

Denne artikel er udgivet i det elektroniske tidsskrift
Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet
(Proceedings from the Annual Transport Conference
at Aalborg University)
ISSN 1603-9696
<https://journals.aau.dk/index.php/td>

Kortlægning af trafikalt luftforurening og virkemiddelkatalog for Frederiksberg Kommune

Steen Solvang Jensen, Jørgen Brandt, Lise M. Frohn, Matthias Ketzler, Morten Winther, Marlene Schmidt Plejdrup, Ole-Kenneth Nielsen*

Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet, Roskilde

**Email: ssj@envs.au.dk*

Abstrakt

DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet har for Frederiksberg Kommune udarbejdet en kortlægning af luftforurening (Jensen et al., 2020a) og et virkemiddelkatalog for forbedring af luftkvaliteten (Jensen et al., 2020b). De to rapporter indgår som fagligt baggrundsmateriale for Frederiksberg Kommunes egen formulering af en luftforureningsstrategi - STRATEGI FOR REN LUFT – 2030, som blev udgivet i august 2021 (Frederiksberg Kommune, 2021). Artiklen beskriver kortlægningen af luftforureningen i Frederiksberg Kommune og dens helbredsmæssige konsekvenser. Kortlægningen indeholder en luftkvalitetsvurdering med geografisk beskrivelse af luftkvaliteten; en kildeopgørelse, som beskriver emissionen fordelt på kilder, og kildernes bidrag til luftkvaliteten; samt luftforureningens helbredseffekter og tilhørende samfundsmæssige omkostninger (eksterne omkostninger). Endvidere præsenteres et virkemiddelkatalog for reduktion af luftforurening i Frederiksberg Kommune med fokus på kommunale virkemidler inden for trafik, og en konsekvensvurdering af virkemidlerne. Virkemidler beskrives inden for indsatsområderne: By- og trafikplanlægning, elektrificering af transport, økonomiske virkemidler og regulering af transport, samt ikke-kildebaserede virkemidlers rensning af miljøet. Væsentlige lokale kilder til luftforurening er trafik og brændeovne, hvor denne artiklen alene omhandler trafik.

1. Introduktion

Luftforurening har signifikante negative effekter på menneskers helbred og velbefindende, og dette har væsentlige samfundsøkonomiske konsekvenser, ligesom luftforureningen har negative effekter for miljøet.

Denne artikel søger at svare på følgende spørgsmål:

Hvordan er luftkvaliteten i Frederiksberg Kommune i 2018, og hvordan kan den forventes at blive i fremtiden frem til 2030?

Hvordan er luftkvaliteten i forhold til gældende grænseværdier for luftkvalitet samt WHO's retningslinjer for luftkvalitet?

Hvilke kilder bidrager til luftkvaliteten, og hvor meget stammer fra Frederiksberg Kommune og uden for kommunen?

Hvad er helbredseffekterne af luftforureningen og de tilhørende samfundsmæssige omkostninger?

Hvilke primært kommunale virkemidler kan reducere luftforureningen, og hvad er effekten?

2. Metode og datagrundlag

2.1 Kortlægning af luftforureningen

Luftkvalitetsvurdering

Undersøgelsen er indledt med en luftkvalitetsvurdering, som beskriver den geografiske fordeling af baggrundskoncentrationer med en opløsning på 1 km x 1 km samt gadekoncentrationer på adresseniveau i Frederiksberg Kommune. Denne beskrivelse er baseret på data fra et nationalt datasæt, som hedder Luften på din vej (<http://luftenpaadinvej.au.dk>). Datasættet indeholder udvalgte helbredsrelaterede luftforurenende stoffer med modelberegnete årsmiddelkoncentrationer i 2012 for tre stoffer; NO_2 (kvælstofdioxid) og massen af luftbårne partikler angivet ved PM_{10} og $\text{PM}_{2,5}$, som er den samlede masse af partikler med en diameter under hhv. 10 og 2,5 mikrometer. Datasættet Luften på din vej er efterfølgende i 2021 blevet opdateret til årsmiddelkoncentrationer i 2019 (Jensen et al. 2021), som derfor ikke kunne komme med i kortlægningen af luftkvaliteten for Frederiksberg Kommune.

Endvidere opsummeres resultater af målinger fra målestationer i København i 2018, og sammenlignes med gældende grænseværdier for luftkvalitet samt WHO's retningslinjer for luftkvalitet.

Kildeopgørelse

Der er gennemført en kildeopgørelse for Frederiksberg Kommune. Den indeholder en emissionsopgørelse, hvor totale emissioner og deres fordeling på kildetyper vises, samt hvordan de er fordelt geografisk. Endvidere redegøres for kildebidragene til bybaggrundskoncentrationen, hvorved der skabes et overblik over, hvor meget de forskellige emissionskilder bidrager til koncentrationen for de forskellige stoffer. Der redegøres også for kildebidragene for 98 gader i København, hvoraf 11 gader ligger i Frederiksberg Kommune.

For hver gade er beregnet gadekoncentrationen, som består af et bidrag fra regional baggrund (beregnet med DEHM), et bidrag fra byens emissioner (beregnet med UBM) og et bidrag fra trafikemissionen i de pågældende gader (beregnet med AirGIS inklusiv OSPM). Hele modelkæden DEHM/UBM/AirGIS med tilhørende referencer er nærmere beskrevet i Jensen et al. 2021.

Helbredseffekter og relaterede eksterne omkostninger

Helbredseffekter og relaterede eksterne omkostninger er beregnet for den totale luftforurening i Frederiksberg Kommune. I den totale luftforurening indgår kilder fra Frederiksberg Kommune, alle øvrige kilder i Danmark og udlandet. Dette giver et billede af, hvad al luftforurening betyder helbredsmæssigt, uanset om det er lokale kilder eller øvrige kilder. I EVA-systemet indgår helbredseffekter af $\text{PM}_{2,5}$, NO_2 , ozon, og SO_2 (svovldioxid).

Endvidere er beregninger gennemført for hver hovedkildetype i Frederiksberg Kommune, således at det er muligt at opgøre bidraget fra de enkelte kilder, som Frederiksberg Kommune i princippet har mulighed for at regulere. Kildetyperne er de emissionssektorer, som indgår i den nationale emissionsopgørelse. Beregningerne er gennemført med det integrerede modelsystem EVA (Economic Valuation of Air Pollution (Brandt et al., 2011a,b; 2013a,b; Andersen et al., 2019), som er baseret på den såkaldte "impact-pathway" metode. EVA-systemet beregner helbredseffekter og relaterede eksterne omkostninger baseret på informationer om forureningskilder og deres placering, spredning af luftforurening samt eksponering af befolkningen, eksponering-responssammenhænge mellem eksponering og helbredseffekter samt

værdisætning af helbredseffekterne. Denne værdisætning kaldes også de eksterne omkostninger relateret til helbredseffekter fra luftforurening.

Beregningerne af luftkvaliteten er baseret på den regionale luftforureningsmodel DEHM og bybaggrundsmodellen UBM, sådan at beregninger kan udføres på 1 km x 1 km opløsning i bybaggrunden for Frederiksberg Kommune. Bybaggrundsforureningen er den generelle luftforurening i byen, og afspejler koncentrationen, som man vil opleve den i en park, en baggård eller på taget af bygninger. Bybaggrunds-koncentrationer afviger sig således fra gadekoncentrationer, som repræsenterer koncentrationerne i 2 meters højde ved husfacaden. Gadekoncentrationerne er bestemt af bybaggrunds-koncentrationen plus bidraget fra trafikken i den konkrete gade samt bygningernes indflydelse på spredningsforholdene. Bidraget fra trafikken i gader er beregnet med gadeluftkvalitetsmodellen OSPM. Beregningsåret er 2017, som er det seneste år på daværende tidspunkt, hvor der findes opdaterede emissioner for Danmark på 1 km x 1 km opløsning. I EVA-systemet indgår befolkningsdata med en geografisk opløsning på 1 km x 1 km baseret på CPR (Centrale Personregister) fra 2017.

Endvidere er der opsummeret resultater af beregninger for 2030 baseret på den forventede emissionsudvikling.

2.1 Virkemiddelkatalog

Virkemiddelkataloget for luftforurening i Frederiksberg Kommune har fokus på, hvad kommunen selv kan gøre inden for bestemte områder over for trafik. Følgende virkemidler er belyst og effektvurderet ud fra eksisterende viden om trafikken:

- By- og trafikplanlægning
- Elektrificering af transport
- Økonomiske virkemidler og regulering af transport
- Ikke-kildebaserede virkemidlers rensning af miljøet (beplantning samt vejbelægninger som reducerer partikler og NO_x).

3. Resultater

3.1 Kortlægning af luftkvaliteten

Luftkvalitetsvurdering for modellerede bybaggrunds-koncentrationer

For bybaggrunds-koncentrationer af NO₂ har Frederiksberg Kommune relativt høje koncentrationer og i store sammenhængende områder, sammenlignet med bybaggrunds-koncentrationer i de andre større byer i Danmark. De højeste koncentrationer er i København, men hele Storkøbenhavn har relativt høje koncentrationer.

Lokale kilder som vejtrafik udgør en væsentlig kilde til NO₂, og det regionale bidrag er beskedent og stammer fra langtransporteret luftforurening fra kilder i Danmark og udlandet. Skibstrafikken i Øresund giver også et bidrag.

Frederiksberg Kommune ligger i et område med nogle af de højeste bybaggrunds-koncentrationer af PM_{2,5}. PM_{2,5} er domineret af langtransport med en tydelig gradient op gennem landet fra syd til nord pga. kilder syd for Danmark, men lokale kilder spiller også en rolle.

For bybaggrunds-koncentrationer af PM₁₀ ligger Frederiksberg Kommune i et mellemområde i forhold til Danmark som helhed. PM_{2,5} er indeholdt i PM₁₀, som desuden indeholder et væsentligt bidrag fra havsalt, som kommer fra havsprøjt.

Tidligere gennemførte modelberegninger for 2016 og 2030 viser en reduktion i koncentrationerne fra 2016 til 2030, hvilket både gælder for bybaggrunds- og gadekoncentrationer. Bybaggrundskoncentrationen for NO₂ falder i basisscenariet i 2030 med 38% i forhold til 2016 på den samme placering som bybaggrunds-målestationen i København (13,8 til 8,5 µg/m³), PM_{2,5} reduceres med 20% (8,1 til 6,5 µg/m³) og PM₁₀ reduceres med 14% i forhold til 2016 (10,2 til 8,8 µg/m³). For NO₂ falder den gennemsnitlige gadekoncentration for de 98 gader i København med 48% fra 29 µg/m³ i 2016 til 15 µg/m³ i 2030 i basisscenariet, PM_{2,5} falder 23% fra 13 µg/m³ i 2016 til 10 µg/m³ i 2030, og PM₁₀ falder 14% fra 21 µg/m³ i 2016 til 18 µg/m³ i 2030.

Dette tyder således på, at WHO's retningslinjer for PM_{2,5} på 10 µg/m³ og 20 µg/m³ for PM₁₀ kan overholdes i 2030, såfremt emissionsudviklingen går som forventet og under hensyntagen til usikkerheden på modelberegningerne.

Ozonkoncentrationen forventes at stige. Ozonkoncentrationen i Danmark stiger som følge af reduktion af NO_x emissionerne i Danmark, da der dermed er mindre NO til at omdanne ozon til NO₂.

Luftkvalitetsvurdering for modellerede gadekoncentrationer

Grænseværdien for årsmiddelkoncentrationerne er 40 µg/m³ for NO₂. Beregningerne udført som del af Luften på din vej kan give et fingerpeg om grænseværdierne er overskredet. Derfor kaldes beregnede overskridelse for *indikative* overskridelser. Den officielle udmelding om overskridelser af grænseværdier foretages dog i forbindelse med den årlige rapportering under luftovervågningsprogrammet, som er baseret på målinger fra de danske målestationer (Ellermann et al., 2019). Sammenligning mellem modelresultater og målinger, viser at der er en vis usikkerhed på modelresultaterne. Derfor vil der også være betydelig usikkerhed på antallet af overskridelser. De højeste koncentrationer forekommer typisk ved meget trafik og lave rejsehastigheder samt gadeslugter. Antallet af indikative overskridelser for NO₂ i 2012 i Frederiksberg Kommune er 153 adressepunkter. Maksimumkoncentrationen er beregnet til 51,6 µg/m³. Koncentrationerne er faldet siden 2012 frem til 2018 og tilsvarende gælder for antal overskridelser.

I det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet gennemføres hvert år luftkvalitetsberegninger for 98 udvalgte gader i København baseret på bedst tilgængelige trafikdata i form af trafiktællinger. Siden 2012 har der været en faldende tendens i antallet af overskridelser af NO₂-grænseværdien fra 19 til 0 i 2017, men derefter 1 i 2018, som ikke var på Frederiksberg (Ellermann et al., 2019). Der er ikke beregnet overskridelser af grænseværdierne for PM_{2,5} og PM₁₀.

Luftkvalitetsvurdering ud fra måleprogram

I overvågningsprogrammet følges udviklingen i luftkvaliteten på en række permanente målestationer. I københavnsområdet er der følgende målestationer: To gadestationer ved hhv. H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej i København, en bybaggrundsstation på taget af H.C. Ørsted Institutet i København, en bybaggrund/forstadsstation i Hvidovre, samt en regional baggrundsstation i Lille Valby-Risø. Miljøstyrelsen har ansvaret for at grænseværdierne overholdes. Såfremt grænseværdierne overskrides, skal der udarbejdes en luftkvalitetsplan, som anviser, hvordan og hvornår overskridelsen bringes til ophør. Der er en faldende tendens i NO₂-koncentrationerne målt på både gade-, bybaggrund- og regionalstationerne fra 2012 og frem. Den faldende tendens skyldes for gadestationerne især den løbende udskiftning af bilparken, som resulterer i lavere NO_x-emissioner. Lavere danske og udenlandske emissioner bidrager også til den faldende tendens for de regionale baggrundsstationer. Der er ikke målt overskridelser på målestationerne på H.C. Andersens Boulevard og på Jagtvej i hverken 2017 eller 2018, men der har været overskridelser i forudgående år.

Der er også en faldende tendens i PM_{2,5} og PM₁₀ koncentrationerne, og grænseværdierne er ikke overskredet. Grænseværdien for PM_{2,5} er 25 µg/m³ og 40 µg/m³ for PM₁₀, begge som årsmiddelværdi.

Antallet af partikler måles også på udvalgte stationer i københavnsområdet siden 2002, selvom der ikke er en grænseværdi for antallet af partikler. Målinger gennemføres på landstation (Risø ved Roskilde), bybaggrundsstation (H.C. Ørsted Institut), H.C. Andersens Boulevard samt de seneste år også for en station i et forstadsområde (Hvidovre). Når man tæller partikler, får man et mål for ultrafine partikler (PM_{0.1} - dvs. partikler med en diameter under 0,1 mikrometer). Der er en faldende tendens i de målte koncentrationer for både gade-, bybaggrund- og regionalstationerne. Koncentrationerne af antallet af partikler er omkring halveret over måleperioden for gade- og bybaggrundskoncentrationen fra 2002 til 2015. Den faldende tendens skyldes for gadestationerne især den løbende udskiftning af bilparken, hvorved flere køretøjer fx får partikelfilter. Introduktion af miljøzoner i 2008 for tunge køretøjer har også bidraget.

Sammenligning med grænseværdier og WHO's retningslinjer i 2018

EU's grænseværdier er gældende lovgivning i Danmark via implementering i danske bekendtgørelser. Verdenssundhedsorganisation (WHO) har fremsat nogle retningslinjer for luftkvalitet (air quality guidelines). Disse retningslinjer er ikke juridisk bindende. WHO's retningslinjer er halvdelen af EU's grænseværdier for PM_{2,5} (dvs. 10 µg/m³) og PM₁₀ (dvs. 20 µg/m³), mens de er ens for NO₂ (40 µg/m³). Målte værdier overholder WHO's retningslinjer for NO₂.

I forhold til WHO's retningslinjer for PM_{2,5} er retningslinjerne overskredet i gadeniveau, i bybaggrund og i landområder. WHO's retningslinjer for PM₁₀ er kun overskredet i gaderne.

Emissionsopgørelse

For NO_x i 2017 er den største kilde vejtransport (SNAP07) (82%), mens bidraget fra brændeovne er lille (3%).

Den største kilder til partikler er brændeovne og pillefyr mv. (SNAP0202) (45%). Partikelemissionen fra brændeovne mv. er omkring dobbelt så stor som for vejtransporten. Fremskrivninger af emissioner af NO_x, PM₁₀ og PM_{2,5} viser reduktioner fra 2016 til 2030.

Kildebidrag til bybaggrundskoncentrationen

Kildebidraget er koncentrationsbidraget fra emissionskilder i Frederiksberg Kommune til gennemsnitskoncentrationen af bybaggrundsforureningen over Frederiksberg Kommune. Det er altså hvor mange mikrogram pr. kubikmeter, de enkelte emissionskilder bidrager med.

Alle kilder i Frederiksberg Kommune bidrager tilsammen med omkring 1 µg/m³ til bybaggrundskoncentrationen for NO₂, hvilket svarer til omkring 7%. Modsat gælder, at omkring 14 µg/m³ eller 93% kommer fra kilder uden for Frederiksberg Kommune (kilder i Danmark og udlandet omfattende den nordlige halvkugle).

Vejtrafikken inden for Frederiksberg Kommune udgør det største bidrag med omkring 0,8 µg/m³ for NO₂ til bybaggrundsforureningen svarende til omkring 5%. International søfart inden for 25 km er særskilt beregnet, og bidrager med omkring 0,3 µg/m³ for NO₂ eller omkring 2% af bybaggrundskoncentrationen i 2017.

Hvis vi alene ser på den procentvise fordeling af de lokale emissionskilder inden for Frederiksberg Kommune, er vejtransport den største kilde, da den bidrager med omkring 82% for NO₂. Brændeovne bidrager kun med omkring 3% for NO₂.

De lokale kilder i Frederiksberg Kommune udgør sammenlagt omkring 0,55 µg/m³ for PM₁₀ og 0,25 µg/m³ for PM_{2,5} (hhv. 3 % og 2 % af bybaggrundsforureningen). Modsat gælder, at omkring 15,3 µg/m³ eller 97% for PM₁₀ kommer fra kilder uden for Frederiksberg Kommune (kilder i Danmark og udlandet omfattende den nordlige halvkugle). De tilsvarende tal for PM_{2,5} er 11,2 µg/m³ eller 98%.

Brændeovne udgør det største lokale bidrag til partikelforurening med 0,25 µg/m³ for PM₁₀ og 0,12 µg/m³ for PM_{2,5} svarende til hhv. 1,6 % og 1,1 % af bybaggrundsforureningen for hhv. PM₁₀ og PM_{2,5}. Vejtransport udgør det andet største lokale bidrag til partikelforurening med 0,13 µg/m³ og 0,05 µg/m³ svarende til 0,8% og 0,5% af bybaggrundsforureningen for hhv. PM₁₀ og PM_{2,5}.

Hvis vi alene ser på den procentvise fordeling af de lokale emissionskilder inden for Frederiksberg Kommune, er brændeovne mv. den største kilde, da den bidrager med 45% og 50% for hhv. PM₁₀ og PM_{2,5}. Den anden største kilde er vejtrafikken, som bidrager med 24% og 22% for hhv. PM₁₀ og PM_{2,5}. Brændeovne bidrager således mest til partikler og vejtransport mest til NO₂.

Kildebidrag til gadekoncentrationer

Der er gennemført beregninger af kildebidrag til NO₂-koncentrationen fordelt på køretøjskategorier for 98 gader i København i 2018 - dvs. samme gader, som indgår i den nationale overvågning af luftkvalitet. For hver gade er beregnet gadekoncentrationen, som består af et bidrag fra regional baggrund (beregnet med DEHM), et bidrag fra byens emissioner (beregnet med UBM) og et bidrag fra trafikemissionen i de pågældende gader (beregnet med OSPM). Det koncentrationsbidrag, som trafikken i en gade giver anledning til, kaldes gadebidraget, dvs. det er gadekoncentrationen minus bybaggrundskoncentrationen. Størrelsen af gadebidraget afhænger primært af årssdøgntrafikken, men også af køretøjsfordelingen, rejsehastigheden og gadegeometrien. Den gennemsnitlige køretøjsfordeling for de 98 gader er 80% personbiler, 15% varebiler, og 5% lastbiler og busser. Da køretøjsfordelingen er forskellig fra gade til gade, vil der også være forskelle i kildefordelingen fra gade til gade.

Hvis vi betragter gadebidraget, er det generelle billede for NO₂, at personbiler bidrager mest. I gennemsnit udgør personbiler 52% af gadebidraget, varebiler udgør 26%, lastbiler udgør 6% og busser udgør 17%. Den tunge trafik (lastbiler og busser) bidrager således med omkring 23%. På trods af at lastbiler og busser kun udgør omkring 5% af trafikken bidrager de relativt meget, da emissionsfaktorerne for lastbiler og busser er væsentligt højere end for person- og varebiler. Bidraget fra busser er dog noget mindre end indikeret ovenfor pga. eftermontering af SCRT (kombineret NO_x-katalysator og partikelfilter) på omkring 300 bybusser i København (Jensen et al., 2016). Dette er ikke indregnet for de 98 gader, da det ville kræve oplysninger om, hvor de enkelte SCRT busser kører i forhold til de 98 gader.

For Jagtvej ved målestationen er der i nærværende projekt gennemført en detaljeret opgørelse af trafikens bidrag til PM₁₀ og PM_{2,5} underopdelt på udstødning og ikke-udstødning. Ikke-udstødning omfatter mekanisk dannede partikler fra vejslid, dækslid, bremseslid samt ophvirvling heraf. Ikke-udstødningsdelen udgør langt den største del af partikelmassen fra trafikken. For PM₁₀ udgør udstødning omkring 15% og ikke-udstødning omkring 85%. For PM_{2,5} er det hhv. omkring 27% og 73%.

For tidlige dødsfald og sygelighed

Det totale årlige antal tilfælde af for tidlige dødsfald i 2017 er omkring 76 i Frederiksberg Kommune på baggrund af udendørs luftforureningsniveauer baseret på både danske og udenlandske emissionskilder. For tidlige dødsfald skyldes overvejende dødsfald forårsaget af langtidspåvirkning af partikelforurening, men også af udsættelse for NO₂. Akutte dødsfald udgør en mindre del af de samlede antal dødsfald, og skyldes kortere tidsperioder med forhøjede koncentrationer fx af ozon. En lille del skyldes SO₂. Skadevirkningerne af langtidspåvirkning af partikelforurening ophobes gennem hele livet fra fødsel til død hos alle, der er udsat for den. Langtidspåvirkningen kan være med til at fremkalde hjertekarsygdomme og luftvejslidelser. Derfor ses dødsfaldene især hos personer, der har været udsat for påvirkning i mange år, dvs. hos ældre og personer, der er særligt følsomme pga. forudbestående sygdomme. Spædbørn er også særligt følsomme, men dødsfald blandt spædbørn udgør en meget lille del.

Antallet af for tidlige dødsfald som følge af langtidspåvirkning er en beregnet indikator ud fra antallet af tabte leveår. Et for tidligt dødsfald som følge af langtidspåvirkning svarer til 10,6 tabte leveår, og dette

lægger til grund for værdisætningen og beregningen af omkostningerne af for tidlige dødsfald som følge af langtidspåvirkning. Omkostningerne ved for tidlige akutte dødsfald som følge af korttidspåvirkning af luftforurening baseres på værdien af et statistisk liv.

Der er mange flere tilfælde af sygelighed, end der er tilfælde af for tidlige dødsfald. Eksempelvis er der omkring 71.000 dage med nedsat aktivitet (sygedage) som følge af luftforureningen i Frederiksberg Kommune. I beregningerne dækker sygelighed over hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser og hjertekarsygdomme, kronisk bronkitis og astma, samt dage med tabt arbejde og nedsat aktivitet (sygedage). Selvom gældende grænseværdier for partikler, NO₂ og ozon ikke er overskredet, er der stadigvæk en betydelig helbredsbyrde, da der også er helbredseffekter under grænseværdierne, som det fremgår af ovenstående. Helbredseffekter af al luftforurening er vist i Tabel 1.

Tabel 1. Helbredseffekter i Frederiksberg Kommune pga. den totale luftforurening, dvs. både danske og udenlandske kilder i 2017.

Dødelighed	
For tidlige dødsfald fra korttidseksposering (PM _{2,5} , SO ₂ , NO ₂ , O ₃)	24
For tidlige dødsfald fra langtidseksposering (PM _{2,5} , NO ₂)	52
Dødsfald blandt spædbørn (PM _{2,5})	0
Totalt antal for tidlige dødsfald (PM _{2,5} , NO ₂ , O ₃ , SO ₂)	76
Sygelighed	
Hospitalsindlæggelser for åndedrætsbesvær (PM _{2,5} , NO ₂ , O ₃)	71
Hospitalsindlæggelser for hjerte-kar sygdomme (PM _{2,5} , O ₃)	15
Episoder med astma blandt børn (PM _{2,5})	6
Episoder med bronkitis (PM _{2,5})	60
Episoder med bronkitis børn (PM _{2,5})	352
Dage med tabt arbejde (PM _{2,5})	22
Dage med nedsat aktivitet (sygedage) (PM _{2,5})	71398
Dage med delvist nedsat aktivitet (O ₃)	7
Lungecancer (PM _{2,5})	1

Helbredseffekter i Frederiksberg Kommune fordelt på lokale emissionskilder

Det er undersøgt, hvor meget de lokale emissionskilder i Frederiksberg Kommune bidrager til helbredseffekterne i Frederiksberg Kommune. Formålet med disse beregninger er at kvantificere, hvad de lokale emissionskilder i Frederiksberg Kommune betyder for helbredseffekterne i Frederiksberg Kommune.

Der er ca. 2 for tidlige dødsfald, som kan tilskrives emissionskilder i Frederiksberg Kommune i 2017. Sættes dette i forhold til det totale antal for tidlige dødsfald (76) pga. al luftforurening fra danske og udenlandske kilder, bidrager kilder i Frederiksberg Kommune til omkring 3% af alle for tidlige dødsfald i 2017. Dette betyder også, at omkring 97% af alle for tidlige dødsfald i Frederiksberg Kommune skyldes emissioner uden for Frederiksberg Kommune.

De to største lokale kilder til for tidlige dødsfald er vejtrafik (0,8 i 2017) og brændeovne (0,8 i 2017). Emissioner fra Frederiksberg Kommune vil også give anledning til for tidlige dødsfald uden for kommunegrænsen, hvilket ikke er kvantificeret.

Helbredseffekter i Frederiksberg Kommune pga. lokale kilder er vist i Tabel 2.

Tabel 2. Helbredseffekter i Frederiksberg Kommune pga. og fordelt på lokale emissionskilder i Frederiksberg Kommune efter SNAP-kode i 2017 (kun emissionskilder i Frederiksberg Kommune samt søfart op til 25 km fra kommunen). Enhed: Antal tilfælde.

SNAP kode	1	2	3	4	5	6	7	802	805	80806-11	9	10	Int. søfart	I alt
Beskrivelse	Kraft- varme mv.	Ikke-industriel forbr. mv.	Fremstilling mv.	Industrielle processer	Udvinding mv.	Anv. af produk- ter	Vejtransp ort	Jernba- ne	Flytrafi k	Ikke- vejgåend e	Affaldsbeha- ndling	Landb rug		
Dødelighed														
For tidlige dødsfald fra														
korttidseksposering	0	0,1	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,1	0,8
For tidlige dødsfald fra														
langtidseksposering	0	0,8	0	0	0	0,2	0,3	0	0	0,1	0,2	0	0	1,4
Dødsfald blandt spædbørn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totalt antal for tidlige dødsfald	0	0,8	0	0	0	0,2	0,8	0	0	0	0,2	0	0,2	2,2
Sygelighed														
Hospitalsindlæggelser for														
åndedrætsbesvær	0	0,4	0	0	0	0,1	2,5	0,1	0	0,2	0,1	0	0,8	3,4
Hospitalsindlæggelser for														
hjerter-kar sygdomme	0	0,3	0	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0,6
Episoder med astma blandt														
børn	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
Episoder med bronkitis	0,1	0,9	0	0,1	0	0,2	0,4	0	0	0,1	0,2	0	0,1	1,9
Episoder med bronkitis børn	0	2,6	0	0,1	0	0,6	1,2	0	0	0,1	0,6	0	0,1	5,2
Dage med tabt arbejde	0	0,3	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0,4
Dage med nedsat aktivitet														
(sygedage)	6,7	935	2,7	18	0	205	421	4,1	0,9	41	216	0,7	27	1844
Dage med delvist nedsat														
aktivitet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lungecancer	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1

Eksterne omkostninger pga. al luftforurening

De totale eksterne omkostninger i Frederiksberg Kommune pga. al luftforurening fra både danske og udenlandske emissionskilder er omkring 1,5 milliarder kr. i 2017.

De eksterne omkostninger skyldes primært partikler og NO₂. Partikler omfatter primært emitterede partikler (PPM_{2,5}), sekundært dannede uorganiske partikler (nitrat, sulfat og ammonium, tilsammen kaldet SIA – Secondary Inorganic Aerosols), sekundært dannede organiske partikler (SOA) og havsalt (SS). De eksterne omkostninger pga. partikler er i alt 1,2 milliarder kr. i 2017 og 275 mio. kr. for NO₂. Ozon og SO₂ bidrager kun med hhv. 19 og 5 mio. kr. Ozon er ikke direkte emitteret, men dannes i atmosfæren ud fra emissioner af NO_x (kvælstofoxider), kulbrinter og CO (kulilte). Ozon er helbredsskadeligt, og er derfor også forbundet med eksterne omkostninger. Bemærk at NO_x emissioner i Frederiksberg Kommune bidrager til reduktion af ozon i Frederiksberg Kommune, og de eksterne omkostninger for ozon knyttet til kilder i Frederiksberg Kommune har derfor et negativt fortegn. Hovedparten af de eksterne omkostninger skyldes for tidlige dødsfald, da værdisætningen for disse er relativt høj i forhold til fx sygelighed og sygedage.

De eksterne omkostninger pga. al luftforurening er opsummeret i Tabel 3.

Tabel 3. Totale eksterne omkostninger pga. den totale luftforurening i Frederiksberg Kommune pga. al luftforurening både fra danske og udenlandske emissionskilder i 2017 samt andelen forårsaget af emissioner i Frederiksberg Kommune (mio. kr.).

	Total	SO ₂	O ₃	NO ₂	PPM _{2,5}	SIA/SOA/SS
Total (inkl. alle kilder på den nordlige halvkugle)	1.487	5	19	275	315	873
Frederiksberg Kommune - alle kilder i kommunen	45	0	-1	18	29	-
%-andel pga. emissioner i Frederiksberg Kommune	3%	8%	-5%	6%	9%	-

Eksterne omkostninger af lokale emissionskilder

De to vigtigste lokale kilder i Frederiksberg Kommune til helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Frederiksberg Kommune er vejtrafik, som står for omkring 20 mio. kr. af de eksterne omkostninger, og brændeovne med 14 mio. kr. i 2017. Andre kildetyper, som giver et vist bidrag er affaldsbehandling med omkring 4 mio. kr., anvendelse af produkter (emissioner fra opløsningsmidler og emissioner fra industriens og befolkningens brug af produkter som fx kemikalier og maling) med omkring 3 mio. kr., og maskiner og redskaber i industri – inklusiv ikke-vejgående maskiner med omkring 1,5 mio. kr.

De eksterne omkostninger af lokale emissionskilder er opsummeret i Tabel 4.

Tabel 4. Eksterne omkostninger for Frederiksberg Kommune pga. de lokale emissionskilder i Frederiksberg Kommune i 2017 fordelt på NO₂, O₃, PPM_{2,5} og SIA/SOA/SS og yderligere underopdelt på de forskellige emissionskategorier (SNAP-kategorier). Alle eksterne omkostninger er angivet i mio. kr.

SNAP kode	Sektor	Total	SO ₂	O ₃	NO ₂	PPM _{2,5}	SIA/SOA/SS
SNAP01	Kraftvarme- og fjernvarmeværker, herunder affaldsforbrændingsanlæg	0,4	0,0	0,0	0,3	0,1	-
SNAP0201	Ikke-industriel forbrænding, handel og service	1,0	0,0	0,0	0,1	0,8	-
SNAP0202	Ikke-industriel forbrænding, husholdninger	14,1	0,0	0,0	0,5	13,6	-
SNAP0203	Ikke-industriel forbrænding, f.eks. forbrænding i husholdninger og handel og service	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
SNAP03	Fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	-
SNAP04	Industrielle processer	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	-
SNAP05	Udledninger i forbindelse med udvinding, behandling, lagring og transport af olie og gas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
SNAP06	Anvendelse af produkter	3,2	0,0	0,0	0,0	3,2	-
SNAP07	Vejtransport	20,2	0,0	-0,8	14,6	6,5	-
SNAP0801	Militær	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
SNAP0802	Jernbaner	0,5	0,0	0,0	0,5	0,1	-
SNAP080402	National søfart	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
SNAP080403	Nationalt fiskeri	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
SNAP080501	National LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
SNAP080502	International LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
SNAP080503	National flytrafik (> 3000 fod) Luftfart - kun lufthavnstrafik	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	-
SNAP0806	Maskiner og redskaber i landbrug	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
SNAP0807	Maskiner og redskaber i skovbrug	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
SNAP0808	Maskiner og redskaber i industri – inklusiv ikke-vejgående maskiner	1,5	0,0	0,0	1,0	0,6	-
SNAP0809	Maskiner og redskaber i have/hushold	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
SNAP0811	Maskiner og redskaber i handel og service	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-
SNAP09	Affaldsbehandling, eksklusiv affaldsforbrænding	3,7	0,2	0,0	0,2	3,3	-
SNAP3B	Landbrug, husdyrgødning	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
SNAP3D	Landbrug, landbrugsjorde	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
SNAP3F	Landbrug, øvrigt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
Subtotal	Frederiksberg kommune - alle kilder i kommunen	45,5	0,4	-1,0	17,6	28,5	-
SNIP	International skibstrafik Øresund	5,6	0,0	-0,2	5,3	0,4	-
Subtotal	Kilder uden for Frederiksberg Kommune (DK, udland, ekskl. SNIP)	1.436	5	20	253	286	
Total	Total (inkl. alle kilder på den nordlige halvkugle)	1.487	5	19	275	315	873
Total	%-andel pga. emissioner i Frederiksberg Kommune	3	8	-5	6	9	-

3.2 Virkemiddelkatalog

Forslag til målsætning for Frederiksberg Kommune

Frederiksberg Kommune kan bibeholde sin nuværende langsigtede målsætning om "at sikre en luftkvalitet så ren, at borgernes sundhed ikke belastes".

Det skal dog bemærkes, at selv uden menneskeskabte kilder kan der forventes helbredseffekter af naturskabte emissionskilder, så i absolut betydning er det sandsynligvis ikke muligt at have en luftkvalitet uden nogen som helst helbredseffekt for borgerne, men målet er at komme ned på en minimal og acceptabel helbredsbelastning.

Det foreslås, at Frederiksberg Kommune konkretiserer målsætningen i form af et mål om at overholde WHO's retningslinjer for luftkvalitet i lighed med de krav som C40 byerne har opstillet i en erklæring om ren luft. C40 organiserer 94 af verdens klimavenlige storbyer:

- Frederiksberg Kommune udarbejder inden for to år en baseline og opsætter mål for reduktion af luftforurening, som på sigt kan medvirke til, at WHO's retningslinjer for luftens indhold af stoffer kan overholdes.
- Frederiksberg Kommune udarbejder inden 2025 en plan for, hvordan WHO's vejledende grænseværdier kan overholdes og igangsætter indsats, som betydeligt reducerer forureningen fra de største forureningskilder i byen.

En overholdelse af dette mål vil blive understøttet af den forventede reduktion i koncentrationerne, men sandsynligvis også kræve reduktion af trafikken på de mest trafikerede gader. Det vil også kræve en løbende monitorering af målopfyldelsen, og tiltag som kan understøtte målopfyldelsen.

Københavns Kommune har i forbindelse med C40 møde i København i oktober 2019 tilsluttet sig C40 byernes erklæring om ren luft.

Efter at EU's grænseværdier for luftkvalitet er overholdt siden 2017 er et næste naturligt skridt at stræbe efter at overholde WHO's retningslinjer, da dette yderligere vil reducere helbredsbelastningen ved luftforurening. Endvidere er der lagt op til en forpligtigende og vedholdende indsats med udarbejdelse af baseline, mål og planer for overholdelse. Endelig kunne der være synergieffekter med Københavns Kommune, som har samme målsætning.

Overordnet strategi for reduktion af luftforurening

Helt overordnet er der fire måder at reducere helbredseffekten af luftforurening på:

- Emissionsreduktion ved kilde
- Fortynding af luftforureningen for reduceret eksponering
- Adskillelse af emissionskilde og modtager for reduceret eksponering
- Rensning af luften i det eksterne miljø

Emissionsreduktion sker ved selve kilden. Det kan være i form af rensning, fx partikelfilter eller gennem anvendelse af renere teknologi, som fx elbiler eller gennem reduktion af aktiviteten fx mindre trafik. Emissionsreduktion er typisk det mest effektive, fordi det sker ved kilden, og dermed forhindrer følgevirkningen af emissionen.

Fortynding kunne fx være ved at hæve højden på en skorsten, hvorved forureningen fortyndes i en større luftmængde efter udledning inden den når ned til jordoverfladen, og dermed resulterer i lavere koncentrationer ved jordoverfladen, hvor befolkningen udsættes for forureningen. Derved reduceres også de tilknyttede helbredseffekter lokalt. Emissionen reduceres ikke men fortyndes kun, men bidrager til at reducere eksponering for luftforureningen. Fortyndingsstrategien var en meget udbredt strategi i den tidlige miljøbekæmpelse i forbindelse med fx luftforurening fra skorstene, men er ikke længere en strategi, som kan stå alene.

Adskillelse af emissionskilde og modtager er en måde at reducere befolkningens eksponering for luftforurening, da emissionen er blevet mere fortyndet pga. den længere afstand. Det kunne fx være lokalisering af følsomme byfunktioner. Følsomme byfunktioner er fx børneinstitutioner, hospitaler, plejehjem etc., hvor risikogrupper i forhold til luftforurening opholder sig. Det er derfor hensigtsmæssigt, at

der i lokaliseringen af disse funktioner lægges vægt på, at de så vidt muligt ikke ligger på stærkt trafikerede gader med forhøjet luftforurening.

Rensning af selve miljøet er en relativt ny tilgang, hvor det er selve luften, som forsøges renses. Et eksempel herpå er belægninger med stoffet titaniumdioxid (TiO₂), som fungerer som en katalysator, som oxiderer NO_x til nitrat. Nitraten afsættes og udvaskes med vejvandet efter nedbør, og vejvandet føres oftest til rensningsanlæg. En af udfordringerne ved at rense luften i det omgivende miljøet er, at emissionen er fortyndet i store mængder luft. Derfor er der tale om lave koncentrationer, som det er vanskeligt effektivt at rense.

Oversigt over virkemidler

I Tabel 5 er det forsøgt at opsummere effekterne af de enkelte virkemidler. Dette er gjort for emission og luftkvalitet samt sideeffekter for drivhusgasser (klima) og støj. Der er tale om en kvalitativ og relativ konsekvensvurdering af de forskellige virkemidler med udgangspunkt i beskrivelserne af effekterne for de enkelte virkemidler i rapporten om virkemiddelkataloget. "X" indikerer meget lille effekt, "XX" lille effekt, "XXX" mellem effekt, "XXXX" stor effekt, og "XXXXX" meget stor effekt. Med stjerne (*) fra 1 til 5 er det forsøgt at opsummere effekten, hvor 1 stjerne er mindst effekt og 5 stjerner størst effekt. De primære aktører i forhold til virkemidlet er også indikeret med gruppering i stat, kommune og F&U (Forskning og Udvikling).

Tabel 5. Oversigt over potentialet for effekt af virkemidler for trafik samt tilhørende aktører.

Type regulering:	Effekter			Sideeffekter		Aktør			
	Effekt for:	Emission	Luftkvalitet	I alt	Klima	Støj	Stat	Kommune	F&U
Byplanlægning									
Overordnet by- og trafikplanlægning	X	X	*	X	X			X	
Indretning af byrum		X	*			X		X	
Lokalisering af miljøfølsomme funktioner		X	*			X		X	
Trafikplanlægning									
Trafikmængde og hastighed	XX	XX	**	X	X			X	
Metro og bustrafik	XX	XX	**	X	X			X	
Cykeltrafik	XX	XX	**	X	X			X	
Delebiler	X	X	*	X	X			X	
Elektrificering af transport									
Personbiler	XXXXX	XXXXX	*****	X	X	X	X	X	X
Varebiler	XXX	XXX	***	X	X	X	X	X	X
Lastbiler	XXX	XXX	***	X	X			X	X
Busser	XX	XX	**	X	X			X	X
Økonomiske virkemidler og regulering af køretøjer									
Miljøzoner	XXXX	XXXX	****				X		
Entreprenør- og arbejdsmaskiner	X	X	*	X	X	X	X	X	
Trængselsringen	XX	XX	**	X	X	X			
Road pricing	XX	XX	**	X	X	X			
Parkeringsafgifter afhængig af Euronorm	X	X	*					X	
Rensning af miljøet – Ikke-kildebaserede virkemidler									
Træer og beplantning		X	*	X				X	
NO _x -reducerende belægninger		X	*					X	
Partikelreducerende vejbelægning mv.		X	*						X

By- og trafikplanlægning

Effekten af virkemidler inden for by- og trafikplanlægning er ikke scoret så højt, da effekten af de enkelte tiltag vurderes at være relativ lav. Men by- og trafikplanlægning er kendetegnet ved vedholdende at foregå over lang tid med mange måske mindre initiativer, som tilsammen har skabt et tæt byområde med mange mennesker på et forholdsvis lille område, så mange byfunktioner er inden for kort afstand med det resultat, at gang/cykel og kollektiv trafik har en meget høj andel af ture på Frederiksberg. Endvidere skaber det gode betingelser for kollektiv trafik herunder metro, som igen er betingelser for større udbredelse af delebiler.

Elektrificering af vejtransport

Elektrificering af vejtransport er det virkemiddel, som har det største potentiale i forhold til denne sektor, da elektrisk drift helt vil fjerne udstødning. Hvis eksempelvis al udstødning kunne fjernes (fx ved 100% elbiler) ville dette fjerne al udstødning. Men foreløbige vurderinger tyder på, at overgang til elbiler samlet set vil føre til ingen eller lille reduktion af PM₁₀, forbi reduceret udstødning opvejes af flere partikler fra ikke-udstødning, da elbiler er tungere end fossibiler, og dermed har højere vej- og dækemissioner (Timmers & Achten, 2016). Ikke-udstødning er en samlet betegnelse for vej-, dæk og bremseslid. Både udstødnings- og ikke-udstødningspartikler er helbredsskadelige, men meget tyder på at udstødning er mere helbredsskadelig end ikke-udstødning (Rohr & Wyzga, 2012). Det kræver reduktion af selve trafikken for at reducere trafikens bidrag til ikke-udstødningspartikler.

Skærpede miljøzoner

Miljøzoner rummer mulighed for at være effektive afhængig af, hvilke emissionskrav der stilles. Størst effekt opnås ved at stille krav til alle køretøjsgrupper og kræve overholdelse af den reneste emissionsnorm (Euro 6) så tidligt som muligt. De nuværende miljøzoner i de fire større byer vil ende med at stille krav om Euro 6 for varebiler i 2025 og lastbiler og busser i 2022, mens personbiler ikke er omfattet.

Trængselsring og road pricing

Trængselsring og road pricing rummer mulighed for at reducere trængsel og også samlet reducere trafikken noget. Tidligere undersøgelser har nået frem til følgende.

Afhængig af scenarie reducerede den foreslåede trængselsring trafikken med 13-25% i København, men havde også en reducerende effekt på trafikken uden for trængselsringen.

Den forventede trafikale effekt af road pricing afhænger af størrelsen af kørselsafgiften, og at trafikarbejdet reduceres med 7-13% med de foreslåede kørselsafgifter. Road pricing begrænser særligt personbiltrafikken, og har mindre effekt på vare- og lastbiltrafikken. Effekten er påvirket af, at det primært er personbiltrafikken, som påvirkes af afgifter, da den er mest prisfølsom, og emissionen pr. personbil er ikke så stor som for varebiler, lastbiler og busser. Et enkelt studie har modelleret den trafikale effekt af trængselsafgifter, hvor trafikken reduceres med hhv. 12% og 5,5% i morgen- og eftermiddags-myldretiderne, og dermed 7,8% over hele perioden.

NO_x reducerende belægninger

Titaniumdioxid (TiO₂) indlejret eller påført belægninger kan omdanne NO_x til nitrat i en katalytisk proces. DCE har fornyligt gennemført et review-studie af effekten baseret på 115 videnskabelige artikler. Effekten er meget beskeden i udeluft, meget varierende og først og fremmest usikker, og der er ikke dokumentation for langtidseffekt (Frederickson et al., 2021). Resultaterne er endvidere publiceret i en videnskabelig artikel (Russel et al., 2021).

Referencer

Andersen, M.S., Frohn, L.M., Brandt, J. (2019): Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 3.0. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi Dato: 14. marts 2019. 22 s.

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

Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. H. Bønløkke, T. Sigsgaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E. Kaas and L. M. Frohn (2011b): EVA – en metode til kvantificering af sundhedseffekter og eksterne omkostninger. Temanummer om helbredseffekter af vedvarende energi. Sundhedsstyrelsens Rådgivende Videnskabelige Udvalg for Miljø og Sundhed. Formidlingsblad 17. årgang, suppl. 1, okt. 2011, pp 3-10.

Brandt, J., Silver, J. D., Christensen, J. H., Andersen, M. S., Bønløkke, J. H., Sigsgaard, T., Geels, C., Gross, A., Hansen, A. B., Hansen, K. M., Hedegaard, G. B., Kaas, E., and Frohn, L. M. (2013a): Contribution from the ten major emission sectors in Europe and Denmark to the health-cost externalities of air pollution using the EVA model system – an integrated modelling approach, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 7725-7746, <https://doi.org/10.5194/acp-13-7725-2013>.

Brandt, J., Silver, J. D., Christensen, J. H., Andersen, M. S., Bønløkke, J. H., Sigsgaard, T., Geels, C., Gross, A., Hansen, A. B., Hansen, K. M., Hedegaard, G. B., Kaas, E., and Frohn, L. M. (2013b): Assessment of past, present and future health-cost externalities of air pollution in Europe and the contribution from international ship traffic using the EVA model system, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 7747-7764, <https://doi.org/10.5194/acp-13-7747-2013>.

Brandt, J., Andersen, M. S., Bønløkke, J. H., Christensen, J. H., Ellermann, T., Hansen, K. M., Hertel, O., Im, U., Jensen, A., Jensen, S. S., Ketzel, M., Nielsen, O.-K., Plejdrup, M. S., Sigsgaard, T., Geels, C. (2016b): Helbredseffekter og eksterne omkostninger fra luftforurening i Danmark over 37 år (1979-2015). *Miljø og sundhed*, 22. årgang, nr. 1, september 2016.

Ellermann, T., Brandt, J., Frohn, L.M., Geels, C., Christensen, J.H., Ketzel, M., Jensen, S.S., Nordstrøm, C., Nøjgaard, J.K., Nygaard, J., Monies, C., Nielsen, E, I. (2019): Luftkvalitet og helbredseffekter i Danmark, status 2018. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi Dato: 11-06-2019.

Frederickson, L. B., Russell H. S., Hertel, O., Ellermann, T., Jensen S. S. 2021. Effekt for luftkvaliteten af fotokatalytiske belægninger. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 58 s. - Videnskabelig rapport nr. 448. <http://dce2.au.dk/pub/SR448.pdf>

Frederiksberg Kommune (2021): STRATEGI FOR REN LUFT - 2030. August 2021. 29 s.

Jensen, S.S., Ketzel, M., Ellermann, T., Winther, M., (2016): Luftkvalitetsvurdering af SCRT på bybusser i København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 30 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 192. <http://dce2.au.dk/pub/SR192.pdf>

Jensen, S. S., Brandt, J., Frohn, L.M., Ketzel, M., Winther, M., Plejdrup, M.S., Nielsen, O.-K. (2020a): Kortlægning af luftforureningen i Frederiksberg Kommune. DCE-Nationalt Center for Miljø og Energi, Videnskabelig rapport nr. 342, <http://dce2.au.dk/pub/SR342.pdf>

Jensen, S.S., Winther, M., Plejdrup, M.S., Nielsen, O.-K., Brandt, J., Ketzel, M. (2020b): Virkemiddelkatalog for begrænsning af luftforurening på Frederiksberg, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 97 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 346, <http://www.dmu.dk/Pub/SR346.pdf>

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

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

Russell, H.S.; Frederickson, L.B.; Hertel, O.; Ellermann, T.; Jensen, S.S. A Review of Photocatalytic Materials for Urban NO_x Remediation. Catalysts 2021, 11, 675. <https://doi.org/10.3390/catal11060675>

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