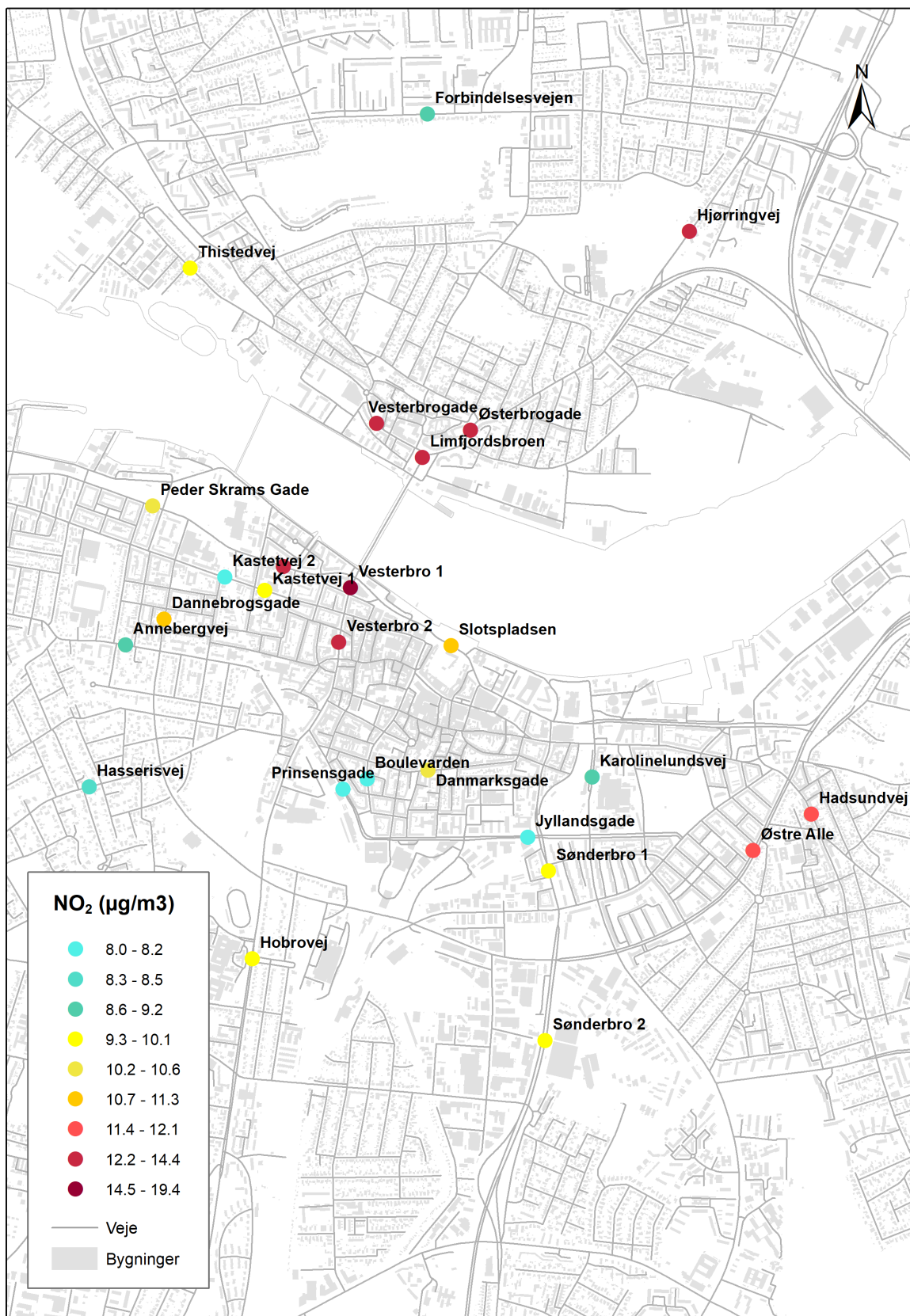
1242  
1243



1244  
1245  
1246  
1247  
1248  
1249  
1250  
1251  
1252

**Figur 2.7.** Årsmiddelkoncentrationer for kvælstofdioxid i 2023 for 26 udvalgte gadestækninger 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 gadestækning er for den side af gaden, der har den højeste årsmiddelkoncentration af de to sider. Vesterbro 2 er den gadestækning, 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.

1253  
 1254  
 1255  
 1256  
 1257  
 1258  
 1259  
 1260  
 1261

1262  
1263  
1264  
1265  
1266  
1267  
  
1268  
1269  
1270  
1271  
1272  
1273  
1274  
  
1275  
1276  
1277  
1278  
1279  
1280  
1281  
1282  
1283  
  
1284  
1285  
1286  
1287  
1288  
1289  
  
1290  
1291  
1292  
1293  
  
1294  
1295  
1296  
1297  
1298  
1299  
  
1300  
  
1301

### 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.

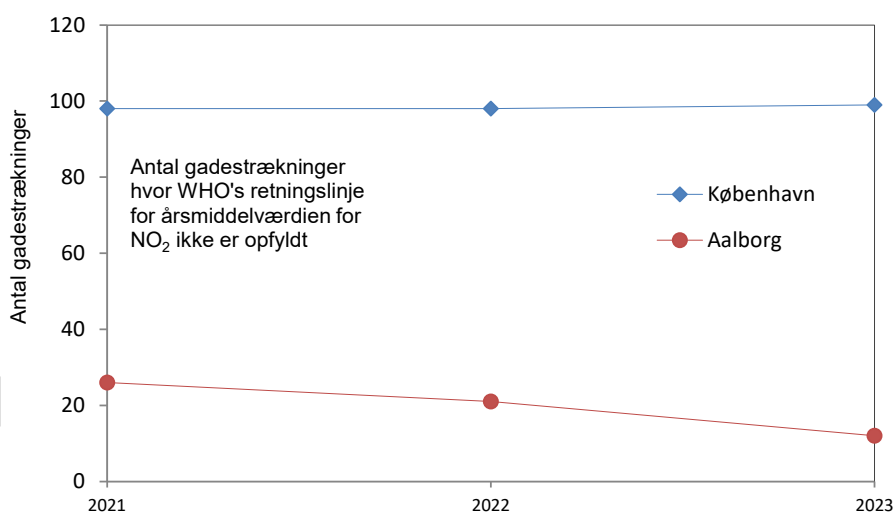
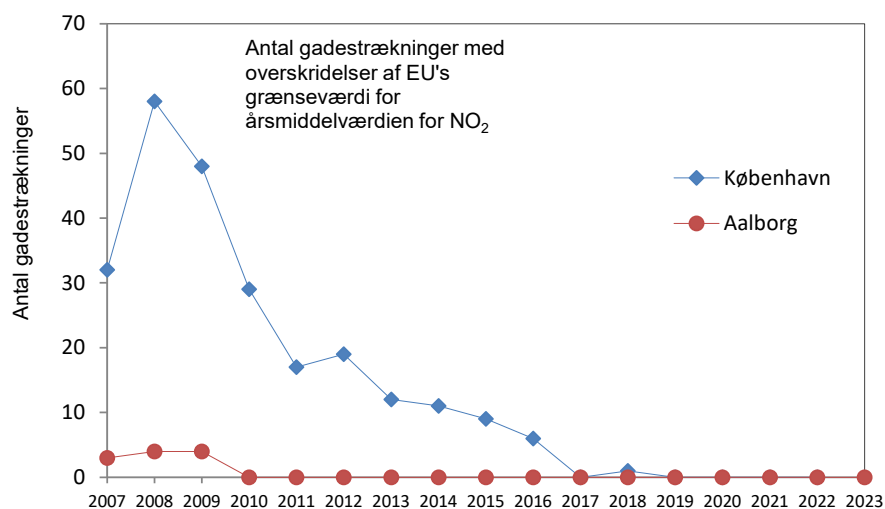
Grænseværdien på  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for årsmiddelkoncentrationen af kvælstofdioxid skulle være opfyldt i 2010 (EU, 2008). Luftkvalitetsdirektivet indeholder endvidere en mekanisme, som skulle anspore medlemsstaterne til løbende at nærme sig grænseværdien i perioden fra 1999 frem til 2010. 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 årsmiddelmiddelværdien 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 årsmiddelmiddelværdien af kvælstofdioxid ikke er opfyldt (nederst).

1302  
1303  
1304  
1305  
1306  
1307  
1308

I forhold til WHO's nye retningslinje for luftkvalitet på 10 µg/m<sup>3</sup> 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 Aarhus.

1309

1310

### 3. Carbonmonoxid, CO

1311  
1312  
1313

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

1314  
1315  
1316  
1317  
1318

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).

1319  
1320  
1321

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

1322

#### 3.1 Udledninger

1323  
1324  
1325  
1326

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.

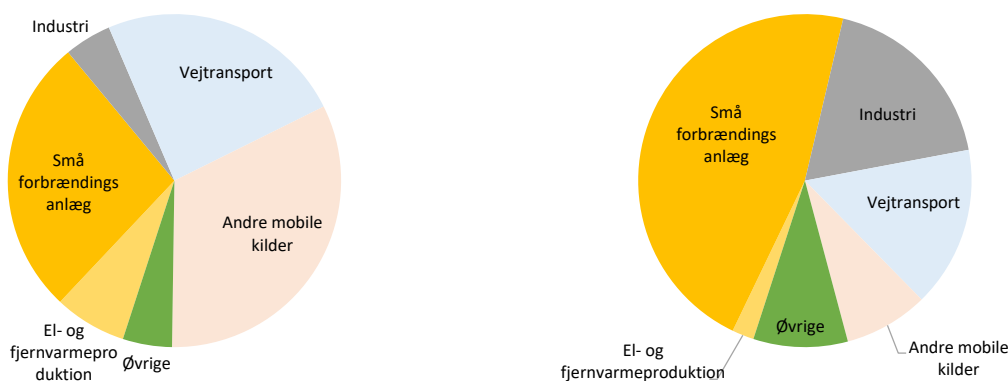
1327  
1328  
1329  
1330  
1331  
1332  
1333  
1334  
1335

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.

1336  
1337  
1338  
1339  
1340

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.

1341

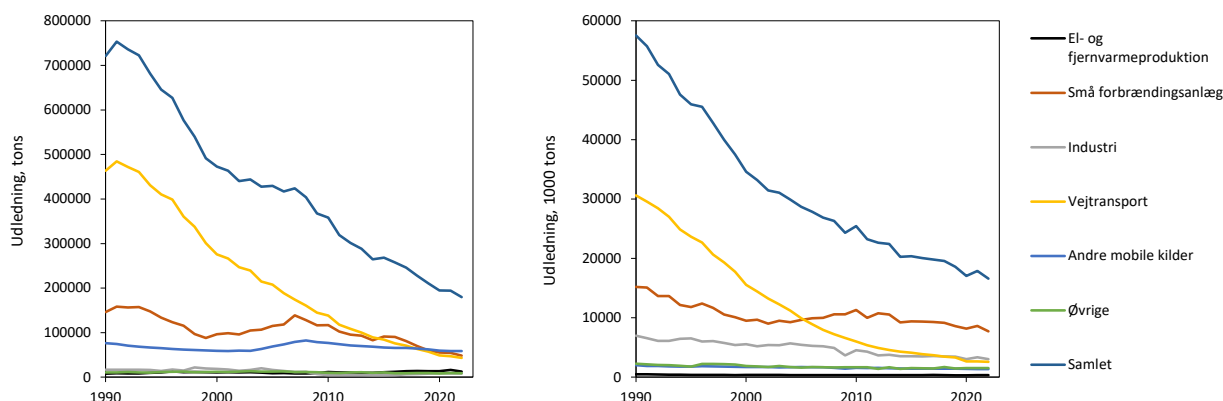


**Figur 3.1.** Kilderne til menneskeskabte udledninger af carbonmonoxid i Danmark (venstre) og EU-27 (højre) i 2022. Figureerne viser de fem vigtigste kilder i Danmark, mens de resterende kilder er vist samlet under "Øvrige" (Nielsen et al., 2024, CEIP, 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne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

**Tabel 3.1.** Kilderne til de menneskeskabte 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>

1342



**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.



1343  
1344  
1345  
1346  
1347  
1348  
1349  
1350  
1351  
1352  
  
1353

### 3.2 Status for luftkvalitet

CO 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 korttidseksponering for CO (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 CO i 2023 samt den maksimale 8-timersmiddelværdi. Desuden angives grænseværdien for CO (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

1354  
  
1355  
1356  
1357  
1358  
1359  
1360  
1361  
1362

Koncentrationsniveauet er nogenlunde på samme niveau ved gademålestationerne i København, Odense og Aarhus. 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).

1363  
1364  
1365  
1366  
1367  
1368  
  
1369  
1370  
1371  
1372

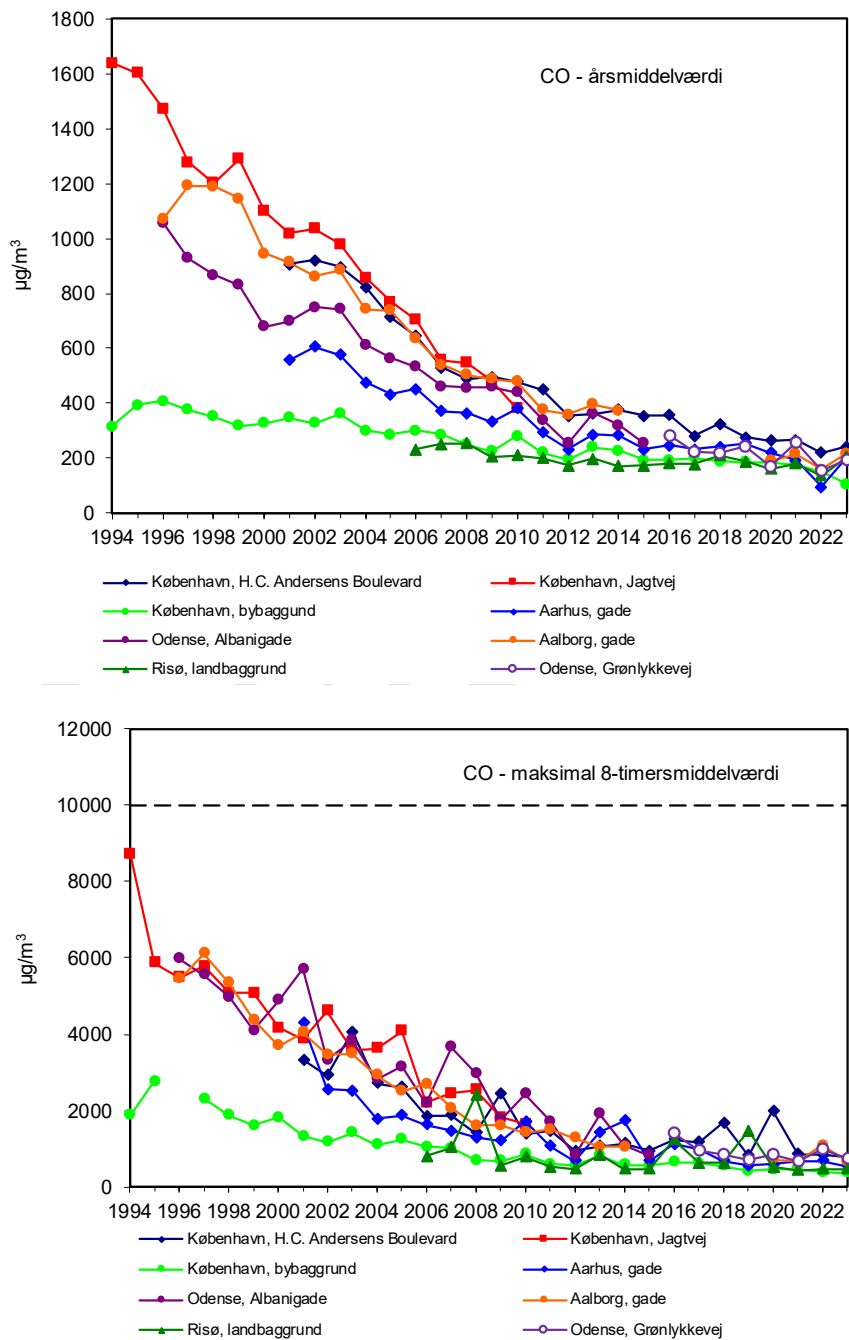
### 3.3 Udviklingstendens

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

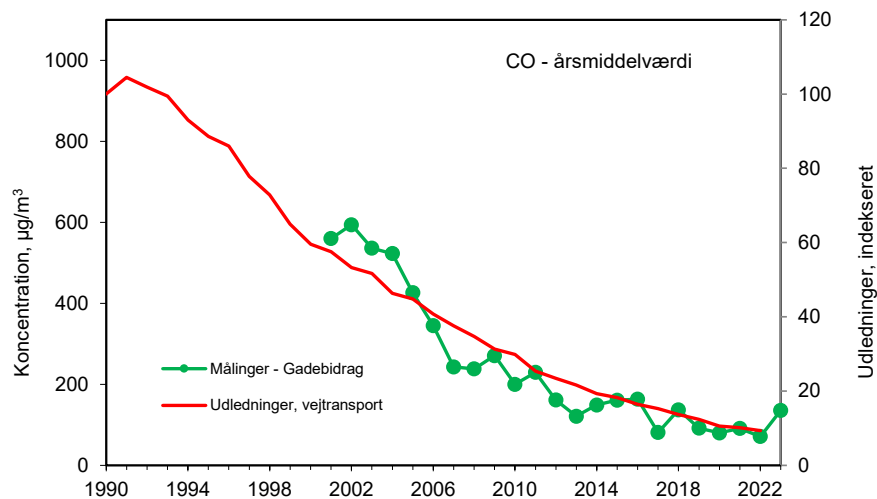
1373  
1374  
1375

(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 CO.



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

1376



**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-opsørelserne 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.

1378

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

1379

1380

1381

1382

1383

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.

1384

1385

1386

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:

1387

1388

1389

- 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.

1390

1391

1392

- 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.

1393

1394

1395

1396

1397

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.

1398

1399

1400

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

1401

### 4.1 Udledninger

1402

1403

1404

1405

1406

1407

1408

1409

1410

1411

1412

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). Forbrænding i forbindelse med energiproduktion og affald, fremstillingsvirksomhed og byggeri samt industrielle processer er de tre vigtigste kildetyper, mens vejtransport kun spiller en lille rolle.

1413

1414

1415

1416

1417

1418

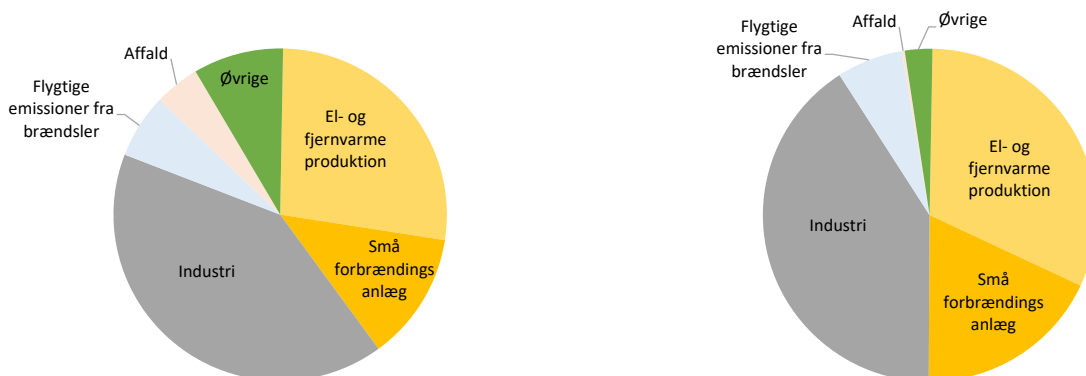
De samlede udledninger af svovldioxid er faldet med omkring 95% siden begyndelsen af 1990'erne (Figur 4.2; Nielsen et al., 2024). Det store fald er opnået ved ovennævnte tiltag over for udledningerne fra afbrænding af olie og kul, hvilket har ført til omkring 98% og 91% reduktion i udledningerne fra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

1419

1420  
1421  
1422  
1423  
1424

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).

1425



**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.

1426

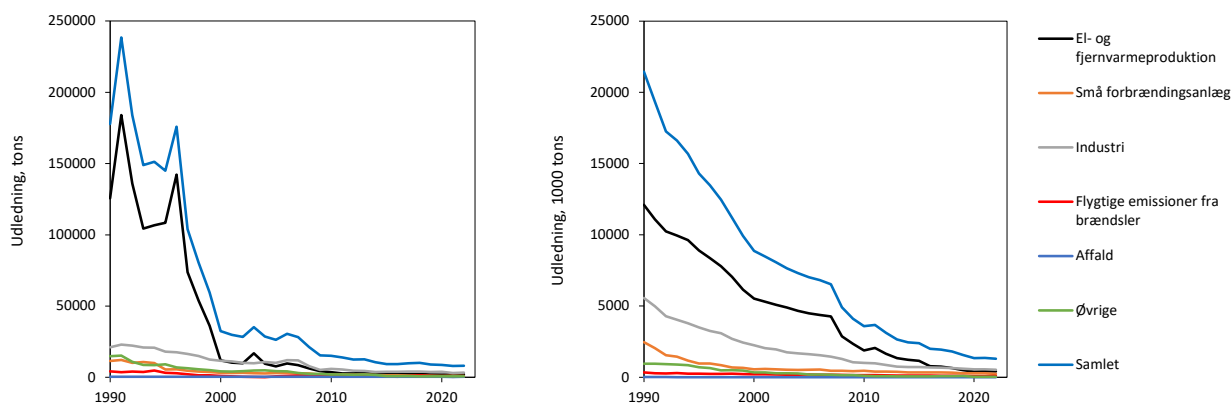
**Tabel 4.1.** Kilderne til de menneskeskabte udledninger af svovldioxid i Danmark i 2022 (Nielsen et al., 2024). Emissionssektorerne er fra og med 2022-opgørelserne i forhold til de foregående år ændret fra SNAP til GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) i kildeopgørelserne.

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>

1427

1428

1429



**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.

1430

## 4.2 Status for luftkvalitet

1431

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 årsmiddelmålingerne som gennemsnit på omkring 40% af niveauerne på gademålestationerne på H.C. Andersens Boulevard i København og Vesterbro i Aalborg.

1432

1433

1434

1435

1436

1437

1438

1439

1440

**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  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  24 gange i et kalenderår. Den anden er baseret på døgnmiddelværdien, hvor døgnmiddelværdien højst må overskride  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tre gange i et kalenderår. Målingerne ved gademålestationerne er baseret på timemiddelmålinger 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.

1441

1442

1443

1444

1445

1446

1447

	Data-dækning	Årsmiddelværdi	Højeste timemiddelværdi	Antal timer med timemiddelværdi over $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Højeste døgnmiddelværdi	Antal dage med døgnmiddelværdi over $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Antal timer	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Antal dage
<b>Grænseværdi</b>			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

1448

1449

1450

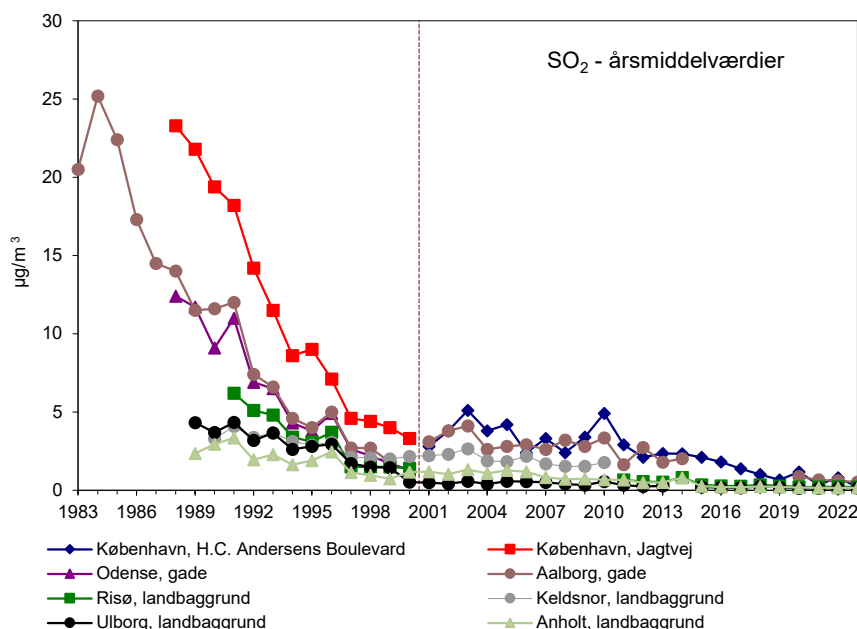
1451  
1452  
1453  
1454  
1455  
1456  
1457

### 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.

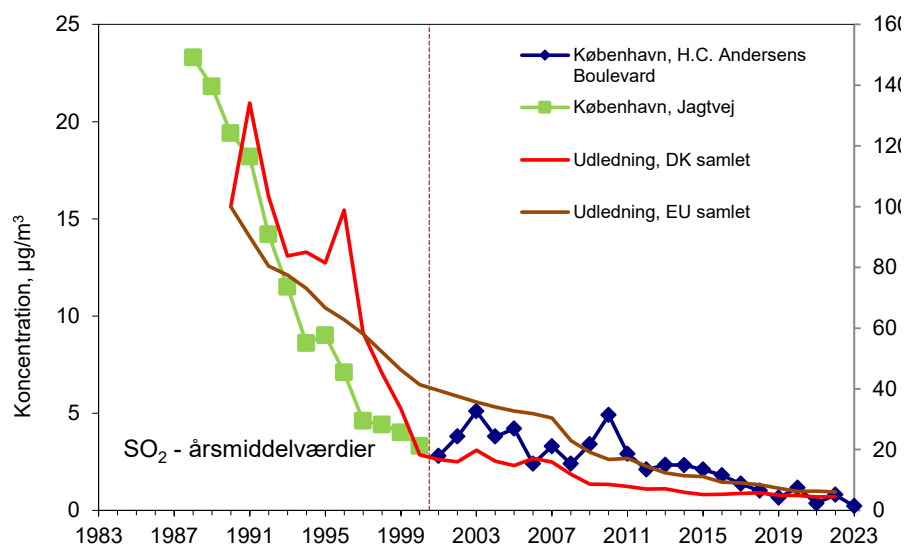
1458  
1459  
1460  
1461  
1462  
1463  
1464  
1465

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 strek) 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.

1466



**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 gasmonitorerne anvendt i perioden efter 2000 er behæftet med betydelig usikkerhed pga. de meget lave koncentrationer (se teksten til Figur 4.3).



1467

## 5. Flygtige organiske forbindelser, VOC

1468  
1469  
1470  
1471  
1472

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:

1473  
1474  
1475  
1476  
1477  
1478  
1479  
1480  
1481  
1482

- 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).

1483  
1484  
1485  
1486

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

1487  
1488  
1489  
1490  
1491

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

1492  
1493  
1494  
1495  
1496  
1497

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 og Odense.

1498  
1499  
1500  
1501

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).

1502

### 5.1 Udledninger

1503  
1504  
1505  
1506  
1507  
1508

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.

1509  
1510  
1511  
1512  
1513  
1514  
1515  
1516  
1517

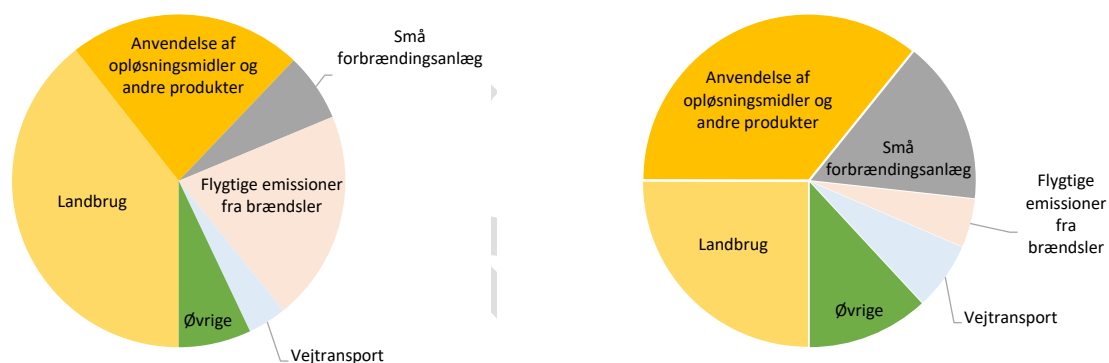
Udledningerne af flygtige organiske forbindelser bortset fra metan (NMVOC – non-methane volatile organic compounds) fra danske kilder er præget af mange kilder, hvoraf den største er landbrug - nærmere bestemt emissioner fra husdyrhold og gødningshåndtering (Figur 5.1 og Tabel 5.1; Nielsen et al., 2024). 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.

1518  
1519  
1520

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.

1521  
1522  
1523  
1524  
1525  
1526

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).

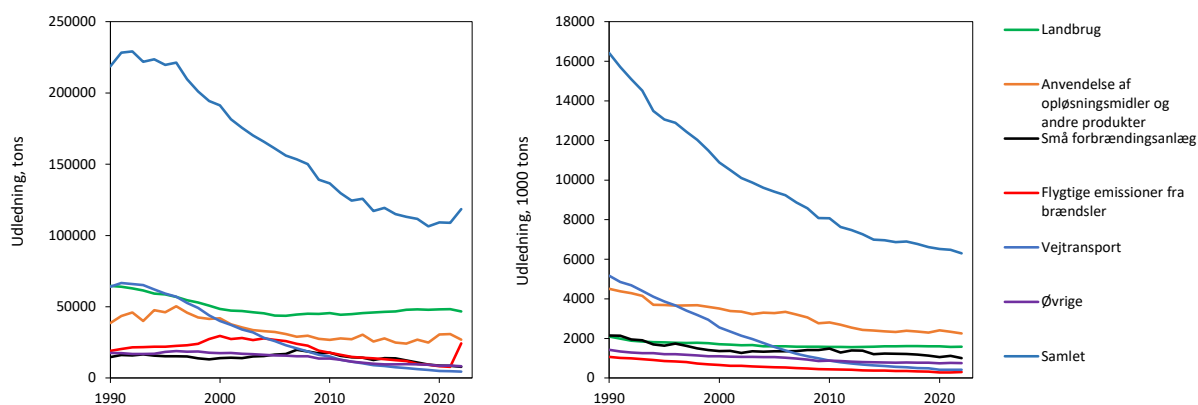


**Figur 5.1.** Kilderne til menneskeskabte udledninger af flygtige organiske forbindelser i Danmark (venstre) og EU-27 (højre) i 2022. Figurene viser de fem vigtigste kilder i Danmark, mens de resterende kilder er vist samlet under "Øvrige" (Nielsen et al., 2024, CEIP, 2024). Emissionssektorerne er fra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

1527  
1528

**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.

1529

## 5.2 Status for luftkvalitet

1530

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.

1531

1532

1533

1534

1535

**Table 5.2.** Årsmiddelværdier for benzen, toluen, ethylbenzen og xyloenerne 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 neglignibel.

	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

1536 \*Toluen målt på H.C. Ørsted Institutet har en datadækning på 84,4% af året grundet tekniske problemer.

1537 Benzen måles ikke direkte i Aarhus, Aalborg og Odense, men i stedet anvendes  
 1538 objektiv estimering til at vurdere årsmiddelkoncentrationerne på gadeniveau  
 1539 i de tre byer. Den objektive estimering er baseret på følgende korrelation  
 1540 mellem årsmiddelkoncentrationen af benzen og carbonmonoxid (Ellermann  
 1541 et al., 2011):

1542 
$$\text{Benzen} = 0,0044 \cdot \text{carbonmonoxid} - 0,37$$

1543 hvor benzen og carbonmonoxid angives i µg/m<sup>3</sup>. Denne metode medfører  
 1544 imidlertid, at benzenkoncentrationen på gadeniveau i Aarhus estimeres til at  
 1545 blive lavere end målt ved bybaggrundsmålestationen i København, hvilket er  
 1546 urealistisk. Derfor er det valgt at basere den objektive estimering af benzen  
 1547 for Aarhus på en antagelse om, at benzenkoncentrationen i Aarhus vil være  
 1548 på niveau med eller lidt lavere end den målte koncentration for H.C. Ander-  
 1549 sens Boulevard i København.

1550 For 2023 bliver årsmiddelkoncentrationerne dermed estimeret til at ligge om-  
 1551 kring 0,5-0,6 µg/m<sup>3</sup>. Disse objektive estimater er behæftet med stor usikker-  
 1552 hed.

1553 Tabel 5.3 præsenterer årsmiddelkoncentrationerne for de udvalgte flygtige  
 1554 organiske forbindelser, som overvåges i forbindelse med måleprogrammet.

1555

1556

1557

1558

1559

1560

1561

**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

1562  
1563  
1564  
1565  
1566  
1567

### 5.3 Udviklingstendens

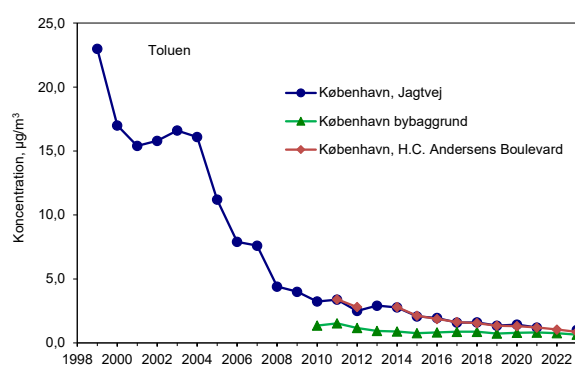
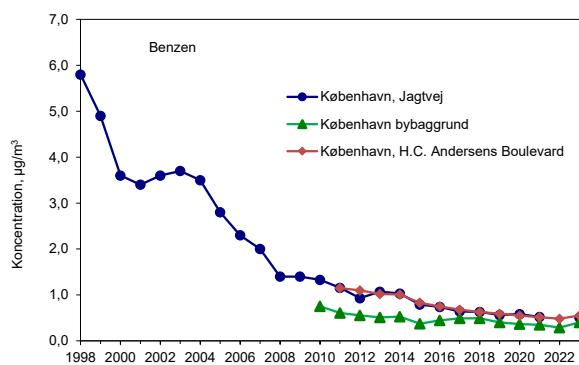
Figur 5.3 viser udviklingstendensen for årsmiddelværdierne af benzen og toluen ved gademålestationerne på Jagtvej og bybaggrundsmålestationen i København. Figur 5.3 viser også udviklingstendensen målt siden 2011 på gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard. Både niveauer og udviklingstendens er meget ens på de to gademålestationer.

1568  
1569  
1570  
1571  
1572  
1573

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.

1574  
1575  
1576  
1577  
1578  
1579  
1580  
1581  
1582

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).

1583

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

1585 Ozon er en giftig gas, som ved jordoverfladen giver anledning til betydelige  
 1586 negative helbredseffekter. Der sker ingen udledning af ozon fra menneske-  
 1587 skabte kilder, men til gengæld dannes ozon via kemiske reaktioner i den  
 1588 nedre del af atmosfæren. Ozondannelsen foregår ved en serie af kemiske re-  
 1589 aktioner, som involverer kvælstofoxiderne (Kapitel 2) og de flygtige organi-  
 1590 ske forbindelser i atmosfæren (Kapitel 5). De kemiske reaktioner kræver sol-  
 1591 lys og høj lufttemperatur, for at der kan dannes betydelige mængder ozon.  
 1592 Dette forårsager høje ozonkoncentrationer i de sydlige dele af Europa og  
 1593 denne ozon transporteres med luftmasserne op til Danmark. I Danmark sker  
 1594 der kun en ubetydelig dannelse af ozon, da temperaturen er relativ lav set i  
 1595 forhold til det sydlige Europa.

1596 Ozon er omfattet af EU's luftkvalitetsdirektiv (EU, 2008), hvor der er fastlagt  
 1597 en såkaldt målværdi (en slags grænseværdi) og en langsigtet målsætning til  
 1598 beskyttelse mod helbredseffekter fra korttids eksponering for ozon:

- 1599 • Målværdien angiver, at den daglige maksimale 8-timersmiddelværdi ikke  
 1600 må overskride 120 µg/m<sup>3</sup> mere end 25 gange i kalenderåret set som gen-  
 1601 nemsnit over de seneste tre år.
- 1602 • Den langsigtede målsætning angiver, at den maksimale 8-timersmiddel-  
 1603 værdi ikke må overskride 120 µg/m<sup>3</sup> i løbet af kalenderåret.

1604 Den langsigtede målsætning er imidlertid ikke trådt i kraft endnu, og der er  
 1605 ikke fastlagt et tidspunkt for ikrafttrædelse af målsætningen (EU, 2008).

1606 EU's luftkvalitetsdirektiv angiver endvidere, at befolkningen skal informeres,  
 1607 når timemiddelkoncentrationen overskrider 180 µg/m<sup>3</sup>. Ved overskridelse  
 1608 skal befolkningen informeres om, at ozonniveauerne er høje, og at de høje  
 1609 koncentrationer vil kunne give anledning til mindre gener.

1610 Den højeste eksponering for ozon ses i bybaggrund eller landbaggrund, mens  
 1611 koncentrationerne på gademålestationerne er langt mindre. Det skyldes, at  
 1612 udledninger af kvælstofoxider fra navnlig trafik nedbryder ozon lokalt i by-  
 1613 områder. Måleprogrammet for 2023 for ozon har derfor hovedvægt på bybag-  
 1614 grundsmålestationerne (4 stk.) og landbaggrundsmålestationerne (3 stk.),  
 1615 mens der på gadeniveau kun måles på én station, H.C. Andersens Boulevard.

### 1616 6.1 Status for luftkvalitet

1617 Tabel 6.1 viser resultaterne for årsmiddelkoncentrationer, hvor koncentrationen  
 1618 ved gademålestationen ligger væsentligt lavere end i bybaggrund og  
 1619 landbaggrund, mens der kun er meget lille forskel mellem resultaterne fra  
 1620 baggrundsmålestationerne.

1621 EU har fastlagt en målværdi for O<sub>3</sub> for korttids eksponeringen af O<sub>3</sub>. Målvær-  
 1622 dien angiver, at den daglige maksimale 8-timersmiddelværdi ikke må over-  
 1623 skride 120 µg/m<sup>3</sup> mere end 25 gange i kalenderåret set som gennemsnit over  
 1624 de seneste tre år (EU, 2008). Som angivet i tabel 6.1, er det højeste antal dage  
 1625 med overskridelse af 120 µg/m<sup>3</sup> for en målestation på 8 gange eller derunder  
 1626 i 2023. I 2021 og 2022 lå antallet af dage med overskridelse ligeledes under 25

1627  
1628

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

1629  
1630  
1631  
1632  
1633  
1634

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 gadestationen i København på H.C. Andersens Boulevard og bybaggrundsstationen i Aarhus (tabel 6.1).

1635  
1636  
1637  
1638  
1639

Endelig har EU også en informationstærskel for timemiddelværdien af O<sub>3</sub> 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 O<sub>3</sub> i 2023 og en række andre parametre til vurdering af overholdelse af de i EU fastlagte målsætninger for O<sub>3</sub> (EU, 2008). For O<sub>3</sub> 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 timemiddelværdi
	%	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

1640  
1641  
1642  
1643  
1644  
1645  
1646  
1647

## 6.2 Udviklingstendens

Figur 6.1 viser udviklingstendens for årsmiddelværdien og den maksimale 8-timersmiddelværdi for O<sub>3</sub>. For landbaggrundsstationerne 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 NO<sub>x</sub>. Det store fald i NO<sub>x</sub> har reduceret nedbrydningen af

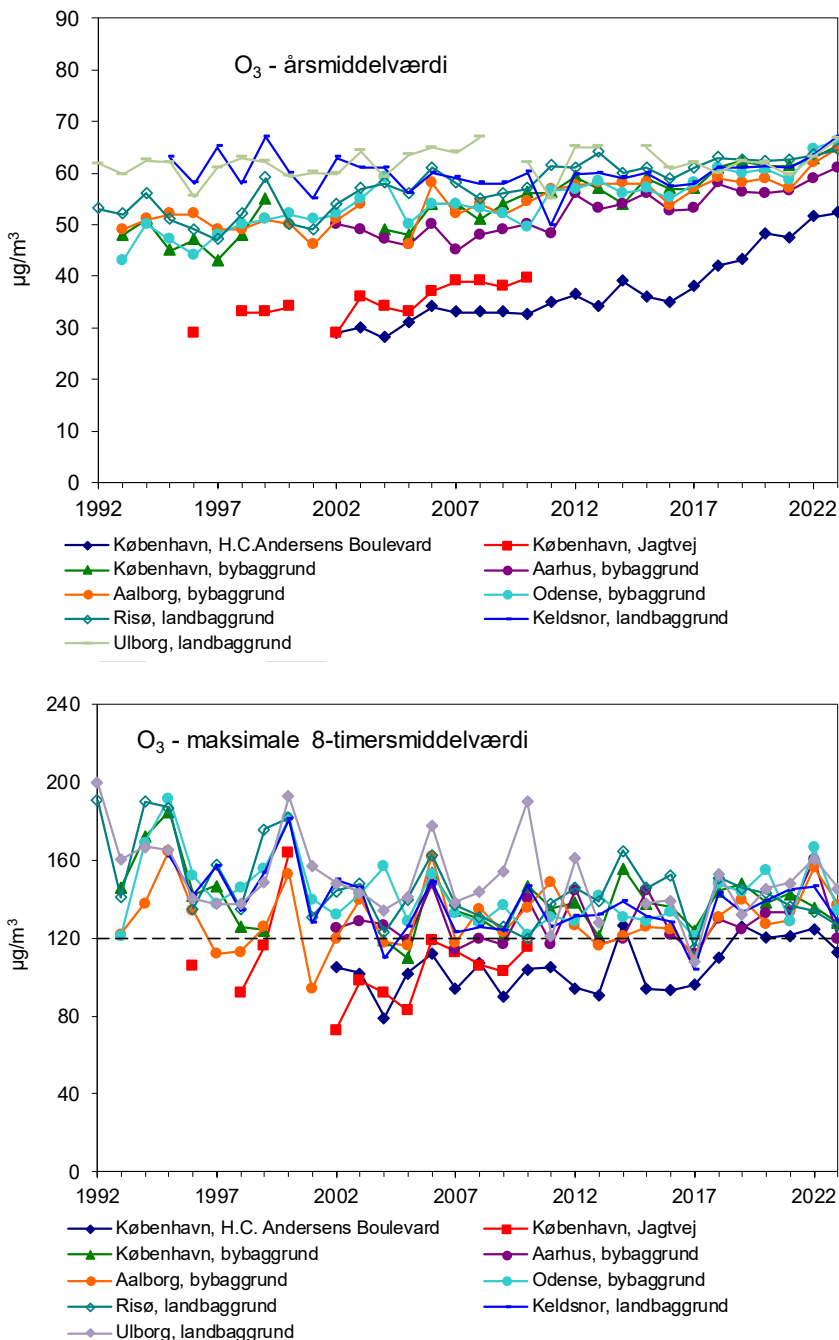


1648  
1649  
1650  
1651  
1652

O<sub>3</sub> på lokalt niveau i byerne, hvilket resulterer i en stigning i ozonkoncentrationerne. Denne stigning ses navnlig ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard, som er påvirket af udledningerne fra den stærkt trafikerede gade, og dermed ses indvirkningen af den faldene udledning af NO<sub>x</sub> fra vejtrafikken mest tydeligt her.

1653  
1654  
1655  
1656  
1657

For de maksimale 8-timersmiddelværdier 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 O<sub>3</sub>.



**Figur 6.1.** Årsmiddelværdier (øverst) og den maksimale 8-timersmiddelværdi (nederst) for O<sub>3</sub>. Den stiplede linje i den nederste figur angiver EU's langsigtede målsætning, som endnu ikke er trådt i kraft (EU, 2008).

1658

### 6.3 Modelberegninger

1659

1660

1661

1662

1663

1664

1665

1666

1667

1668

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.

1669

1670

1671

1672

1673

1674

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.

1675

1676

1677

1678

1679

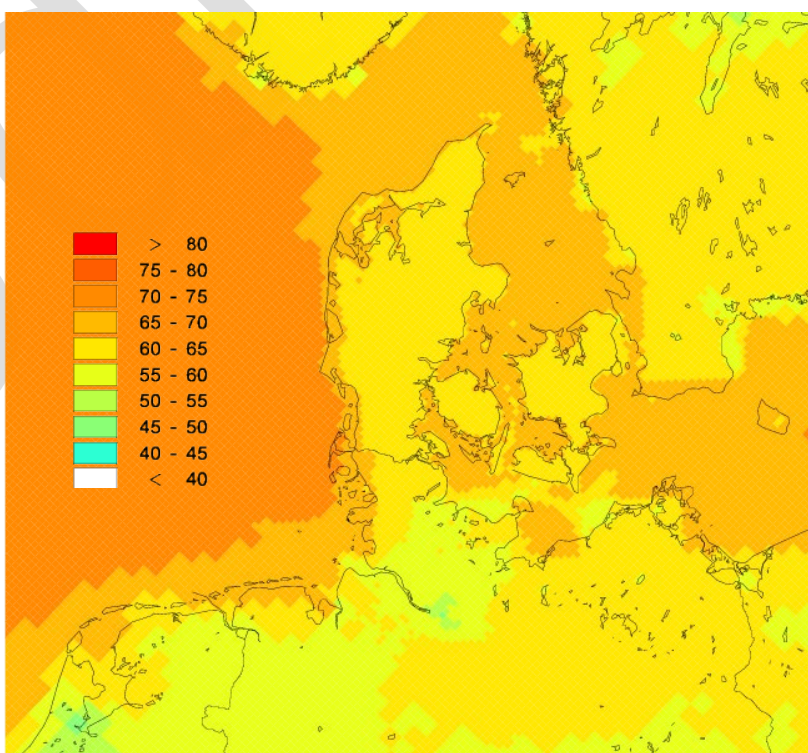
1680

1681

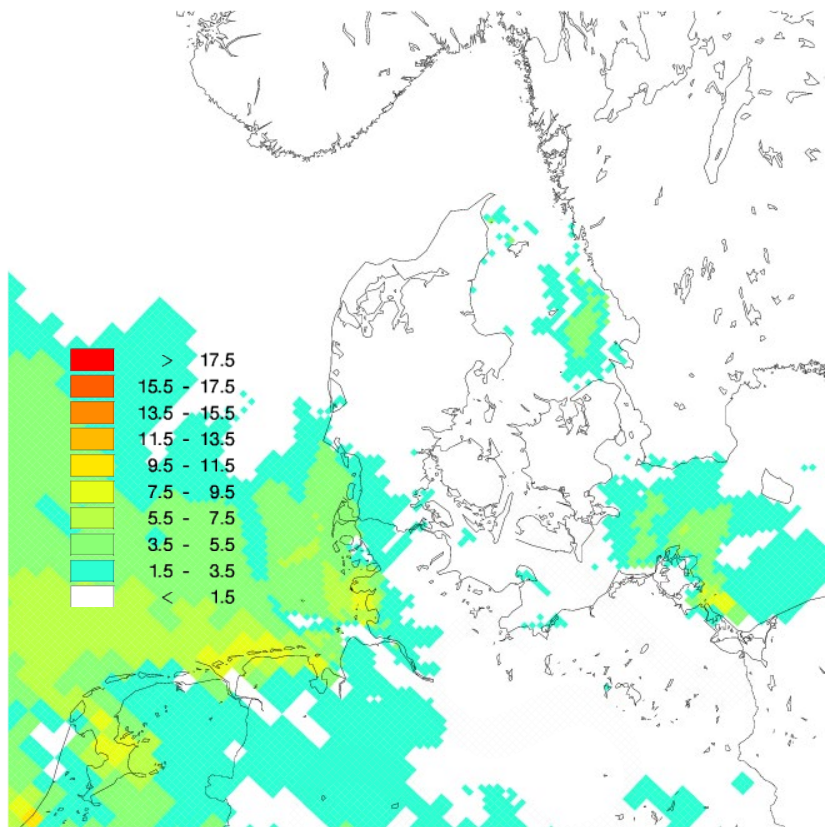
1682

1683

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.

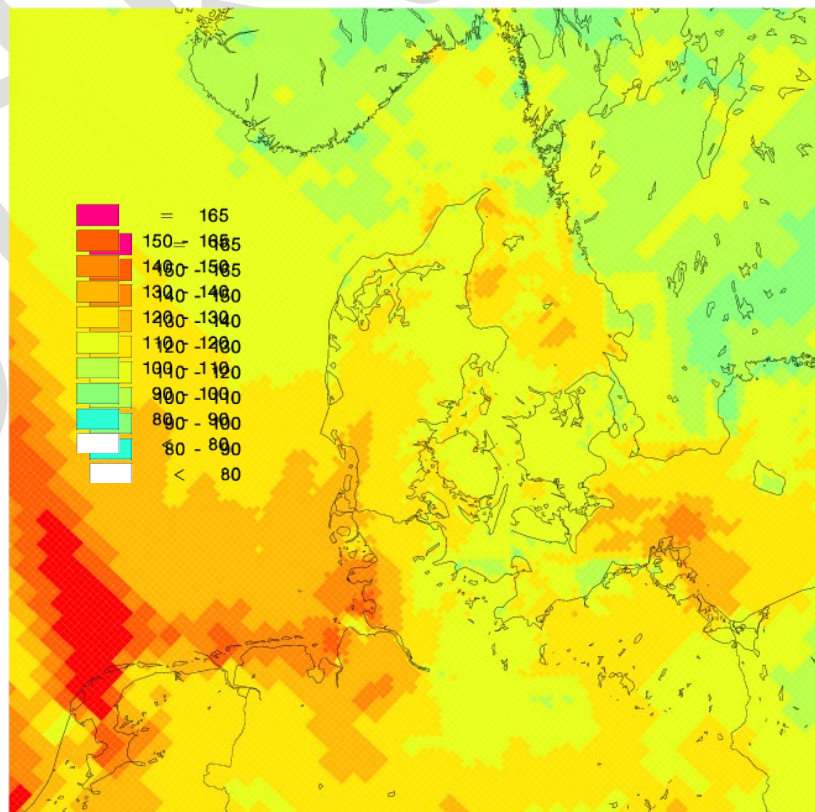


**Figur 6.2.** Årsmiddelkoncentrationer for ozon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) i 2023 beregnet med regionalskalamodellen DEHM. Figuren viser gennemsnitlige koncentrationer for gitterceller på 6 km x 6 km.



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

1684



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

## 7. Luftbårne partikler

1686  
1687  
1688  
1689  
1690  
1691  
1692  
1693  
1694

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.

1695  
1696  
1697  
1698

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.

1699  
1700

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

1701  
1702  
1703  
1704  
1705  
1706  
1707  
1708  
1709  
1710  
1711

- **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).

1712  
1713  
1714  
1715

- **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>.

1716  
1717  
1718

- **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>).

1719  
1720

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

1721  
1722  
1723

- 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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

1724  
1725  
1726

- 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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

1727  
1728  
1729

- 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.

1730 EU's luftkvalitetsdirektiv har endvidere fastlagt et nationalt reduktionsmål  
1731 for at begrænse de skadelige virkninger af luftforurening på menneskers  
1732 sundhed (EU, 2008). Reduktionsmålet er fastlagt på basis af en "indikator for  
1733 gennemsnitlig eksponering" (på engelsk Average Exposure Indicator, AEI),  
1734 som beregnes ud fra den gennemsnitlige bybaggrundskoncentration i Dan-  
1735 mark af PM<sub>2,5</sub> taget som gennemsnit for en treårig periode. For Danmark be-  
1736 tyder reduktionsmålet, at AEI skulle falde med 15% fra 2010 til 2020. Reduk-  
1737 tionsmålet beskrives yderligere i afsnit 7.3.

1738 Endeligt indeholder EU's luftkvalitetsdirektiv også en forpligtelse til, at ek-  
1739 sponeringskoncentrationen (AEI) ikke må overskride 20 µg/m<sup>3</sup> for et kalen-  
1740 derår.

1741 Overvågningsprogrammet omfatter en relativt omfattende overvågning af  
1742 PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>. I 2023 måles de to parametre samtidigt på fem målestationer  
1743 (København gade - hhv. H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej, Aarhus gade,  
1744 København bybaggrund og landbaggrund ved Risø), mens der måles PM<sub>2,5</sub>  
1745 på yderligere tre målestationer (Aarhus og Aalborg bybaggrund samt Hvid-  
1746ovre forstad), og PM<sub>10</sub> på yderligere to målestationer (Keldsnor og Odense  
1747 gade).

1748 Målinger af partikelantal er ikke omfattet af EU's luftkvalitetsdirektiv, og der  
1749 findes ingen miljømålsætninger for, hvor stort partikelantallet må være. Der  
1750 er imidlertid et stort nationalt behov for viden om niveauer og udviklingsten-  
1751 dens for partikelantallet. Derfor måles partikelantal på tre målestationer i ho-  
1752 vedstadsområdet (H.C. Andersens Boulevard, København bybaggrund og  
1753 Hvidovre forstad) og i landlig baggrund ved Risø.

## 1754 7.1 Udledninger

1755 I det følgende præsenteres resultaterne for opgørelse af de direkte udlednin-  
1756 ger af luftbårne partikler i Danmark. De direkte udledninger udgør kun en  
1757 lille del af den målte partikelforurening i Danmark, da der også er naturlige  
1758 kilder til partikelforureningen, og der dannes mange partikler via de kemiske  
1759 reaktioner i luften. Derfor er der stor forskel på sammensætningen af kilderne  
1760 til de direkte udledte partikler og kilderne til den samlede målte partikelfor-  
1761 urening i luften.

1762 Der er endvidere også stor forskel på kilderne til de forskellige størrelsesfrak-  
1763 tioner af partikler. De fine partikler (PM<sub>2,5</sub>) udgør omkring 52% af de udledte  
1764 partikler med diameter mindre end 10 µm (PM<sub>10</sub>), mens de grovere partikler  
1765 med diameter mellem 2,5 og 10 µm (PM<sub>Grove</sub>) udgør omkring 48% (Tabel 7.1).  
1766 PM<sub>Grove</sub> er beregnet ud fra forskellen mellem PM<sub>10</sub> og PM<sub>2,5</sub>.

1767 De fine partikler (PM<sub>2,5</sub>) udledes i langt overvejende grad fra ikke-industriel  
1768 forbrænding (hovedsageligt fra anvendelse af brænde til boligopvarmning,  
1769 Figur 7.1; Nielsen et al., 2024). I 2022 var omkring 56% af udledningerne fra  
1770 *Små forbrændingsanlæg* (ikke-industriel forbrænding), og heraf kom alene 48%  
1771 fra boligopvarmning. Herefter kommer udledningerne fra *Vejtransport* (10%)  
1772 og *Andre mobile kilder* (6%).

1773 For de grove partikler (PM<sub>grove</sub>) ses en meget anderledes kildesammensæt-  
1774 ning, hvor støv fra landbruget i 2022 stod for hovedparten (omkring 70%),  
1775 mens *Industri* bidrog med omkring 15% og *Vejtransport* med omkring 8% (Ta-  
1776 bel 7.1). Årsagen til det store bidrag fra industrielle processer er blandt andet,

1777  
1778  
1779  
1780

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.

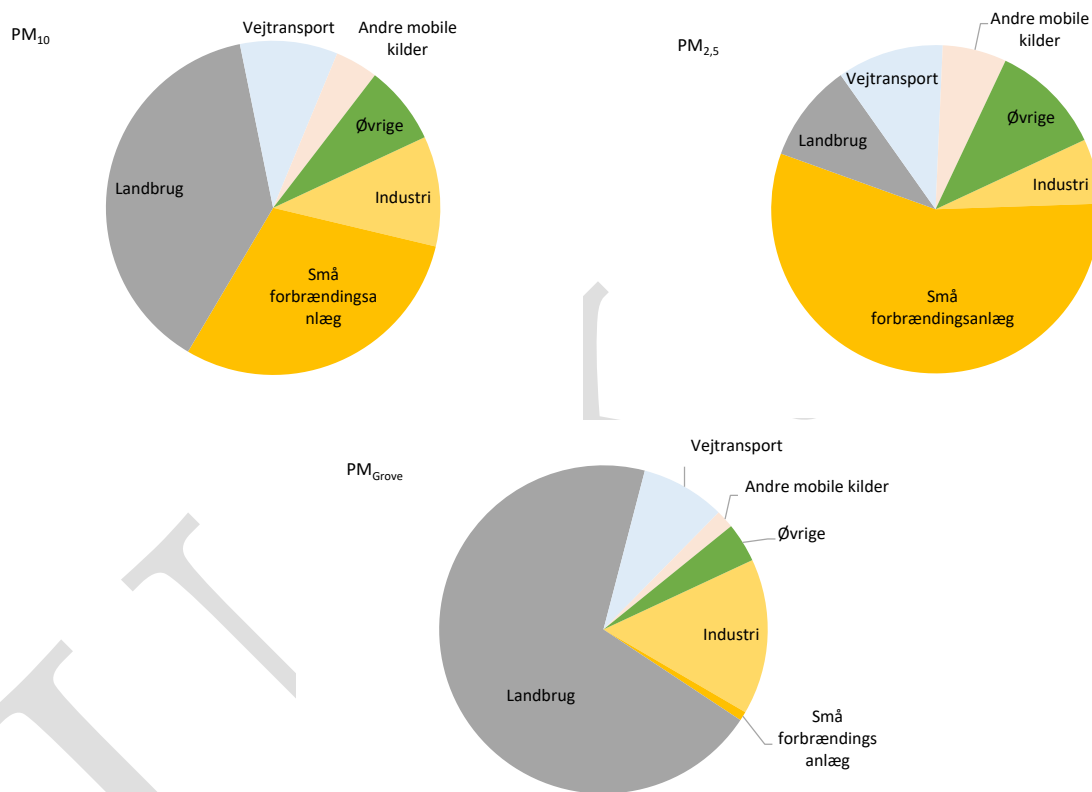
1781  
1782  
1783  
1784  
1785  
1786

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*.

1787

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

1788



**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>. Figurene 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.

1789  
1790  
1791  
1792  
1793  
1794  
1795  
1796

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

1797  
1798

i forbindelse med boligopvarmning og igennem de seneste tre år også som følge af fald i brændeforbrug (Nielsen et al., 2024).

1799  
1800  
1801  
1802  
1803  
1804  
1805

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.

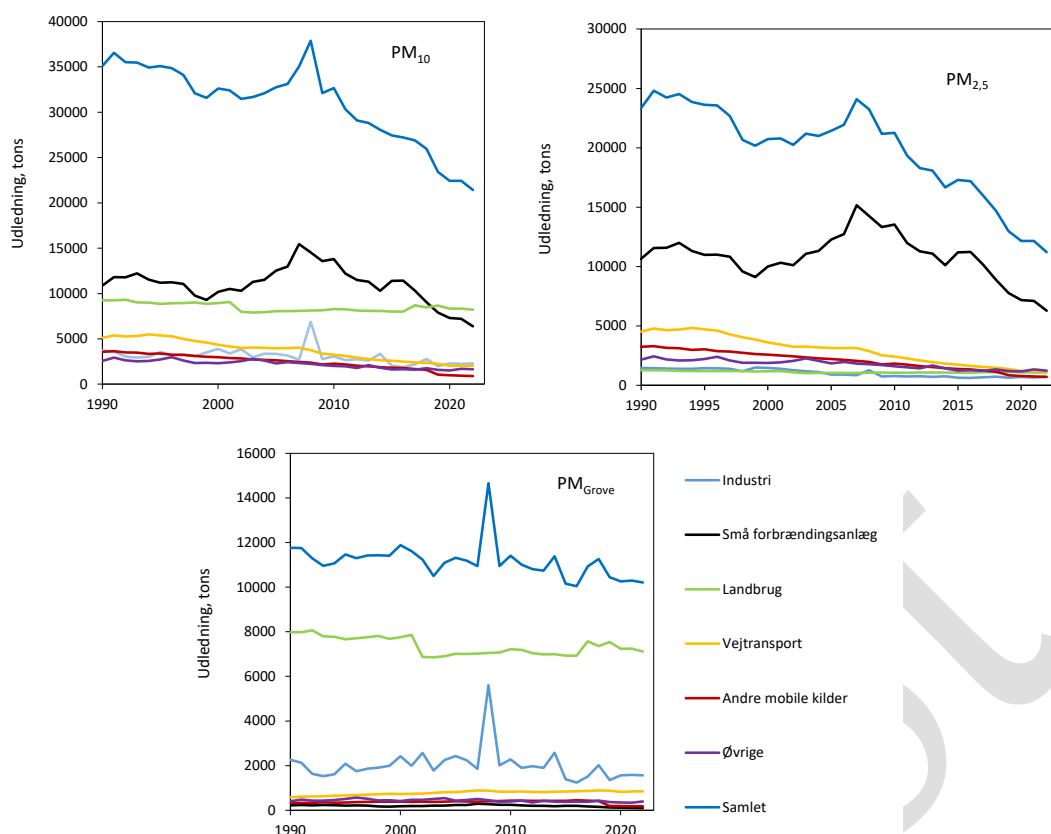
1806  
1807

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

**Tabel 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>EI- 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>

1808  
1809  
1810



**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.

1811  
1812  
1813  
1814  
1815  
1816  
1817  
1818  
1819  
1820  
1821  
1822  
1823  
1824  
1825  
1826  
1827

## 7.2 Status for luftkvalitet

DCE måler  $PM_{2,5}$  og  $PM_{10}$  ved opsamling af luftens partikler på partikelfiltre med Low Volume Sampler (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).

1828  
1829  
1830  
1831  
1832  
1833

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



1834 værdier med forhøjet usikkerhed og objektiv estimering af manglende data.  
1835 For en nærmere beskrivelse af hvordan disse estimater for årsmiddelværdi-  
1836 erne for PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> er foretaget, henvises til Ellermann et al. (2024). Over-  
1837 ordnet set er der udført følgende:

1838 For PM<sub>2,5</sub> er perioden 1. januar til slut-april blevet kasseret ved kvalitetskon-  
1839 trol ved alle målestationer bortset fra Risø, hvor der var tilstrækkeligt med  
1840 måleresultater med tilfredsstillende kvalitet, hvilket for en stor del skyldes, at  
1841 der blev udført en lang række ekstra testmålinger med de originale partikel-  
1842 filtre. Den gennemsnitlige koncentration af PM<sub>2,5</sub> for perioden med kasserede  
1843 måleresultater er herefter fastlagt ved objektiv estimering, som for hver sta-  
1844 tion er beregnet på basis af en skalering i forhold til PM<sub>2,5</sub> målt ved Risø. Dette  
1845 estimat er sammen med de fuldt gyldige målinger for resten af året blevet  
1846 anvendt til at give et bedste estimat for årsmiddelværdierne for PM<sub>2,5</sub>.

1847 For PM<sub>10</sub> blev det vurderet, at de målte koncentrationer i perioden 1. januar  
1848 til slut-april var tilstrækkeligt gode til, at de kunne anvendes med forhøjet  
1849 usikkerhed, svarende til indikative målinger i EU's luftkvalitetsdirektiv (EU,  
1850 2008). Denne vurdering er blandt andet baseret på sammenligning af resulta-  
1851 terne for PM<sub>10</sub> med LVS-metoden med resultaterne fra måling af PM<sub>10</sub> med  
1852 høj tidsopløsning med TEOM-metoden (Tapered Element Oscillating Micro  
1853 balance). Årsmiddelværdierne for PM<sub>10</sub> er derfor beregnet på basis af LVS-  
1854 data med forhøjet usikkerhed i perioden fra 1. januar til slut-april kombineret  
1855 med fuldt gyldige LVS-data fra perioden ca. 1. maj til 31. december.

1856 Alle årsmiddelværdier for PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> for 2023 med undtagelse af PM<sub>2,5</sub> på  
1857 Risø vil som følge af nævnte filterproblemer derfor være behæftet med større  
1858 usikkerhed end under normale omstændigheder. På trods af den forhøjede  
1859 usikkerhed opfylder resultaterne fortsat kravene i EU's luftkvalitetsdirektiv  
1860 (EU, 2008), hvilket hænger sammen med, at det for Danmark er muligt at ba-  
1861 sere målingerne på objektive estimater og indikative målinger for henholdsvis  
1862 PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>. For en nærmere udredning af ovennævnte problemer henvises  
1863 til Ellermann et al. (2024), men se også bemærkningerne til tabel 7.2. og figur  
1864 7.5.

1865 Af tabel 7.2 fremgår det, at niveauerne for årsmiddelværdierne i forhold til  
1866 grænseværdierne ved gademålestationerne for PM<sub>2,5</sub> er på 30-35% og for PM<sub>10</sub>  
1867 på 35-50%. Antallet af dage, hvor døgnmiddelværdien overskrider 50 µg/m<sup>3</sup>,  
1868 ligger også betydeligt under grænseværdien. Der var derfor ingen overskri-  
1869 delse af grænseværdierne for partikelforureningen i 2023 ved nogen af måle-  
1870 stationerne.

1871 Måleprogrammet omfatter endvidere målinger af partikelantal, som er en  
1872 parameter, der angiver den luftbårne forureningen med partikler i  
1873 nanostørrelse. Som allerede beskrevet er disse partikler så små, at deres masse  
1874 er meget lille, og derfor måles de ved tælling. Måleresultaterne, der  
1875 præsenteres i denne rapport, dækker partikler i størrelsen fra 41 til 478/550  
1876 nm og i hele området fra 11 til 478/550 nm. I årsrapporterne for 2017 til 2019  
1877 indgik ikke partikler med diameter mindre end 41 nm grundet tekniske  
1878 problemer på de nyligt erhvervede instrumenter. Denne fejl blev rettet i  
1879 begyndelsen af februar 2020, og det har derfor igen været muligt at inkludere  
1880 partiklerne under 41 nm. Årsagen til angivelsen af to øvre grænser er, at de  
1881 gamle og nyerhvervede instrumenter har lidt forskelligt måleområde. I  
1882 praksis giver det dog kun anledning til en undseelig forskel, da antallet af  
1883 partikler mellem 478 og 550 nm er ubetydelig i denne sammenhæng.  
1884 Yderligere detaljer kan findes i Ellermann et al. (2020).

1885  
1886  
1887  
1888  
1889  
1890  
1891  
1892

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.

1893  
1894  
1895  
1896  
1897  
1898  
1899

**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 korttids eksponering 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>

1900  
1901  
1902  
1903  
1904  
1905  
1906  
1907  
1908  
1909  
1910  
1911  
1912  
1913  
1914

- <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.

1915  
1916  
1917  
1918

**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

1919  
1920  
1921  
1922  
1923  
1924  
1925  
1926  
1927  
1928  
1929  
1930  
1931  
1932  
1933  
1934  
1935  
1936  
1937  
1938

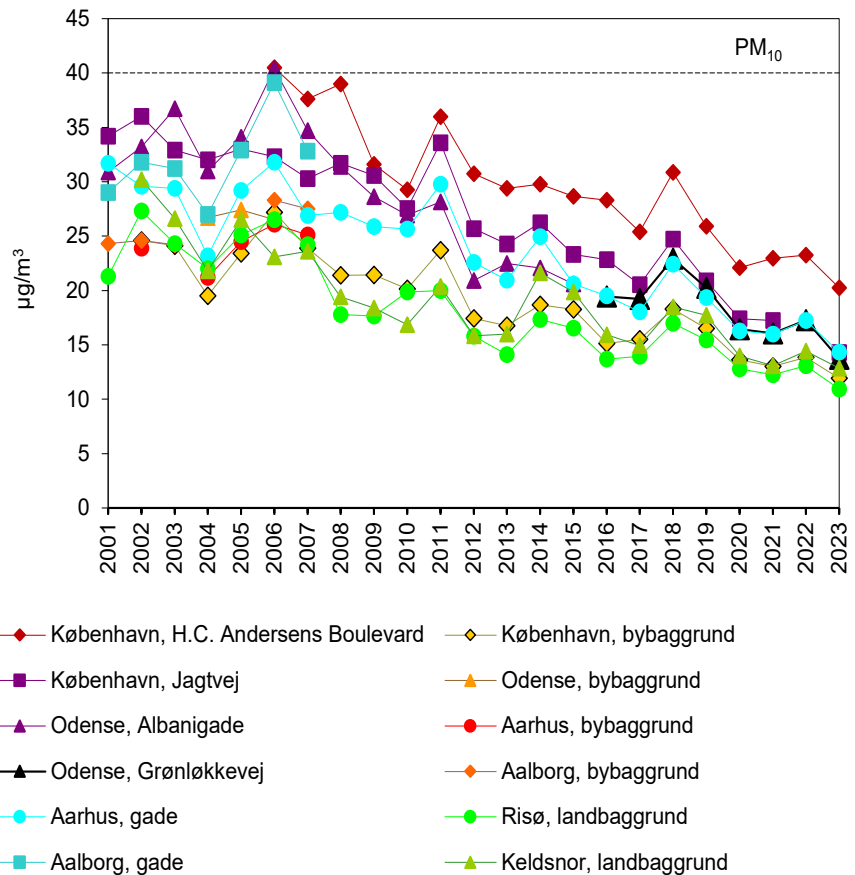
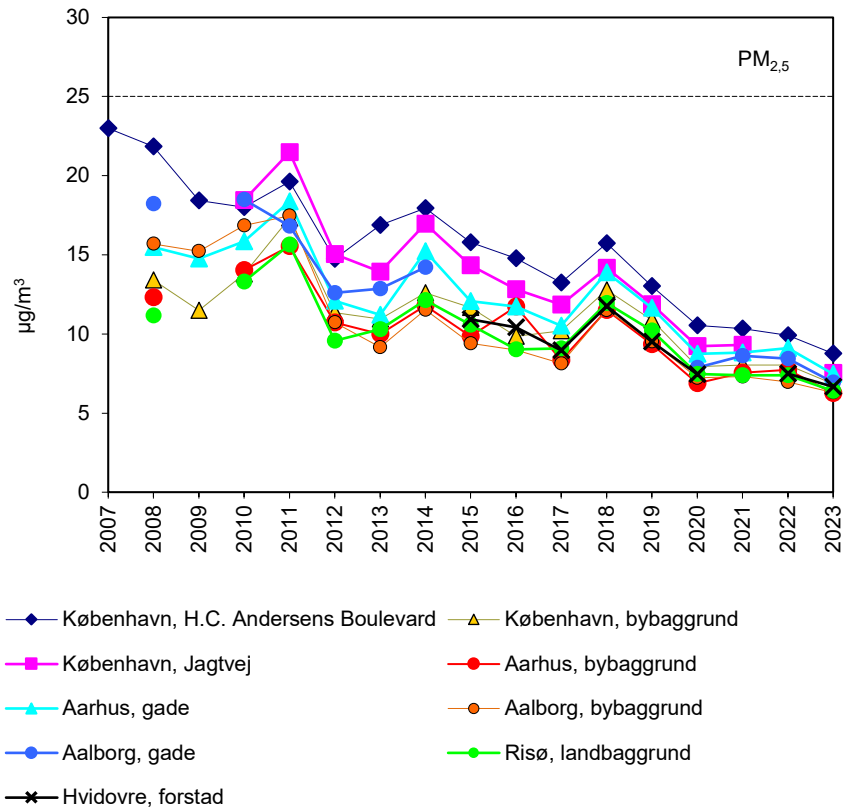
\* *Datadækningen ved målestationen på Risø er på 69%. Den reducerede datadækning skyldes tekniske problemer med måleudstyret og medfører en lidt højere usikkerhed på årsmiddelværdien.*

Forholdet PM<sub>10</sub>/PM<sub>2,5</sub> er på gadestationerne omkring 2,1, mens det på by- og landbaggrundsstationerne, 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 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 gadestationerne 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.

1939  
1940  
1941  
1942  
1943  
1944  
1945  
1946

### 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)).

1947  
1948  
1949  
1950  
1951

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.

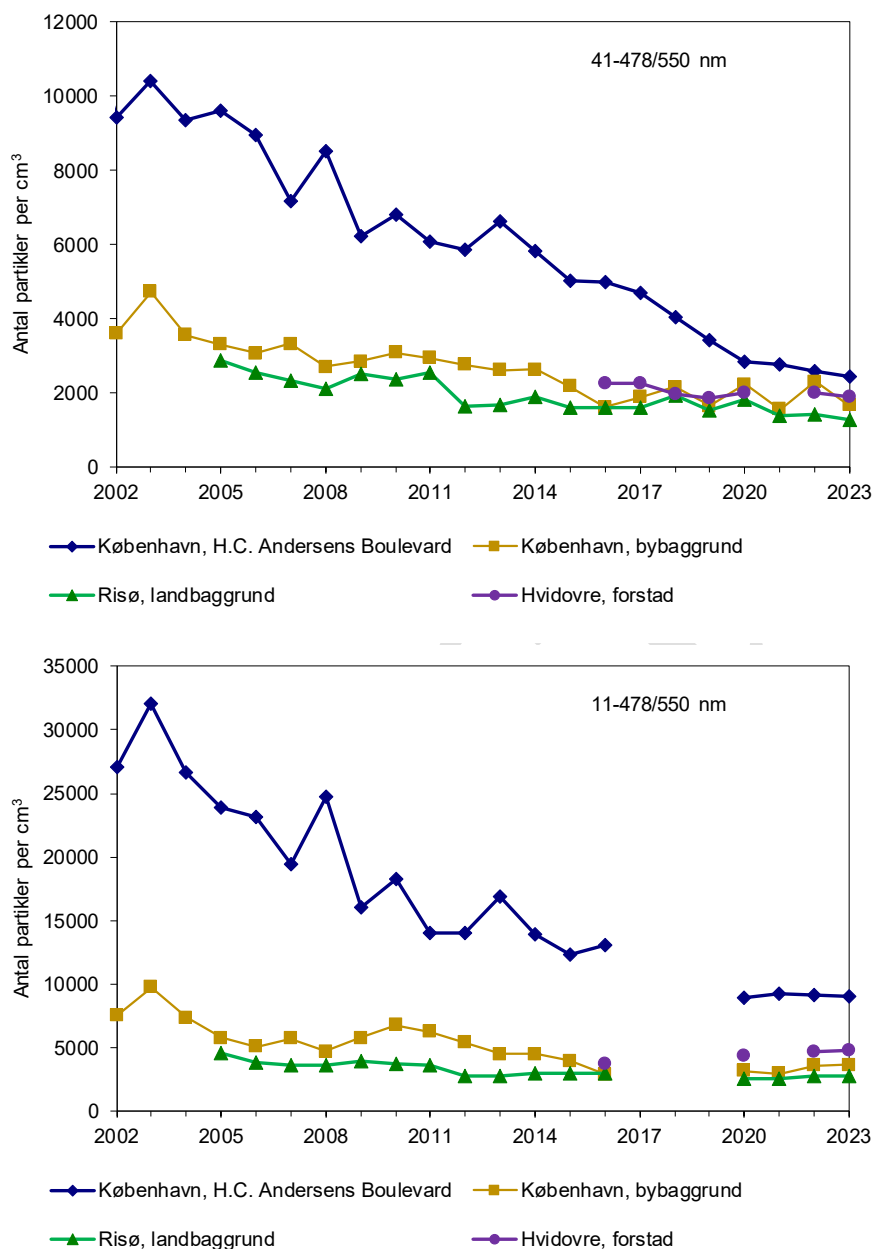
1952  
1953  
1954  
1955  
1956  
1957  
1958

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).

1959  
1960  
1961  
1962  
1963  
1964

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.

1965



**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.

1966  
1967  
1968  
1969  
1970  
1971  
1972  
1973  
1974  
1975  
1976

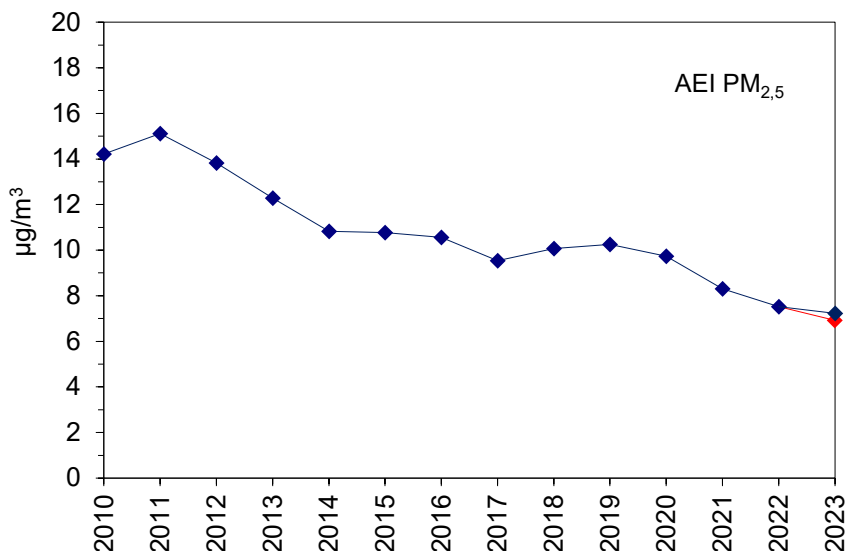
Det nationale reduktionsmål for PM<sub>2,5</sub> afhænger af AEI i 2010, som i Danmark lå på 14 µg/m<sup>3</sup> (Figur 7.5). AEI for 2010 er beregnet på basis af årsgennemsnit for 2008-2010. I henhold til EU's luftkvalitetsdirektiv er det nationale reduktionsmål for Danmark en reduktion i AEI på 15% i 2020 i forhold til 2010 (EU, 2008). For 2020 (gennemsnit for 2018-2020) lå AEI på 10 µg/m<sup>3</sup>, 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 µg/m<sup>3</sup> (uden brug af objektive estimater for perioden januar til april 2023) eller på 7,2 µg/m<sup>3</sup> (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

1977  
1978

seneste år. Siden 2010 i forhold til 2023 er der sket et fald i AEI på omkring 50%.

1979  
1980  
1981

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).

1982  
1983  
1984  
1985  
1986  
1987  
1988  
1989

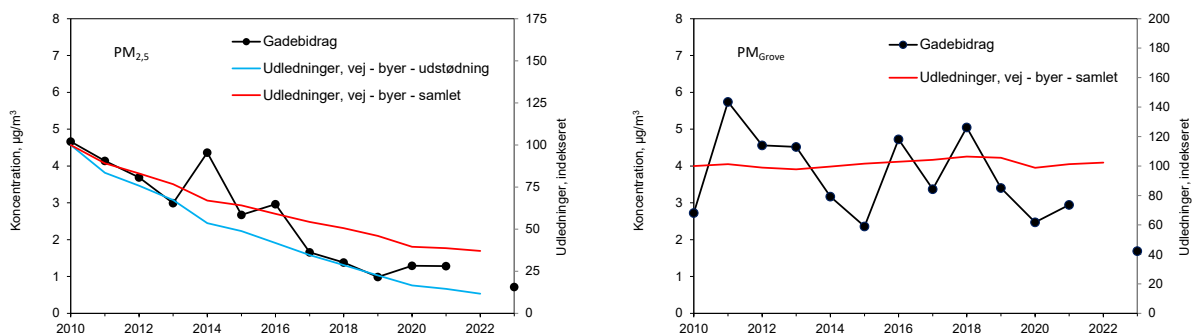
Det giver ikke mening at sammenligne udviklingen i målte luftkoncentrationer for partikelforurening med udviklingstendensen for de direkte udledte partikler, da de direkte udledte partikler kun udgør en lille andel af den samlede partikelforurening i luften. Langt hovedparten af gadebidraget til partikelforurening 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.

1990  
1991  
1992  
1993  
1994  
1995  
1996  
1997  
1998  
1999  
2000

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.

2001  
2002  
2003  
2004  
2005  
2006  
2007  
2008  
2009  
2010  
2011

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<sub>2,5</sub>) og grove partikler (PM<sub>Grove</sub>) 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. Udledninger, vej – byer – samlet, betegner det samlede bidrag til hhv. PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>Grove</sub> *alene fra byer* fra sektoren *Vejtransport*; Udledninger, vej – byer – udstødning, betegner bidraget fra udstødning *alene fra byer* fra sektoren *Vejtransport* til PM<sub>2,5</sub> (da hele bidraget fra udstødning ligger i PM<sub>2,5</sub>-fraktionen, er der ikke udstødningsudledningsbidrag til den grove partikelfraktion, PM<sub>Grove</sub>). Udledningerne 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 kildeopgørelserne. Denne ændring er ført tilbage til 1990 og dermed til 2010 i denne figur.

2012  
2013  
2014  
2015  
2016  
2017  
2018  
2019  
2020  
2021  
2022  
2023  
2024  
2025  
2026  
2027  
2028  
2029  
2030

## 7.4 Modelberegninger

Modelberegninger af årsmiddelkoncentrationer af PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> 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<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> med henblik på at sammenligne med grænseværdier. Grænseværdien for luftkvaliteten som årsmiddel er henholdsvis 25 og 40 µg/m<sup>3</sup> for PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> (EU, 2008). Endvidere sammenlignes med WHO's retningslinjer for luftkvalitet, som er hhv. 5 og 15 µg/m<sup>3</sup> for PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> (WHO, 2021a).

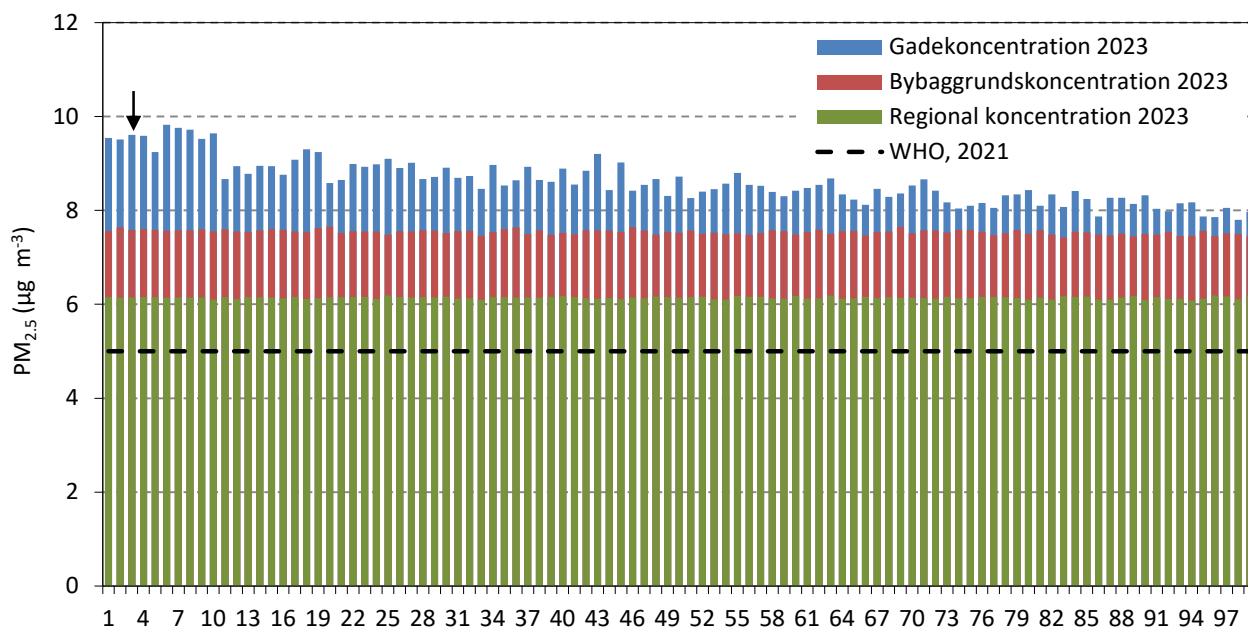
### København

Figur 7.7 og 7.8 viser de modellerede årsmiddelkoncentrationer for PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> for de udvalgte gadestrækninger i København. Rangordenen fra kvælstofdiioxid er bevaret, og gadenumrene vises i Tabel 7.6.



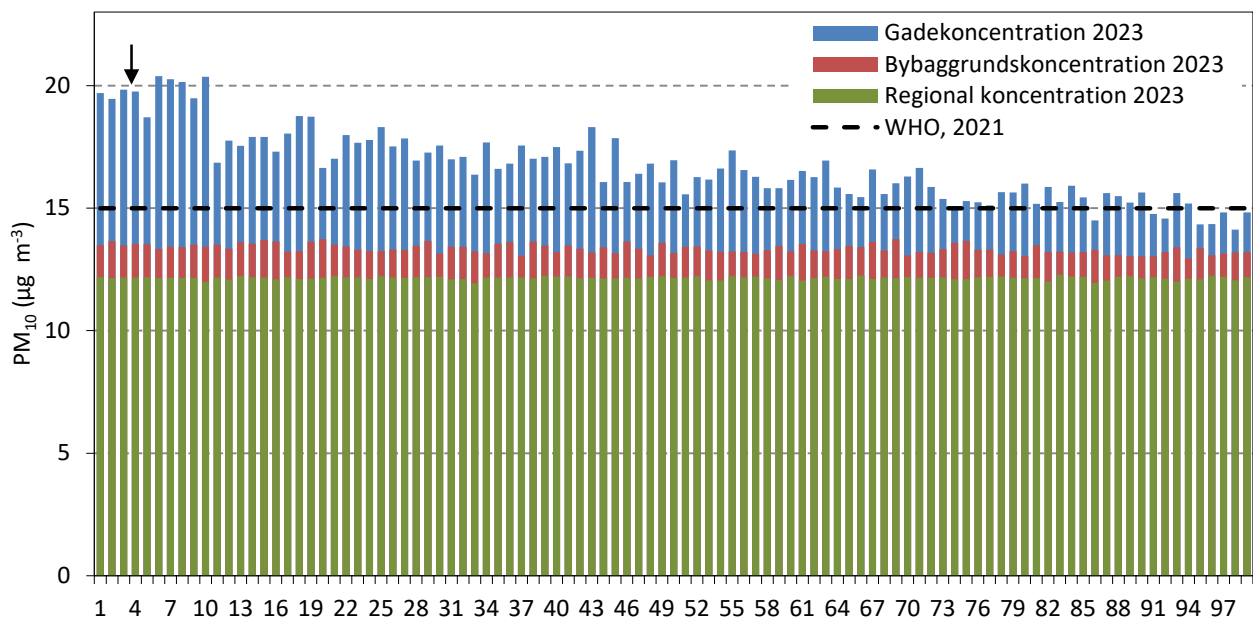
2031  
2032  
2033  
2034  
2035  
2036  
2037  
2038  
2039  
2040  
2041

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.

2042



**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.

2043  
2044  
2045

2046  
2047  
2048

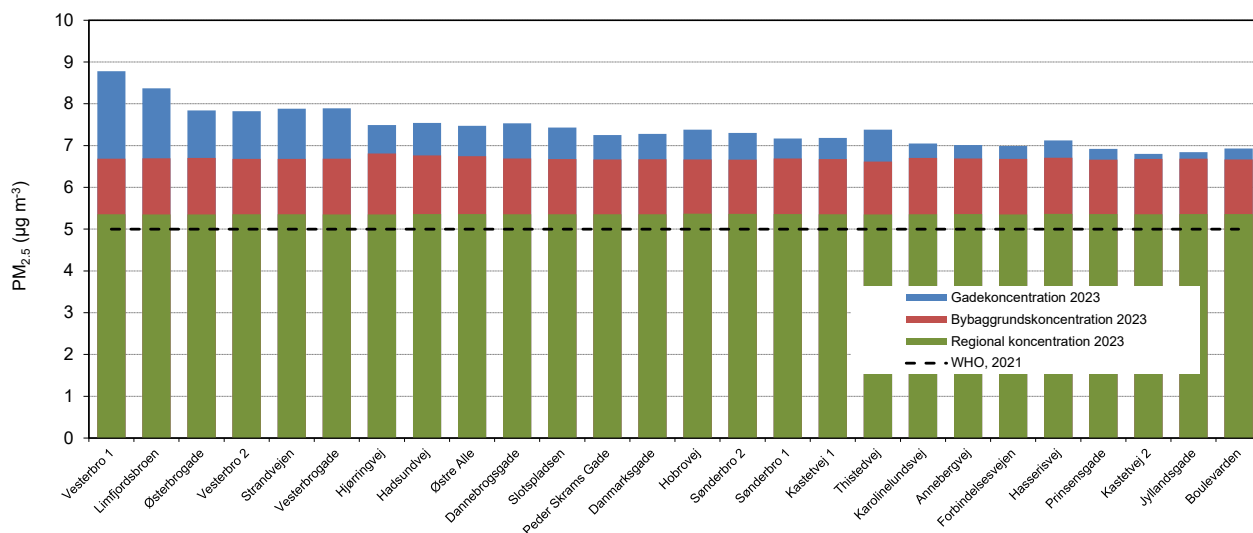
**Tabel 7.6.** Rangnummer og navne for gadestrækninger, der er vist i Figur 7.7 og 7.8. Gaderne er nummererede (1-98) i forhold til kvælstofdioxidniveauer i 2023 (1 = højeste, 99 = laveste). Tallene i parentes refererer til forskellige delstrækninger af den samme gade, der har mere end én modelberegning.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

2049  
2050  
2051  
2052  
2053  
2054  
2055  
2056  
2057  
2058  
2059  
2060

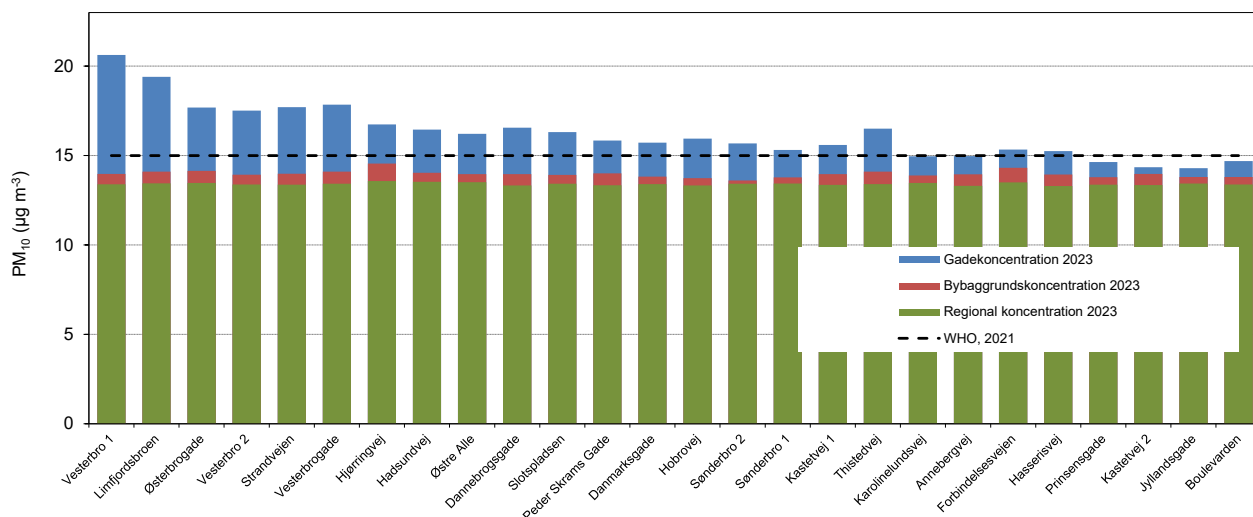
### Aalborg

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  $\text{PM}_{10}$ . 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  $\text{PM}_{10}$ .



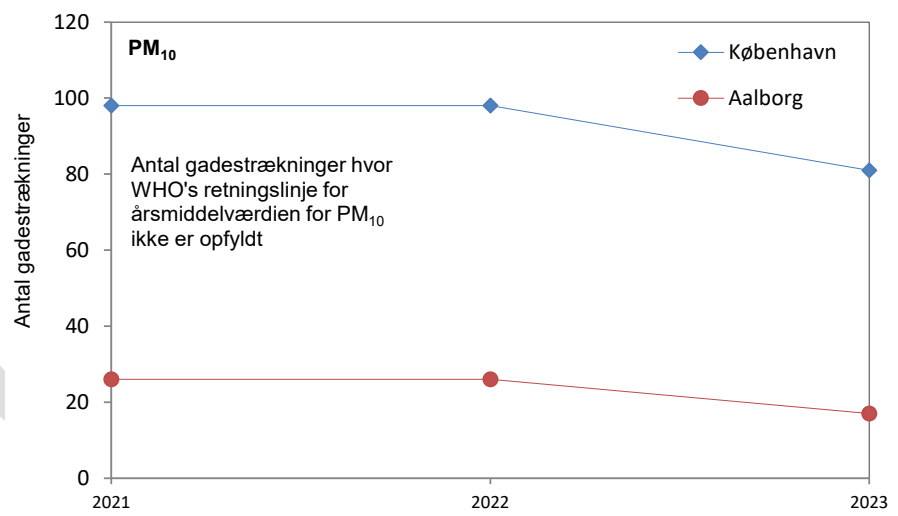
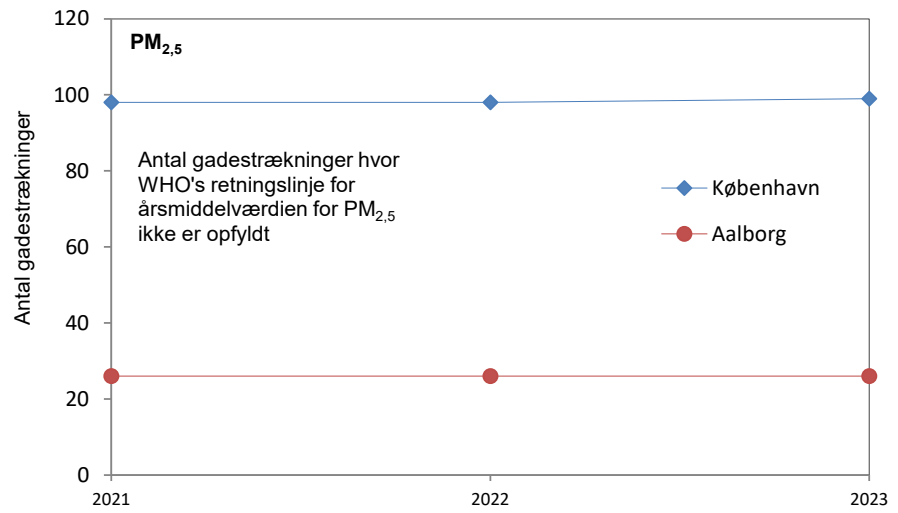
**Figur 7.9.** Modelberegnete årsmiddelmålinger for  $PM_{2,5}$  for 26 udvalgte gadestrækninger i Aalborg i 2023. Gaderne er rangordnet efter koncentrationerne af kvælstofdioxid (Kapitel 2.4).

2061



**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 årsmiddelmålinger 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

2063  
2064  
2065  
2066  
2067  
2068  
2069  
2070  
2071  
2072  
2073  
2074  
2075

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).

2076  
2077  
2078  
2079  
2080  
2081  
2082  
2083

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).

2084  
2085  
2086  
2087

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.

2088  
2089  
2090  
2091  
2092  
2093  
2094  
2095  
2096  
2097  
2098

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.

2099  
2100  
2101  
2102  
2103  
2104  
2105  
2106  
2107  
2108  
2109

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

2110  
2111

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

2112

## 8.1 Udledninger

2113  
2114  
2115  
2116  
2117  
2118

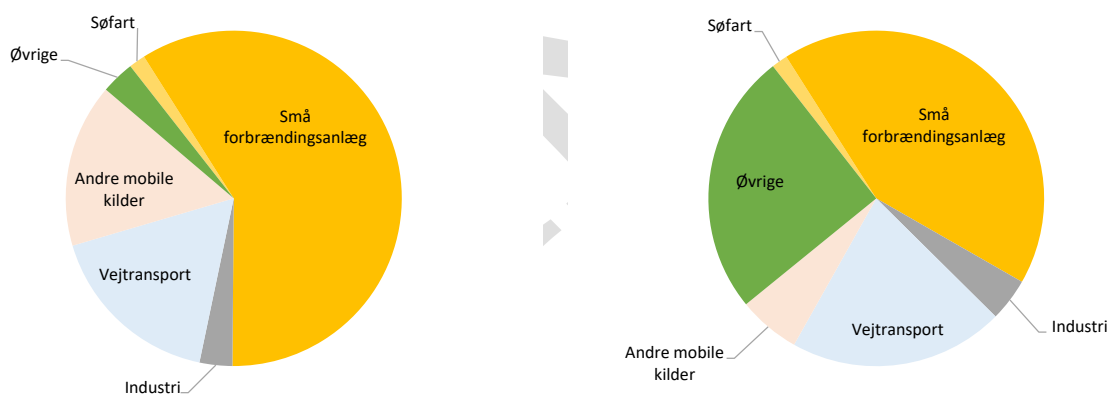
Den vigtigste kilde til udledningerne af black carbon i 2022 er helt klart fra sektoren *Små forbrændingsanlæg* (ikke-industriel forbrænding), som står for 59% af udledningerne (Figur 8.1 og Tabel 8.1), hvoraf hovedparten er fra boligopvarmning med træfyring. *Vejtransport* og *Andre mobile kilder* bidrager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

2119  
2120  
2121  
2122  
2123  
2124  
2125  
2126

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).

2127  
2128  
2129  
2130

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).

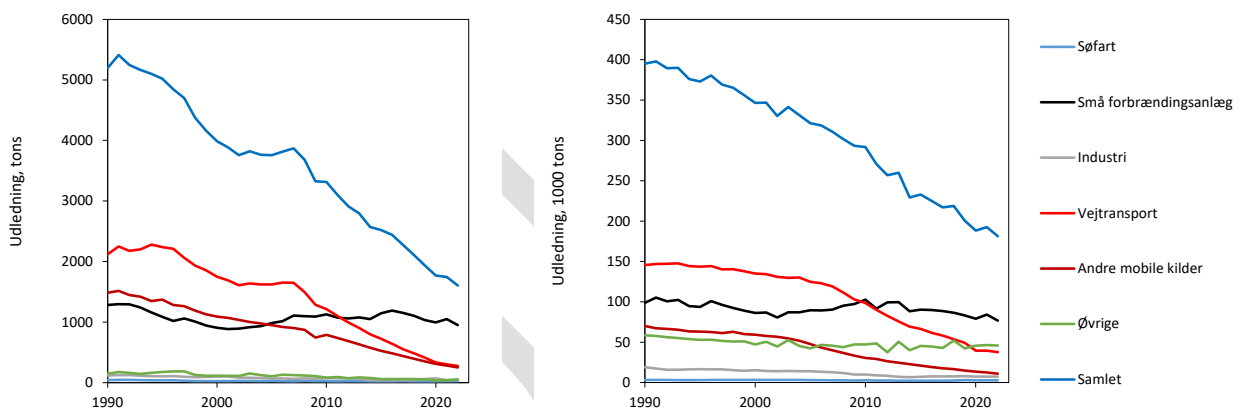


2131  
2132  
2133  
2134  
2135

**Figur 8.1.** Kilderne til menneskeskabte udledninger af black carbon 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 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.

2136

2137

2138

2139

2140

2141

2142

2143

## 8.2 Status for luftkvalitet

Tabel 8.2 viser årsmiddelkoncentrationerne 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 bybaggrundsstationerne.

2144

2145

2146

2147

2148

2149

De mindste koncentrationer ses ved landbaggrundsstationen 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.



2150  
2151  
2152  
2153  
2154

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 bybaggrundsstationen 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*

2155  
2156  
2157  
2158

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

\*\* Datadækningen er på 53% for EC på bybaggrundsstationen, København, hvilket skyldes manglende analyser i perioden januar til juli 2023 med årsag i filterproblemerne.

2159

### 8.3 Udviklingstendens

2160  
2161  
2162  
2163  
2164  
2165  
2166

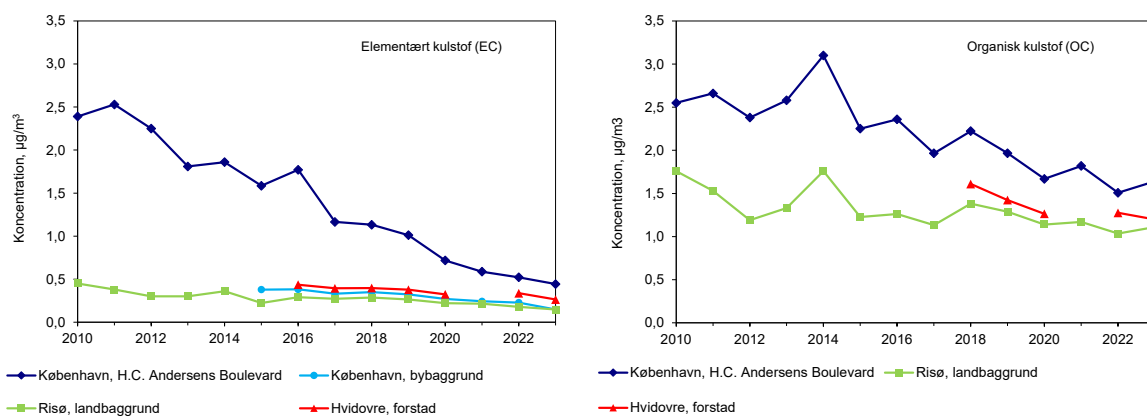
Figur 8.3 viser udviklingstendensen for EC siden begyndelsen af målingerne i 2010. Der ses et fald på omkring 80% siden 2010 ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard. Tilsvarende ses et fald på landbaggrundsmålestationen ved Risø, selv om dette fald er mindre (omkring 60%). Ved bybaggrundsmålestationen 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.

2167  
2168  
2169  
2170  
2171  
2172  
2173  
2174  
2175

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.

2176  
2177  
2178

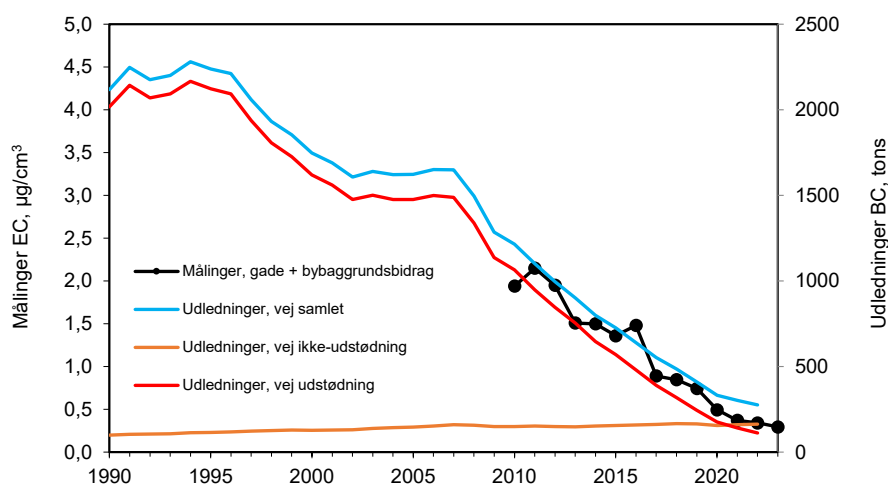
Det skal bemærkes, at Figur 8.3 ikke viser data for Hvidovre 2021 grundet flytning af stationen. Derudover måles der ikke organisk kulstof ved bybaggrundsmålestationen.



**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.

2179  
2180  
2181  
2182  
2183  
2184  
2185  
2186  
2187  
2188  
2189  
2190

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

2192 Den luftbårne partikelforurening indeholder en lang række grundstoffer,  
 2193 hvoraf en del er tungmetaller, som er stærkt helbredsskadelige. Forurening  
 2194 med tungmetaller er derfor et vigtigt aspekt af den luftbårne partikelforure-  
 2195 ning selv om koncentrationerne for de fleste metaller og tungmetaller er 1000  
 2196 gange lavere (ng/m<sup>3</sup>) end for eksempel elementært kulstof (µg/m<sup>3</sup>).

2197 Overvågningen af de luftbårne tungmetaller har primært fokus på de fire  
 2198 grundstoffer, som er omfattet af EU's fjerde datterdirektiv (EU, 2004) og luft-  
 2199 kvalitetsdirektivet (EU, 2008). Det drejer sig om arsen, bly, cadmium og nikkel  
 2200 (arsen er egentligt ikke et tungmetal, men for overskuelighedens skyld med-  
 2201 tages det under tungmetallerne i denne rapportering). Luftkvalitetsdirektivet  
 2202 (EU, 2008) angiver en grænseværdi for bly, og det fjerde datterdirektiv (EU,  
 2203 2004) angiver målværdier (en slags grænseværdi) for arsen, cadmium og nik-  
 2204 kel af hensyn til de langsigtede helbredseffekter af disse stoffer. Årsmiddel-  
 2205 værdierne for arsen, bly, cadmium og nikkel må således ikke overstige føl-  
 2206 gende i et kalenderår:

2207	Arsen	6 ng/m <sup>3</sup>
2208	Bly	500 ng/m <sup>3</sup>
2209	Cadmium	5 ng/m <sup>3</sup>
2210	Nikkel	20 ng/m <sup>3</sup>

2211 Kviksølv indgår ligeledes i det fjerde datterdirektiv, men da luftkoncentra-  
 2212 tionerne af kviksølv kun varierer meget lidt på europæiske skala, er kravene til  
 2213 overvågningen lempet i forhold til de øvrige stoffer. Overvågningen af kvik-  
 2214 sølv i Danmark varetages derfor via en samarbejdsaftale mellem Sverige og  
 2215 Danmark, således den danske luftovervågning kan baseres på de svenske må-  
 2216 linger på Råö tæt ved Gøteborg. Derfor omtales kviksølv kun kortfattet i ka-  
 2217 pitlet.

2218 Som supplement til de direktivbundne stoffer overvåges også seks andre  
 2219 tungmetaller (krom, jern, kobber, mangan, vanadium og zink), da disse også  
 2220 er vigtige i relation til de helbredsskadelige effekter af partikelforurening. Da  
 2221 der kun udarbejdes nationale opgørelser for udledninger af krom, kobber og  
 2222 zink, omtales jern, mangan og vanadium kun i forbindelse med selve målin-  
 2223 gerne af luftkvaliteten.

2224 Overvågningen af de luftbårne tungmetaller blev etableret allerede i begyn-  
 2225 delsen af 1980'erne og omfattede et stort antal målestationer. I dag omfatter  
 2226 overvågningen af tungmetaller målinger på to gademålestationer (Køben-  
 2227 havn og Aarhus), en bybaggrundsmålestation (København) og to landbag-  
 2228 grundsmålestationer (Risø og Anholt). Årsagen til denne reduktion i måle-  
 2229 programmet er primært, at der er sket et betydeligt fald i luftkoncentratio-  
 2230 nerne, hvilket har reduceret overvågningsbehovet. Det spiller dog ind, at det  
 2231 har været nødvendigt at udskifte analysemetoden til en mere arbejdskræ-  
 2232 vende metode. Det er derfor heller ikke muligt at opretholde det samme om-  
 2233 fattende måleprogram uden væsentligt højere ressourceforbrug.

2234  
2235  
2236  
2237  
2238  
2239

## 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).

2240  
2241  
2242  
2243  
2244  
2245  
2246  
2247

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 fjernvarme-produktion* 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 (Figur 9.1). For kobber stammer 89% af udledningerne fra slid på bremses i forbindelse med *Vejtransport*.

2248  
2249  
2250

**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

2251  
2252  
2253  
2254  
2255  
2256  
2257  
2258

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.

2259  
2260  
2261  
2262  
2263  
2264  
2265  
2266

For arsen, nikkel og krom er der sket reduktioner på mellem 68% og 80%, hvilket navnlig 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.

2267  
2268  
2269  
2270

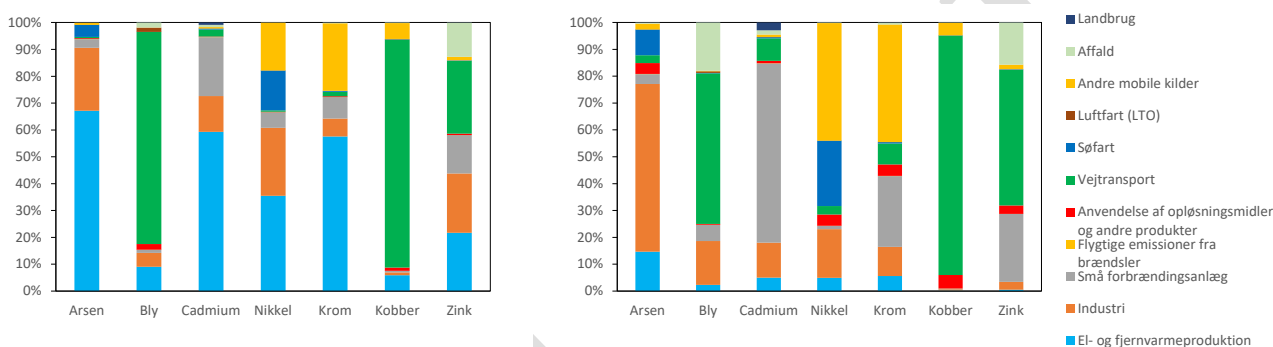
For zink er der kun sket et relativt beskedent fald på omkring 20%. Der har været et relativt stort fald i forbindelse med stationær forbrænding, men dette fald er stort set modsvaret af en øgning af udledningerne fra *Vejtransport*, hvor zink kommer fra slid af bremses og dæk.

2271  
2272  
2273  
2274  
2275  
2276

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.

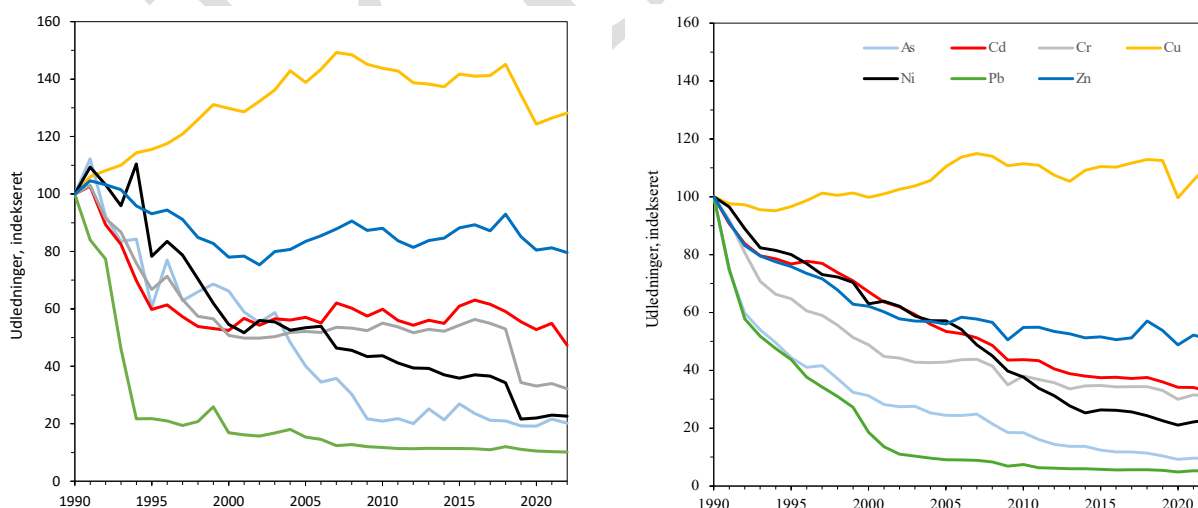
2277  
2278  
2279  
2280

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.

2281



**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.

2282  
2283  
2284  
2285  
2286  
2287  
2288  
2289  
2290  
2291

## 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.

2292  
2293  
2294  
2295

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.

2296  
2297  
2298  
2299  
2300  
2301

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.

2302  
2303  
2304  
2305

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

2306  
2307  
2308

2309 **Tabel 9.3.** Årsmiddelværdier i 2023 for kviksølv på gasform og partikelform ved Råö, Göteborg, Sverige. Målingerne er foretaget  
 2310 af Swedish Environmental Research Institute, Göteborg (Roux og Nerentorp, 2024). Der foreligger desværre ingen informationer  
 2311 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

2312

### 9.3 Udviklingstendens

2313

2314

2315

2316

2317

2318

2319

2320

2321

2322

2323

2324

2325

2326

2327

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>. 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).

2328

2329

2330

2331

2332

2333

2334

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).

2335

2336

2337

2338

2339

2340

2341

2342

2343

2344

2345

2346

2347

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).

2348

2349

2350

2351

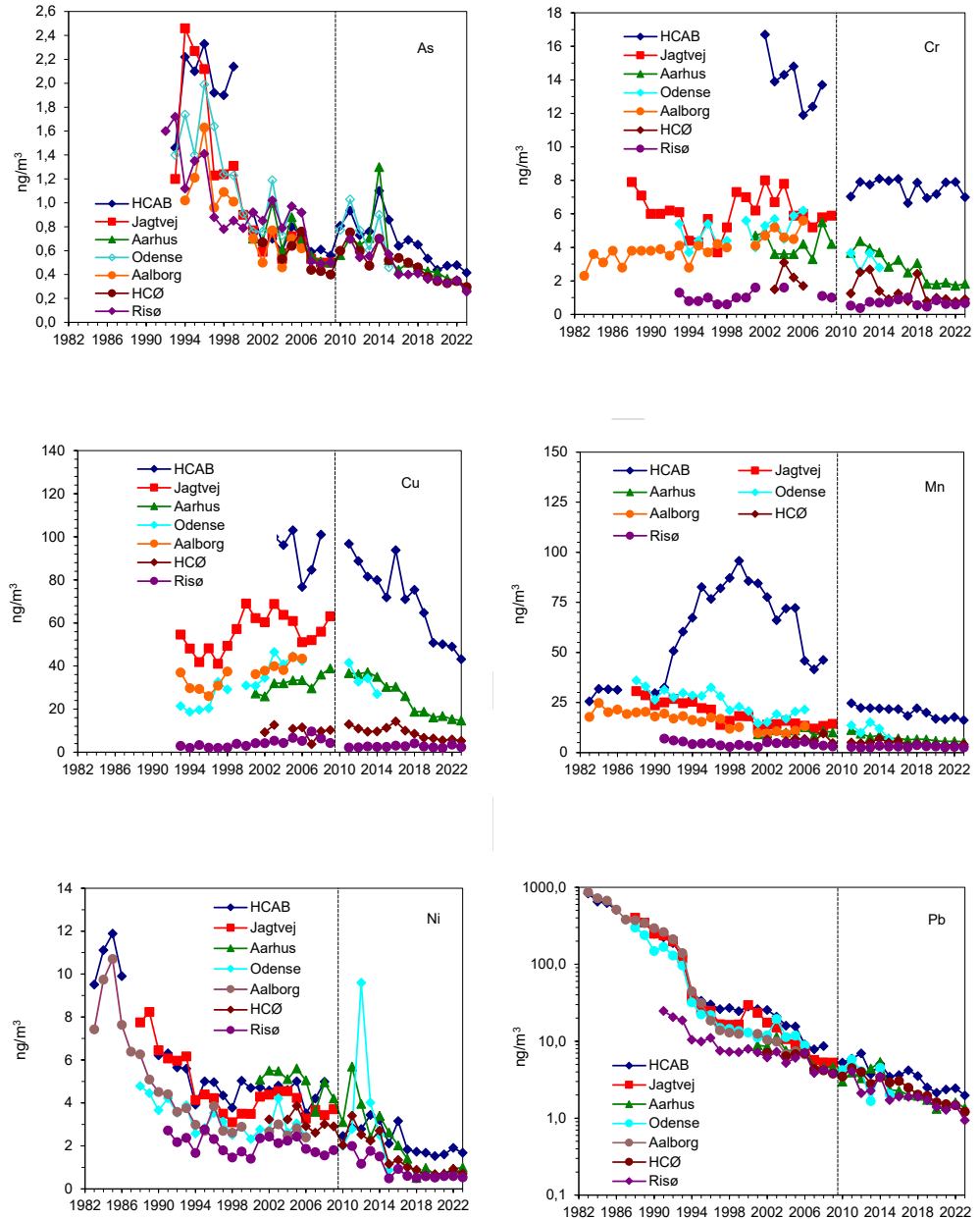
2352

2353

2354

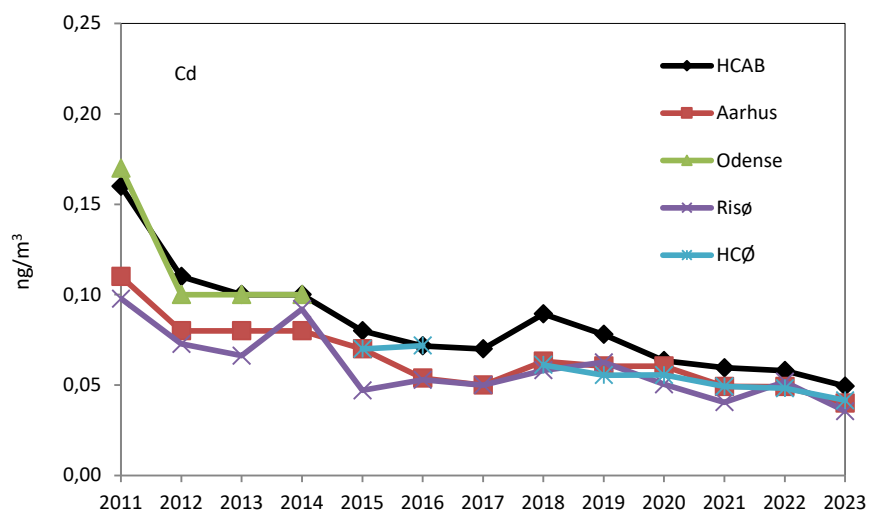
2355

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 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.

2357  
2358

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

2359  
2360  
2361  
2362  
2363

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.

2364  
2365  
2366  
2367  
2368  
2369  
2370  
2371  
2372  
2373  
2374

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).

2375  
2376  
2377  
2378  
2379  
2380

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.

2381  
2382  
2383  
2384  
2385  
2386  
2387

### 10.1 Udledninger

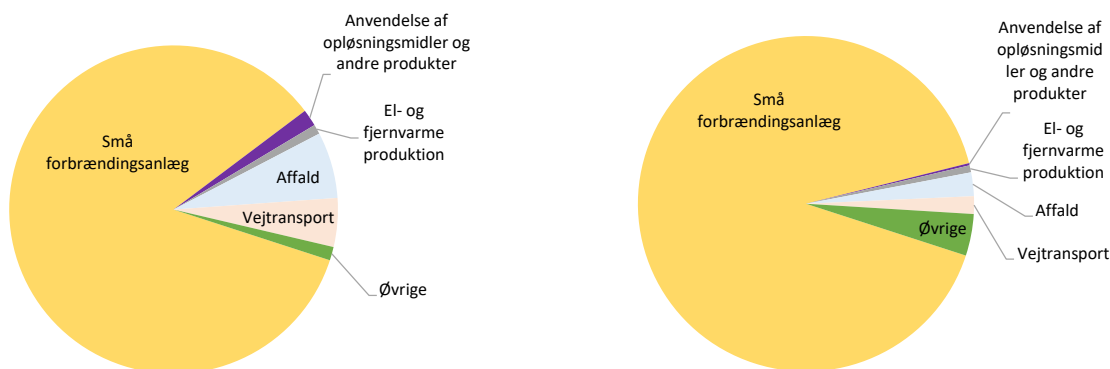
Opgørelser af udledningerne af benz[a]pyren viser, at *Små forbrændingsanlæg* (ikke-industriel forbrænding) er langt den vigtigste kilde (omkring 85%), og at anvendelse af brændefyring til boligopvarmning står alene for næsten tre-fjerdedele (71%) af de danske udledninger i 2022 (Figur 10.1 og tabel 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%.

2388  
2389  
2390  
2391  
2392  
2393  
2394

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.

2395  
2396  
2397  
2398  
2399  
2400  
2401

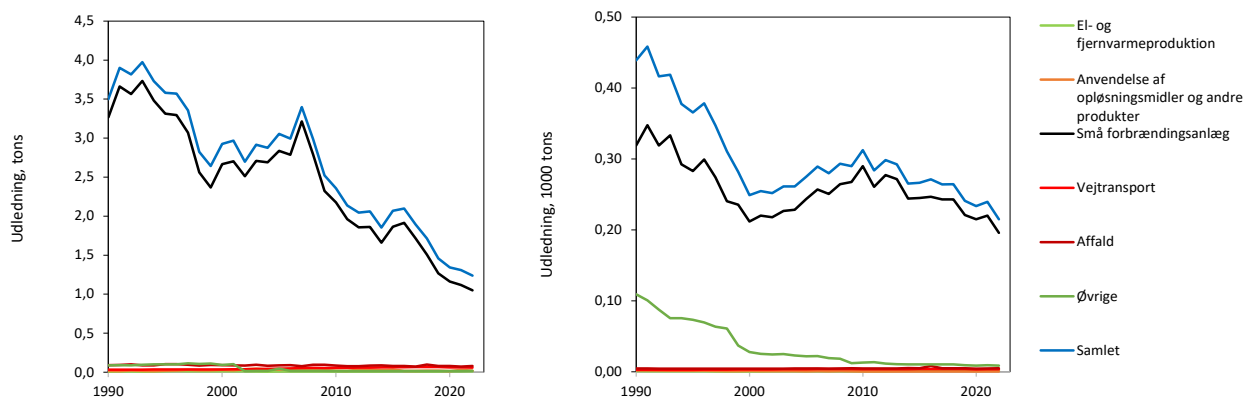
For EU-27 er det også sektoren *Små forbrændingsanlæg*, som står for hovedparten af udledningerne (omkring 91%; Figur 10.1). For EU-27 er de øvrige kilder *Industri* (2,4%) og *Affald* (2,3%), som er de næstvigtigste kilder. Udledningerne fra EU-27 er faldet med omkring 51% siden 1990, hvilket er lidt 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. 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 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.

2403

## 10.2 Status for luftkvalitet

2404

2405

2406

2407

2408

2409

2410

2411

2412

2413

2414

2415

2416

Årsmiddelværdierne for benz[a]pyren viser, at EU's målværdi bliver overholdt ved de to målestationer (Tabel 10.2), og endda med god margen. 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.

2417

2418

2419

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.

2420

2421

2422

2423

2424

**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						
<i>Gade</i>								
København, H.C. Andersens Boulevard	92	0,08	0,07	0,13	0,08	0,06	0,12	0,01
<i>Forstad</i>								
Hvidovre	94	0,20	0,17	0,28	0,17	0,15	0,32	0,04

2425

2426

2427

### 10.3 Udviklingstendens

2428

2429

2430

2431

2432

2433

2434

2435

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 årsmiddelmålestationen 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.

2436

2437

2438

2439

2440

2441

2442

2443

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 årsmiddelmålestation.

2444

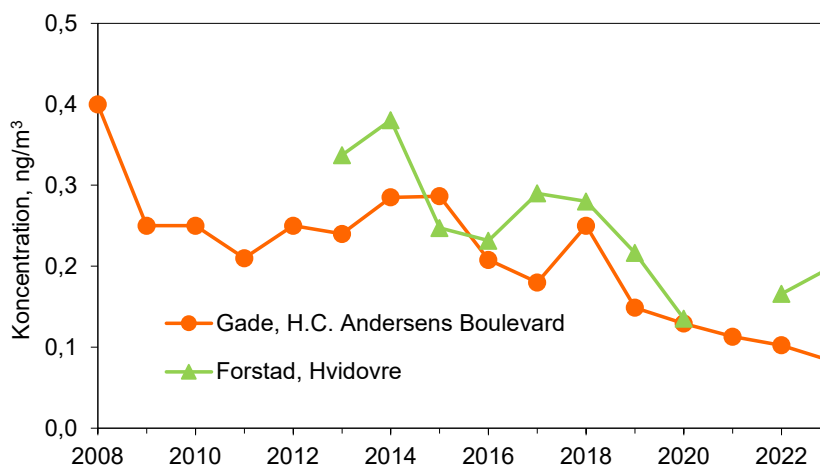
2445

2446

2447

2448

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.

2449

2450

2451

2452

2453

2454  
2455

## 11. Den kemiske sammensætning af fine partikler

2456  
2457  
2458  
2459  
2460  
2461  
2462  
2463  
2464  
2465

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).

2466  
2467  
2468  
2469  
2470

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.

2471  
2472

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

2473

### 11.1 Kilderne til de uorganiske ioner

2474  
2475  
2476  
2477  
2478  
2479

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:

2480

#### Primære

2481  
2482  
2483

*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.

2484  
2485

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

2486  
2487  
2488

*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.

2489

#### Sekundære

2490  
2491  
2492

*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.

2493  
2494

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

2495 *Ammonium*: Ammonium dannes i luften, når ammoniak reagerer med sulfat  
2496 og nitrat. Hermed dannes ammoniumsulfat og ammoniumnitrat, som findes  
2497 på partikelform. Ammoniak og dermed også ammonium stammer for langt  
2498 hovedparten fra landbrug, mens kun en mindre del er fra transportsektoren.

2499 Sulfat, nitrat og ammonium betegnes samlet de "sekundære uorganiske io-  
2500 ner". Disse er kædet sammen via de kemiske reaktioner i luften, og der er stor  
2501 korrelation mellem koncentrationerne af de tre ioner. Det tager typisk timer  
2502 at få omdannet de udledte gasser til ammoniumsulfat og ammoniumnitrat, så  
2503 derfor kommer disse luftforureningskomponenter ikke fra de lokale kilder.  
2504 Tværtimod, så er opholdstiden i atmosfæren relativt lang for disse partiku-  
2505 lære luftforureningskomponenter (dage til adskillige uger), og de kan derfor  
2506 transporteres mange hundrede kilometer via luften.

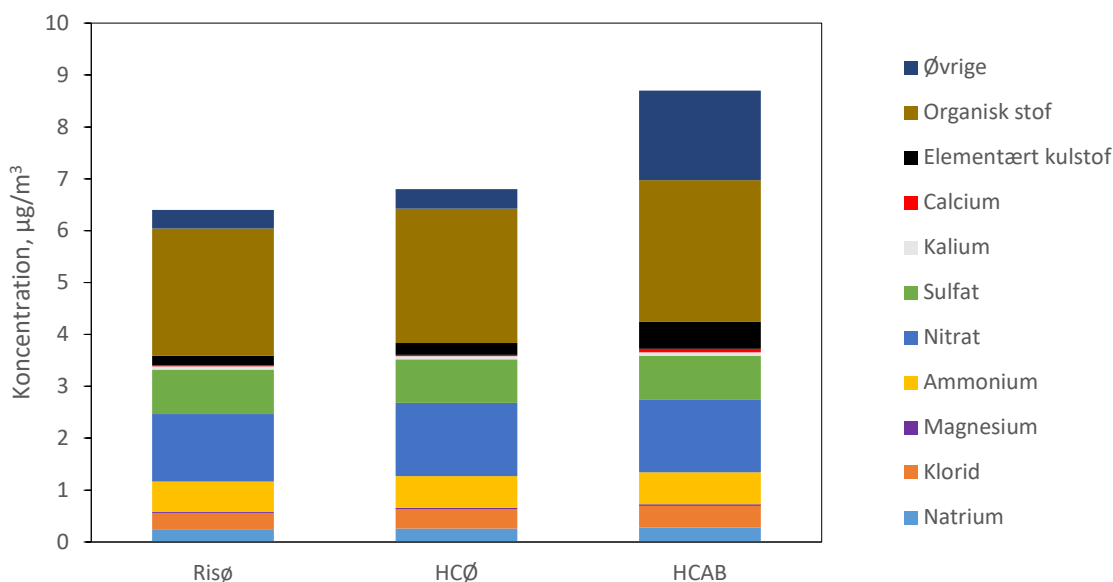
2507 De uorganiske ioner i de fine partikler bliver overvåget med målinger foreta-  
2508 get på landbaggrundsmålestationen ved Risø. Frem til og med 2016 blev der  
2509 også foretaget tilsvarende målinger ved gademålestationen på H.C. Ander-  
2510 sens Boulevard. Der var kun lille forskel mellem koncentrationerne målt på  
2511 de to målestationer (Ellermann et al., 2017). Årsagen til dette er, at disse par-  
2512 tikelkomponenter hovedsageligt er langtransporteret, hvilket er grunden til,  
2513 at den geografiske variation mellem for eksempel by og land er lille. Det er  
2514 derfor fagligt forsvarligt at benytte resultaterne fra Risø til at estimere kon-  
2515 centrationerne på gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard og bybag-  
2516 grundsmålestationen i København (H.C. Ørsted Institutet). Estimerne ba-  
2517 seres på resultaterne fra perioden, hvor der var målinger på både Risø og H.C.  
2518 Andersens Boulevard.

## 2519 **11.2 Status for 2023**

2520 Figur 11.1 og Tabel 11.1 viser den gennemsnitlige sammensætning af de ke-  
2521 miske komponenter i de fine partikler ved landbaggrundsmålestationen ved  
2522 Risø, bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Institutet og gademålestati-  
2523 onen på H.C. Andersens Boulevard. Årsmiddelværdierne for de uorganiske  
2524 ioner er stort set ens på de tre målestationer og udgør omkring 53% af indhol-  
2525 det i de fine partikler på landbaggrundsmålestationen, 53% på bybaggrunds-  
2526 målestationen og 43% på gademålestationen. De ensartede koncentrationsni-  
2527 veauer skyldes som nævnt tidligere, at de uorganiske ioner for langt største-  
2528 delen er langtransporteret via atmosfæren.

2529 Elementært kulstof udgør kun en meget lille andel af de fine partikler i land-  
2530 og bybaggrund (3%), mens det udgør 6% på gademålestationen, hvilket hæn-  
2531 ger sammen med de store bidrag fra vejtrafik. Organisk partikulært stof er på  
2532 stort set samme niveau på de tre målestationer med kun en lille forøgelse på  
2533 gademålestationen set i forhold til landbaggrundsmålestationen. Relativt set  
2534 udgør organisk stof mellem 31% og 38% af den samlede mængde fine partik-  
2535 ler (se Kapitel 8 for yderligere informationer om elementært kulstof og orga-  
2536 nisk stof).

2537 Den resterende andel betegnet 'øvrige' dækker de komponenter for hvilke,  
2538 der ikke foretages analyser i de fine partikler (nogle af dem måles i PM<sub>10</sub>, men  
2539 der foreligger ikke tilstrækkelig viden til at ekstrapolere til indholdet i fine  
2540 partikler). Det forventes, at de øvrige partikelkomponenter består af vand as-  
2541 socieret med uorganiske ioner, metaller og tungmetaller, karbonat, uopløse-  
2542 lige mineraler og jordstøv (for eksempel sand) og en meget lille andel po-  
2543 lycykliske 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 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 11.1. Sektoren *Øvrige* omfatter de kemiske komponenter, som der ikke bliver lavet analyser for.

2544

**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 Institutet 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%.

	<i>Landbaggrund</i>	<i>Bybaggrund</i>	<i>Gade</i>
	Risø µg/m <sup>3</sup>	HCØ µg/m <sup>3</sup>	HCAB µg/m <sup>3</sup>
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

2545

2546



2547  
2548

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

2549  
2550

- Hav- og vejsalt - naturlige bidrag fra havsalt samt bidrag af luftbåren salt som følge af saltning af veje om vinteren.

2551  
2552

- Primære uorganiske - direkte udledte partikelkomponenter bestående af elementært kulstof, kalium, og calcium.

2553  
2554  
2555

- Sekundære uorganiske - uorganiske partikelkomponenter (sulfat, nitrat og ammonium) dannet kemisk i atmosfæren ud fra udledninger af ammoniak, svovldioxid og nitrogenoxider.

2556  
2557  
2558

- Primære og sekundære organiske - organisk stof, hvor det ikke med de nuværende analysemetoder er muligt at opdele mellem primære og sekundært dannede partikelkomponenter.

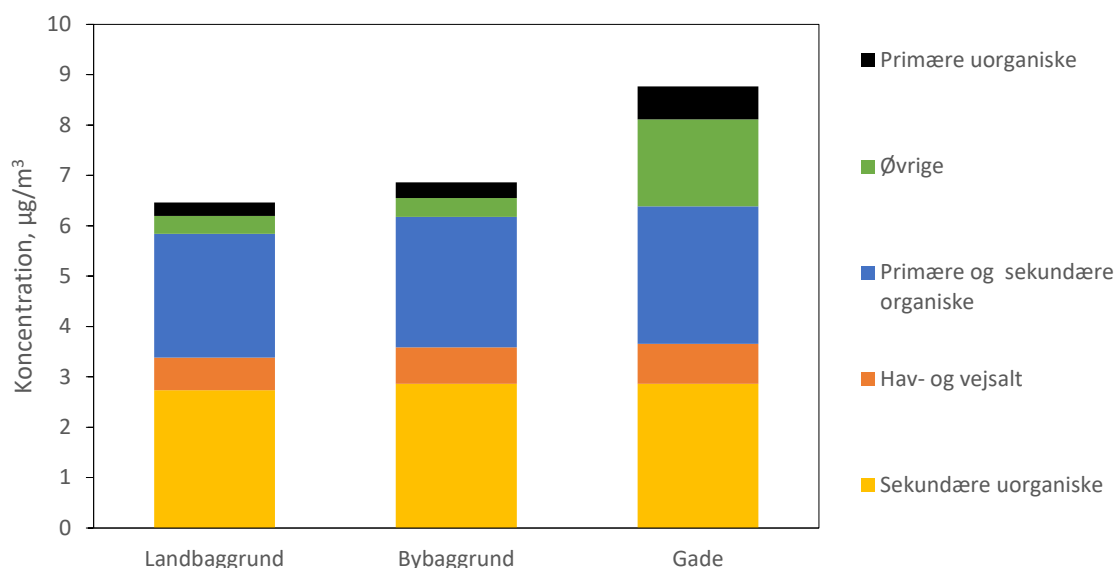
2559  
2560  
2561  
2562

- 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.

2563  
2564  
2565  
2566  
2567  
2568  
2569  
2570  
2571  
2572  
2573  
2574  
2575

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.

2576



**Figur 11.2.** Årsmiddelkoncentrationer for de kemiske komponenter opdelt i grupper ved landbaggrundsmålestationen ved Risø, bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Institut 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.** Årsmiddelmålinger for de kemiske komponenter opdelt i grupper ved landbaggrundsmålestationen ved Risø, bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Institut 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>Risø</b> <b>µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Bybaggrund</b> <b>HCØ</b> <b>µg/m<sup>3</sup></b>	<b>Gade</b> <b>HCAB</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

2578

2579

2580

2581

2582

2583

2584

2585

2586

2587

2588

2589

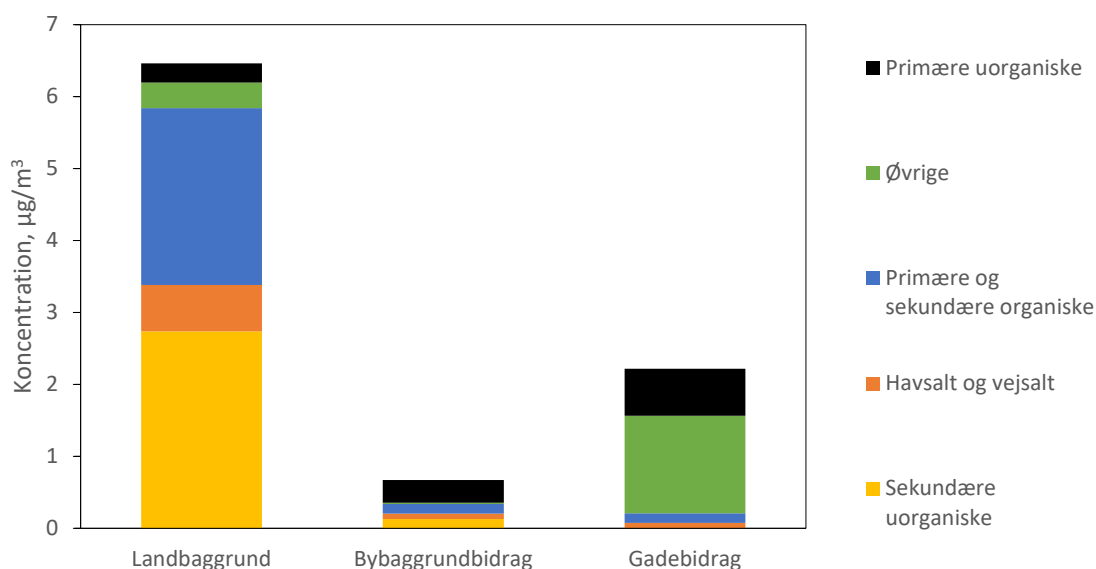
2590

2591

2592

2593

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 partikelforeningen ved gademålestationen på H.C. Andersens Boulevard.



**Figur 11.3.** Årsmiddelmålinger 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. Bybaggrundsbidraget er beregnet ud fra forskel mellem resultaterne for bybaggrundsmålestationen (H.C. Ørsted Institut) og landbaggrundsmålestationen (Risø) og gadebidraget 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).

2594

2595  
2596  
2597  
2598  
2599  
2600  
2601  
2602  
2603  
2604

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.

Udkast

## 12. Helbredseffekter og samfundsmæssige omkostninger relateret til luftforurening

2605  
2606

2607  
2608  
2609  
2610  
2611  
2612  
2613  
2614  
2615

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.

2616  
2617  
2618  
2619  
2620  
2621  
2622  
2623  
2624  
2625  
2626  
2627  
2628

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 EVA7.3, som er en integreret del af multi-skala modelsystemet DEHM/UBM til beregning af luftforurening og konsekvenser heraf. EVA7.3 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 EVA7.3 systemet, se kapitel 1.5.

2629  
2630  
2631  
2632  
2633  
2634  
2635  
2636  
2637  
2638

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.

2639  
2640  
2641  
2642  
2643  
2644  
2645  
2646  
2647  
2648  
2649  
2650  
2651  
2652  
2653

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 atmosfærekemi) 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

2654 stort bidrag til, at signalet i modellerne er tydeligt, selv for de mindre  
2655 emissionssektorer. Følsomhedsstudier viser, at der kan være op til 20%  
2656 forskel i bidraget fra en sektor, afhængig af om de danske emissionssektorer  
2657 bliver reduceret med 30% eller 100%.

2658 Den samme procentsats (30%) er anvendt for de udenlandske kilder. Når en  
2659 hel europæisk udledningssektor reduceres med 30%, har det noget større  
2660 betydning for den samlede atmosfærekemi, som helt grundlæggende er ikke-  
2661 lineær, og dette har i nogen udstrækning betydning for resultaterne, der viser,  
2662 hvor stort det totale bidrag er fra de udenlandske emissionssektorer til  
2663 Danmark. Hvis udledningsreduktionen er relativt stor, vil ligevægten i  
2664 baggrundskemien forandre sig sådan, at en reduktion af udledningerne i  
2665 modellerne vil påvirke kemien, og dette vil i sig selv være medbestemmende  
2666 for, hvor stort bidraget fra den pågældende sektor vil blive (en slags feedback,  
2667 som både kan være positiv og negativ). Dette gælder specielt for de  
2668 udenlandske kilder, hvor en hel sektor i Europa er reduceret, en ad gangen.  
2669 Den ikke-lineære atmosfærekemi er velbeskrevet i modellerne, så der er ikke  
2670 tale om en usikkerhed i beskrivelsen af processerne til grund for  
2671 beregningerne, men i stedet at resultaterne afhænger af, hvilke slags scenarier  
2672 for reduktion af emissioner, man vælger. Et eksempel på ikke-lineariteten er,  
2673 at hvis man ændrer NO<sub>x</sub>-emissionerne over et større område signifikant, så  
2674 vil det påvirke dannelsen af ozon, som igen påvirker dannelsen af frie OH-  
2675 radikaler i atmosfæren. Denne påvirker reaktionshastighederne for stort set  
2676 alle stoffer, som fx dannelsen af sekundære uorganiske partikler.

2677 I det følgende er modelsystemet DEHM/UBM benyttet til at beregne  
2678 bidragene til luftkoncentrationerne for forskellige stoffer fra danske og  
2679 europæiske kilder opdelt på forskellige emissionssektorer i henhold til den  
2680 opdeling, der anvendes internationalt og i de danske udledningsopgørelser;  
2681 Gridded Nomenclature For Reporting (GNFR). Desuden er bidragene fra  
2682 *Søfart* og *Naturlige kilder* fra hele den nordlige halvkugle beregnet. Med  
2683 udgangspunkt i beregningerne af kildeopsplitning på luftkoncentrationer, er  
2684 der udført beregninger med EVA<sub>v</sub>7.3 modelsystemet, som muliggør  
2685 adskillelse af helbredseffekterne og relaterede samfundsmæssige  
2686 omkostninger fra danske og øvrige europæiske kilder, samt *Søfart* og *Naturlige*  
2687 *kilder*. *Søfart* og *Naturlige kilder* fylder relativt meget i forhold til de øvrige  
2688 udledninger. Eksempelvis bidrager *Naturlige kilder* i Europa relativt mere til  
2689 ozonkoncentrationen i Danmark, i forhold til menneskeskabte kilder i  
2690 Europa, hvilket primært skyldes udledninger af flygtige organiske  
2691 forbindelser (VOC'er) fra vegetation (f.eks. skove).

2692 Afsnit 12.1 og 12.2 giver et overblik over status og trends med hensyn til  
2693 helbredseffekter og relaterede omkostninger. I afsnit 12.3 er den detaljerede  
2694 kildeopgørelse til helbredseffekter vist og afsnit 12.4 omhandler de relaterede  
2695 samfundsmæssige omkostninger. Usikkerheder er diskuteret i afsnit 12.5.

2696 Helbredseffekter som følge af luftforurening, er primært associeret med  
2697 eksponering for fine partikler (PM<sub>2,5</sub>), kvælstofdioxid (NO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>) og  
2698 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  
2699 analyseres i studier af luftforureningens omkostninger, da effekten af disse  
2700 tre komponenter er dominerende, sammenlignet med effekten af svovldioxid  
2701 og andre komponenter. Atmosfæriske partikler betragtes som ansvarlige for  
2702 dødelighed og sygelighed relateret til luftforurening, primært via  
2703 hjertekarsygdomme og luftvejslidelser. Indtil 2020, var et review publiceret af  
2704 Hoek et al. (2013) den mest omfattende analyse af de effekter på hjerte, kar og  
2705 luftveje, der er fundet i studier af langtidseksponering, og Hoek et al.

2706 konkluderede, at den relative risiko for at dø for tidligt som følge af  
2707 langtidseksponering for partikler er 6,2% per 10 µg/m<sup>3</sup> stigning i PM<sub>2,5</sub>.  
2708 Denne relative risiko (som WHO også tidligere har anbefalet at anvende i  
2709 relation til estimering af helbredseffekter fra luftforurening (WHO, 2013)) er  
2710 anvendt i EVA5.2-systemet i tidligere rapporter.

2711 I efteråret 2020 fremkom et nyt systematisk review/meta-analyse af Chen and  
2712 Hoek (2020) bestilt af WHO, hvor det på baggrund af en række større  
2713 internationale studier konkluderes, at det bedste estimat for den relative  
2714 risiko for at dø for tidligt, er 8% per 10 µg/m<sup>3</sup> stigning i PM<sub>2,5</sub> – en stigning i  
2715 forhold til den tidligere værdi. I september 2021 publicerede WHO en samlet  
2716 gennemgang af dette og andre meta-reviews vedrørende PM<sub>2,5</sub>, og herunder  
2717 drøftes et estimat for en nedre tærskelværdi, hvorunder der ikke er sikker  
2718 evidens. Det nyeste meta-review citeret i WHO-rapporten af Burnett et al.  
2719 (2018) viser evidens for helbredseffekter ned til en tærskel på 2,4 µg/m<sup>3</sup> ved  
2720 brug af ikke-lineære koncentrations-responsfunktioner, mens andre studier,  
2721 heriblandt danske og nordeuropæiske studier, ikke har påvist en nedre  
2722 tærskelværdi. Eksponeringen er med udgangspunkt i forsigtighedsprincippet  
2723 derfor opgjort uden en nedre tærskelværdi for PM<sub>2,5</sub> (se afsnit 12.5 nedenfor).

2724 Modeller, der beskriver luftforurening, har en tendens til at underestimere  
2725 koncentrationen af PM<sub>2,5</sub>, når man sammenligner modellernes resultater med  
2726 målinger. I international litteratur benævnes dette som "the mass closure  
2727 problem" eller "missing mass problem". I takt med, at forskningen udvikler  
2728 sig og modellerne bliver bedre, reduceres dette massegab. I forbindelse med  
2729 beregningerne af helbredseffekter og omkostninger, er det imidlertid en  
2730 udfordring, da en stor del af effekterne oppebæres som følge af eksponering  
2731 for partikler, og hvis modellerne løbende bliver bedre og bedre til at beskrive  
2732 partiklerne, så vil modelberegningerne i samme takt vise stigende  
2733 helbredseffekter og omkostninger, også selvom udledninger viser en  
2734 nedadgående tendens. Derfor er der gennem de seneste år gjort forskellige  
2735 forsøg på at korrigere for den manglende masse i forbindelse med  
2736 beregninger af helbredseffekter og omkostninger, hvor en faktor på 1,33 er  
2737 benyttet til at kalibrere de modellerede PM<sub>2,5</sub>-koncentrationer. Som beskrevet  
2738 i afsnit 1.4 er dette ikke længere nødvendigt, da en dybere analyse af de  
2739 enkelte stoffer indeholdt i PM<sub>2,5</sub> viste, at den manglende masse overvejende  
2740 kunne tilskrives en underestimering af de primært udledte organiske  
2741 partikler (POA), samt indholdet af vand i partiklerne.

2742 I dette års beregninger er der lavet følgende opdateringer i modelsystemet:

- 2743 • Modellerede koncentrationer af primært emitterede organiske  
2744 partikler (POA) er nu justeret med en faktor 2,25 i forhold til målinger  
2745 i Danmark og Europa (se afsnit 1.4). Betegnelsen PPM<sub>2,5</sub>, som vil  
2746 fremgå af tabellerne, indeholder den menneskeskabte del af de  
2747 primært emitterede partikler, og består af mineralsk  
2748 støv/aske/metaller/mv., elemental carbon (EC) og POA.
- 2749 • Der er implementeret et modul for optagelse af vand i ammonium-,  
2750 sulfat- og nitratholdige partikler, samt havsalt (se afsnit 1.4). Vandet  
2751 indgår under "Øvrig PM<sub>2,5</sub>" i resultaterne. Vand i partiklerne er ikke  
2752 i sig selv sundhedsskadelig, men da sammenhængen til dødelighed  
2753 og sygelighed er fundet ud fra den totale masse af PM<sub>2,5</sub> (inkl. vand)  
2754 i epidemiologiske studier, er det vigtigt at inkludere et estimat for den  
2755 manglende masse i form af vand for at give et så realistisk estimat for  
2756 den totale dødelighed og sygelighed som muligt.

2757  
2758  
2759  
  
2760  
2761  
2762  
  
2763  
2764  
2765  
  
2766  
2767

- 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 1990-2022 i figurerne 12.1 og 12.2 er genberegnet med ovenstående opdateringer.

2768  
2769  
2770  
2771  
2772  
2773  
2774  
2775  
2776  
2777  
2778  
2779  
2780

## 12.1 Status og trends for helbredseffekter

Tabel 12.1 viser resultatet af beregningen af helbredseffekter af luftforurening i Danmark med modelsystemet EVA7.1. Resultaterne er angivet for de forskellige helbredsudfald (både dødelighed og sygelighed), som er inkluderet i modelsystemet, og viser middelværdier for den treårige periode fra 2020-2022. Modelberegningerne inkluderer helbredseffekter af korttidseksponering for PM<sub>2,5</sub>, kvælstofdioxid, ozon og svovldioxid, og langtidseksponeringen for PM<sub>2,5</sub> og kvælstofdioxid. Antallet af tilfælde af for tidlig død som følge af langtidseksponering 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 opdateret fra de foregående års værdi (10,6, se Brandt et al., 2013a; b) på baggrund af levetidstabeller opdateret med mortalitetsdata fra Danmarks Statistik for 2019.

2781  
2782  
2783

**Tabel 12.1** Antal tilfælde af helbredseffekter som følge af luftforureningen i Danmark. Beregningerne er udført med EVA7.1 modelsystemet. Tallene angiver gennemsnittet for perioden 2020-2022 for hele Danmark opdelt på luftforureningskomponenterne 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>).

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 (korttidseksponering)	11	111	5	92	166	258	386
For tidlig død (langtidseksponering)			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

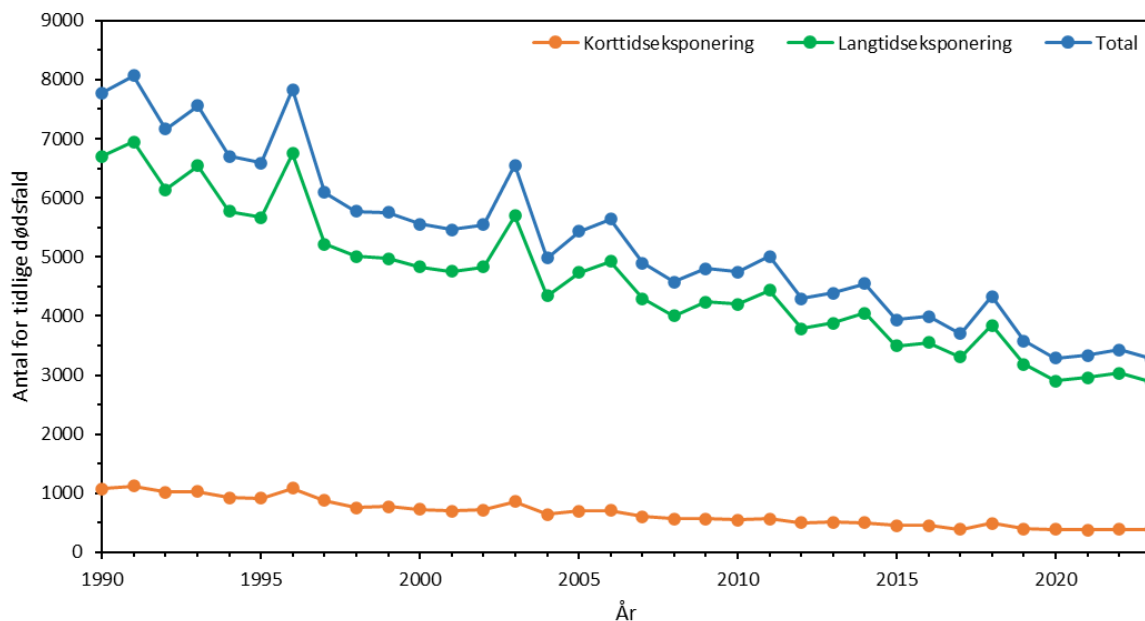
2784  
2785

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

2786

2787  
2788  
2789  
2790  
2791  
2792  
2793  
2794  
2795

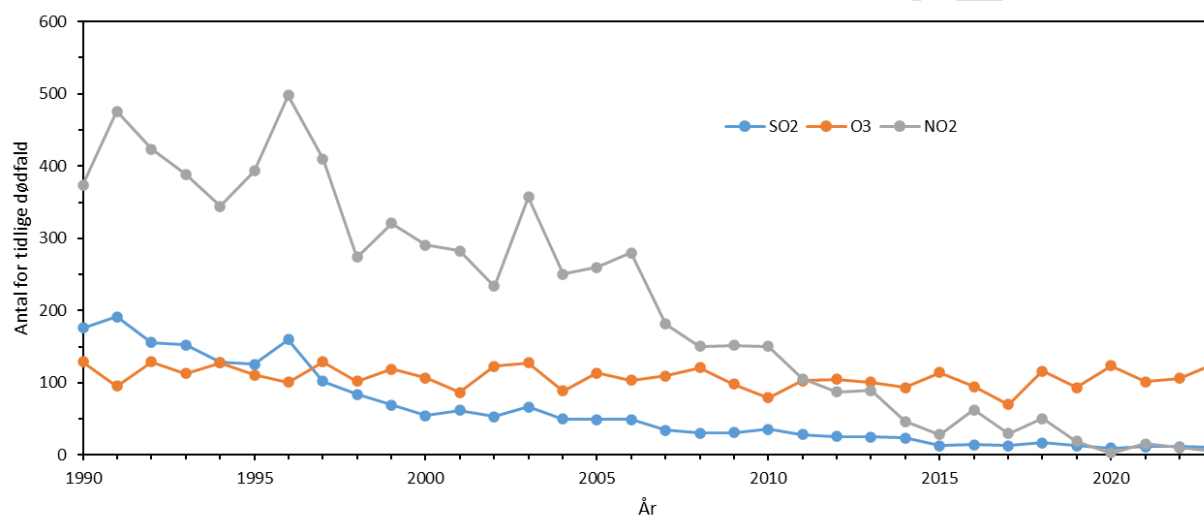
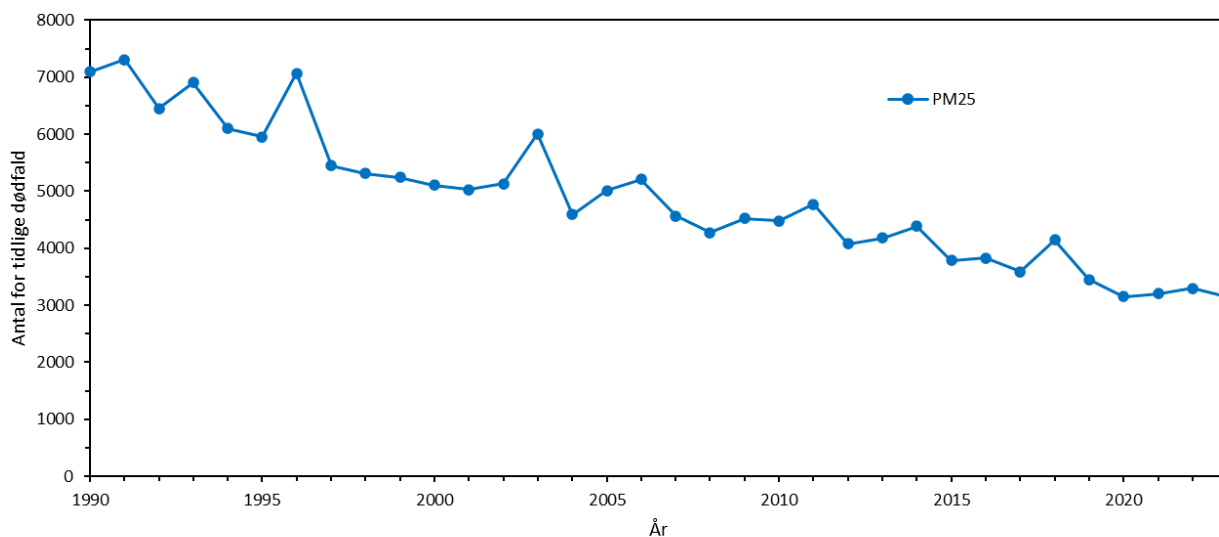
Eksponering for PM<sub>2,5</sub> er ansvarlig for omkring 95,8% af tilfældene af for tidlig død, ozon for omkring 3,3%, svovldioxid for omkring 0,3% og NO<sub>2</sub> for omkring 0,3% som gennemsnit over de tre år fra 2021-2023. Der er sket en udvikling i forhold til tidligere år, hvor kvælstofdioxid 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 NO<sub>2</sub> 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).



2796  
2797  
2798  
2799

**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.

2800  
2801  
2802  
2803  
2804  
2805  
2806  
2807  
2808  
2809

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%).

2810  
2811  
2812  
2813  
2814  
2815  
2816  
2817

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

2818  
2819  
2820  
2821  
2822  
2823  
2824  
2825  
2826

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 NO<sub>2</sub>. Antal for tidlige dødsfald som følge af ozon ses fortsat at være svagt stigende som følge af globalt stigende baggrundskoncentrationer af ozon.

2827  
2828  
2829  
2830  
2831  
2832  
2833  
2834  
2835  
2836  
2837

Med modellerne i EVA7.3 systemet er det muligt at estimere, hvor stor en andel af helbredseffekterne relateret til luftforurening, der skyldes udledning i Danmark, og hvor stor en andel, der skyldes udlandets udledninger. For den udenlandske andel, er det udledninger 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.

2838  
2839  
2840  
2841  
2842  
2843  
2844  
2845

De danske udledninger 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 udledninger forårsager omkring 53% færre tilfælde af for tidlige dødsfald i Danmark (omkring 744) i forhold til, hvad de danske udledninger forårsager i udlandet (omkring 1.600) grundet grænseoverskridende langtransport af luftforurening.

2846  
2847

**Tabel 12.2.** Bidrag fra udledninger i udlandet og Danmark til antal tilfælde af for tidlige dødsfald i Danmark og Europa. Beregningerne er foretaget med EVA7.3 modellsystemet 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

2848

2849  
2850

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

2851  
2852  
2853  
2854  
2855  
2856  
2857  
2858  
2859

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).

2860  
2861  
2862  
2863  
2864  
2865  
2866  
2867  
2868  
2869

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.

2870  
2871

**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

2872

2873  
2874

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

2875  
2876  
2877  
2878  
2879  
2880  
2881  
2882  
2883

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).

2884

**Table 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

2885

2886

2887

2888

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

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

2889

2890

2891

2892

2893

2894

2895

2896

2897

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).

2898

2899

2900

2901

2902

2903

2904

2905

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.

2906

2907

2908

2909

2910

2911

2912

2913

2914

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 NO<sub>2</sub> (f.eks. for tidlig død som følge af korttidseksposering) og O<sub>3</sub> (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.

2915  
2916  
  
2917  
2918  
2919  
2920  
2921  
2922  
2923  
2924  
2925  
2926  
2927  
2928  
2929  
2930  
2931  
2932  
2933  
2934  
2935  
  
2936

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  $\text{NO}_x$ , som i atmosfæren omdannes til nitrat, som er en del af øvrig  $\text{PM}_{2.5}$ . 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.

2937  
2938  
2939  
2940  
2941

**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>

2942  
2943  
2944  
2945  
2946  
2947  
2948

**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>		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

2950

2951

2952

2953

2954

2955

2956

2957

2958

2959

2960

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.

2961

2962

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

2963 både Danmark og udland) bidrager mest til helbredseffekter i Danmark sam-  
2964 menlignet med de øvrige udledningssektorer. *Naturlige kilder* bidrager f.eks.  
2965 med omkring 18,9% til hospitalsindlæggelser grundet åndedrætsbesvær og  
2966 med omkring 57,5% til dage med mindre restriktioner i aktivitet. Sidstnævnte  
2967 er kun relateret til ozon, hvor der er et relativt stort bidrag fra *Naturlige kilder*.  
2968 Følgende naturlige kilder er inkluderet i modellen:

- 2969
- 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).
- 2970  
2971  
2972  
2973  
2974  
2975  
2976

2977 *Søfart* bidrager med omkring 9,7% til antallet af for tidlige dødsfald og *Natur-*  
2978 *lige kilder* med omkring 27,1%. *Landbrug* i udlandet bidrager med ca. 13,8% til  
2979 antallet af for tidlige dødsfald i Danmark og *Vejtransport* er på omkring 7,1%  
2980 i bidrag til helbredseffekter i Danmark. Endelig er bidraget fra *Små forbræn-*  
2981 *dingsanlæg* og *Industri* nogenlunde lige stort og i størrelsesordenen 7%.

## 2982 **12.4 Danske og udenlandske kilders bidrag til omkostningerne** 2983 **fra luftforureningen i Danmark 2023**

2984 Kilderne til samfundsmæssige omkostninger fra luftforureningen i Danmark  
2985 er beregnet for 2023 ved hjælp af EVA<sub>v</sub>7.3. Der er anvendt en opdateret øko-  
2986 nomisk værdisætning sammenlignet med NOVANA-rapporteringen for 2022  
2987 (Ellermann et al., 2022; Andersen et al., 2019). Beregningerne for 2023 er base-  
2988 ret på "Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 4.0" (Brandt et al.,  
2989 2023) og angivet i 2022-priser. Beregningerne med EVA<sub>v</sub>7.3 modelsystemet er  
2990 gennemført, så det er muligt at adskille de samfundsmæssige omkostninger  
2991 fra danske hhv. europæiske kilder.

2992 Tabel 12.7 viser de samlede samfundsmæssige omkostninger fordelt på de  
2993 forskellige luftforureningskomponenter, som giver anledning til helbredsef-  
2994 fektter i Danmark i 2023. Det ses, at de samlede omkostninger, som følge af  
2995 luftforureningen i Danmark fra såvel udenlandske som danske kilder, er på  
2996 omkring 60 milliarder kr. i 2023. For tidlige dødsfald, som følge af korttids-  
2997 og langtidseksponering, tegner sig for den største del af omkostningen, om-  
2998 kring 55 milliarder kr. Sygedage (dage med restriktioner i aktivitet) tegner sig  
2999 for ca. 2,6 milliarder kr. og kronisk bronkitis (børn) for ca. 928 mio. kr.

3000

3001

3002



**Tabel 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).

Helbredseffekt	Omkostninger (mio. kr.)						
	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

3003

3004

3005

3006

3007

3008

3009

3010

3011

3012

3013

3014

3015

3016

3017

3018

3019

3020

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

Tabel 12.8 viser fordelingen af bidraget til luftforureningens samfundsmæssige omkostninger i Danmark (i mio. kr.) opgjort fra kilder i udlandet og Danmark, mens tabel 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.

3021

3022

3023

3024

3025

3026

3027

3028

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 NO<sub>2</sub> og nitratholdige partikler, mens der er en gevinst fra mindre ozon i byområderne.

3029

3030  
3031  
3032  
3033  
3034  
3035

**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>						
<b>A</b>	<b>EI- og fjernvarmeproduktion</b>	50	-22	42	143	139	282	352
<b>B</b>	<b>Industri</b>	79	1	9	407	267	674	762
<b>C</b>	<b>Små forbrændingsanlæg</b>	28	-13	12	5.300	295	5.590	5.620
<b>D</b>	<b>Flygtige emissioner fra brændsler</b>	19	8	0	5	26	31	58
<b>E</b>	<b>Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter</b>	2	16	0	397	24	421	440
<b>F1-F5</b>	<b>Vejtransport, udstødning</b>	3	-114	86	141	426	567	541
<b>F6-F7</b>	<b>Vejtransport, dæk-, bremse og vejslid</b>	0	2	0	979	29	1.010	1.010
<b>H</b>	<b>Luftfart (LTO)</b>	1	5	0	2	19	21	27
<b>I</b>	<b>Andre mobile kilder</b>	2	-12	15	412	140	552	557
<b>J</b>	<b>Affald</b>	2	8	0	50	57	107	117
<b>K+L</b>	<b>Landbrug</b>	0	39	10	649	2.720	3.370	3.420
<b>Udenlandske kilder</b>								
<b>A</b>	<b>EI- og fjernvarmeproduktion</b>	45	93	1	186	1.850	2.040	2.180
<b>B</b>	<b>Industri</b>	61	316	1	1.160	2.920	4.080	4.500
<b>C</b>	<b>Små forbrændingsanlæg</b>	20	126	0	3.320	1.320	4.640	4.790
<b>D</b>	<b>Flygtige emissioner fra brændsler</b>	3	57	0	46	172	218	278
<b>E</b>	<b>Anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter</b>	0	215	0	102	47	149	363
<b>F</b>	<b>Vejtransport</b>	3	599	2	719	3.290	4.010	4.610
<b>H</b>	<b>Luftfart (LTO)</b>	0	6	0	2	57	59	65
<b>I</b>	<b>Andre mobile kilder</b>	1	174	1	347	926	1.270	1.450
<b>J</b>	<b>Affald</b>	0	16	0	199	135	335	351
<b>K+L</b>	<b>Landbrug</b>	-9	389	1	505	7.470	7.980	8.360
<b>M</b>	<b>Andet</b>	0	4	0	5	123	128	132
<b>G</b>	<b>Søfart</b>	33	559	17	545	4.860	5.400	6.010
<b>-</b>	<b>Naturlige kilder</b>	-4	3.350	0	2.690	6.320	9.010	12.400
<b>Sum alle kilder</b>		340	5.820	198	18.300	33.600	51.900	58.300
<b>Total luftforurening</b>		397	5.110	198	19.400	35.100	54.500	60.200
<b>Difference i % mellem sum af sektorer og total luftforurening</b>		-14	14	0*	-6	-4	-5	-3

3036  
3037  
3038  
3039  
3040  
3041  
3042  
3043  
3044  
3045

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.

3046

3047 For kvælstofdioxid er bidraget fra udenlandske kilder omkring 23 mio. kr.,  
3048 hvor den største enkelte bidragsyder er *Søfart* med ca. 17 mio. kr. Bidraget fra  
3049 de primært udledte partikler fra udlandet er samlet omkring 9,8 mia. kr., hvor  
3050 de største kilder er *Små forbrændingsanlæg* med omkring 3,3 mia. kr., *Naturlige*  
3051 *kilder* med ca. 2,7 mia. kr., *Industri* med omkring 1,2 mia. kr., *Vejtransport* med  
3052 ca. 719 mio. kr., og *Søfart* med ca. 545 mio. kr.

3053 Det største bidrag fra udenlandske kilder kommer fra øvrig PM<sub>2,5</sub>, som ind-  
3054 befatter de sekundært dannede uorganiske partikler og havsalt, som udgør  
3055 en stor andel af *Naturlige kilder*. *Landbrug* i Europa bidrager med ca. 7,5 mia.  
3056 kr. til luftforureningens omkostninger i Danmark fra øvrig PM<sub>2,5</sub> og *Søfart*  
3057 med omkring 4,9 mia. kr. Det er emissioner af svovldioxid, kvælstofoxider og  
3058 ammoniak, der bidrager til de sekundært dannede uorganiske partikler, som  
3059 typisk er langtransporteret i atmosfæren.

3060 Sammenlagt udgør bidraget fra de europæiske landbaserede kilder til de to-  
3061 tale omkostninger i Danmark ca. 27 mia. kr., med størst bidrag fra *Landbrug*  
3062 (ca. 8,4 mia. kr.), *Vejtransport* (med ca. 5 mia. kr.) og *Industri* (ca. 4,5 mia. kr.)  
3063 og *Små forbrændingsanlæg* med ca. 4,8 mia. kr. Derudover bidrager *Søfart* med  
3064 omkring 6 mia. kr. og de *Naturlige kilder* med ca. 12,4 mia. kr.

3065 Summen af luftforureningens omkostninger for de forskellige stoffer, der bi-  
3066 drager til helbredseffekter, både danske og udenlandske, er angivet i tabel  
3067 12.8, ligesom de totale omkostninger, som skyldes den totale luftforurening  
3068 fra alle kilder. De to tal giver ikke nødvendigvis det samme pga. ikke-lineære  
3069 atmosfærekemiske processer, menneskeskabte kilder uden for Europa, samt  
3070 tærskelværdier, hvorunder der ikke regnes effekter, som har særlig betydning  
3071 for kvælstofdioxid og ozon. Desuden er der en mindre effekt fra det såkaldte  
3072 Gibb's fænomen (numeriske oscillationer i Eulerske modeller pga. stærke gra-  
3073 dienter), som kan have forskellig betydning, afhængigt af om alle sektorer er  
3074 kørt samlet eller om sektorerne er kørt enkeltvis. Der er en særlig udfordring  
3075 mht. beregninger af bidrag fra NO<sub>2</sub>, som skyldes tærskelværdien på 10 µg/m<sup>3</sup>.  
3076 Reduktion i de enkelte sektorer kan resultere i, at koncentrationerne for hver  
3077 sektor kommer under tærskelværdien, som det også kan gøre, når alle sekto-  
3078 rer reduceres samlet. Derfor kan summen af bidragene fra de enkelte sektorer  
3079 blive meget større end den totale luftforurening for NO<sub>2</sub>. For at undgå misvi-  
3080 sende resultater for bidragene fra de enkelte kilder til NO<sub>2</sub>, er disse blevet  
3081 skaleret med den samlede omkostning fra den totale luftforurening.

3082 Tabel 12.9 viser fordelingen af bidraget til de totale omkostninger i Danmark  
3083 fra udenlandske og danske kilder opgjort på sektorer i procent. For svovldi-  
3084 oxid er det specielt *El- og fjernvarmeproduktion* og *Industri* i Danmark, der bi-  
3085 drager med ca. 14,7% og 23,2%, og sammenlignelige procentsatser fra de til-  
3086 svarende udenlandske kilder. Svovldioxid i sig selv er dog den mindste bi-  
3087 dragsyder til de samlede omkostninger, da udledninger af svovldioxid er re-  
3088 duceret betragteligt i de seneste årtier. *Vejtransport*, *El- og fjernvarmeproduktion*  
3089 og *Andre mobile kilder* er de væsentligste bidragsydere i Danmark til omkost-  
3090 ningerne forbundet med ozon og kvælstofdioxid. For de primært emitterede  
3091 partikler (PPM<sub>2,5</sub>) er det hovedsageligt *Små forbrændingsanlæg*, samt *Vejtrans-  
3092 port*, der bidrager med hhv. ca. 28,9% og ca. 6,1%. For *Vejtransporten*, er bidra-  
3093 get fra udledningerne, der ikke er relateret direkte til udstødning (dæk-,  
3094 bremse- og vejslid) knapt syv gange så stort, som bidraget fra udstødning.  
3095 Inden for øvrig PM<sub>2,5</sub> bidrager *Landbrug* med omkring 8,1%.

3096

3097  
3098  
3099  
3100

**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>

3101  
3102  
3103  
3104  
3105

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.

3106  
3107  
3108  
3109  
3110  
3111  
3112  
3113  
3114  
3115  
3116

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*

3117	<i>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%.</i>
3118	
3119	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 <i>Landbrug</i> og <i>Naturlige kilder</i> . Dette skyldes også ikke-lineær atmosfærekemi.
3120	
3121	
3122	
3123	
3124	<b>12.5 Usikkerhed og perspektiver for fremtidige beregninger</b>
3125	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 ±50% (Lelieveld et al., 2019). DCE vurderer, at usikkerhederne på beregningerne præsenteret i nærværende rapport ligger på samme niveau.
3126	
3127	
3128	
3129	
3130	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 NO <sub>2</sub> på 20 µg/m <sup>3</sup> (kun gældende for langtidseksponering) nu er ændret til 10 µg/m <sup>3</sup> , 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 NO <sub>2</sub> vurderes at stige, og at antallet af for tidlige dødsfald som følge af korttidseksponering for NO <sub>2</sub> vurderes at falde. I dette års afrapportering er antallet af for tidlige dødsfald som følge af NO <sub>2</sub> faldet til et ubetydeligt niveau, hvilket skyldes, at koncentrationer i stort omfang nu er tæt på eller under tærskelværdien i bybaggrunden og på landet.
3131	
3132	
3133	
3134	
3135	
3136	
3137	
3138	
3139	
3140	
3141	Helbredseffekter fra ozon kommer primært fra eksponering fra høje koncentrationer. Der benyttes en parameter (SOMO35), hvor det er ozonkoncentrationer over 35 ppb (=70 µg/m <sup>3</sup> ), som summeres. De nye analyser fra WHO (WHO, 2021a) indikerer, at det kunne være mere korrekt at summere ozonkoncentrationer over 32 ppb (=64 µg/m <sup>3</sup> ), men da evidensen vurderes til at være moderat, og forskellen er lille, er 35 ppb bevaret som tærskelværdi for ozon.
3142	
3143	
3144	
3145	
3146	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 PM <sub>2.5</sub> 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 µg/m <sup>3</sup> for PM <sub>2.5</sub> -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.
3147	
3148	
3149	
3150	
3151	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
3152	
3153	
3154	
3155	
3156	
3157	
3158	
3159	
3160	
3161	
3162	
3163	
3163	

3164 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 NO<sub>2</sub>, da der stadigvæk ikke er mange studier på dette område. Hvis tærskelværdien ikke anvendes på NO<sub>2</sub>, vil det indebære ca. 500 flere for tidligere dødsfald i 2023.

3170 **Tabel 12.10.** Antallet af for tidlige dødsfald i Danmark for 2023 (som følge af både korttids- og langtidseksponering) fra sensitivitet-beregninger 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

3172 Der mangler fortsat viden om, hvilke dele af partikelforureningen, som forårsager  
 3173 helbredseffekterne. Der anvendes den samme eksponerings-respons-funktion for alle de kemiske PM<sub>2,5</sub>-komponenter, da det på nuværende tids-  
 3174 punkt stadig er det bedste bud baseret på den tilgængelige viden. Dette under-  
 3175 støttes bl.a. af en række analyser af de enkelte komponenters betydning  
 3176 (se fx, Raaschou-Nielsen et al., 2023). Mere viden på dette område vil potenti-  
 3177 elt set kunne ændre på de estimerede helbredseffekter relateret til de forskel-  
 3178 lige kemiske stoffer og udledningssektorer.  
 3179

3180 Der er usikkerhed forbundet med opgørelsen af hvilke kilder, der bidrager til  
 3181 helbredseffekterne, da dette afhænger af, hvilken procentsats udledningerne  
 3182 bliver reduceret med. Dette skyldes ikke-lineær atmosfærisk kemi, som er godt  
 3183 beskrevet i luftforureningsmodellerne. Denne ikke-linearitet betyder, at be-  
 3184 stemmelsen af en udledningssektors bidrag til Danmark afhænger af, hvor  
 3185 meget man reducerer sektoren med i de beregninger, der ligger til grund for  
 3186 bestemmelsen. I denne rapport er der benyttet 30% udledningsreduktioner  
 3187 for hver sektor, som efterfølgende er skaleret op til 100%. Ikke-lineariteten har  
 3188 særlig betydning for de udenlandske kilder, hvis størrelser er betragtelige  
 3189 (f.eks. sektor F, som inkluderer al *Vejtransport* i Europa). Reduceres udlednin-  
 3190 ger fra denne sektor for hele Europa i modellen, vil det medføre en ændret  
 3191 "baggrundskemi" over Europa, som så igen påvirker størrelsen af bidraget  
 3192 fra sektoren. Der er ikke tale om en betydelig usikkerhed, eller manglende  
 3193 viden på området, men i stedet en velforstået ikke-lineær sammenhæng mel-  
 3194 lem størrelsen på udledningsreduktionen og bidraget fra de respektive ud-  
 3195 ledningssektorer. Dette gælder i mindre grad for danske kilder, da udlednin-  
 3196 gerne er relativt mindre, på nær for NO<sub>2</sub>, hvor den nye tærskelværdi for kort-  
 3197 tidseksponering har stor indvirkning på resultaterne. De primære partikler  
 3198 (PPM<sub>2,5</sub> og havsalt) er lineære, da de ikke indgår i atmosfærisk kemiske reaktio-  
 3199 ner.

3200 Forskerne tilknyttet DCE følger løbende med i de videnskabelige landvindinger  
 3201 i relation til vurdering af helbredseffekterne af luftforureningen og imple-  
 3202 menterer disse i estimering af helbredseffekterne, så snart de er velkonsolide-  
 3203 rede, og det er praktisk og økonomisk muligt. Forskerne på Institut for Miljø-  
 3204 videnskab ved Aarhus Universitet koordinerer og deltager løbende i adskil-  
 3205 lige forskningsprojekter omkring helbredseffekter fra luftforurening, bl.a. un-  
 3206 der EU's forskningsprogrammer. Fremtidig opdatering af modelsystemet vil  
 3207 fortsat og så vidt muligt ske på basis af en dialog med andre forskningsmiljøer  
 3208 på området. Opdateringerne vil ske med passende mellemrum, når der er sket  
 3209 væsentlige fremskridt i forskningen og forståelsen af de helbredsrelaterede  
 3210 effekter af luftforureningen.

3211

## 13. Luftkvalitet og WHO's nye anbefalinger

3212  
3213  
3214  
3215  
3216  
3217

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.

3218  
3219  
3220  
3221  
3222  
3223  
3224

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.

3225  
3226  
3227  
3228  
3229

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.

3230  
3231  
3232

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>).

3233  
3234  
3235  
3236  
3237  
3238  
3239  
3240  
3241  
3242

### 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.

3243  
3244  
3245  
3246  
3247

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.

3248

3249

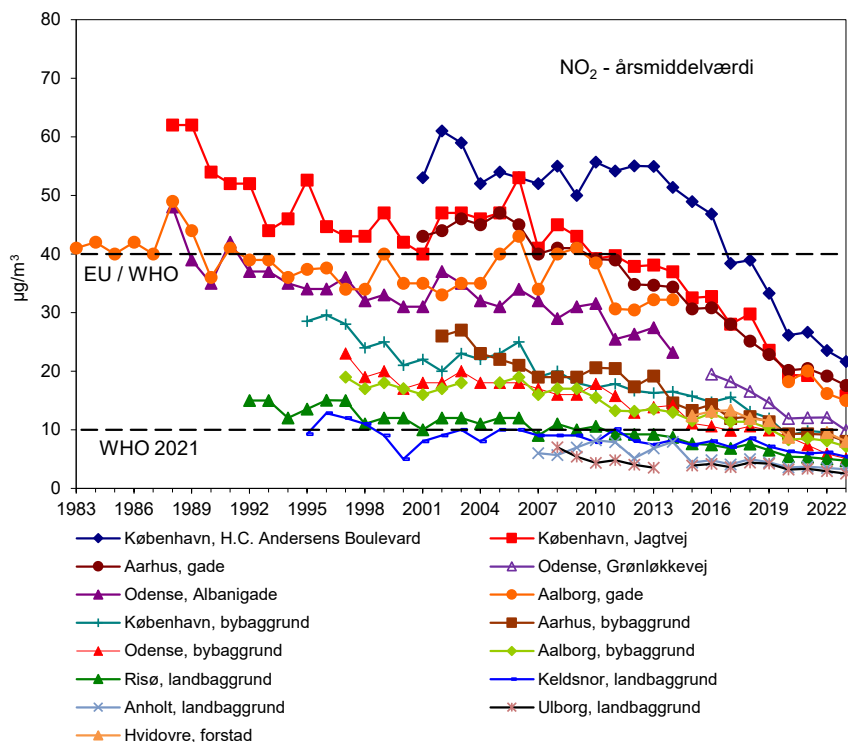
3250

3251

**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

3252



**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.



3253

### 13.2 Carbonmonoxid

3254

3255

3256

3257

3258

3259

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.

3260

3261

3262

3263

3264

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

3265

### 13.3 Svovldioxid

3266

3267

3268

3269

3270

3271

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.

3272

3273

3274

3275

3276

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

3277

3278

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

	Døgnmiddel 99%-fraktil µg/m <sup>3</sup>
<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

3279

### 13.4 Ozon

3280

3281

3282

3283

3284

3285

3286

3287

3288

3289

3290

3291

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.

3292

3293

3294

3295

3296

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 fra 15% til 35% over denne retningslinje i 2021, mens ozonkoncentrationerne ved gademålestationen ved H.C. Andersens Boulevard er 13% over 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).

	Ozon Peak season* µg/m <sup>3</sup>	Maksimal 8-timers Middelværdi 99%-fraktil µg/m <sup>3</sup>
<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.

3297

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

3298  
3299  
3300  
3301  
3302  
3303  
3304  
3305  
3306  
3307  
3308

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 koncentrationsniveauer. 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.

3309  
3310  
3311  
3312  
3313  
3314

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 landbaggrundsstationer i det danske målenetværk, ligger nu lavere end den nye retningslinje.

3315  
3316  
3317

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.

3318  
3319  
3320  
3321  
3322  
3323  
3324  
3325  
3326

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.

3327  
3328  
3329  
3330  
3331  
3332  
3333  
3334  
3335  
3336

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.

3337

**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	PM <sub>10</sub> Årsmiddel	PM <sub>2,5</sub> Døgnmiddel 99%-fraktil	PM <sub>10</sub> Døgnmiddel 99%-fraktil
	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	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

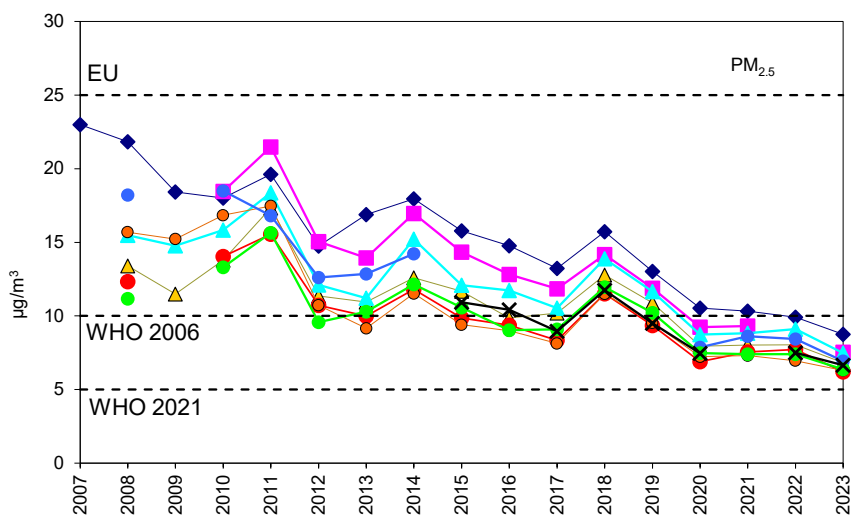
<sup>a</sup> Årsmiddelværdien for PM<sub>2,5</sub> er beregnet ud fra et estimat for perioden januar til slut-april (pga. filterproblemer) i kombination med fuldt gyldige data fra den efterfølgende periode (ca. maj – december), hvor disse problemer er løst med ny filtertype. Estimatet er foretaget på 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), hvic filterproblemerne er løst med ny filtertype. Se Ellermann et al. (2024).

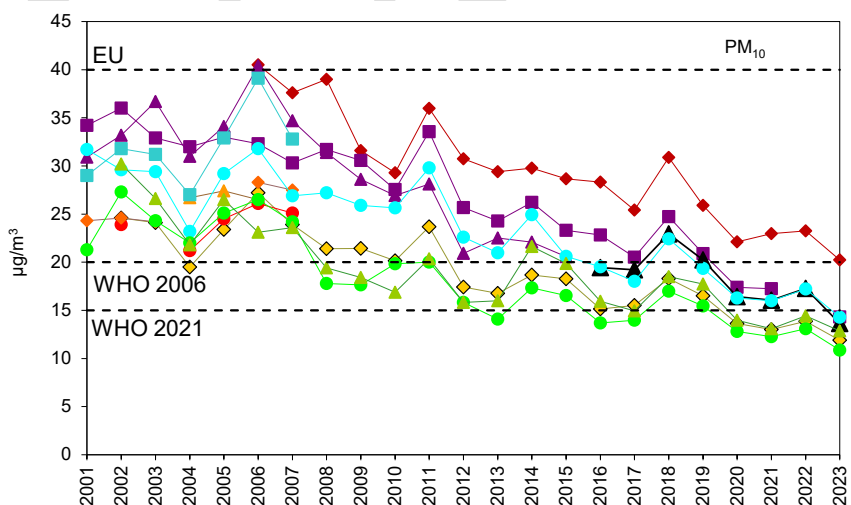
3338

3339

3340



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



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

3342

### 13.6 Sammenfatning

3343

3344

3345

3346

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).

3347

3348

3349

3350

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.

3351

3352

3353

3354

3355

3356

3357

3358

3359

3360

3361

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.

3362

3363

3364

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

3365

3366

3367

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.

3368

3369

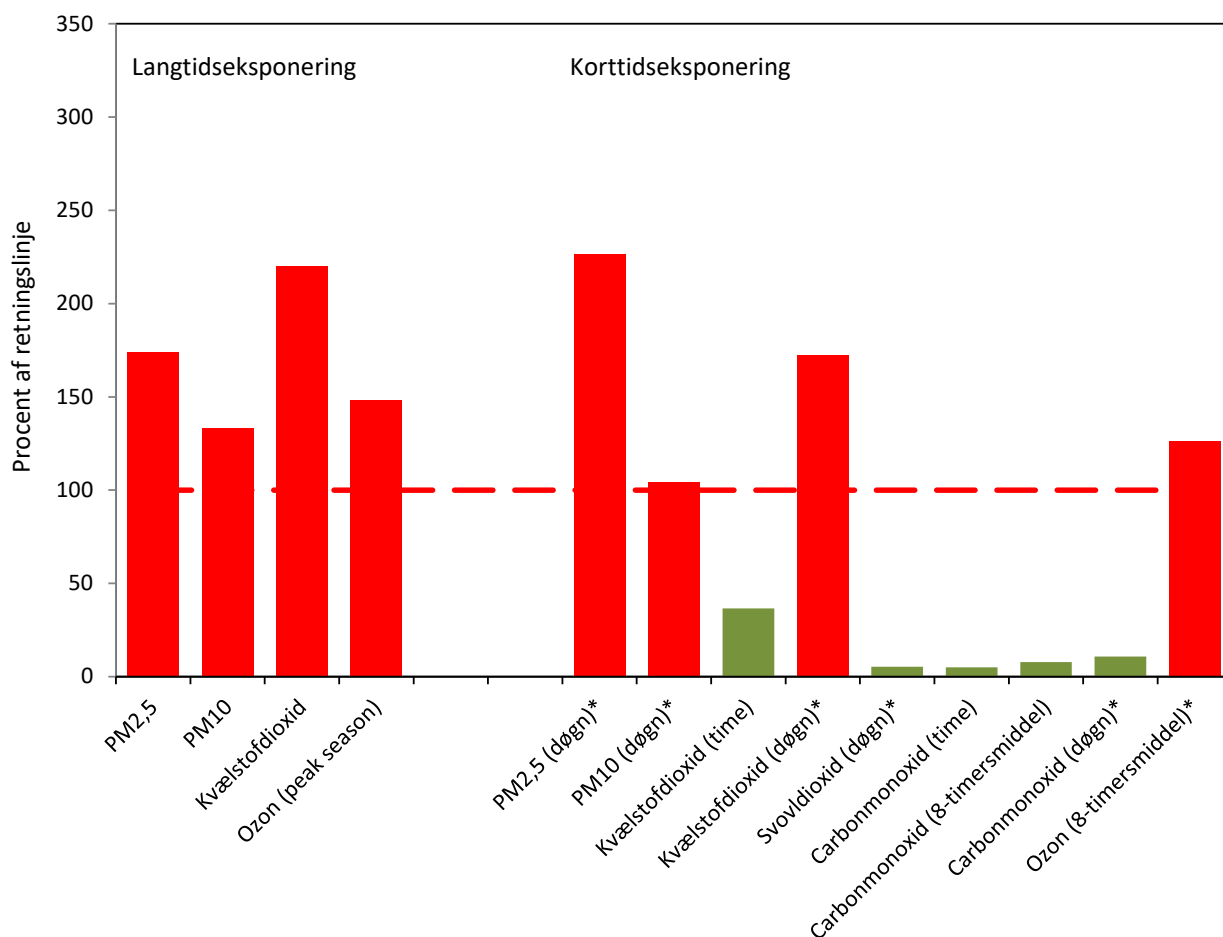
3370

3371

3372

3373

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

- 3375 Andersen, M. S., L. M. Frohn Rasmussen og J. Brandt, 2019. Miljøøkonomiske  
3376 beregningspriser for emissioner 3.0. Notat fra DCE - Nationalt Center for  
3377 Miljø og Energi. Dato: 14. marts 2019. pp. 22. Institut for Miljøvidenskab, Aar-  
3378 hus Universitet. [http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Nota-  
3379 ter\\_2019/Miljoekonomiske\\_beregningspriser\\_for\\_emissioner.pdf](http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2019/Miljoekonomiske_beregningspriser_for_emissioner.pdf)
- 3380 Andersen, M.S., L.M. Frohn, S.S. Jensen, J.S. Nielsen, P.B. Sørensen, O. Hertel,  
3381 J. Brandt, and J. Christensen, 2004. Sundhedseffekter af luftforurening – be-  
3382 regningspriser. Faglig rapport fra DMU, nr. 507, pp. 85.  
3383 [http://www2.dmu.dk/1\\_Viden/2\\_Publikationer-/3\\_Fagrapporter/rap-  
3384 porter/FR507.pdf](http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_Publikationer-/3_Fagrapporter/rapporter/FR507.pdf)
- 3385 Andersen, M.S., 2017: Co-benefits of climate mitigation: Counting statistical  
3386 lives or life-years? I: Ecological Indicators, Bind 79, 2017, s. 11-18.
- 3387 Anenberg, S. C., A. Belova, J. Brandt, N. Fann, S. Greco, S. Guttikunda, M.-E.  
3388 Heroux, F. Hurley, M. Krzyzanowski, S. Medina, B. Miller, K. Pandey, J. Roos,  
3389 R. Van Dingenen, 2015. Survey of ambient air pollution health risk assessment  
3390 tools. *Risk Analysis*. DOI: 10.1111/risa.12540.
- 3391 Bach, H., M. S. Andersen, J. B. Illerup, F. Møller, K. Birr-Pedersen, J. Brandt,  
3392 T. Ellermann, L. M. Frohn, K. M. Hansen, F. Palmgren, J. Seested and M.  
3393 Winther, 2006. Vurdering af de samfundsøkonomiske konsekvenser af Kom-  
3394 missionens temastrategi om luftforurening, Faglig rapport fra DMU, Nr 586,  
3395 2006.
- 3396 Barré, J., Petetin, H., Colette, A., Guevara, M., Peuch, V.H., Rouil, L., Engelen,  
3397 R., Inness, A., Flemming, J., Pérez García-Pando, C., Bowdalo, D., Meleux, F.,  
3398 Geels, C., Christensen, J.H., Gauss, M., Benedictow, A., Tsyro, S., Friese, E.,  
3399 Struzewska, J., Kaminski, J.W., Douros, J., Timmermans, R., Robertson, L.,  
3400 Adani, M., Jorba, O., Joly, M. & Kouznetsov, R. 2021: Estimating lockdown-  
3401 induced European NO<sub>2</sub> changes using satellite and surface observations and  
3402 air quality models, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(9), 7373-7394.  
3403 <https://doi.org/10.5194/acp-21-7373-2021>
- 3404 Berkowicz, R., 2000a: OSPM - A parameterized street pollution model, *Envi-  
3405 ronmental Monitoring and Assessment* 2000, 65, 323-331. doi: 10.1023/-  
3406 A:1006448321977.
- 3407 Berkowicz, R., 2000b: A simple model for urban background pollution. *Envi-  
3408 ron. Monit. Assess.* 65 (1/2), 259-267.
- 3409 Blomgren, H. 2021: Personlig korrespondance den 27. oktober 2021.
- 3410 Brandt, J., Christensen, J.H. Frohn, L.M. Palmgren, F. Berkowicz R. & Zlatev,  
3411 Z., 2001: Operational air pollution forecasts from European to local scale. *At-  
3412 mospheric Environment*, Vol. 35, Sup. No. 1, pp. S91-S98.



- 3413 Brandt, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M. & Berkowicz, R., 2003: Air pollution  
3414 forecasting from regional to urban street scale – implementation and valida-  
3415 tion for two cities in Denmark. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 28,  
3416 pp. 335-344.
- 3417 Brandt, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Berkowicz, R. & Palmgren, F. 2000:  
3418 The DMU-ATMI THOR Air Pollution Forecast System. System Description,  
3419 National Environmental Research Institute, Roskilde Denmark 60 pp. -NERI  
3420 Technical Report No. 321. [https://www2.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Publikatio-  
3421 ner/3\\_fagrapporter/rapporter/fr321.pdf](https://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/fr321.pdf)
- 3422 Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. Bønløkke, T. Sigs-  
3423 gaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E.  
3424 Kaas and L. M. Frohn, 2013a. Contribution from the ten major emission sec-  
3425 tors in Europe to the Health-Cost Externalities of Air Pollution using the EVA  
3426 Model System – an integrated modelling approach. *Atmospheric Chemistry  
3427 and Physics*, Vol. 13, pp. 7725-7746, 2013. [www.atmos-chem-  
3428 phys.net/13/7725/2013/](http://www.atmos-chem-phys.net/13/7725/2013/), doi:10.5194/acp-13-7725-2013.
- 3429 Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. Bønløkke, T. Sigs-  
3430 gaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E.  
3431 Kaas and L. M. Frohn, 2013b. Assessment of Past, Present and Future Health-  
3432 Cost Externalities of Air Pollution in Europe and the contribution from inter-  
3433 national ship traffic using the EVA Model System. *Atmospheric Chemistry  
3434 and Physics*. Vol. 13, pp. 7747-7764, 2013. [www.atmos-chem-  
3435 phys.net/13/7747/2013/](http://www.atmos-chem-phys.net/13/7747/2013/). doi:10.5194/acp-13-7747-2013.
- 3436 Brandt, J., Jensen, S.S., Andersen, M.S., Plejdrup, M.S., Nielsen, O.K. 2016. Hel-  
3437 bredseffekter og helbredsomkostninger fra emissionssektorer i Danmark.  
3438 Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 47 s. - Viden-  
3439 skabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 182  
3440 <http://dce2.au.dk/pub/SR182.pdf>
- 3441 Brandt, J., M. S. Andersen, J. Bønløkke, J. H. Christensen, K. M. Hansen, O.  
3442 Hertel, U. Im, S. S. Jensen, M. Ketzel, O.-K. Nielsen, M. S. Plejdrup, T. Sigs-  
3443 gaard and C. Geels, 2015. High-resolution modelling of health impacts and  
3444 related external cost from air pollution using the integrated model system  
3445 EVA. Proceedings from ITM 2015, 34th International Technical Meeting on  
3446 Air Pollution Modelling and its Application. 4-8 May, 2015, Montpellier,  
3447 France. pp. 125-128.
- 3448 Brandt, J., Silver, J.D., Christensen, J.H., Andersen, M.S., Bønløkke, J.H.,  
3449 Sigsgaard, T., Geels, C., Gross, A., Hansen, A.B., Hansen, K.M., Hedegaard,  
3450 G.B., Kaas, E. & Frohn, L.M., 2011: Assessment of Health-Cost Externalities of  
3451 Air Pollution at the National Level using the EVA Model System, CEEH Sci-  
3452 entific Report No 3, Centre for Energy, Environment and Health Report series,  
3453 March 2011, pp. 98.
- 3454 Brandt, J., Silver, J.D., Frohn, L.M., Geels, C., Gross, A., Hansen, A.B., Hansen,  
3455 K.M., Hedegaard, G.B., Skjøth, C.A., Villadsen, H., Zare, A. & Christensen,  
3456 J.H., 2012: An integrated model study for Europe and North America using  
3457 the Danish Eulerian Hemispheric Model with focus on intercontinental  
3458 transport, *Atmospheric Environment*, Volume 53, June 2012, pp. 156-176,  
3459 doi:10.1016/j.atmosenv.2012.01.011.

- 3460 Brandt, J., J. H. Christensen og M. S. Andersen. 2023. Miljøøkonomiske bereg-  
3461 ningspriser for emissioner 4.0. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center  
3462 for Miljø og Energi, 23 s. Fagligt notat nr. 2023 | 54. [https://dce.au.dk/filead-  
3463 min/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2023/N2023\\_54.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2023/N2023_54.pdf)
- 3464 Burnett R, Chen H, Szyszkowicz M, Fann N, Hubbell B, Pope CA III et al.  
3465 (2018). Global estimates of mortality associated with long-term exposure to  
3466 outdoor fine particulate matter. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 115(38m):9592-7.  
3467 doi: 10.1073/pnas.1803222115.
- 3468 Burnett, R., Chena, H., Szyszkowicza, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope III, C.  
3469 A., Apte, J. S., Brauer, M., Cohen, A., Weichenthal, S., Coggins, J., Di Q., Brune-  
3470 kreef B., Frostad, J., Lim, S. S., Kan, H., Walker, K. D., Thurston, G. D., Hayes,  
3471 R. B., Lim, C. C., Turner, M. C., Jerrett, M., Krewski, D., Gapstur, S. M., Diver,  
3472 W. R., Ostro, B., Goldberg, D., Crouse, D. L., Martin, R. V., Peters, P., Pinault,  
3473 L., Tjepkema, M., van Donkelaar, M., Villeneuve, P. J., Miller, A. B., Yin, P.,  
3474 Zhou, M., Wang, L., Janssen, N. A. H., Marra, M., Atkinson, R. W., Tsang, H.,  
3475 Thach, T. Q., Cannon, J. B., Allen, R. T., Hart, J. E., Laden, F., Cesaroni, G.,  
3476 Forastiere, F., Weinmayr, G., Jaensch, A., Nagel, G., Concin, H. and Spadar, J.  
3477 V., Global estimates of mortality associated with longterm exposure to out-  
3478 door fine particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sci-  
3479 ences*, 38 (115), pp. 9592-9597. doi: 10.1073/pnas.1803222115. 2018.
- 3480 Bønløkke, J. H., T. Sigsgaard, J. Brandt, L. M. Frohn, E. M. Flachs, H. Brønnum-  
3481 Hansen, M.-L. Sigsgaard-Andersen, 2011. CEEH Scientific Report No. 7a - De-  
3482 scription of the CEEH health effect model. Centre for Energy, Environment  
3483 and Health Report Series, pp. 76, 2011. ISSN 1904-7495.
- 3484 CEIP, 2024: <https://www.ceip.at/webdab-emission-database>
- 3485 Chen J, Hoek G, 2020. Long-term exposure to PM and all-cause and  
3486 cause-specific mortality: a systematic review and meta-analysis. *Envi-  
3487 ron Int*. 143:105974. doi: 10.1016/j. envint.2020.105974.  
3488 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105974>
- 3489 Chen, J. S. Rodopolou, K. de Hoogh, M. Strak, Z. J. Andersen, R. Atkinson, M.  
3490 Bauwelinck, T. Bellander, J. Brandt, G. Cesaroni, H. Concin, D. Fecht, F. For-  
3491 astiere, J. Gulliver, O. Hertel, B. Hoffmann, U. A. Hvidtfeldt, N. Janssen, K.-  
3492 H. Jöckel, J. Jørgensen, K. Katsouyanni, M. Ketzel, J. O. Klompmaker, A. La-  
3493 ger, K. Leander, S. Liu, P. Ljungman, C. J. MacDonald, P. K.E. Magnusson, A.  
3494 Mehta, G. Nagel, B. Oftedal, G. Pershagen, A. Peters, O. Raaschou-Nielsen, M.  
3495 Renzi, D. Rizzuto, E. Samoli, Y. T. van der Schouw, S. Schramm, P. Schwarze,  
3496 T. Sigsgaard, M. Sørensen, M. Stafoggia, A. Tjønneland, W. M. M. Verschuren,  
3497 D. Vienneau, G. Weinmayr, K. Wolf, B. Bru-nekreef, G. Hoek, 2021. Long-term  
3498 exposure to fine particle elemental components and natural and cause-specific  
3499 mortality – a pooled analysis of eight European cohorts within the ELAPSE  
3500 project. *Environmental Health Perspectives*. Volume 129, Issue 4, 1 April 2021,  
3501 Page 47000. <https://doi.org/10.1289/EHP8368>
- 3502

- 3503 Chen, J., Hoek, G., de Hoogh, K., Rodopoulou, S., Andersen, Z.J., Bellander,  
3504 T., Brandt, J., Fecht, D., Forastiere, F., Gulliver, J., Hertel, O., Hoffmann, B.,  
3505 Hvidtfeldt, U.A., Verschuren, W.M.M., Jöckel, K.-H., Jørgensen, J.T.,  
3506 Katsouyanni, K., Ketzel, M., Brynedal, B., Leander, K., Liu, S., Ljungman, P.,  
3507 Faure, E., Magnusson, P.K.E., Nagel, G., Pershagen, G., Peters, A., Raaschou-  
3508 Nielsen, O., Rizzuto, D., Samoli, E., van der Schouw, Y.T., Schramm, S., Severi,  
3509 G., Stafoggia, M., Strak, M., Sørensen, M., Tjønneland, A., Weinmayr, G.,  
3510 Wolf, K., Zitt, E., Brunekreef, B., Thurston, G.D., 2022. Long-term exposure to  
3511 source-specific fine particles and mortality – a pooled analysis of 14 European  
3512 cohorts within the ELAPSE project. *Environmental Science & Technology*.  
3513 2022, 56, 13, 9277–9290. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01912>
- 3514 Christensen, J.H., 1997: The Danish Eulerian Hemispheric Model – a three-di-  
3515 mensional air pollution model used for the Arctic, *Atm. Env.*, 31, 4169–4191.
- 3516 DCE (2021). [Air Pollutants \(au.dk\)](#)
- 3517 DØRS (2016). Værdi af statistisk liv, Luftforurening, Danmark fossilfri 2025.  
3518 Diskussionsoplæg. Udarbejdet af formandskabet for De Økonomiske Råd til  
3519 Møde i Det Miljøøkonomiske Råd den 1. marts 2016. 248 s.
- 3520 EEA, 2019. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019.  
3521 Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report No  
3522 13/2019. [https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-](https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019)  
3523 [2019](https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019).
- 3524 EEA, 2020. Air quality in Europe – 2020 report. EEA Report No 9/2020. 162  
3525 pp., European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark. [Air quality in](#)  
3526 [Europe - 2020 report – European Environment Agency \(europa.eu\)](#)
- 3527 EEA, 2023. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023.  
3528 Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report No  
3529 06/2023. [https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-](https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023)  
3530 [2023](https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023).
- 3531 Ellermann, T. og Jensen, S.S. 2024. Vurdering af mulighed for fremrykning af  
3532 overholdelse af WHO's retningslinjer for luftkvalitet. Aarhus Universitet,  
3533 DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 67 s. - Videnskabelig rapport nr.  
3534 620.
- 3535 Ellermann, T., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M., Massling,  
3536 A., Bossi, R., Frohn, L.M., Geels, C., Jensen, S.S., Nielsen, O.-K., Winther, M.,  
3537 Bech Poulsen, M., Monies, C. og Sørensen, M.B. 2022: Luftkvalitet 2020. Status  
3538 for den nationale luftkvalitetsovervågning. Aarhus Universitet, DCE – Natio-  
3539 nalt Center for Miljø og Energi, 144 s. - Videnskabelig rapport nr. 467. Viden-  
3540 skabelig rapport nr. 467. <http://dce2.au.dk/pub/SR467.pdf>
- 3541 Ellermann, T., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M., Massling,  
3542 A., Bossi, R., Frohn, L.M., Geels, C., Jensen, S.S., Ole-Kenneth Nielsen, O.-K.,  
3543 Winther, M., Poulsen, M.B., Monies, C., Sørensen, M.B., Andersen, M.S. og  
3544 Sigsgaard, T., 2023. Luftkvalitet 2021. Status for den nationale luftkvalitets-  
3545 overvågning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi,  
3546 148 s. - Videnskabelig rapport nr. 533. <http://dce2.au.dk/pub/SR533.pdf>
- 3547

- 3548 Ellermann, T., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketznel, M., Massling,  
3549 A., Bossi, R., Frohn, L.M., Geels, C., Jensen, S.S., Ole-Kenneth Nielsen, O.-K.,  
3550 Winther, M., Poulsen, M.B., Monies, C., Sørensen, M.B., Andersen, M.S. og  
3551 Sigsgaard, T., 2024. Luftkvalitet 2022. Status for den nationale luftkvalitets-  
3552 overvågning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi,  
3553 154 s. - Videnskabelig rapport nr. 580. <http://dce2.au.dk/pub/SR580.pdf>
- 3554 Ellermann, T., Bossi, R., Nygaard, J., Christensen, J., Løfstrøm, P., Monies, C.,  
3555 Geels, C., Nilsen, I. E., & Poulsen, M. B., 2021: Atmosfærisk deposition 2019.  
3556 NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi.  
3557 90s. – Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi  
3558 nr. 415. <http://dce2.au.dk/pub/SR415.pdf>
- 3559 Ellermann, T., Nordstrøm, C., Nygaard, J. og Massling, A., 2020: Status for  
3560 måling af luftkvalitet i 2019. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for  
3561 Miljø og Energi, 14 s. - Notat nr. 2020 | 41.
- 3562 Ellermann, T., Nordstrøm, C., Massling, A., Poulsen, M.B., og Sørensen, M.B.,  
3563 2024. Status for måling af luftkvalitet i 2023. Aarhus Universitet, DCE – Nati-  
3564 onalt Center for Miljø og Energi, 44 s. - Teknisk rapport nr. 320.
- 3565 Ellermann, T., Nygaard, J., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christen-  
3566 sen, J., Ketznel, M., Massling, A., Bossi, R. & Jensen, S.S. 2017: The Danish Air  
3567 Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2016. Aarhus Uni-  
3568 versity, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 78 pp. Scientific  
3569 Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 234.  
3570 <http://dce2.au.dk/pub/SR234.pdf>
- 3571 Ellermann, T., Nygaard, J., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christen-  
3572 sen, J., Ketznel, M., Massling, A., Bossi, R., Frohn, L.M., Geels, C. & Jensen, S.S.  
3573 2020. The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for  
3574 2018. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy,  
3575 83 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and En-  
3576 ergy No. 218. <http://dce2.au.dk/pub/SR360.pdf>
- 3577 Ellermann, T., Nøjgaard, J.K. & Bossi, R. 2011: Supplerende målinger til luft-  
3578 overvågning under NOVANA – benzen og PAH. Aarhus Universitet, DCE –  
3579 Nationalt Center for Miljø og Energi. 42 s. – Teknisk rapport fra DCE – Nati-  
3580 onalt Center for Miljø og Energi nr. 3
- 3581 EU, 2004: Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the  
3582 Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel  
3583 and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. Official Journal of the  
3584 European Union L23/3.
- 3585 EU, 2008: Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Coun-  
3586 cil of 15 December 2004 on ambient air quality and cleaner air for Europe:  
3587 Official Journal of the European Union L152/1.
- 3588 EU, 2016: Europa-Parlamentets og Rådets Direktiv (EU) 2016/2284 af 14. de-  
3589 cember 2016 om nedbringelse af nationale emissioner af visse luftforurenende  
3590 stoffer, om ændring af direktiv 2003/35/EF og om ophævelse af direktiv  
3591 2001/81/EF. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/HTML/-  
3592 ?uri=CELEX:32016L2284](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016L2284)

- 3593 Finansministeriet (2017): Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvur-  
3594 deringer. August 2017.
- 3595 Frohn, L.M., Ketzel, M., Christensen, J.H., Brandt, J., Im, U., Massling, A., An-  
3596 dersen, C., Plejdrup, M.S., Nielsen, O.-K., Manders, A. and Raaschou-Nielsen,  
3597 O., 2021: "Modelling ultrafine particle number concentrations at address res-  
3598 olution in Denmark from 1979 to 2018 – Part 1: regional and urban scale mod-  
3599 elling and evaluation". *Atmospheric Environment*, vol. 264, 118631.  
3600 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118631>.
- 3601 Frohn, L. M., C. Geels, C. Andersen, C. Andersson, C. Bennet, J. H. Christen-  
3602 sen, U. Im, N. Karvosenoja, P. A. Kindler, J. Kukkonen, S. Lopez-Aparicio, O.-  
3603 K. Nielsen, Y. Palamarchuk, V.-V. Paunu, M. S. Plejdrup, D. Segersson, M.  
3604 Sofiev and J. Brandt, 2022. Evaluation of multidecadal high-resolution atmos-  
3605 pheric chemistry transport modelling for exposure assessments in the conti-  
3606 nental Nordic countries. *Atmospheric Environment*. Volume 290, 1 December  
3607 2022, 119334. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119334>
- 3608 Geels, C., Winther, M., Andersson, C., Jalkanen, J.-P., Brandt, J., Frohn, L.M.,  
3609 Im, U., Leung, W., Christensen, J.H., 2021. Projections of shipping emissions  
3610 and the related impact on air pollution and human health in the Nordic region  
3611 *Atmos. Chem. Phys.*, 21, 12495–12519, 2021. [https://doi.org/10.5194/acp-21-](https://doi.org/10.5194/acp-21-12495-2021)  
3612 [12495-2021](https://doi.org/10.5194/acp-21-12495-2021).
- 3613 Hoek, G., Krishnan, R.M., Beelen, R. et al. Long-term air pollution exposure  
3614 and cardio- respiratory mortality: a review. *Environ Health* 12, 43 (2013).  
3615 <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-43>.
- 3616 Holland, M., Berry J. & Forster, D. Eds. 1999: Externe Externalities of Energy  
3617 Volume 7: Methodology 1998 Update. European Commission, Directorate-  
3618 General XII, Science, Research and Development. Brussels. Pp. 518. ISBN:  
3619 9282877825.
- 3620 Hvidtfeldt, U., C. Geels, M. Sørensen, M. Ketzel, J. Khan, A. Tjønneland, J. H.  
3621 Christensen, J. Brandt, O. Raaschou-Nielsen, 2019. Long-term residential ex-  
3622 posure to PM<sub>2.5</sub> constituents and mortality in a Danish cohort. *Environment*  
3623 *International*. Volume 133, Part B, December 2019, 105268.  
3624 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105268>.
- 3625 Im, U., Christensen, J. H., Nielsen, O.-K., Sand, M., Makkonen, R., Geels, C.,  
3626 Anderson, C., Kukkonen, J., Lopez-Aparicio, S., and Brandt, J.: Contributions  
3627 of Nordic anthropogenic emissions on air pollution and premature mortality  
3628 over the Nordic region and the Arctic, *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 12975–12992,  
3629 <https://doi.org/10.5194/acp-19-12975-2019>, 2019.
- 3630 Im, U., Brandt, J., Bauer, S.E., Tsigaridis, K., Frohn, L.M., Geels, C., 2023. Pre-  
3631 sent-day and future PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub>-related global and regional premature  
3632 mortality in the EVA v6.0 health impact assessment model. *Environmental Re-*  
3633 *search*. 2023 Jan 1;216(Pt 4):114702. [https://doi.org/10.1016/j.en-](https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114702)  
3634 [vres.2022.114702](https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114702)
- 3635 Jensen, S.S., Winther, M., Løfstrøm, P., Ketzel, M., Frohn, L.M. 2021. Kortlæg-  
3636 ning af udviklingen i luftforurening fra krydstogtskibe og andre skibe i fem  
3637 danske havne. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og  
3638 Energi, 129 s. – Videnskabelig rapport nr. 413.  
3639 <http://dce2.au.dk/pub/SR413.pdf>

- 3640 Jensen, S.S., Berkowicz, R., Hansen, H. Sten. & Hertel, O. 2001: A Danish de-  
3641 cision-support GIS tool for management of urban air quality and human ex-  
3642 posures. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol-  
3643 ume 6, Issue 4, 2001, pp. 229-241.
- 3644 Jensen, S.S., Ketznel, M., Becker, T., Christensen, J., Brandt, J., Plejdrup, M.S.,  
3645 Winther, M., Nielsen, O.-K., Hertel, O., Ellermann, T. 2017: High Resolution  
3646 Multi-scale Air Quality Modelling for All Streets in Denmark. *Transportation  
3647 Research Part D: Transport and Environment* 52 (2017) 322–339.  
3648 <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.019>.
- 3649 Jensen, S.S., Winther, M., Løfstrøm, P., Frohn, L.M. 2019: Kortlægning af luft-  
3650 forurening fra krydstogtskibe. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center  
3651 for Miljø og Energi, 78 s. - Videnskabelig rapport nr. 316.  
3652 <http://dce2.au.dk/pub/SR316.pdf>
- 3653 Jensen, S.S., Ketznel, M., Khan, J., Valencia, V.H., Brandt, J., Christensen, J.H.,  
3654 Frohn, L.M., Nielsen, O.-K. Plejdrup, M.S., Ellermann, T. 2021: Luften på din  
3655 vej 2.0. DCE-Nationalt Center for Miljø og Energi, 62 s. - Videnskabelig rap-  
3656 port fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 445,  
3657 <http://dce2.au.dk/pub/SR445.pdf>
- 3658 Jensen, S.S., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Ketznel, M., Nielsen, O.-K.,  
3659 Plejdrup, M.S., 2023. Nationalt program for reduktion af luftforurening  
3660 (NAPCP) - Udvikling i luftkvalitet og kvælstofafsætning frem til 2030. Aarhus  
3661 Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 47 s. - Videnskabelig  
3662 rapport nr. 538. <http://dce2.au.dk/pub/SR538.pdf>
- 3663 Jensen, S.S., Andersen, C., Ketznel, M., Winther, M. 2024. Evaluering af skær-  
3664 pede miljøzoner for dieselpersonbiler. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt  
3665 Center for Miljø og Energi, 80 s. - Videnskabelig rapport nr. 608.
- 3666 Johansson, L., Jalkanen, J.-P., and Kukkonen, J. 2017: Global assessment of  
3667 shipping emissions in 2015 on a high spatial and temporal resolution Atmos-  
3668 pheric Environment 167, 403-415, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.042>, 2017.
- 3670 Ketznel, M., Jensen, S.S, Brandt, J., Ellermann, T., Olesen, H.R., Berkowicz, R. &  
3671 Hertel, O. 2013: Evaluation of the Street Pollution Model OSPM for Measure-  
3672 ments at 12 Streets Stations Using a Newly Developed and Freely Available  
3673 Evaluation Tool. *J Civil Environ Eng*, S1:004. doi:10.4172/2165-784X.S1-004.
- 3674 Ketznel, M., Frohn, L.M., Christensen, J.H., Brandt, J., Massling, A., Andersen,  
3675 C., Im, U., Jensen, S.S., Khan, J., Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Manders, A.,  
3676 van der Gon, H.D., Kumar, P., Raaschou-Nielsen, O. (2021): Modelling ul-  
3677 trafine particle number concentrations at address resolution in Denmark from  
3678 1979 to 2018 - Part 2: Local and street scale modelling and evaluation. *Atmos-  
3679 pheric Environment*, vol. 264, 118633. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118633>.
- 3681 Khan, J., K. Kakosimos, O. Raaschou-Nielsen, J. Brandt, S.S. Jensen, T. Eller-  
3682 mann, M. Ketznel, 2018: Development and Performance Evaluation of New  
3683 AirGIS - A GIS Based Air Pollution and Human Exposure Modelling System.  
3684 Submitted to *Atmospheric Environment*.

3685 Lehtomaki, H., Geels, C., Brandt, J., Rao, S., Yaramenka, K., Astrom, S., An-  
3686 dersen, M. S., Frohn, L. M., Im, U., and Hanninen, O. 2020: Deaths Attributa-  
3687 ble to Air Pollution in Nordic Countries: Disparities in the Estimates, Atmos-  
3688 phere-Basel, 11, ARTN 467.

3689 Lelieveld, J., Klingmüller, K., Pozzer, A., Pöschl, U., Fnais, M., Daiber, A.,  
3690 Münzel, T. Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Eu-  
3691 rope reassessed using novel hazard ratio functions. *European Heart Journal*  
3692 40, 1590-1596. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz135>, 2019.

3693 Miljø- og ligestillingsministeriet, 2017: Bekendtgørelse om vurdering og sty-  
3694 ring af luftkvaliteten. Bekendtgørelse nr. 1472 af 12/12/2017 (In Danish). Kø-  
3695 benhavn, Danmark.

3696 Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Mikkelsen, M.H., Nielsen, M., Gyl-  
3697 denkærne, S., Fauser, P., Albrektsen, R., Hjelgaard, K.H. & Bruun, H.G., 2024.  
3698 Annual Danish Informative Inventory Report to UNECE. Emission invento-  
3699 ries from the base year of the protocols to year 2022. Aarhus University, DCE  
3700 - Danish Centre for Environment and Energy, 628 pp. Scientific Report No.  
3701 595.

3702 Olesen, H.R., Winther, M., Ellermann, T., Christensen, J., Plejdrup, M. 2009:  
3703 Ship emissions and air pollution in Denmark. Present situation and future  
3704 scenarios. 134 pp. Environmental Project No. 1307, 2009. Miljøprojekt. Danish  
3705 Environmental Protection Agency, Copenhagen, Denmark.

3706 Ottosen, T.-B., Kakosimos, K. E., Johansson, C., Hertel, O., Brandt, J., Skov, H.,  
3707 Berkowicz, R., Ellermann, T., Jensen, S. S. & Ketznel, M. 2015: Analysis of the  
3708 impact of inhomogeneous emissions in a semi-parameterized street canyon  
3709 model. I : Geoscientific Model Development Discussions. 8, 3231-3245, 2015.  
3710 [doi:10.5194/gmd-8-3231-2015](https://doi.org/10.5194/gmd-8-3231-2015).

3711 Plejdrup, M.S., Nielsen, O.-K., Gyldenkærne, S. & Bruun, H.G. 2021. Spatial  
3712 high-resolution distribution of emissions to air - SPREAD 3.0. Aarhus Uni-  
3713 versity, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 208 pp. Technical  
3714 Report No. 215 <http://dce2.au.dk/pub/TR215.pdf>

3715 Raaschou-Nielsen, O., E. Thorsteinson, S. Antonsen, G. J Holst, A. Tjønneland,  
3716 M. Ketznel, T. Sigsgaard, C. Geels, J. Brandt, C. B Pedersen, U. A. Hvidtfeldt,  
3717 2020 Air pollution and mortality in the Danish population - a nationwide  
3718 study. *The Lancet EClinicalMedicine*. Vol. 28, November 2020.  
3719 <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2020.100605>.

3720 Raaschou-Nielsen, O., Antonsen, S., Agerbo, E., Hvidtfeldt, U.A., Geels, C.,  
3721 Frohn, L.M., Christensen, J.H., Brandt, J., Pedersen, C.B., 2023. PM2.5 air pol-  
3722 lution components and mortality in Denmark. *Environment International*,  
3723 Volume 171, January 2023, 107685. <https://doi.org/10.1016/j.en->  
3724 [vint.2022.107685](https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107685)

3725 Roux, M.S. og Nerentorp, M. 2024. HG-data tilsendt fra Marta Segura Roux  
3726 (stedfortræder for Michelle Nerentorp), IVL Svenska Miljöinstitutet, Göte-  
3727 borg, Sverige.

3728

- 3729 Simpson, D., Benedictow, A., Berge, H., Bergström, R., Emberson, L. D.,  
3730 Fagerli, H., Flechard, C. R., Hayman, G. D., Gauss, M., Jonson, J. E., Jenkin, M.  
3731 E., Nyíri, A., Richter, C., Semeena, V. S., Tsyro, S., Tuovinen, J.-P., Valdebe-  
3732 nito, Á., and Wind, P., 2012: The EMEP MSC-W chemical transport model –  
3733 technical description, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 7825–7865,  
3734 <https://doi.org/10.5194/acp-12-7825-2012>.
- 3735 Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D., Duda, M.  
3736 G., Powers, J. G. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Ver-  
3737 sion 3 (No. NCAR/TN-475+STR). University Corporation for Atmospheric  
3738 Research. doi:10.5065/D68S4MVH
- 3739 So, R. J. T. Jørgensen, Y.-H. Lim, A. J. Mehta, H. Amini, L. H. Mortensen, R.  
3740 Westendorp, M. Ketzler, O. Hertel, J. Brandt, J. H. Christensen, C. Geels, L. M.  
3741 Frohn, T. Sigsgaard, E. V. Bräuner, S. S. Jensen, C. Backalarzj, J. E. Laursen, M.  
3742 K. Simonsen, S. Loft, T. Cole-Hunter, Z. J. Andersen, 2020. Long-term expo-  
3743 sure to low levels of air pollution and mortality adjusting for road traffic noise:  
3744 A Danish Nurse Cohort study. *Environment International*. Volume 143, Oc-  
3745 tober 2020, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105983>
- 3746 Stafoggia, M., B. Oftedal, J. Chen, S. Rodopoulou, M. Renzi, R. Atkinson, M.  
3747 Bauwelinck, J. O. Klomp maker, A. Mehta, D. Vienneau, Z. J. Andersen, T. Bel-  
3748 lander, J. Brandt, G. Cesaroni, H. Concin, K. de Hoogh, D. Fecht, J. Gulliver,  
3749 O. Hertel, B. Hoffmann, U. A. Hvidtfeldt, K.-H. Jöckel, J. Jørgensen, K.  
3750 Katsouyanni, M. Ketzler, D. T. Kristoffersen, A. Lager, K. Leander, S. Liu, P.  
3751 Ljungman, P. K. E. Magnusson, G. Nagel, G. Pershagen, A. Peters, O.  
3752 Raaschou-Nielsen, D. Rizzuto, S. Schramm, P. Schwarze, G. Severi, T.  
3753 Sigsgaard, M. Sørensen, M. Strak, A. Tjønneland, Y. T. van der Schouw, M.  
3754 Verschuren, G. Weinmayr, K. Wolf, E. Samoli, F. Forastiere, B. Brunekreef, G.  
3755 Hoek, N. A. H. Janssen, 2022. Long-term Exposure to Low Ambient Air Pol-  
3756 lution Concentrations and Cause-specific Mortality among 28 Million Subjects  
3757 – Results from seven European administrative cohorts within the ELAPSE  
3758 Project. *The Lancet Planetary Health*. Volume 6, Issue 1, January 2022, Pages  
3759 e9-e18. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00277-1](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00277-1)
- 3760 Strak, M., G. Weinmayr, S. Rodopolou, J. Chen, K. de Hoogh, Z.J. Andersen,  
3761 R. Atkinson, M. Bauwelinck, T. Bellander, J. Brandt, G. Cesaroni, H. Concin,  
3762 D. Fecht, F. Forastiere, J. Gulliver, O. Hertel, B. Hoffmann, U.A. Hvidtfeldt,  
3763 N.A.H. Janssen, K.-H. Jöckel, J. Jørgensen, M. Ketzler, J.O. Klomp maker, A.  
3764 Lager, K. Leander, S. Liu, P. Ljungman, C.J. MacDonald, P.K.E. Magnusson,  
3765 A. Mehta, G. Nagel, B. Oftedal, G. Pershagen, A. Peters, O. Raaschou-Nielsen,  
3766 M. Renzi, D. Rizzuto, Y.T. van der Schouw, S. Schramm, P. Schwarze, T.  
3767 Sigsgaard, M. Sørensen, M. Stafoggia, A. Tjønneland, D. Vienneau, K. Wolf,  
3768 K. Katsouyanni, B. Brunekreef, G. Hoek, E. Samoli, 2021. Long-term exposure  
3769 to low-level air pollution and mortality in eight European cohorts within the  
3770 ELAPSE project: pooled analysis. *BMJ*. 2021; 374; n1904 doi:  
3771 <https://doi.org/10.1136/bmj.n1904>
- 3772 Turpin, B.J. & Lim, H.-J., 2010: Species Contributions to PM2.5 Mass Concen-  
3773 trations: Revisiting Common Assumptions for Estimating Organic Mass, *Aer-  
3774 osol Science and Technology*, 35: 1, 602 – 610, First published on: 30 Novem-  
3775 ber 2010 (iFirst). DOI: 0.1080/02786820119445URL. Available at:  
3776 <http://dx.doi.org/10.1080/02786820119445>
- 3777 Vejdirektoratet, 2021: [https://www.vejdirektoratet.dk/side/trafikkens-  
3778 udvikling-i-tal](https://www.vejdirektoratet.dk/side/trafikkens-udvikling-i-tal). (Besøgt august 2021).



3779 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.  
3780 <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/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>  
3781  
3782  
3783  
3784  
3785  
3786

3787 WHO, 2014. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/> (webpage accessed 12/11-2020).  
3788

3789 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/).  
3790 <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>  
3791  
3792

3793 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).  
3794

3795 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>  
3796  
3797  
3798  
3799  
3800

3801

## Bilag 1

3802

3803

3804

3805

3806

3807

3808

3809

3810

3811

3812

I overvågningsprogrammet suppleres de permanente målinger med modelberegninger for kvælstofdioxid, PM<sub>2,5</sub>, og PM<sub>10</sub> 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).

3813

3814

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

3815

### Modelkalibrering og -validering

3816

3817

3818

3819

3820

3821

3822

3823

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 rekalibrering 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.

3824

3825

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

3826

3827

3828

3829

Sammenligning mellem model og målinger for kvælstofdioxidkoncentrationerne for 2023 viser både under- og overestimering på -34 % til 12 % for de fem gadestationer. Modelresultater for NO<sub>2</sub> viser ca. samme overensstemmelse med målingerne som i sidste års beregninger.

3830

3831

3832

3833

De modellerede årsmiddelkoncentrationerne for kvælstofdioxid er væsentligt under EU's grænseværdi på 40 µg/m<sup>3</sup>, men væsentligt over WHO's retningslinjer på 10 µg/m<sup>3</sup>, på alle gadestationer. Bybaggrund- og landbaggrundsstationer overholder WHO's nye retningslinjer.

3834

3835

**Tabel 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/H CAB / 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

3837

3838

3839

3840

3841

3842

3843

3844

3845

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 gadestationer 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-, forstads- og landbaggrundsstationer 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.

3846

3847

3848

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.

3849

3850

3851

3852

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

3853

3854

3855

3856 **Tabel A.2.** Sammenligning mellem årsmidler af modellerede (inkl. korrektion) og målte PM<sub>2,5</sub>-koncentrationer i 2023. Målinger i  
 3857 denne tabel er angivet for atmosfæriske standardbetingelser, mens tabellen i kapitel 7 giver værdier under betingelser i omgivel-  
 3858 serne. 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

3859

**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

3860

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

3861

3862

3863

3864

3865

3866

3867

3868

3869

3870

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.

3871

3872

3873

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 landstationer. Vi

3874  
3875  
3876

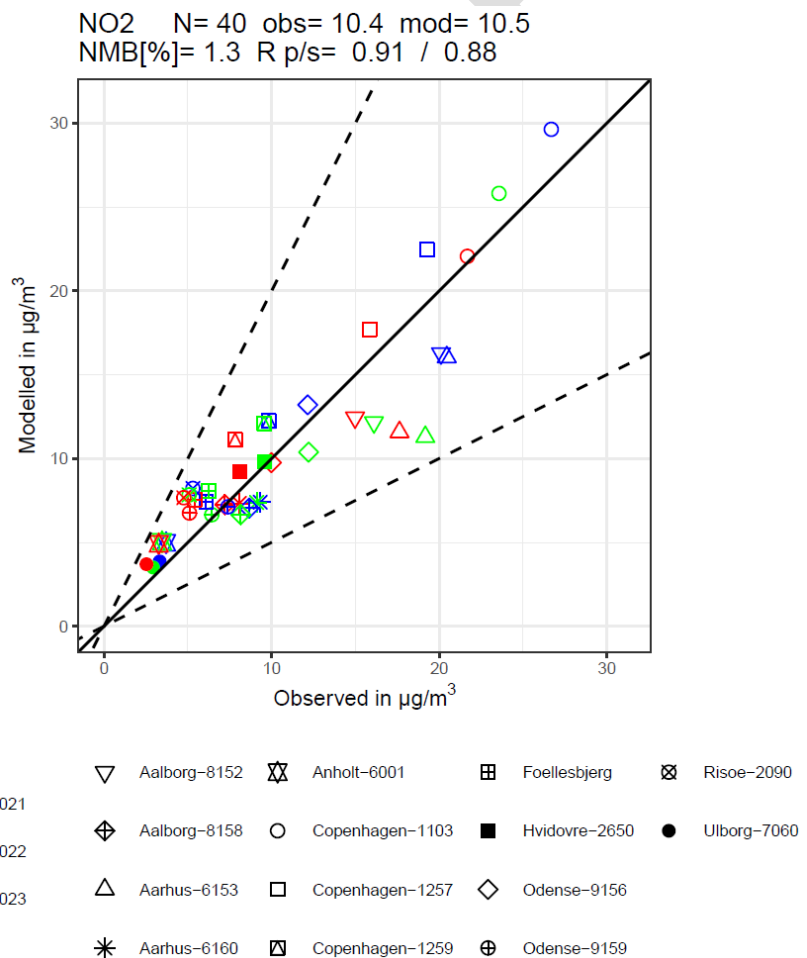
vælger at inkludere data fra tre år for at have et tilstrækkeligt antal observationer til at vurdere modelperformance med og for at udglatte udsving, som kunne optræde, hvis kun et enkelt år blev brugt.

3877  
3878

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

3879  
3880  
3881  
3882  
3883  
3884

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.

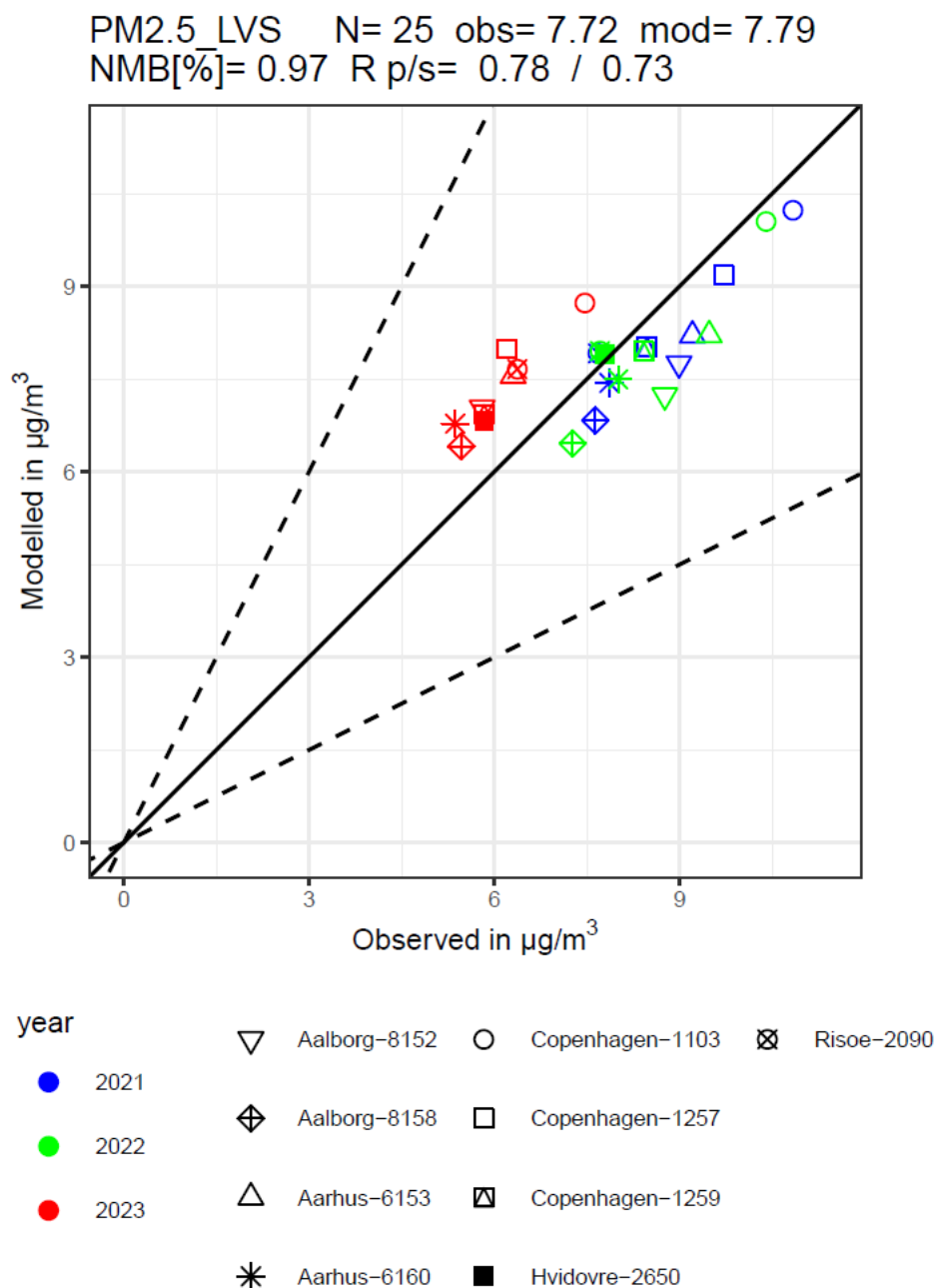


**Figur A.1.** Sammenligning mellem modellerede og målte årsmiddelkoncentrationer af kvælstofdioxid for alle stationer for 2021-2023.

3885  
3886

3887  
3888  
3889  
3890  
3891  
3892  
3893  
3894

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.



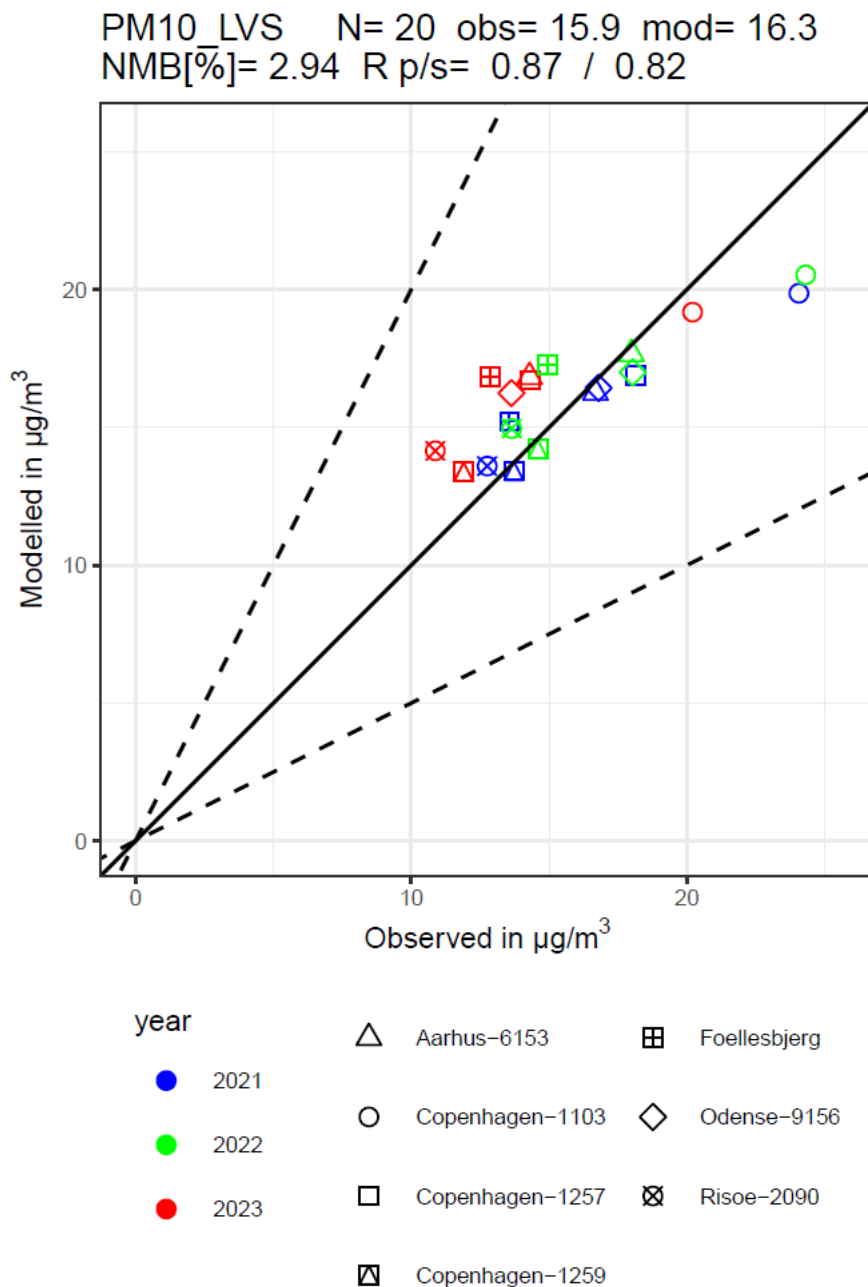
Figur A.2. Sammenligning mellem de modellerede og målte årsmiddelkoncentrationer af PM<sub>2,5</sub> for alle stationer for 2021-2023.

3895  
3896

3897  
3898  
3899  
3900  
3901  
3902  
3903

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.

3904



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

3905  
3906  
3907

# Luftkvalitet 2023

## 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<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.