

Sundhed og luftforurening i København

Årsrapport 2021



Indholdsfortegnelse

1 / Forord	3
2 / Hovedkonklusioner	5
3 / Øget viden om sundhedskonsekvenser af luftforurening i Københavns Kommune	6
4 / Ekspertgruppens arbejde og anbefalinger	15
5 / Anbefalinger om sundhed og luftforurening fra Verdenssundhedsorganisationen (WHO)	19
6 / Status på viden om luftforurening og sundhed i Københavns Kommune	25
7 / Mere viden om luftforurening – og et stort forebyggelsespotentiale	36
8 / Eksponering for sundhedsskadelig luftforurening på gadeniveau	41
9 / Opsamling – status på sundhed og luftforurening i København	45
Bilag	50



2 / HOVEDKONKLUSIONER

'Sundhed og luftforurening i København 2021' har følgende hovedkonklusioner, der er nærmere beskrevet og uddybet i rapporten:

- WHO's nye retningslinjer for luftkvalitet har et budskab om, at luftforurening forårsager betydelige skader på menneskers sundhed ved lavere niveauer end hidtil antaget. For at beskytte menneskers sundhed anbefaler WHO derfor markant lavere niveauer af luftforurening i forhold til tidligere
- Der er ifølge WHO ikke en nedre grænse for partiklers sundhedsskadelige effekter. Selv ved relativt lave niveauer som i København har luftforurening betydelige konsekvenser for menneskers sundhed
- Evidens for sundhedsmæssige konsekvenser for mennesker som følge af eksponering for luftforurening er steget de senere år. Der er eksempelvis evidens for sammenhæng mellem eksponering for fine partikler og for tidlig død, akut lungeinfektion, KOL, iskæmisk hjertesygdom, lungekræft og hjerteanfald. Der er endvidere stigende evidens for sammenhæng til type-2-diabetes, neonatal dødelighed forårsaget af lav fødselsvægt og for tidlig fødsel
- Det vil have en positiv indflydelse på klimaforandringer med en reduktion af niveauer af sundhedsskadelig luftforurening. Tilsvarende kan arbejdet med at afbøde klimaforandringer bidrage positivt til at forbedre luftkvalitet og dermed bidrage til væsentlige sundhedsmæssige forbedringer
- Et begrænset sygdomsbillede, sammenlignet med evidensgrundlaget, udgør fundamentet for de beregningsmodeller, som anvendes til opgøre sundhedskonsekvenser af luftforurening – også i Danmark. Sundhedskonsekvenser af luftforurening er derved formodentlig langt større, end man ved og kan dokumentere i dag
- Sundhedsskadelig luftforurening er (også) årsag til en lang række sundhedskonsekvenser, der ikke er egentlige sygdomme men som alligevel har stor betydning for menneskers livskvalitet. Samlet set kan disse betegnes som øget risiko for fysiske og psykiske gener og et dårligt velbefindende. Det drejer sig eksempelvis om overvægt, stresssymptomer, hovedpine, hoste, irriterede øjne, næse og hals, allergiske reaktioner, åndenød, hvæsende åndedræt, utilpashed, inaktivitet mv. Der er grupper af mennesker, som er særligt sårbare overfor de sundhedsmæssige konsekvenser af luftforurening, og hvor fysiske og psykiske gener og et dårligt velbefindende kan have stor betydning for deres hverdag
- Der kan være væsentlige forskelle på de niveauer af luftforurening, københavnernes eksponeres for, når de færdes i byen. I rapporten uddybes, at større og trafikerede veje har væsentlig højere niveauer af kvælstofdioxid, black carbon og ultra-fine partikler
- I forhold til andre sundhedsskadelige stoffer, som fx tobak, alkohol og andre rusmidler spiller mængde eller dosis en væsentlig rolle for sundhedskonsekvenser. Luftforurening på gadeniveau er for flere stoffer betydeligt højere end den luftforurening, vi udsættes for mere generelt gennem hele dagen. Årsrapporten fremhæver dette perspektiv og hvordan der med fordel kan regnes på sundhedskonsekvenser af luftforurening af meget høje doser på gadeniveau fremadrettet, herunder betydningen for fx borgere med kroniske sygdomme

3 / Øget viden om sundhedskonsekvenser af luftforurening i Københavns Kommune

Luftforurening er overalt. Den er ikke begrænset til et særligt område, men er noget, som er alle vegne og dermed også noget, der påvirker alle mennesker. Det er tilmed noget, som man ikke kan fravælge – fordi forurening er i luften, og man kan ikke lade være at trække vejret. På den måde adskiller luftforurening sig fra de mere traditionelle risikofaktorer på folkesundhedsområdet fx tobaksrygning og alkoholforbrug.

3.1 / Baggrund for indsatsen

Med Københavns Kommunes budgetaftaler for 2019 og 2021 blev der afsat midler til indsatsen 'Øget viden om de sundhedsskadelige virkninger af luftforurening i København'. Indsatsens formål er at skabe øget viden om sundhedskonsekvenser af luftforurening i Københavns Kommune og på den baggrund at tilrettelægge og iværksætte øvrige initiativer, der kan fremme sundheden i forhold til luftforurening.

I foråret 2019 blev en ekspertgruppe for sundhed og luftforurening nedsat (se Kapitel 6 nedenfor) – og i efteråret 2020 blev opsat fem kommunale luftmålestationer i København og lanceret en hjemmeside til visning af data fra målerne. Hjemmesiden har adressen www.erluftensund.kk.dk. På siden er det muligt at finde placering af og data fra de fem kommunale målestationer.

3.2 / Indsatsens to første år

Der er i de to første år af indsatsen etableret et fundament af viden og skabt overblik over eksisterende forskning og evidens for øget dødelighed og sygelighed som følge af luftforurening og, hvor der eventuelt er mangel på enten viden, evidens, data eller beregninger.

Luftforurening har betydelige sundhedskonsekvenser for københavnernes, og forårsager både for tidlig død og alvorlig sygdom. Eksponering for luftforurening er derudover med til at forværre eksisterende sygdom. Nyere forskning peger endvidere på, at udover velkendt sammenhæng mellem luftforurening og luftvejssygdom, hjertekarsygdom, diabetes, lungekræft, kan der også være en sammenhæng mellem luftforurening og sygdomme som demens og psykiske sygdomme, samt neurologisk udvikling hos børn, samt at det også kan have betydning for fx accelereret aldring. Læs mere i Kapitel 6 nedenfor.

FAKTA

Hvad er luftforurening?

En stor del af den luftforurening, der er sundhedsskadelig for mennesker, opstår i forbindelse med forbrændingsprocesser og sekundært dannede partikler i luften, som følge af udledninger af gasser som kvælstofdioxid, svovldioxid og ammoniak. Uanset om det er stearinlyset på julebordet, brændeovnen i stuen, diesellastbilen der leverer varer til et supermarked, eller når der skal produceres varme til mange mennesker eller brændes affald af. Mange processer knyttet til forbrænding skaber kemiske forbindelser, der er sundhedsskadelige. En anden del af den sundhedsskadelige luftforurening stammer fra salt og støv i vores omgivelser fx saltpartikler fra havet og støvpartikler fra byggepladsen. Det kan også være slid fra veje, dæk og bremses fx mindre metalpartikler. Nedenfor præsenteres fem forureningstyper kort.

Kvælstofdioxid (NO_2) er en luftart, som består af kvælstof og ilt. Kvælstofdioxid dannes ved forbrænding ved høj temperatur og stammer i byerne især fra vejtransport, men der er også et bidrag fra kraftværker og andre kilder. NO_x er en fællesbetegnelse for kvælstofdioxid og kvælstofoxid, Kvælstofdioxid kan give luftvejsgener – også i små koncentrationer. Det kan også medføre nedsat lungefunktion og øge risikoen for infektioner i lungerne.

Ozon (O_3) er en luftart, der dannes i luften gennem kemiske processer. Ozon er en drivhusgas og reducerer bl.a. UV-B lys fra at nå til jordoverfladen og varmestraling fra jorden i at slippe ud i atmosfæren. Ozon er en kraftigt oxiderende gas, som kan give forskellige gener for mennesker fx hovedpine, tørhed i halsen og irritation i øjnene. Ved høje koncentrationer kan ozon medføre symptomer som minder om astma, træthed og manglende appetit. Personer med luftvejslidelser som for eksempel astma og bronkitis kan ved forhøjede ozonniveauer

få en forværring af deres symptomer. Eksposering for ozon er på længere sigt forbundet med øget risiko for tidlig død, herunder af luftvejssygdomme.

Grove partikler (PM_{10})¹ er partikler, der er mindre end 10 mikrometer (inklusive dem under 2,5 mikrometer) – og stammer især fra vejstøv, dækslid, byggestøv og naturlige kilder som jord, sand og pollen. De grove partikler er forholdsvis tunge og transporteres derfor ikke langt i luften. De grove partikler bliver ofte stoppet i næse, svælg eller øverste del af lungerne, og trænger derfor ikke langt ned i lungerne eller ud i kroppens kredsløb.

Fine partikler ($\text{PM}_{2,5}$) er partikler, der er mindre end 2,5 mikrometer – og som opstår bl.a. i forbindelse med afbrænding af brændstoffer som træ, olie eller kul, herunder i forbrændingsmotorer. Fx fra biler, lastbiler og brændeovne. En del af de fine partikler er sekundært dannet i atmosfæren ud fra udledninger af gasser som kvælstofdioxid, svovldioxid og ammoniak. De største fine partikler er omkring tredive gange mindre end et menneskehår. Fine partikler forbliver i luften i lang tid.

Fine partikler trænger dybt ind i luftvejene og helt ud i lungeblærerne hos mennesker. Fine partikler forårsager bl.a. kortsigtede sundhedskonsekvenser såsom irritation af øjne, næse, hals og vejrtrækning. Det forårsager også hoste, nys, løbende næse og åndenød. Eksposering for fine partikler påvirker endvidere lungefunktion og forværrer sygdomme som astma og hjertesygdomme. Videnskabelige undersøgelser har endvidere sammenkædet daglig eksposering for fine partikler med øgede respiratoriske og kardiovaskulære hospitalsindlæggelser, skadestuebesøg og dødsfald. Undersøgelser tyder også på, at langvarig eksposering for fine partikler kan være forbundet med øget forekomst af kronisk bronkitis, nedsat lungefunktion og udvikling

¹ I årsrapport 2021 benyttes betegnelsen grove partikler synonymt med PM_{10} på trods af, at grove partikler er betegnelsen for partikler med en størrelse fra 2,5-10 mikrometer og ikke alle partikler med en størrelse op til 10 mikrometer, som PM_{10} er defineret som.

af lungekræft og hjertekarsygdomme. Mennesker med vejrtræknings- og hjerteproblemer eller -sygdomme, børn og ældre er særligt følsomme over for fine partikler.

Ultrafine partikler (UFP) er luftbårne partikler, der er mindre end 0,1 mikrometer i diameter. De dannes bl.a. ved forbrænding i dieselmotorer. Grundet den ekstremt lille størrelse transporteres ultrafine partikler ikke særlig langt fra kilden og opholder sig kort tid i luften, før de sætter sig på overflader, facader eller andre grove partikler eller klumper sammen og danner grove partikler. Det er således i høj grad lokale forhold, så som fx afstanden til en trafikeret vej, der afgør, hvor eksponeret mennesker er for ultrafine partikler.

Ultrafine partikler anses for potentielt at være særligt sundhedsskadelige, da de transporteres til de yderste lungeblærer i mennesker, og i mindre grad videre ud i vores blodbane. Ultrafine partikler ophobes i lungen, fordi de deponeres dybt nede i lungen, hvorfra de fjernes meget langsomt. Der er betydelig evidens for de toksikologiske effekter ved eksponering for ultrafine partikler, men der er ikke formuleret grænseværdier for ultrafine partikler i fx EU's luftkvalitetsdirektiv og WHO har heller ikke formuleret retningslinjer for ultrafine partikler.

På grund af manglende regulering, og dermed målinger af ultrafine partikler i luften og stor lokal variation i niveauer, har det hidtil ikke været muligt at gennemføre mange epidemiologiske undersøgelser af sundhedskonsekvenser af ultrafine partikler.

Black carbon (BC) er uorganisk uorganisk kulstof, og kulkernen i forbrændingspartikler kan måles som indholdet af black carbon eller elemental carbon, som næsten er det samme. Black carbon er altså en delkomponent af fine partikler og bliver primært dannet via uforbrændt kulstof fra forbrændingsprocesser som fx i en bilmotor eller brændeovn. Black carbon stammer endvidere fra andre kilder end ufuldstændige forbrændingsprocesser, som fx dækslid fra trafikken. Black carbon kan, som de fine partikler, transporteres over lange afstande og forblive i lang tid i luften. Der er sammenhæng mellem black carbon og kardiovaskulær sygdom og for tidlig død for både kort og lang tids eksponering. Der er ingen retningslinjer for black carbon i udeluften hverken i EU's grænseværdier eller WHO's nye retningslinjer. I arbejdsmiljøet er der i Danmark en grænseværdi for dieseludstødningspartikler målt som elementært kulstof (elemental carbon). Til gengæld har WHO formuleret anbefalinger om black carbon – se Kapitel 5 nedenfor.

3.3 / Årsrapporter i 2019 og 2020

Der er udarbejdet årsrapporter for sundhed og luftforurening for 2019 og 2020. Årsrapporterne kan hentes på adressen: www.kk.dk/sundluft

Årsrapporten 2019 er baseret på tre eksterne bidrag, henholdsvis:

- En **forskningsoversigt** over evidens om sundhedsskadelig luftforurening udarbejdet af Institut for Folkesundhedsvidenskab ved Københavns Universitet (2019)
- En rapport med **modelberegninger af helbredseffekter** og eksterne omkostninger af luftforurening udarbejdet af Institut for Energi og Miljø ved Aarhus Universitet (2019)
- Et **inspirationskatalog** til at reducere luftforureningen og eksponering herfor i en urban sammenhæng udarbejdet af COWI (2019)

Årsrapporten 2020 er baseret på to eksterne bidrag, henholdsvis:

- En **rapport om gadeforurening** i København, inkl. et studie af eksponering for sundhedsskadelige luftforurening på cykel udarbejdet af Institut for Folkesundhedsvidenskab ved Københavns Universitet (2020)
- En rapport med **modelberegninger af helbredseffekter af black carbon** i Københavns Kommune udarbejdet af DCE – Nationalt Center for Energi og Miljø ved Aarhus Universitet (2020)

De fem bidrag er kort beskrevet nedenfor.

Forskningsoversigt (Københavns Universitet)

I 2019 udarbejdede Københavns Universitet en forskningsoversigt over eksisterende viden om sammenhænge ml. luftforurening og dødelighed og sygelighed. Forskningsoversigten belyser både sundhedskonsekvenser af luftforurening i et globalt perspektiv, biologiske mekanismer i forhold til luftforurening og indvirkning på kroppen, luftforurening i relation til andre traditionelle risikofaktorer samt den nuværende viden om luftforureningens indvirkning på børn og voksne i forhold til forskellige sygdomme.

Dødsfald forbundet med luftforurening sker ofte efter eksponering over lang tid og med en bred vifte af sygdomme som udslagsgivende faktorer. Forskningsoversigten omhandler sammenhænge mellem luftforurening og astma, KOL, lungebetændelse, hjertekarsygdom, lungekræft, diabetes samt neurodegenerative og psykiske sygdomme. Derudover belyses for børn sammenhængen mellem luftforurening og astma, kræft, lungebetændelse samt autisme og ADHD. Endvidere behandles sammenhæng til fertilitet, graviditet og nyfødte.

Forskningsoversigten konkluderer bl.a., at luftforurening har veldokumenterede konsekvenser for menneskers sundhed, samt at forskningsfeltet er i stor udvikling i disse år. Således forskes der indgående i stadig flere og nye områder, der forbindes med luftforurening. Luftforurening kan således have langt større sundheds- og samfundsmæssige konsekvenser end hidtil antaget.

Derudover konkluderes, at der ikke er en nedre grænse for luftforurenings sundhedsskadelige virkninger. Således er luftforurening sundhedsskadeligt – selv under EU's grænseværdier og WHO's retningslinjer. Det betyder, at også meget lave koncentrationer af skadelig luftforurening kan have sundhedskonsekvenser, selvom regler og retningslinjer er overholdt.

Modelberegninger over helbredseffekter (DCE ved Aarhus Universitet)

I 2019 beregnede DCE ved Aarhus Universitet helbredskonsekvenser af luftforurening i Københavns Kommune, som det var muligt på daværende tidspunkt og med udgangspunkt i eksisterende data (data er fra 2017)². Rapportens formål var at give en foreløbig status på sundhedsskadelig luftforurening i Københavns Kommune på baggrund af modelberegninger og på den måde skabe en brugbar baseline for arbejdet med indsatsen.

² Der anvendes data fra det såkaldte nationale måleprogram, hvor der bl.a. indsamles luftforureningsdata med målestationer på H. C. Andersens Boulevard og Jagtvej.

DCE ved Aarhus Universitet anvender det integrerede modelsystem EVA (Economic Valuation of Air Pollution) til modelberegning af helbreds-konsekvenser i Københavns Kommune. Modellen er baseret på bybaggrundsforurening.

Rapporten opgør på baggrund af modelberegninger af data fra 2017 bl.a. de største lokale kilder til luftforurening i København og vurderer, at antallet af for tidlige dødsfald på grund af luftforurening svarer til omkring 12 pct. af alle dødsfald i Københavns Kommune i 2017. Udover dødsfald ser rapporten også på helbreds-konsekvenser i form af for eksempel udvalgte sygdomme, hospitalsindlæggelse og sygedage.

Luftforurening medførte ifølge modelberegningen samfundsmæssige helbreds-komkostninger for omkring 8,8 milliarder kr. i 2017 i Københavns Kommune. Hovedparten skyldes for tidlige dødsfald som følge af kort- og langtidseksponering og som følge af en høj værdisætning af liv. Ifølge rapporten er eksterne omkostninger på grund af luftforurening fra lokale kilder i Københavns Kommune omkring 855 mio. kr. i 2017.

Inspirationskatalog (COWI)

I 2019 udarbejdede COWI et inspirationskatalog med eksempler på, hvordan man arbejder med at reducere sundhedsskadelig luftforurening, oplyse og inddrage borgerne samt mindske borgernes eksponering for sundhedsskadelig luft i flere byer rundt i verden. Formålet med kataloget er at give indblik i og inspiration til redskaber og initiativer, som andre byer har igangsatt for at nedbringe luftforurening lokalt.

Kataloget skildrer især eksempler fra Europa og byområder, der på forskellige vis er sammenlignelige med København og beskriver redskaber til at reducere eller sætte fokus på luftforurening, for eksempel miljøzoner i byen, mobilitet i byen, byudvikling og brændefyring i byen.



I kataloget er der eksempler på konkrete initiativer, som forskellige byer har igangsatt for at reducere luftforurening. Kataloget berører forskellige emner, herunder miljøzoner, vejafgifter, apps og teknologi, brændefyring, mobilitet, byudvikling, støv fra byggepladser samt varedistribution.

Rapport om gadeforurening (Københavns Universitet)

Ekspertgruppen udtrykte med anbefalinger for 2019 (se Kapitel 4 nedenfor) et ønske om at få belyst lokale forskelle på niveauer af sundhedsskadelig luftforurening i København. På den baggrund udarbejdede Københavns Universitet en rapport om gadeforurening inklusiv en forskningsoversigt om gadeforurening i myldretid samt en måleundersøgelse, hvor der bl.a. er indsamlet data om ultrafine partikler på en cykelrute i København (det såkaldte cykelstudie). Se Kapitel 8 nedenfor for uddybende beskrivelse af de to dele af rapporten

I rapporten konkluderes bl.a., at alle former for transport i gadeniveau medfører eksponering for væsentlig højere niveauer af luftforurening end de niveauer, som de stationære målestationer eller baggrundsmålestationer måler.

Modelberegninger over helbredseffekter af black carbon (DCE ved Aarhus Universitet)

DCE ved Aarhus Universitet udarbejdede i 2020 rapporten "Helbredseffekter af black carbon i Københavns Kommune" med udgangspunkt i en anden anbefaling fra ekspertgruppen (se Kapitel 4 nedenfor). Anbefalingen lød, at Københavns Kommune burde udbygge vidensgrundlaget for at vurdere de sundhedsmæssige konsekvenser af luftforurening med en følsomhedsanalyse af sodpartikler i København. Anbefalingen var baseret på, at forskning indikerer en stor forskel på de sundhedsskadelige konsekvenser af de forskellige typer af partikler under betegnelsen fine partikler.

Black carbon udgør en vigtig del af partikelforureningen. For at belyse de sundhedsskadelige effekter af black carbon indholdet i partikler indeholder rapporten fra DCE ved Aarhus Universitet en følsomhedsberegning af betydningen af black carbon for dødelighed som følge af luftforurening i Københavns Kommune. Følsomhedsberegningen er foretaget på baggrund af en litteraturgennemgang af black carbon og sundhedsudfald. DCE ved Aarhus Universitet har på den baggrund beregnet sundhedskonsekvenserne i Københavns Kommune på baggrund af den antagelse, at black carbon er den primære årsag til for tidlig død forårsaget af eksponering for fine partikler.

3.4 / Retning for indsatsen 2021-2023

Det videre arbejde med indsatsen 'Øget viden om de sundhedsskadelige virkninger af luftforurening' for perioden 2021-2023 vil være med fire fokusområder som omdrejningspunkt.

Det første fokusområde

Det første fokusområde handler om at skabe øget viden om sundhedskonsekvenser af luftforurening i København på udvalgte risiko- og sygdomsområder i tilknytning til den kommunale forebyggelse og rehabilitering af borgere. Det handler grundlæggende om sundhedskonsekvenser knyttet til kroniske sygdomme og til forebyggelsesområdet. Konkret er der tale om en orientering mod områderne KOL, diabetes, hjertesygdomme og astma og på forebyggelsesområdet overvægt.

Det betyder, at et perspektiv på ældre borgere prioriteres qua, at kroniske sygdomme er udbredt blandt ældre, samt at et børneperspektiv også træder frem qua, at astma og overvægt er udbredt blandt børn. Eksempelvis er prævalensraten for diabetes i Danmark højest i aldersgruppen 75-84 år, for KOL er den højest i aldersgruppen 65-74 år, mens den for hjertesygdomme er stigende med alderen³.

Mange københavnere lever således med en eller flere kroniske sygdomme⁴. Fx har 4,9 pct. af københavnere astma, 3,9 pct. har diabetes, 3,9 pct. har KOL, 3,6 pct. har hjertesygdomme, 2,9 pct. har hjertesygdomme. Mange københavnere lever ikke bare med én sygdom, men med flere sygdomme samtidig⁵. Fx har omkring 25 pct. af københavnere med hjertesygdomme også diabetes, mens knap 22 pct. også har KOL. For københavnere med diabetes er det omkring 19 pct., der også har hjertesygdomme. For KOL, diabetes og hjertesygdomme er der desuden et borgerrettet, kommunalt rehabiliteringstilbud. For borgere i Københavns Kommune er det eksempelvis tilbud om bl.a. rehabiliteringsforløb i Center for Diabetes eller Center for KOL.

³ Sygdomsbyrden i Danmark, 2015.

⁴ www.regionh.dk/til-fagfolk/Sundhed/Sundhedsprofilen/Documents/2017/Resultater/Faktaark/Faktaark%20-%20Bydele/faktaark2%202017%20K%c3%b8benhavn.pdf

⁵ Særtræk af data fra Sundhedsprofilen 2017

Udover fokus på at øge vidensgrundlaget for at forstå sundhedskonsekvenser af sundhedsskadelig luftforurening for borgere med kroniske sygdomme, vil der i de kommende år også være strategisk fokus på, hvordan dette kan forebygges gennem reduktion af eksponering for sundhedsskadelig luftforurening. Med andre ord hvad der kan gøres for gruppen af borgere med kroniske sygdomme, som er særligt sårbare overfor luftforurening. Dette er prioriteret i fokusområde nummer fire.

Det andet fokusområde

Det andet strategiske fokus handler om at skabe øget viden om sundhedskonsekvenser af luftforurening forskellige steder i København bl.a. med udgangspunkt i en variation af luftkvalitetsdata i København. Således har Københavns Kommune i regi af samarbejdet om Google AirView-projektet bidraget til tilvejebringelse af data, der kan skabe øget viden om forskelle i sundhedskonsekvenser af luftforurening i forskellige dele af København. Her vil data fra de fem kommunale målestationer ligeledes kunne bidrage med et øget datagrundlag.

Et andet perspektiv er betydningen af sundhedsskadelig luftforurening i områder af København, hvor borgernes sundhedstilstand er dårlig sammenlignet med resten af byen eksempelvis i udsatte byområder. Vi ved, at københavnere, der bor i udsatte byområder i København, ryger mere, bevæger sig mindre, har dårligere mental og fysisk helbred og oftere lider af kroniske sygdomme som fx diabetes, KOL og hjertesygdomme sammenlignet med borgere i resten af København. Desuden har flere borgere i de udsatte områder svage sociale relationer, er ensomme og stressede, ligesom der er mange med udfordringer relateret til overvægt⁶. På den baggrund kan det være relevant at se på, om og hvordan luftforurening – som en slags ekstra risikofaktor – potentielt har en forværrende betydning for borgernes sundhedstilstand i udsatte områder.

Det tredje fokusområde

Det tredje fokusområde udspringer af en anbefaling fra Københavns Kommunes ekspertgruppe for sundhed og luftforurening (se Kapitel 4 nedenfor) og handler om at se på sundhedskonsekvenserne af indendørs luftforurening. Indendørs luftforurening kommer både fra indendørs kilder fx brændeovne og fra udendørs kilder fx i forbindelse med udluftning. Den vigtigste grund til, at indendørs luftforurening er afgørende for menneskers sundhed er, at de fleste mennesker bruger det meste af deres tid inden døre i deres hjem, på arbejdspladser etc. Derudover kan mikromiljøer som fx biler, busser og anden kollektiv trafik også kategoriseres som indendørs (WHO 2021). En anden vigtig overvejelse knyttet til indendørs luftforurening er, at mange sårbare grupper fx ældre borgere på plejehjem har sværere ved at komme udendørs, og dermed ofte opholder sig i længere tid indenfor. WHO's retningslinjer for god luftkvalitet dækker også indendørs luftforurening (se Kapitel 5 nedenfor).

Det fjerde fokusområde

Det fjerde fokusområde handler om eksponering for sundhedsskadelig luftforurening og retter sig mod særligt sårbare grupper af borgere. Det er eksempelvis børn, borgere med kronisk sygdom og ældre borgere. 35 pct. af københavnere er børn under 18 år, 17 pct. af københavnere lever med en eller flere kroniske sygdomme, samt 21 pct. af københavnere er ældre over 65 år. Samlet set repræsenterer disse, i en luftforureningskontekst, sårbare grupper, en betydelig andel af borgerne i København. Disse grupper påvirkes særligt af korttidseksponering for luftforurening, hvor akutte sundhedsvirkninger udgør konsekvenser fx hoste, åndenød, hospitalsindlæggelse eller pludselig død. I dette perspektiv er såkaldte spatiotemporale variationer i luftforureningen helt afgørende (WHO 2021), altså forskelle i niveauer af luftforurening forskellige steder i byen (jf. fokusområde to).

⁶ Analyse af sundhedstilstanden blandt borgere i områder på ghettolisten i København, 2019 – på baggrund af data fra Sundhedsprofilen 2017. Analysen dækkede de syv boligområder på den daværende ghettoliste. Svarende til ca. 100.000 borgere.

3.5 / Luftforurening og covid-19

Covid-19 har på mange måde præget folkesundhedsarbejdet i 2020 og 2021. Allerede tidligt under pandemien kom der fokus på sammenhænge mellem luftforurening og spredning af covid-19 samt på mulig sammenhæng ml. dødelighed af covid-19 og luftforurening. Således blev der allerede i 1. halvår af 2020 udarbejdet studier, der pegede på sammenhænge – og Københavns Kommunes ekspertgruppe for sundhed og luftforurening har ved flere lejligheder drøftet studier og evidens på dette område. I årsrapporten for 2020 er skrevet et kort afsnit om de foreløbige studier af området. I 2022 udarbejder Københavns Universitet en undersøgelse af sammenhængene ml. luftforurening og dødelighed, hospitalsindlæggelser og sygelighed som følge af covid-19 i Københavns Kommune.

3.6 / Opsamling

Indsatsen 'Øget viden om de sundhedsskadelige virkninger af luftforurening i København', der løber 2019-2023, har til formål at skabe øget viden om sundhedskonsekvenser af luftforurening i Københavns Kommune og på den baggrund foreslå initiativer til at fremme sundheden blandt københavnere.

En ekspertgruppe for sundhed og luftforurening blev nedsat i 2019. I 2020 blev opsat fem kommunale luftmålestationer i København og lanceret en hjemmeside til visning af data fra målerne. Indsatsens hovedfokus de to første år har været at etablere et solidt vidensgrundlag for at forstå problemet og dets omfang – herunder nye beregninger af sundhedskonsekvenser af luftforurening i København.

I de to første år er der udarbejdet to årsrapporter på baggrund af fem forskellige bidrag udarbejdet primært af hhv. Københavns Universitet og DCE ved Aarhus Universitet. Til den tredje årsrapport er der udarbejdet yderligere et bidrag fra Københavns Universitet. Frem til 2023 vil fokus for indsatsen være i fire forskellige områder. Dertil kommer et supplerende fokus på sammenhænge ml. luftforurening og covid-19.



4 / Ekspertgruppens arbejde og anbefalinger

Der er som led i Københavns Kommunes indsats for at skabe øget viden om de sundhedsskadelige virkninger af luftforurening nedsat en ekspertgruppe. Ekspertgruppen er etableret med det formål at bidrage til at styrke videns- og forskningsdelen af arbejdet med sundhed og luftforurening. Udover at bidrage til at skabe øget viden skal ekspertgruppen også formulere anbefalinger til Københavns Kommune om reduktion af luftforurening i byen.

4.1 / Ekspertgruppens sammensætning

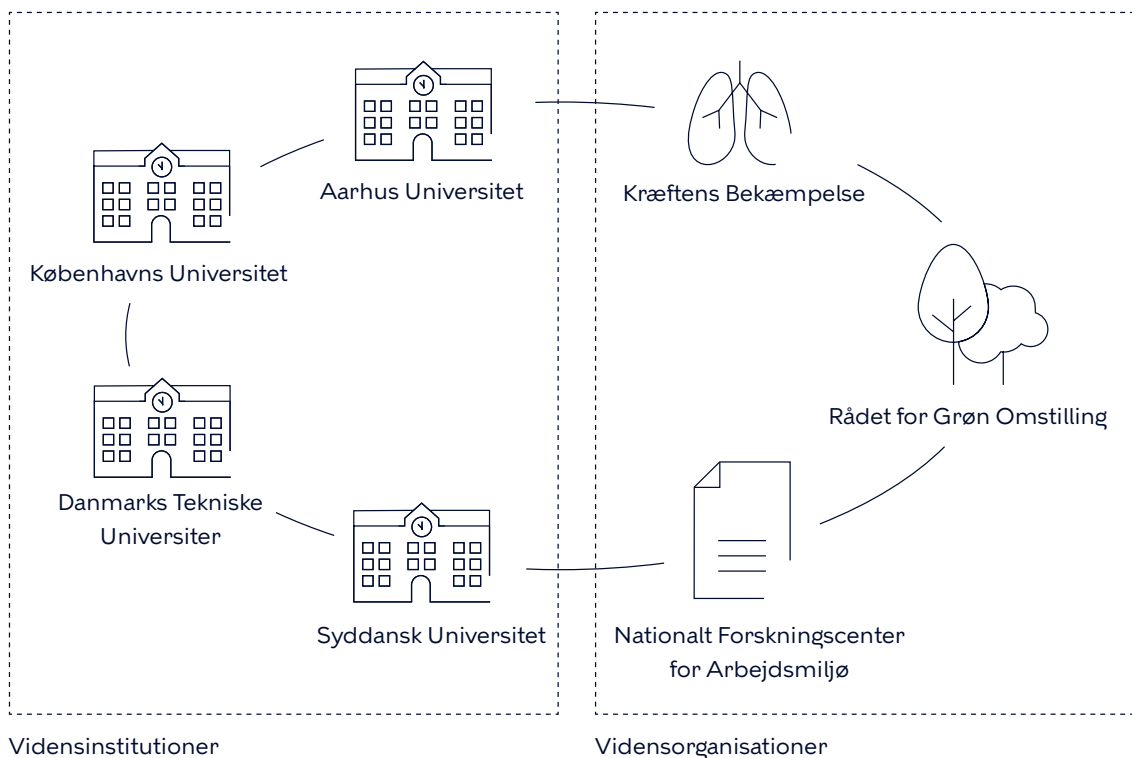
Ekspertgruppen er sammensat med henblik på en bred repræsentation af landets førende eksperter med viden om sundhed og luftforurening. Københavns Universitet, Aarhus Universitet, Dansk Teknisk Universitet, Syddansk Universitet, Kræftens Bekæmpelse, Rådet for Grøn Omstilling og Det Nationale forskningscenter for Arbejdsmiljø er repræsenteret af medlemmer af ekspertgruppen. Se Tabel 1 nedenfor.

Ekspertgruppen er sammensat med udgangspunkt i medlemmernes erfaring med eller viden om sundhed, forebyggelse og luftforurening.

Københavns Universitet, Aarhus Universitet og Danmarks Tekniske Universitet har haft fokus på sundhed og luftforurening i flere årtier. Aarhus Universitet er desuden ansvarlig for det nationale luftmåleprogram, der monitorerer luftkvaliteten i Danmark, og laver hvert år beregninger af luftforureningens helbredseffekter og tilhørende samfundsmæssige omkostninger for Danmark. Universiteterne er således en stor videnskapacitet i ekspertgruppen.

Syddansk Universitet er en af landets førende forskningsinstitutioner på sundheds- og forebyggelsesområdet. Syddansk Universitet sikrer således et stærkt alment fokus på sundhed og forebyggelse i ekspertgruppen og det er også her formanden er tilknyttet.

Figur 1 / Ekspertgruppens sammensætning – vidensinstitutioner og -organisationer



Udover forskere fra de danske universiteter er Kræftens Bekæmpelse også repræsenteret. Kræftens Bekæmpelse har, som den eneste patientforening i Danmark, en afdeling der forsker i helbredseffekter af luftforurening med primært fokus på cancer. Kræftens Bekæmpelse spiller en vigtig rolle i ekspertgruppen, hvor de dermed også repræsenterer et mere patientorienteret blik på arbejdet med at mindske sundhedskonsekvenser af luftforurening i København.

Supplerende består ekspertgruppen af medlemmer fra andre organisationer, der har mange års erfaring med at arbejde med luftforurening. Henholdsvis Rådet for Grøn Omstilling og sektorforskningsinstitutionen under Beskæftigelsesministeriet Det Nationale Center for Arbejdsmiljø. Rådet for Grøn Omstilling har i mange år arbejdet med forskellige miljømæssige udfordringer for sundheden, herunder luftforurening. Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø har fokus på luftforurening gennem deres arbejde for at sikre et sundt arbejdsmiljø.

Tabel 1 / Oversigt over ekspertgruppens medlemmer

Medlem	Institution	Medlemskab af ekspertgruppen (mdr., år)
Professor og direktør Morten Grønbæk (formand)	Syddansk Universitet, direktør for Statens Institut for Folkesundhed	Februar 2019
Professor Annette Kjær Ersbøll	Syddansk Universitet, Statens Institut for Folkesundhed	Oktober 2019
Professor Ole Hertel	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi	Marts 2019 (udtrådt af ekspertgruppen pr. november 2020 grundet jobskifte)
Seniorforsker Thomas Ellermann	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi	Marts 2019
Professor Torben Sigsgaard	Aarhus Universitet, Institut for Folkesundhed – Miljø, Arbejde og Sundhed	April 2020
Seniorforsker Steen Solvang Jensen	Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab – Atmosfærisk Modellering	September 2021
Professor Ole Raaschou-Nielsen	Kræftens Bekæmpelse, Center for Kræftforskning	Oktober 2019
Professor Ulla Vogel	Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø	Maj 2019
Professor Zorana Jovanovic Andersen	Københavns Universitet, Institut for Folkesundhedsvidenskab	Februar 2019
Lektor Marie Pedersen	Københavns Universitet, Institut for Folkesundhedsvidenskab	Februar 2019

Professor Steffen Loft	Københavns Universitet, Institut for Miljø og Sundhed	September 2021
Lektor Teis Nørgaard Mikkelsen	Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Miljø- og Ressourceteknolog	Marts 2019
Professor Geo Clausen	Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Miljø- og Ressourceteknologi	September 202
Seniorrådgiver Kåre Press-Kristensen	Rådet for Grøn Omstilling	Januar 2019

Ekspertgruppen er af flere omgange blev suppleret med nye medlemmer bl.a. på opfordring fra medlemmerne. Det drejer sig bl.a. om professor Geo Clausen og seniorforsker Steen Solvang Jensen.

4.2/ Ekspertgruppens anbefalinger 2019 og 2020

Ekspertgruppen har som led i sit arbejde formuleret henholdsvis 16 anbefalinger i 2019 og 13 anbefalinger i 2020 til initiativer, der kan nedbringe den sundhedsskadelige luftforurening i København⁷.

Ekspertgruppen valgte at gentage to af anbefalinger fra 2019 i anbefalingerne for 2020, da de fandt det særligt vigtigt at fastholde, at der ikke er en nedre grænse for, hvornår luftforurening er sundhedsskadelig for mennesker - alle niveauer af luftforurening er sundhedsskadelige og samtidig insistere på, at der er behov for at sætte fokus på de mange borgere, der dagligt lever med sygdom forårsaget af luftforurening.

Ekspertgruppen har i deres anbefalinger haft et generelt fokus på at mindske den lokale luftforurening i København, hvor niveauerne er høje, og mange mennesker bor og færdes. Ekspertgruppen har bl.a. anbefalet tiltag for at reducere vejtrafik og reducere eller helt forbyde brændefyring.

Det er desuden på baggrund af arbejdet i ekspertgruppen og gruppens anbefalinger, at forvaltningen i 2020 igangsatte en undersøgelse af gade- og myldretidsforurening, samt en analyse af helbredseffekterne af black carbon i København, jf. Kapitel 3 ovenfor. Bidragene giver bl.a. et indblik i lokale kilders betydning for sundhedskonsekvenser af luftforurening og dokumenterer de markant højere niveauer af luftforurening på gadeniveau.

Derudover har ekspertgruppen haft fokus på anbefalinger til, hvordan borgernes eksponering for luftforurening kan mindskes, mens tiltag for at reducere den generelle luftforurening iværksættes og implementeres. Anbefalingerne går på, at borgerne med fordel kan reducere eksponering for luftforurening ved at vælge mindre trafikerede veje og undgå myldretid, når de bevæger sig rundt i København. Ekspertgruppen har ligeledes anbefalet, at der arbejdes med at øge oplysningsgrundlaget om sundhedskonsekvenserne af luftforurening i København fx ved en oplysningsindsats.

Ekspertgruppens arbejde og anbefalinger afspejler, hvor alvorlig en sundhedsmæssig udfordring eksponering for luftforurening er og vigtigheden af at sætte ind for at reducere niveauer og borgernes eksponering herfor.

⁷ Ekspertgruppemedlemmerne fra Aarhus Universitet, DCE – Nationalt center for miljø og energi (Ole Hertel og Thomas Ellermann) stod uden for anbefaling 3-4, 6-7, samt 9-10 fra 2019.

Det er muligt at læse alle ekspertgruppens anbefalinger på Københavns Kommunes hjemmeside på: www.kk.dk/sundluft

Ekspertgruppen kan fremover nedsætte sig i mindre arbejdsgrupper, der kan belyse temaer eller emner med relevans for sundhed og luftforurening i Københavns Kommune. Ekspertgruppens anbefalinger fra 2019 og 2020 er fortsat relevante for Københavns Kommune. Ekspertgruppen vil fra 2022 afgive en årlig udtalelse frem for konkrete anbefalinger. Den årlige udtalelse gives på baggrund af det foregående års nye viden på området, forvaltningens årsrapport og eventuelle bidrag fra vidensinstitutioner eller arbejdsgrupper.

4.3 / Opsamling

Københavns Kommunes ekspertgruppe består af førende eksperter i sundhed og luftforurening fra universiteter, organisationer og NGO'er. Ekspertgruppen er sammensat med en bred repræsentation af landets førende eksperter med viden om sundhed og luftforurening.

Ekspertgruppen har i 2019 og 2020 formuleret i alt 27 forskellige anbefalinger til initiativer eller indsatser for at mindske sundhedskonsekvenserne af luftforurening i København. Anbefalinger afspejler alvoren af de sundhedsmæssige udfordringer forårsaget af eksponering for luftforurening og vigtigheden af at sætte ind for at reducere niveauerne i København og ikke mindst borgernes eksponering herfor – helt ned på gadeniveau.

5 / anbefalinger om sundhed og luftforurening fra Verdenssundhedsorganisationen (WHO)

Verdenssundhedsorganisationen (WHO) har i flere årtier arbejdet med sundhed og luftforurening som en del af en miljø- og sundhedsdagsorden og med den hensigt at mindske sygdom og gener som følge af miljømæssige risici og udfordringer i verden.

WHO udgav i september 2021 nye, skærpede retningslinjer for forurening i luften på baggrund af evidens om sundskonsekvenser af luftforurening. WHO's retningslinjer er vejledende og ikke juridisk bindende på samme måde som EU's grænseværdier, som er gældende i Danmark. WHO udgav de første retningslinjer for luftkvalitet i 1987 på baggrund af stigende evidens for, at forskellige stoffer i luften forårsagede negative effekter for menneskers helbred. Sidenhen er retningslinjerne opdateret flere gange og WHO igangsatte arbejdet med at opdatere de seneste retningslinjer for luftkvalitet i 2016.

WHO konkluderer i deres nye rapport, at der er væsentlige sundhedskonsekvenser forbundet med eksponering for luftforurening og estimerer, at luftforurening på verdensplan er årsag til omkring syv millioner årlige dødsfald og er dermed den største miljømæssige risikofaktor for menneskers sundhed. Sundhedskonsekvenserne af luftforurening er estimeret til at være på niveau med andre store globale risikofaktorer som fx usund kost og rygning (WHO 2021). På verdensplan er luftforurening den fjerde største sundhedsmæssige risikofaktor for mennesker⁸.

Ifølge WHO er der ikke en nedre grænse for partiklers sundhedsskadelige effekter. Selv ved relativt lave niveauer har luftforurening betydelige konsekvenser for menneskers sundhed. Der vil fortsat være tidlig død og sygdom blandt mennesker, som følge af eksponering for luftforurening, selv ved niveauer der overholder WHO's retningslinjer (der er beskrevet nedenfor) – om end i mindre grad.

5.1 / Nyeste viden som grundlag for nye anbefalinger og retningslinjer

I de seneste år er der ifølge WHO kommet stigende (og mere detaljeret) evidens for sundhedsmæssige konsekvenser for mennesker som følge af eksponering for luftforurening. Der er eksempelvis evidens for sammenhæng mellem eksponering for fine partikler ($PM_{2.5}$) og for tidlig død, akut lungeinfektion, KOL, iskæmisk hjertesygdom, lungekræft og hjerteanfald. Der er endvidere stigende evidens for sammenhæng til type-2-diabetes, neonatal dødelighed forårsaget af lav fødselsvægt og for tidlig fødsel (WHO 2021). Luftforurening er ikke blevet mere skadelig, men der er mere detaljeret viden om de konsekvenser eksponeringen medfører og ser udfaldene ved markant lavere niveauer end hidtil.

Ifølge WHO er det endvidere meget sandsynligt, at luftforurening har endnu større sundhedsmæssige konsekvenser, end det vi ved (fra evidensen) og regner på i dag. Dette blandt andet fordi luftforurening formodes at være årsag til endnu flere sygdomme (end vi ved fra den såkaldte stærke evidens), herunder Alzheimer og andre neurologiske sygdomme (WHO 2021). Herudover estimeres de globale sundhedskonsekvenser på nuværende tidspunkt på baggrund af fine partikler og ozon (O_3) – og dermed er forurenende stoffer som fx kvælstofdioxid (NO_2) ikke medtaget i beregningsgrundlaget. NO_2 er dog medtaget i beregninger udført af DCE ved Aarhus Universitet og indgår også i beregninger udført af fx Det Europæiske Miljøagentur. Det er på denne baggrund, at WHO mener, at sygdomsbyrden forbundet med eksponering for luftforurening er væsentlig underestimeret.

⁸ Kilde:

www.healthdata.org/news-release/lancet-latest-global-disease-estimates-reveal-perfect-storm-rising-chronic-diseases-and

5.2 / anbefalinger og retningslinjer fra WHO

WHO har med udgangspunkt i den nyeste viden og evidens justeret både anbefalinger og retningslinjer for god luftkvalitet på baggrund af stigende evidens for sammenhængen mellem forskellige helbredsudfald og eksponering for luftforurening.

WHO's nye retningslinjer for luftkvalitet har et budskab om, at luftforurening forårsager betydelige skader på menneskers sundhed og det ved lavere niveauer end hidtil antaget. For at beskytte menneskers sundhed anbefaler WHO derfor, at de udvalgte luftforurenende stoffer reduceres markant ift. tidligere.

Nye retningslinjer for god luftkvalitet

WHO har med nye retningslinjer opdateret tærskelværdier for i alt seks luftforurenende stoffer; fine og grove partikler, kvælstofdioxid, ozon, svovldioxid og kulilte. Retningslinjerne forholder sig primært til stoffer, der har en høj eller moderat sammenhæng til et specifikt helbredsudfald og er baseret på GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation), der beskrives fyldestgørende i deres rapport (se WHO 2021, kapitel 2).

De inkluderede helbredsudfald i de nye retningslinjer for god luftkvalitet er listet i tabellen nedenfor.

Tabel 2 / Helbredsudfald inkluderet i WHO's vurdering af helbredsudfald

Kategori	ICD-10	Eksempel
Dødelighed af alle årsager (undtagen ulykker)	Alle	
Dødelighed af kardiovaskulær sygdom	100-199	
Dødelighed af lungekræft	C30-C39	
Dødelighed af respiratorisk sygdom	J00-J99	Fx akutte infektioner i øvre og nedre luftveje, lungebetændelse, bronkitis, kronisk obstruktiv lungesygdom, astma
Hospitalsindlæggelser og skadestuebesøg relateret til astma	J45	Astma
Hospitalsindlæggelser og skadestuebesøg relateret til iskæmisk hjertesygdom, særligt hjerteanfald	120-125	

Udvælgelsesprocessen involverer flere trin, hvor eksperter har vurderet styrken af evidensen for de forurenende stoffer, kausaliteten til ovenstående helbredsudfald og andre overvejelser så som sværhedsgraden af helbredsudfald, sygdomsbyrde, forventede udvikling i eksponering og politiske overvejelser.

Med de nye retningslinjer for luftforurening er niveauerne væsentlig reduceret i forhold til WHO's tidligere retningslinjer fra 2005. Flere af niveauerne er reduceret markant, hvor årsmiddelværdier for fx fine partikler er reduceret med 50 pct., grove partikler med 25 pct. og kvælstofdioxid med 75 pct.

I bilag 2 er en oversigt over WHO's nye retningslinjer, en sammenligning i forhold til WHO's tidligere retningslinjer og EU's nuværende grænseværdier for forurening i luften.

Anbefalinger til ultrafine partikler og black carbon – øget monitorering og datagenerering

Ifølge WHO er der fortsat diskussion om skadeligheden af forskellige delkomponenter af fine partikler, herunder black carbon og ultrafine partikler. Det er ligeledes beskrevet i WHO's nye rapport (2021). Det bliver diskuteret, hvorvidt forskellige delkomponenter af fine partikler kunne være en vigtig parameter at måle på, som supplement til måling af den samlede mængde af fine partikler.

Der er ifølge WHO ikke etableret konsensus om black carbon og ultrafine partiklers sundhedsskadelige virkninger på nuværende tidspunkt. Et tidligere review fra WHO fandt, at delkomponenter af partikler, der udledes i forbindelse med forbrændingsprocesser bl.a. black carbon, er særlig farlige (WHO 2021). WHO beskriver, at evidensen for black carbon og ultrafine partikler på nuværende tidspunkt ikke er stærk nok i forhold til at konkludere at stofferne i sig selv er sundhedsskadelige. Derfor har WHO ikke besluttet retningslinjer for disse stoffer i 2021 (WHO 2021). Ifølge EU's forsigtighedsprincip skal usikkerheden dog altid komme mennesker og miljø til gode, hvorfor der bør arbejdes for at reducere både black carbon og ultrafine partikler parallelt med fine partikler.

Anbefaling i forhold til black carbon

En betydelig andel af den samlede mængde fine partikler kommer i mange lande (og byer) fra omkringliggende lande, kommuner og/eller byer. Der er således kun et mindre handlerum lokalt i forhold til at reducere den samlede mængde fine partikler. WHO anbefaler derfor, at der monitoreres på black carbon, da det ved at inkludere målinger af black carbon er muligt at få en indikator for de lokale emissioner og på den måde få mulighed for at følge udviklingen og reduktion af udledning af fine partikler fra lokale kilder fx i forbindelse med lokale indsatser eller tiltag for at reducere luftforurening.

WHO beskriver desuden, at black carbon for mange lande er en væsentlig andel af den samlede mængde fine partikler, som borgerne bliver eksponeret for. Initiativer for at reducere udledning af black carbon vil således være en vigtig strategi for at nå i mål med at mindske luftforurening og sundhedskonsekvenserne lokalt.

Bruges den samlede mængde fine partikler som eneste måleenhed, kan det ifølge WHO betyde, at lande eller byer kan reducere og overholde eventuelle grænseværdier og retningslinjer for fine partikler uden at reducere de farlige partikler fra ufuldstændig forbrænding, som black carbon. Derudover vil et eventuelt mål om at reducere black carbon kræve en øget opmærksomhed på lokale hotspots for partikeludledning, der ikke i samme grad er nødvendige, når der måles på den samlede mængde af fine partikler. Det er derfor WHO's anbefaling, at lande og byer inkluderer målinger af black carbon og igangsætter tiltag for at reducere niveauerne (WHO 2021).

En strategi for at reducere udledning af black carbon vil være på linje med WHO's generelle anbefaling om at reducere menneskers eksponering for karcinogener. Reduktion af udledning af black carbon er ifølge WHO samtidig et vigtigt redskab i at bekæmpe klimaforandringer og stoppe global opvarmning, da black carbon bidrager til at øge drivhuseffekten (WHO 2021).

Anbefaling i forhold til ultrafine partikler

WHO beskriver i deres rapport, at der er stor forskel på niveauer af ultrafine partikler i byer på et givent sted og tidsrum, da variationen over en hel by er væsentlig større end variationen for grove partikler som fx fine og grove partikler. Der er, ifølge WHO, generelt god forståelse af teorierne bag emission- og formationsprocesserne for udledning af ultrafine partikler, men der mangler viden og studier af ultrafine partiklers opståen og kemiske sammensætning lokalt, da det kun er meget få steder i verden, hvor der foretages systematiske målinger. I Danmark har ultrafine partikler været målt i mange år på H.C. Andersens Boulevard, på taget af H.C. Ørsted Institut i København, i Hvidovre samt ved Risø uden for Roskilde som del af det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet.

WHO nævner samtidig, at der ikke er nogen stærk relation mellem antallet af ultrafine partikler, der måles og massen af grove partikler eller sammenhængen mellem antallet af ultrafine partikler og trafikemissioner. Der er, ifølge WHO, således ikke noget andet stof, der er en god indikator for niveauerne af ultrafine partikler. WHO påpeger på den baggrund vigtigheden af at få viden om ultrafine partikler, da mangelfulde monitorering kan føre til, at effekterne af ultrafine partikler kan blive overset, og at en reduktion af den samlede mængde fine partikler ikke nødvendigvis medfører en reduktion i antallet af ultrafine partikler (WHO 2021). Det er derfor WHO's anbefaling, at lande og byer inkluderer målinger af ultrafine partikler, samt fremmer forskning i vurdering af eksponering for ultrafine partikler i epidemiologiske undersøgelser (WHO 2021).

Anbefalinger i forhold til indendørs luftforurening

WHO's retningslinjer beskæftiger sig primært med retningslinjer for forurening i udeluften, men niveauerne gør sig også gældende for indendørs luftforurening (WHO 2021).

Mennesker tilbringer i den vestlige del af verden størstedelen af deres liv indendørs, og indendørs luftforurening spiller derfor en vigtig rolle for eksponering for sundhedsskadelige stoffer. På samme vis bidrager indendørs luftforurening også til udeluften fx i form af forbrænding af gas, brændefyring og mados fra madlavning.

Luften indendørs kan også have meget højere niveauer af luftforurening end udendørs fx forårsaget af os eller røg fra madlavning, brændefyring, afbrænding af stearinlys, støv fra renovering, maling osv.

Betydning for folkesundheden

WHO estimerer, at en opfyldelse af de nye retningslinjer i Europa over de seneste 15 år ville have begrænset antallet af for tidlige dødsfald tilskrevet fine partikler ($PM_{2,5}$) med 66 pct. Hvis dette forsigtigt sammenstilles med danske forhold, vil det skønsmæssigt svare til omkring 3000 færre for tidlige dødsfald årligt (2019-tal) og i en københavnsk sammenhæng vil det svare til omkring 290 færre for tidligere dødsfald årligt (2019-tal).

En reduktion af niveauer af sundhedsskadelig luftforurening på verdensplan vil ligeledes have en positiv indflydelse på klimaforandringer i verden. Ligesom arbejdet med at afbøde klimaforandringerne kan bidrage positivt til at forbedre luftkvaliteten og dermed bidrage til væsentlige sundhedsmæssige forbedringer på verdensplan.

5.3 / Opsamling

Eksposering for luftforurening er forbundet med betydelige sundhedsmæssige konsekvenser og evidensen for sammenhængen mellem forskellige helbredsudfald og luftforurening er fortsat ikke udtømt. Vi kender ikke det fulde billede af sundhedskonsekvenserne forårsaget af luftforurening og sundhedskonsekvenserne sker ved lavere niveauer end hidtil antaget.

De væsentligste reduktioner i WHO's anbefalede niveauer af luftforurening er for fine partikler og kvælstofdioxid. De nye retningslinjer anbefaler en årsmiddelværdi for fine partikler, der er 50 procent lavere sammenlignet med tidligere, samt en årsmiddelværdi for kvælstofdioxid, der er 75 procent lavere sammenlignet med tidligere.

I kapitlet konkluderes bl.a., at en overholdelse af WHO's nye retningslinjer for luftforurening vil have en betydelig effekt i forhold til at reducere sundhedsmæssige konsekvenser.

WHO anbefaler, at der skabes mere viden om delkomponenterne af fine partikler black carbon og ultrafine partikler, således at der kan etableres et solidt vidensgrundlag for fremtidige studier af helbredseffekterne af disse stoffer og dermed også en afklaring af, hvorvidt det er muligt at skelne helbredseffekter fra black carbon og ultrafine partikler fra andre sundhedsskadelige stoffer.



6 / Status på viden om luftforurening og sundhed i Københavns Kommune

Kapitlet er en opsummering af viden og fakta om sundhed og luftforurening i Københavns Kommune baseret på de to forudgående årsrapporter fra 2019 og 2020. Kapitlet er primært baseret på de fem bidrag, der til sammen er grundlag for forvaltningens to årsrapporter. Derudover er kapitlet suppleret af centrale pointer fra WHO's rapport fra september 2021 med nye skærpede retningslinjer for luftkvalitet, samt publikationen Global Burden of Disease, der udgives af The Lancet. Kapitlet handler om helbredsskader af udendørs luftforurening og berører ikke helbredsskader af indendørs luftforurening.

6.1 / Hvad er luftforurening i København?

Nedenfor er beskrevet niveauer af luftforurening og sundhedskonsekvenser med relevans for København for fem typer af sundhedsskadelig forurening:

- Forurening med kvælstofdioxid (NO_2)
- Forurening med grove partikler (PM_{10})
- Forurening med fine partikler ($\text{PM}_{2.5}$)
- Forurening med ultrafine partikler (UFP)
- Forurening med black carbon (BC)

De fem typer af luftforurening er beskrevet i faktaboks på side 2 ovenfor. Kilder i Københavns Kommune bidrager ifølge modelberegninger fra DCE ved Aarhus Universitet til omkring 9 pct. af sundhedskonsekvenserne af luftforurening. Dette betyder også, at modelberegninger viser, at omkring 91 pct. af sundhedskonsekvenserne i Københavns Kommune skyldes emissioner uden for Københavns Kommune.

Forurening med kvælstofdioxid (NO_2) i København

I København har niveauet af kvælstofdioxid ifølge målinger fra DCE ved Aarhus Universitet været faldende over en længere periode. Det skyldes især den løbende udskiftning til mindre forurende køretøjer, der resulterer i mindre udledning på gadeniveau (Aarhus Universitet 2020), idet

vejtransport bidrager væsentligt til gadekoncentrationer af kvælstofdioxid. Gadekoncentrationen af kvælstofdioxid på målestationen på H.C. Andersens Boulevard var i 2021 næste 25 pct. under EU's grænseværdi (Aarhus Universitet 2022), men overskrider WHO's nye retningslinjer fra 2021 for kvælstofdioxid.

I 2019 bidrog lokale kilder i Københavns Kommune ifølge modelberegninger fra DCE ved Aarhus Universitet til ca. 25 pct. af bybaggrundskoncentration af kvælstofdioxid. Det stammer primært fra kraftvarmeværker og vejtransport (fx biler, varebiler og lastbiler) (Aarhus Universitet 2021).

I 2019 var korttidseksponering for kvælstofdioxid skyld i ca. 48 for tidlige dødsfald i kommunen. Det konkluderede DCE ved Aarhus Universitet på baggrund af modelberegninger (rapport fra 2021). DCE ved Aarhus Universitet konkluderer desuden, at kvælstofdioxid også er skyld i 227 hospitalsindlæggelser grundet åndedrætsbesvær (Aarhus Universitet 2021).

Forurening med grove partikler (massen af partikler mindre end $10\mu\text{m}$) i København

I København har niveauet af forurening med grove partikler ifølge DCE ved Aarhus Universitet været faldende over en længere periode (Aarhus Universitet 2022). Ifølge målinger fra de statslige gademålestationer fra 2021 holdt Københavns Kommune sig indenfor EU's grænseværdier, men overskrider til gengæld WHO's retningslinjer (Aarhus Universitet 2022). I 2019 bidrog lokale kilder i Københavns Kommune på baggrund af modelberegninger fra DCE ved Aarhus Universitet til ca. ni pct. af bybaggrundskoncentration af grove partikler (Aarhus Universitet 2021).

Modelberegninger fra DCE ved Aarhus Universitet indeholder ikke beregninger af sundhedskonsekvenser af grove partikler.

Forurening med fine partikler ($PM_{2,5}$) i København

Der har været en faldende tendens i koncentrationer af fine partikler i Københavns Kommune ifølge målinger fra DCE ved Aarhus Universitet (Aarhus Universitet 2020). Ifølge målinger fra de statslige målestationer i 2021 holdt Københavns Kommune sig indenfor EU's grænseværdier, men gademålingerne overskred til gengæld WHO's retningslinjer for forurening med fine partikler (Aarhus Universitet 2020). I 2019 bidrog lokale kilder i Københavns Kommune på baggrund af modelberegninger fra DCE ved Aarhus Universitet til ca. seks pct. af bybaggrundskoncentration af fine partikler (Aarhus Universitet 2021).

På baggrund af modelberegninger konkluderede DCE ved Aarhus Universitet, at fine partikler i 2019 var skyld i det højeste antal for tidlige dødsfald i Københavns Kommune sammenlignet med de andre forureningstyper, nemlig 384. Heraf 304 dødsfald grundet langtidseksponering og 80 dødsfald grundet korttidseksponering (Aarhus Universitet 2021). I 2019 var fine partikler derudover (og med udgangspunkt i modelberegninger) årsag til seks tilfælde af lungecancer, 286 hospitalsindlæggelser med åndedrætsbesvær eller hjertesygdomme, 349 nye tilfælde af bronkitis blandt voksne, 1527 tilfælde af bronkitis eller astma hos børn, 28.350 sygedage med tabt arbejde, samt 420.981 dage med nedsat aktivitet fx utilpashed.

Forurening med ultrafine partikler (UFP) i København

WHO har ikke retningslinjer for niveauer af ultrafine partikler, men foreslår, at der skelnes mellem lave niveauer under 1000 antal/cm³ for 24 timers middelværdier og høje niveauer på mere end 10.000 antal/cm³ for 24 timers middelværdier eller 20.000 antal/cm³ i timemiddelværdi.

Modelberegninger fra DCE ved Aarhus Universitet indeholder ikke beregninger af kildebidrag og sundhedskonsekvenser af ultrafine partikler, da der ikke er konsensus om, hvordan dette beregnes. Derfor kendes sundhedskonsekvenserne af ultrafine partikler ikke for København.

Forurening med black carbon (BC) i København

I den danske nationale emissionsopgørelse indgår black carbon som en særskilt delkomponent af udledning af fine partikler, og i Københavns Kommune udgjorde black carbon i 2018, som et gennemsnit over alle kilder til luftforurening, 17 pct. af udledningen af fine partikler.

På baggrund af modelberegninger fra DCE ved Aarhus Universitet bidrog lokale kilder i Københavns Kommune i 2019 til omkring 21 pct af black carbon i bybaggrundskoncentration, og er årsag til ca. 15 af de for tidlige dødsfald forbundet med eksponering for fine partikler. Det største bidrag til black carbon inden for Københavns Kommune er vejtrafikken med omkring 12 pct. For vejtrafikken er omkring 60 pct forårsaget af udstødning, mens 30 pct er knyttet til dækslid. Det andet største bidrag er fra brændefyring, som bidrager med omkring 6 pct af den lokale udledning af black carbon. Forureningen fra vejtrafikken vil falde efterhånden som alle dieselmotorer udskiftes til nyere modeller med filtre, hvorimod den vil stige, når ældre brændeovne skiftes til nye, da disse udleder mere black carbon pr. kg træ.

WHO har ikke fastsat en retningslinje for black carbon i udeluft. Til gengæld har Arbejdstilsynet i bekendtgørelse nr. 2203 af 29. november 2021 om grænseværdier for stoffer og materialer en grænseværdi for niveauet af black carbon indendørs på 3,5 µg/m³. Denne grænseværdi er dog beregnet ift. arbejdsmiljø og som gennemsnitskoncentration over otte timer.

Der er ca. 15 for tidlige dødsfald relateret til black carbon, som udgør omkring 3 pct. af de samlede antal for tidlige dødsfald pga. af luftforurening i Københavns Kommune. Tilsvarende er black carbon årsag til knap 4 pct af dage med nedsat aktivitet (syg/utilpas), som følge af eksponering for luftforurening i Københavns Kommune (Aarhus Universitet 2020).

6.2 / Hvad er de lokale kilder til sundhedsskadelig luftforurening i København?

I Københavns Kommune er vejtransport (53 pct.) den største emissionskilde til kvælstofdioxider, mens brændefyring (ikke-industriel forbrænding) er den største kilde til både grove partikler (33 pct.) og fine partikler (46 pct.) (Aarhus Universitet 2021).

Samlet set udgør lokale kilders bidrag til bybaggrundskoncentrationen over København 25 pct. for kvælstofdioxider. For grove partikler er der 9 pct., og for fine partikler er det 6 pct. ifølge den modelberegning, som DCE ved Aarhus Universitet har udarbejdet i 2020.

De største lokale kilder, dvs. kilder i Københavns Kommune, der bidrager til bybaggrundskoncentrationen i Københavns Kommune, er, ifølge DCE ved Aarhus Universitet kraftvarme- og fjernvarmewærker (28 pct.) samt vejtransport (26 pct.) for kvælstofdioxider, og brændefyring for grove partikler (35 pct.) og fine partikler (39 pct.) (Aarhus Universitet 2020).

Figuren nedenfor er en illustration af, hvilke stoffer de lokale kilder bidrager mest til udledning af i forhold til hhv. kvælstofdioxider, grove partikler, fine partikler og black carbon i Københavns Kommune. Alle kilder udleder flere typer af luftforurening.

Figur 2 / Kilder til kvælstofdioxider, grove partikler, fine partikler og black carbon i København

	Kvælstofdioxider NO _x	Grove partikler PM ₁₀	Fine partikler PM _{2.5}	Black Carbon BC	Andet
 Vejtransport	✓	✓	✓	✓	✓
 Brændefyring		✓	✓	✓	
 Kraftværker	✓				✓

Figur 2 er udarbejdet med udgangspunkt i en oversigtstabel over lokale kilder bidrag til bybaggrundsfureningen (Aarhus Universitet 2020, tabel 4.5). Her ses, at vejtransporten er en stor bidragsyder til samtlige af de inkluderede stoffer,

henholdsvis kvælstofdioxid, partikler og black carbon. Brændefyring udleder primært store mængder partikler og black carbon, mens kraftværker er en stor bidragsyder til kvælstofdioxider.

DCE ved Aarhus Universitet har således i 2020 undersøgt betydningen af lokale kilder ift. den sundhedsskadelige virkning. WHO's anbefalinger er at regne alle partikelfraktioner som lige farlige dvs. at lægge fine partikler til grund for helbredsberegninger. Med disse forudsætninger bidrager kilder i Københavns Kommune til omkring 9 pct. af alle for tidlige dødsfald (38/440 i 2019). Dette betyder også, at omkring 91 pct. af alle for tidlige dødsfald i Københavns Kommune skyldes emissioner uden for Københavns Kommune (Aarhus Universitet 2019).

Der blev gennemført en følsomhedsanalyse, hvor det blev antaget, at black carbon er den primære årsag til helbredseffekterne forårsaget af fine partikler i København. Med denne antagelse estimerer DCE ved Aarhus Universitet i deres bidrag til årsrapporten 2020, at kilder i Københavns Kommune kan bidrage med ca. 24 pct. af de for tidligere dødsfald og kilder uden for Københavns Kommune med ca. 76 pct. Følsomhedsanalysen viser således, at hvis dødeligheden for BC er som antaget, vil lokale kilder til BC som vejtransport og brændeovne bidrage mere til dødeligheden, ligesom kilder i Københavns Kommune generelt vil fylde mere for det samlede antal for tidlige dødsfald i forhold til kilder uden for kommunen.

Vejtransport

Udledninger fra vejtransport dækker blandt andet over udledninger af udstødning fra personbiler, varebiler og lastbiler, men det dækker også udledninger i relation til vejslid, samt dæk- og bremseslid som resultat af vejtransporten. I 2018 var vejtransport den største lokale kilde til bl.a. kvælstofdioxid og black carbon i Københavns Kommune (Aarhus Universitet 2020). Ud af disse bidrog personbiler i 2018 gennemsnitligt med over halvdelen (52 pct.) af udledning af kvælstofdioxid. Varebiler havde det næststørste bidrag (26 pct.) efterfulgt af busser (17 pct.) og lastbiler (6 pct.). Derudover var vejtransport den andenstørste kilde til udledning af både fine og grove partikler med et bidrag på hhv. 28 og 30 pct. Herudover stod vejtransport for 60 pct. af det lokale bidrag til black carbon.

Vejtransport blev samlet set i 2019 vurderet til at være lokal kilde til 15 for tidlige dødsfald i Københavns Kommune. Ifølge modelberegninger var vejtransport årsag til 41 hospitalsindlæggelser, hvoraf langt de fleste skyldtes åndedrætsbesvær. Derudover fandt en episode med astma blandt børn, 20 episoder med bronkitis hos børn, samt seks episoder med bronkitis hos voksne sted pga. vejtransport. Det forårsagede samtidig lidt over 500 sygedage med tabt arbejde samt næsten 8.000 dage med nedsat aktivitet som resultat af sygdom eller utilpashed. Der er ikke udarbejdet beregninger for de fulde sundhedskonsekvenser af luftforurening fra vejtransport.

Brændefyring

Brændefyring går under betegnelsen ikke-industriel forbrænding, som både dækker over forbrænding i handel- og servicebranchen, i husholdninger samt i landbrug, skovbrug og fiskeri. Der er 16.776 fyringsanlæg i Københavns Kommune, hvoraf 95 pct. er brændeovne og de resterende 5 pct. dækker over kedler, pillefyr, flisfyr, pejse, masseovne og pizzaovne mv. (Aarhus Universitet 2020).

I 2018 var brændefyring ifølge modelberegninger den største lokale kilde til både fine og grove partikler i Københavns Kommune (Aarhus Universitet 2020). Brændefyring forårsagede hhv. 33 pct. af udledning af grove partikler og 46 pct. af udledning af fine partikler i 2018. Derudover var brændefyring den næststørste kilde til udledning af black carbon i Københavns Kommune med et bidrag på 24 pct. Brændeovne udleder på en fyringssæson næsten dobbelt så meget sundhedsskadelig partikelforurening, som den samlede vejtrafik (inklusive vej-, bremse- og dækslid) i København udleder på et helt år (Aarhus Universitet 2021).

Brændefyring blev samlet set i 2019 vurderet til at være lokal kilde til 13 for tidlige dødsfald i Københavns Kommune (Aarhus Universitet 2020). Ifølge modelberegninger var brændefyring årsag til 12 hospitalsindlæggelser som følge af åndedrætsbesvær eller hjertekarsygdomme. Derudover fandt

en episode med astma blandt børn, 39 episoder med bronkitis hos børn, samt 12 episoder med bronkitis hos voksne sted pga. brændefyring. Det forårsagede samtidig næsten 970 sygedage med tabt arbejde samt 14.300 dage med nedsat aktivitet som resultat af sygdom eller utilpashed.

Kraftværker

Kraftværker dækker over kraftvarme- og fjernvarmeværker, herunder affaldsforbrændingsanlæg. Flere kraftværker er placeret inden for Københavns kommunegrænse, hvilket er medvirkende til, at kraftværkerne er betydelig kilde til luftforureningen i kommunen.

I 2018 var kraftværker den største kilde til udledningen af svovldioxid med et bidrag på 68 pct. af den samlede udledningen i Københavns Kommune. Derudover var kraftværker den næststørste kilde til udledningen af kvælstofoxid (Aarhus Universitet 2020).

Kraftværker blev samlet set i 2019 vurderet til at være lokal kilde til tre for tidlige dødsfald i Københavns Kommune (Aarhus Universitet 2020). I 2019 var kraftværker desuden årsag til ni hospitalsindlæggelser som følge af åndedrætsbesvær. Derudover forårsagede kraftværker også 45 sygedage med tabt arbejde samt 571 dage med nedsat aktivitet som resultat af sygdom eller utilpashed (Aarhus Universitet 2020).

6.3 / Luftforureningens konsekvenser for død og sygdom i København

Som beskrevet ovenfor har luftforurening alvorlig sundhedsmæssige konsekvenser for mennesker. Luftforurening forårsager blandt andet for tidlig død, øget dødelighed som følge af sygdom, samt akutte og kroniske sygdomme fx hjertekar-sygdomme, lungekræft, astma og diabetes. Nyere forskning peger endvidere på en sammenhæng mellem luftforurening og accelereret aldring samt udvikling af demens, psykiske sygdomme og neurologiske sygdomme hos børn.

Overordnet set kan man inddele luftforureningens konsekvenser for sundhed i en række kategorier (se Figur 3).

Figur 3 / Luftforureningens konsekvenser for død og sygdom

 Risiko for død	 Risiko for akut og kronisk sygdom	 Risiko for øget sygelighed ved kronisk sygdom	 Risiko for fysiske og psykiske gener
<i>For eksempel:</i> For tidlig død Øget dødelighed pga. sygdom	<i>For eksempel:</i> Astma Lungecancer Lungebetændelse	<i>For eksempel:</i> Forværring Flere symptomer Mere medicin	<i>For eksempel:</i> Overvægt Hovedpine Åndenød Utilpashed

Figuren indeholder fire kategorier, herunder

- Øget risiko for død blandt københavnernes. Det indbefatter både for tidlig død samt øget dødelighed som følge af anden sygdom.
- Øget risiko for akut og kronisk sygdom blandt københavnernes, eksempelvis lungecancer, hjertekarsygdom, apopleksi, astma, type 2-diabetes, lungebetændelse etc.
- Øget sygelighed blandt københavnernes tager sig bl.a. ud som forværring af sygdom og symptomer, øget medicinbrug og hospitalsindlæggelser.
- Øget risiko for fysiske og psykiske gener, der bl.a. er overvægt, lav fødselsvægt, hovedpine, åndenød og utilpashed.

De to første kategorier er yderligere beskrevet og eksemplificeret nedenfor, mens de sidste to kategorier er beskrevet i Kapitel 8. Se også bilag 3 med oversigtstabel.

Luftforurening og øget risiko for død blandt københavnernes

I en årrække har det været kendt, at luftforurening forårsager for tidlig død. Det er eksempelvis veldokumenteret, at der for voksne er betydelig årsagssammenhæng til samlet øget dødelighed (for tidlig død), øget dødelighed (for tidlig død) på grund af luftvejssygdomme (både børn og voksne), øget dødelighed (for tidlig død) på grund af hjertekarsygdomme og øget dødelighed (for tidlig død) på grund af type-2 diabetes (se Tabel 3).

Tabel 3 / Oversigt over sammenhænge til død og øget dødelighed i forskning samt inkluderet i beregning af helbredseffekter i Københavns Kommune⁹

Moderat til høj evidens (etablerede sammenhænge)	Mistanke om sammenhæng ¹⁰	Udfald inkluderet i beregning af helbredseffekter for Københavns Kommune
Samlet øget dødelighed	Øget dødelighed pga. svangerskabsforgiftning	Tabte leveår (kroniske dødsfald som følge af langtids-eksponering)
Øget dødelighed pga. hjertekarsygdomme	Øget dødelighed pga. luftvejssygdomme (børn)	Totalt antal dødsfald (kroniske tabte leveår og akutte dødsfald)
Øget dødelighed pga. luftvejssygdomme		
Øget dødelighed pga. lungekræft		Akutte dødsfald (som følge af korttidseksponering)
Øget dødelighed pga. type 2-diabetes		
Øget spædbarnsdødelighed (børn)		

⁹ Tabellen er kvalitetssikret af ekspertgruppemedlemmer professor Zorana J. Andersen og lektor Marie Pedersen fra Københavns Universitet.

¹⁰ Resultater fra et studie eller få studier typisk på grund af, at der ikke er foretaget flere studier, fx fordi der er tale om et nyt område, der undersøges i relation til luftforurening

Tabellen oplister den øgede risiko for død og dødelighed af anden sygdom forbundet med luftforurening, hvor der er henholdsvis mange eller flere studier, der påviser en sammenhæng (første kolonne), enkelte eller få studier, der påviser en sammenhæng (anden kolonne), samt udfald inkluderet i de modelberegninger, der forelægger som baseline for status på området for sundhed og luftforurening i København (tredje kolonne).

Præcis hvor mange københavnere, der årligt dør på grund af luftforurening i byen, er vanskeligt at besvare. Modelberegningen fra DCE ved Aarhus Universitet viser, at 440 københavnere døde for tidligt på grund af luftforurening i 2019. Et antal der både kan være væsentlig højere og lavere grundet de usikkerheder, der er i modellen¹¹.

Når man taler om risiko for død på grund af luftforurening, kan det være en fordel at sammenligne med andre kendte risikofaktorer fx rygning eller fysisk inaktivitet. I publikationen Global Burden of Disease¹² sammenlignes 87 risikofaktorer i 204 lande i verden. Her er luftforurening med fine partikler den fjerde største risikofaktor for død for både mænd og kvinder og overgår fx fysisk inaktivitet og overvægt.

I Danmark ved vi, at for tidlig død på grund af luftforurening svarer til den tredje største risikofaktor for død kun overgået af rygning og fysisk inaktivitet. I København ved vi, at de dødsfald, som DCE ved Aarhus Universitet med modelberegning har regnet sig frem til, kan tilskrives luftforurening, svarer til omkring 12 pct. af alle københavnske dødsfald (Aarhus Universitet 2020). Det svarer til lidt mere end hvert tiende dødsfald i København kan siges, at skyldes eksponering for luftforurening.

Hertil skal lægges, at modelberegninger indeholder en grad af usikkerhed – og at man med fokus på dødelighed ofte glemmer, at mange københavnere dagligt lever med sygdom og gener, der også forårsages af luftforurening (se Figur 3). Det er heller ikke indbefattet i de modelberegninger, der forelægger som baseline for status på området for sundhed og luftforurening i København. Det er yderligere beskrevet nedenfor.

Luftforurening og øget risiko for akut og kronisk sygdom blandt københavnere

Udover for tidlig død forårsager luftforurening som beskrevet ovenfor også alvorlig sygdom – både akut sygdom og kronisk sygdom. Sammenhænge ml. eksponering for luftforurening og øget risiko for sygdom er ligeledes forholdsvist veldokumenteret i forskningsfeltet¹³ – selvom der fortsat forskes betydeligt indenfor området, og stadig flere sygdomsområder føjes til listen.

Når man ser på luftforurenings betydning for sygdom, kan der sondres ml. akut og kronisk sygdom – og ml. den egentlige sygdom og en øget grad af sygelighed ved sygdom (se Figur 3). Eksempelvis kan man få astma som følge af luftforurening. Derudover kan man opleve en forværring af sin astma, få flere symptomer, have behov for mere medicin, blive hospitalsindlagt etc. Med andre ord kan man blive mere syg med den sygdom, man har i forvejen. Dette gælder i øvrigt uanset om sygdommen i sig selv er forårsaget af luftforurening. Eksempelvis forårsager luftforurening ikke KOL, til gengæld forværrer sygdom og symptomer ved KOL på grund af sundhedsskadelig luftforurening. Øget sygelighed herunder forværring af symptomer er beskrevet i næste kapitel.

¹¹ Læs bl.a. om usikkerheder i forvaltningens årsrapport for 2019 på www.kk.dk/sundluft

¹² www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S0140-6736%2820%2930752-2

¹³ I forskningsoversigten fra 2019 har Københavns Universitet vurderet de sundhedsudfald, hvor der er evidens til at kunne dokumentere en årsagssammenhæng med luftforurening, og inddelt dem i to kategorier: 1) Når der er betydelig eller stærk sammenhæng ml. luftforurening og det pågældende sygdomsområde eller den pågældende konkrete sygdom. Det handler typisk om, at der er flere studier, der påviser en sammenhæng. 2) Når der er påvist en sammenhæng med det forbehold, at der endnu ikke er meget evidens bag. Det kan fx være, hvis det blot er få studier, der peger på sammenhængen også selvom der er tale om en påvist stærk sammenhæng ml. luftforurening og det pågældende sygdomsområde eller den pågældende konkrete sygdom.

Figur 4 / Afsnittets fokus – risiko for død og sygdom

 Risiko for død	 Risiko for akut og kronisk sygdom	 Risiko for øget sygelighed ved kronisk sygdom	 Risiko for fysiske og psykiske gener
<i>For eksempel:</i> For tidlig død Øget dødlighed pga. sygdom	<i>For eksempel:</i> Astma Lungecancer Lungebetændelse	<i>For eksempel:</i> Forværring Flere symptomer Mere medicin	<i>For eksempel:</i> Overvægt Hovedpine Åndenød Utilpashed

Det er allerede dokumenteret, at der er årsags-sammenhæng til en lang række sygdomsområder, sygdomme og lidelser ved eksponering for luftforurening. Tabel 4 er en opstilling af den øgede risiko for sygdom og sygelighed ved sygdom forbundet med luftforurening, hvor der er henholdsvis moderat

til høj evidens, der underbygger en etableret sammenhæng (første kolonne), mistanke om en sammenhæng (anden kolonne), samt udfald inkluderet i de modelberegninger af sundhedskonsekvenser, der er inkluderet i beregningen af helbredseffekterne i København (tredje kolonne).

Tabel 4 / Oversigt over sammenhænge til sygdom og forværring af sygdom i forskning samt inkluderet i beregning af helbredseffekter for Københavns Kommune¹⁴

Moderat til høj evidens (etablerede sammenhænge)	Mistanke om sammenhænge ¹⁵	Udfald inkluderet i beregning af helbredseffekter for Københavns Kommune
– Astma – Forhøjet blodtryk under graviditet – Hjerteranfald – Hjertestop – KOL – Lungebetændelse – Lungekræft – Slagtilfælde (hjerneblødning, blodprop i hjernen)	– Accelereret kognitivt forfald – Angst – Blærekræft – Brystkræft – COVID-19 – Diabetes under graviditet – Demens/Alzheimers – Depression – Dødfødsel – Dårlig mental sundhed	– Bronkitis hos voksne – Hospitalsindlæggelser for åndedrætsbesvær og hjertekarsygdomme – Lungekræft – Sygedage inkl. nedsat aktivitet fx hovedpine¹⁶ – Astma (børn) – Bronkitis (børn)

¹⁴ Tabellen er kvalitetssikret af ekspertgruppemedlemmer professor Zorana J. Andersen og lektor Marie Pedersen fra Københavns Universitet.

¹⁵ Resultater fra et studie eller få studier typisk på grund af, at der ikke er foretaget flere studier, fx fordi der er tale om et nyt sygdomsområde, der undersøges i relation til luftforurening

¹⁶ Indgår også i Kapitel 9

Tabel 4 fortsat/ Oversigt over sammenhænge til sygdom og forværring af sygdom i forskning samt inkluderet i beregning af helbredseffekter for Københavns Kommune¹⁴

Moderat til høj evidens (etablerede sammenhænge)	Mistanke om sammenhænge¹⁵	Udfald inkluderet i beregning af helbredseffekter for Københavns Kommune
- Svangerskabsforgiftning - Type 2-diabetes - Astma og astmarelaterede symptomer (børn) - Lav fødselsvægt (børn) - Lungebetændelse (børn) - Nedsat lungefunktion (børn) - Øget sygelighed pga. luftvejs-sygdomme (børn)	- Dårlig søvnkvalitet - Dårlig trivsel generelt - Efterfødselsdepression - Forhøjet blodtryk - Hjernetumor - Hjerteflimmer - Hovedpine - Leukæmi - Leverkræft - Lymfeknudekræft - Mavekræft - Multipel Sklerose (MS) - Nedsat fertilitet - Nedsat kognitiv funktion - Nedsat produktivitet/aktivitet - Nyrekræft - Overvægt - Parkinsons sygdom - Selvmord - Skizofreni - Spontan abort - Stress - ADHD (børn) - Autisme (børn) - COVID-19 (børn) - Dårlig søvnkvalitet (børn) - For tidlig fødsel (børn) - Forhøjet blodtryk (børn) - Hæmmet kognitiv funktion og udvikling (børn) - Kræft i centralnervesystemet (børn) - Leukæmi (børn) - Lymfeknudekræft (børn)	

Ligesom med for tidlig død er det svært at sige, hvor mange københavnere, der årligt får sygdom, forværring af sygdom eller symptomer eller komplikationer i deres sygdomsforløb som følge af luftforurening i København.

Modelberegninger fra DCE ved Aarhus Universitet viser bl.a., at seks københavnere årligt får lungecancer på grund af luftforurening. Beregningerne viser også, at luftforurening hvert år er skyld i 349 nye episoder med bronkitis hos voksne københavnere, 1487 episoder med bronkitis hos børn i København, samt 37 episoder med astma hos børn i København. Derudover er der også med modelberegningerne regnet på hospitalsindlæggelser knyttet til luftforurening, og fundet frem til, at der årligt er ekstra 504 hospitalsindlæggelser som følge af luftforurening i København. Samt at der blandt københavnere er 449.443 dage med sygdom, nedsat aktivitet (syg/utilpas) eller delvist nedsat aktivitet.

I runde tal inkluderer baseline for København således seks tilfælde af lungekræft, cirka 350 episoder med bronkitis, cirka 1500 episoder med bronkitis eller astma hos københavnske børn, samt omkring 450.000 dage med helt eller delvist sygdom eller nedsat aktivitet. Dertil kommer alle de sygdomstilfælde mv., som der ikke regnes på i modelberegningerne og derfor ikke er inkluderet i baseline. Det drejer sig fx om lungebetændelse, astma også for voksne og diabetes mv.

Alt dette bør således forstås i en kontekst af, at sundhedskonsekvenser af luftforurening er langt større end forudsætningerne i modelberegninger, og at man derfor er klar over, at tallene reelt må forventes at være betydelig større. Eksempelvis forværrende astmasymptomer, øget brug af astmamedicin, komplikationer af symptomer hos personer med kroniske luftvejs- og hjertekarsygdomme, som kan medføre hospitalsindlæggelser.

6.4 / Opsamling

Luftforurening har de seneste år været faldende i København ifølge de nationale målinger (Aarhus Universitet 2022), men på trods heraf forårsager luftforurening fortsat store sundhedsmæssige udfordringer. Niveauerne af luftforurening i København overskrider WHO's retningslinjer for flere stoffer, herunder fine partikler og kvælstofdioxid.

I Københavns Kommune er vejtransport den største lokale kilde til udledning af kvælstofoxider efterfulgt af kraftvarme- og fjernvarmewærker, mens brændefyring er den største lokale kilde til udledning af både grove partikler og fine partikler.

Luftforurening har alvorlig sundhedsmæssige konsekvenser, og disse kan overordnet inddeles i fire kategorier; øget risiko for død, øget risiko for akut og kronisk sygdom, øget sygelighed ved kronisk sygdom og øget risiko for fysiske og psykiske gener. Helbredsudfaldene for øget risiko for død, akut og kronisk sygdom og beskrevet i tabel 3 og 4 er dokumenteret rent forskningsmæssigt, men ikke alle tilsvarende etableret eller inkluderet som helbredsudfald i modellerne, der beregner sundhedskonsekvenser af luftforurening. De beregningsmodeller, som anvendes til at opgøre sundhedskonsekvenser af luftforurening, benytter (udover de nu forældede anbefalinger fra WHO i 2005) et begrænset sygdomsbillede som grundlag. Sundhedskonsekvenserne af luftforurening er derved formodentlig langt større, end vi ved og kan dokumentere i dag.



7 / Mere viden om luftforurening - og et stort forebyggelsespotentiale

Kapitlet indeholder resultater fra en supplerende forskningsoversigt, der er udarbejdet af Københavns Universitet (Københavns Universitet 2022), samt en diskussion af potentialet i et ændret fokus på betydning af høje doser af luftforurening for sundheden.

Forrige kapitel peger på, at sundhedskonsekvenser af luftforurening er andet og mere end, at københavnere dør for tidligt. Derudover handler kapitlet om, at den måde, hvorpå man opgør sundhedskonsekvenser af luftforurening er sparsom ift. at inkludere sygdomsudfald af forskellige karakter. I dette kapitel foldes mulige sundhedskonsekvenser af luftforurening endnu mere ud.

7.1 / Luftforurening og øget risiko for fysiske og psykiske gener blandt københavnere

I forrige kapitel er beskrevet, hvordan luftforurening forårsager for tidlig død, øget dødelighed, øget risiko for akut og kronisk sygdom, samt øget risiko for forværring af sygdom. Dertil kommer, at luftforurening også kan være årsag til en lang række sundhedskonsekvenser, der nærmere er at betegne som øget risiko for fysiske og psykiske gener og et dårligt velbefindende (se også Figur 5). Det drejer sig eksempelvis om overvægt, stress, hovedpine, hoste, irriterede øjne, næse og hals, allergiske reaktioner, åndenød, hvæsende åndedræt, utilpashed, inaktivitet mv.

Figur 5 / Fokus for afsnit – risiko for øget sygelighed og fysiske og psykiske gener

 Risiko for død	 Risiko for akut og kronisk sygdom	 Risiko for øget sygelighed ved kronisk sygdom	 Risiko for fysiske og psykiske gener
<i>For eksempel:</i> For tidlig død Øget dødelighed pga. sygdom	<i>For eksempel:</i> Astma Lungecancer Lungebetændelse	<i>For eksempel:</i> Forværring Flere symptomer Mere medicin	<i>For eksempel:</i> Overvægt Hovedpine Åndenød Utilpashed

I en ny, supplerende forskningsoversigt¹⁷ har Københavns Universitet set på sammenhæng ml. luftforurening og øget risiko for fysiske og psykiske gener og et dårligt velbefindende, herunder sammenhæng til overvægt, søvn, flere udfald knyttet til psykisk og mental sygdom og sundhed, samt faldende produktivitet. I forskningsoversigten finder Københavns Universitet følgende resultater:

Der er et stigende antal undersøgelser, som dokumenterer, at eksponering for luftforurening er forbundet med øget body-mass index og risiko for overvægt/fedme hos både børn og voksne.

Eksisterende litteratur om luftforurening og påvirkning af søvn er, ifølge forskningsoversigten, begrænset, men der er fundet en generel negativ sammenhæng mellem eksponering for forskellige luftforureningskomponenter og negative søvnudfald. Hos børn og unge er luftforurening fx forbundet med øgede søvnrelaterede vejtrækningsforstyrrelser og andre negative søvnudfald. Hos voksne er eksponering for luftforurening især relateret til søvnforstyrret vejtrækning.

Forskningsoversigten beskriver desuden, at evidensen for en sammenhæng mellem luftforurening med øget risiko for stress og angstlidelser, er stigende, men antallet af studier sparsomme, og resultaterne er mindre konsistente end for fedme og søvn.

På baggrund af forskningsoversigten konkluderer Københavns Universitet desuden, at eksponering for luftforurening kan nedsætte produktivitet. Effekten synes dog at være særlig udtalt ved markant høje niveauer af luftforurening.

Der er, ifølge Københavns Universitet, ikke udført undersøgelser af de mulige sammenhænge mellem eksponering for luftforurening og ovennævnte risikofaktorer i Danmark, men der er rapporteret signifikante sammenhænge for populationer udsat for koncentrationer af fine partikler og kvælstofdioxid, som er på niveau med dem, der er målt og modelleret i Danmark.

Tabel 5 / Oversigt over sygdomme, lidelser og gener fra den supplerende forskningsoversigt¹⁸

	Moderat til høj evidens (etablerede sammenhænge)	Mistanke om sammenhænge¹⁹
Overvægt	—	Overvægt hos voksne Overvægt (børn)
Søvn	—	Dårlig søvnkvalitet hos voksne Dårlig søvnkvalitet (børn)
Psykisk sygdom	—	Angst Stress
Velbefindende og aktivitet	—	Dårlig trivsel generelt Hovedpine Nedsat produktivitet

¹⁷ Københavns Universitet, 2021 "Ambient air pollution and risk factors of disease and mortality", jf. bilag 1.

¹⁸ Tabellen er kvalitetssikret af ekspertgruppemedlemmer professor Zorana J. Andersen og lektor Marie Pedersen fra Københavns Universitet.

¹⁹ Københavns Universitet, 2021 "Ambient air pollution and risk factors of disease and mortality", jf. bilag 1.

Den eksisterende evidens opsummeret i forskningsoversigten indikerer, at eksponering for luftforurening er forbundet med udvikling af fedme og dårlig søvn hos børn og voksne. Selvom evidensen er sparsom og begrænset, er der også studier, der peger på, at eksponering for luftforurening er forbundet med øget angst, stress og hovedpine. Dette har, ifølge Københavns Universitet, både direkte og indirekte konsekvenser for folkesundheden og livskvalitet også set i lyset af, at vi alle eksponeres for luftforurening hver dag gennem hele livet. På den baggrund konkluderes i forskningsoversigten, at de negative konsekvenser forbundet med eksponering for luftforurening sandsynligvis er meget større end estimeret, og at fordelene ved yderligere forebyggende tiltag, som medfører lavere eksponering for luftforurening og en mere bæredygtig, naturlig, gå- og cykelvenlig by er enorme.

Tabel 5 ovenfor er en oversigt over resultater i den nye, supplerende forskningsoversigt, der er udarbejdet af Københavns Universitet – og kan ses som et supplement til Tabel 3 og Tabel 4 ovenfor. De tre tabeller er i øvrigt samlet i en tabel i bilag 3.

Der er ikke udarbejdet modelberegninger for sundhedskonsekvenser af luftforurening i København, der inkluderer ovenstående udfald. Det eneste udfald fra den supplerende forskningsoversigt, der er inkluderet i baseline, er nedsat produktivitet pga. hovedpine (se bilag 3). Med andre ord indgår denne viden ikke i opgørelser over sundhedskonsekvenser af luftforurening.

Som det fremgår af ovenstående tabel, er forskningsfeltet til stadighed voksende – og rækker langt udover en forståelse af luftforurening som årsagsgivende til kun for tidlig død.

Figur 6 / Kortvarige og langvarige sygdomme, skader og gener som følge af sundhedsskadelig luftforurening



Luftforurening kan således bidrage til en lang større gene og sygdomsbyrde end hidtil estimeret, da det ikke kun forårsager sygdom og for tidlig død, men også forårsager gener, lidelser og tilstande, der i sig selv forårsager anden sygdom. Et eksempel er overvægt. Således peger studier på, at luftforurening forårsager overvægt, der i sig selv tillige forårsager en lang række kroniske og akutte sygdomme fx diabetes og hjertesygdomme. Ligeså kan dårlig trivsel eller gentagne stressepisoder føre til depression og angst. På den måde er der gensidig afhængighed ml. de forhold, der alle induceres af luftforurening og som på både kort og lang sigt fører til væsentlig forringelse af livskvalitet blandt københavnere.

7.2 / Forebyggelsespotentiale for sårbare målgrupper

Hvis man hæver blikket og ser ned på det brede spektrum af død, sygdom mv., der kan tilskrives luftforurening, tegner der sig et billede af et kontinuum, der strækker sig fra livstruende eller langvarige sygdomme eller skader på kroppen på den ene side og mere kortvarige gener eller skader på kroppen på den anden side (se Figur 6).

Førstnævnte er de sygdomsområder, som der er forsket mest i i forhold til de sundhedsmæssige konsekvenser af luftforurening fx lungecancer, diabetes, astma, hjertestop, lungebetændelse etc.

Sidstnævnte er andre typer af gener og skader, der i mindre grad er anvendt som grundlag for beregning af sundhedskonsekvenser af luftforurening og som i hvert fald i mindre grad er tydeligt i hverdagen. Det drejer sig eksempelvis om forværring af eksisterende sygdom (fx KOL), øget medicinbrug, irritation af luftveje, hovedpine, hoste, åndenød, allergisk reaktion, utilpashed etc. Denne type af gener sker ofte ved kortvarig eksponering for høje niveauer af luftforurening, som fx ved færden på gadeniveau i myldretidstrafikken eller børn omkring et bål i daginstitutioner.

Grunden til, at denne sondring er relevant, skyldes forebyggelsespotentialer, herunder muligheden for at fremme initiativer, som beskytter sårbare grupper børn, gravide, borgere med kroniske sygdomme og ældre borgere mod risici forbundet med sundhedsskadelig luftforurening. Grunden er endvidere en øget grad af forståelse for, hvordan hverdagslivet

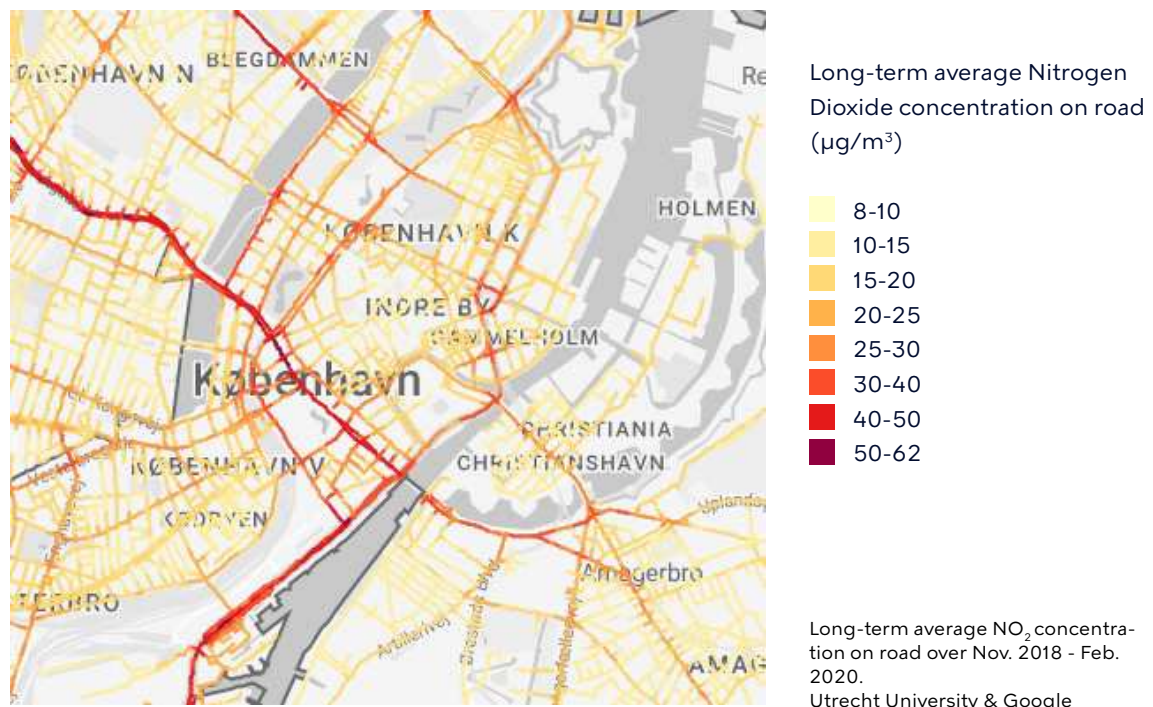
påvirkes strukturelt af luftforurening og bidrager til at skabe endnu mere sygdom senere i livet allerede fra barnsben. Dette diskuteres uddybende i Kapitel 8.

7.3 / Betydningen af dosis af sundhedsskadelige luftforurening

Overordnet set hænger forståelsen af eksponering for luftforurening tæt sammen med betydning af tid og sted. Der er eksempelvis mere forurenede lige ved et udstødningsrør fra en bil på hvilken som helst gade i København end på toppen af Rigshospitalet. Der er også som oftest mere forurenede på cykelstien på Jagtvej kl. kvart i ni en tirsdag morgen end samme sted en søndag formiddag, alene på grund af tidspunktet.

Luftforurening er, som beskrevet tidligere i rapporten, overalt og noget, vi alle er udsat for. Der er dog forskel på den mængde eller koncentration af

Figur 7 / Kort over kvælstofdioxid i København indsamlet med Google Street-view bilen²⁰



²⁰Illustration af kvælstofdioxid fra Copenhagen AirView - <https://insights.sustainability.google/labs/airquality>

luftforurening, som man eksponeres for afhængig af, hvor tæt man er på en given kilde til forurening, og luftforureningen "fortyndes" således, når den bevæger sig væk fra sin oprindelige kilde. Ovenfor er dette illustreret med et udklip fra et kort over kvælstofdioxid i København indsamlet med Google Street View-bilen. Jo rødere farven på vejen er, des højere niveauer af luftforurening.

Figuren viser, at de trafikerede veje (mørkerøde) har væsentlig højere og op til flere gange så høje niveauer af luftforurening (i dette tilfælde kvælstofdioxid) sammenlignet med mindre befærdede veje.

7.4 / Opsamling

Den eksisterende evidens opsummeret i Københavns Universitets supplerende forskningsoversigt indikerer, at eksponering for luftforurening muligvis er forbundet med udvikling af fedme og dårlig søvn hos børn og voksne. Studier peger desuden på, at eksponering for luftforurening er forbundet med øget angst, stress og hovedpine, selvom evidensen er sparsom og begrænset.

Luftforurening kan således bidrage til en lang større gene og sygdomsbyrde end hidtil estimeret, da det ikke kun forårsager sygdom og for tidlig død, men også gener, lidelser og tilstande, der i sig selv kan forårsage anden sygdom eksempelvis overvægt eller dårlig trivsel eller gentagne stressepisoder, der kan føre til depression og angst.

Der er ikke modelberegninger for sundhedskonsekvenser af luftforurening i København, der inkluderer denne type udfald af fysiske og psykiske gener. Det eneste udfald fra den supplerende forskningsoversigt fra Københavns Universitet, der er inkluderet i baseline til beregning af sundhedskonsekvenser af luftforurening jf. tabel 5, er nedsat produktivitet pga. hovedpine (se Bilag 1).

Der er endvidere grupper, der er særligt sårbare overfor sundhedskonsekvenserne af luftforurening, hos hvem de mere akutte fysiske og psykiske gener kan have stor betydning i hverdagen. Heri lægger et stort forebyggelsespotential i at nedsætte udsættelse for luftforurening for alle og især blandt de særlig sårbare og mest udsatte grupper af befolkningen, oplyse de særlig sårbare grupper; børn, gravide, borgere med kroniske sygdomme og ældre borgere om risici forbundet med eksponering for sundhedsskadelig luftforurening.

Der kan være stor forskel på den mængde eller dosis af luftforurening, som man eksponeres for afhængig af, hvor tæt man er på en given kilde til luftforurening. I det klassiske folkesundhedsfelt er der ofte fokus på, at mængde eller dosis spiller en væsentlig rolle for sundhedskonsekvenser forbundet med indtag eller brug af fx tobak, alkohol eller andre rusmidler. Laves sammenligningen til luftforurening er en høj dosis fx luftforurening i myldretiden, tæt på en brændeovn, på vejstrækninger med tæt trafik etc. Samtidig er en lav dosis den almindelige luft i København. Der er således stor forskel på den enkeltes eksponering i forhold til tid og sted.

Modelberegninger på baggrund af årsmiddelværdier svarer til at regne på baggrund af den lave dosis (generelle luft i København). Med andre ord tages der i den almindelige beregningsmodel i meget lille grad højde for variationer i tid og sted – og at mennesker udover den almindelige lave, vedvarende dosis af sundhedsskadelig luftforurening også udsættes for høje doser af luftforurening.

8 / Eksponering for sundhedsskadelig luftforurening på gadeniveau

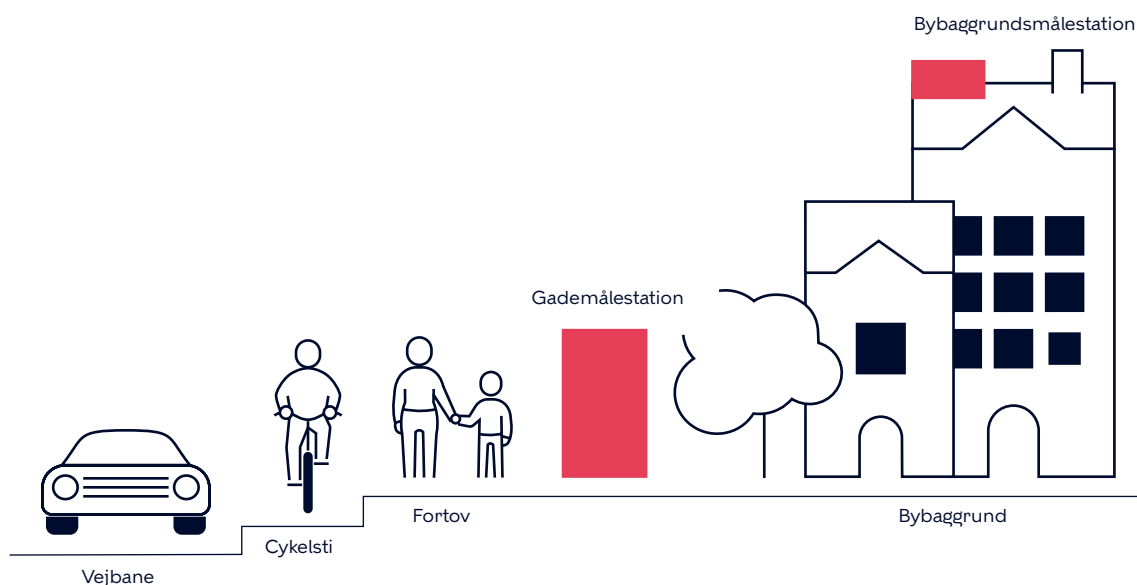
Hvis man som lægmand skal forstå eksponering for sundhedsskadelig luftforurening, kan man forsimplet beskrive det på to måder. Den ene forståelse handler om den almindelige eksponering for sundhedsskadelig luftforurening, som vi alle udsættes for hele tiden. Det er den forurening, der hænger i luften uanset, hvor man befinder sig – og på alle tidspunkter af døgnet. Det er den luftforurening, som (baseret på det vi ved, og den måde vi regner på i dag) forårsager for tidlig død og alvorlig sygdom, som beskrevet i Kapitel 6 og Kapitel 7.

Den anden forståelse handler om den luftforurening, som man oplever, når man står bag en lastbil – eller bevæger sig gennem byen i myldretiden eller udsættes for indendørs luftforurening fra mados, brændefyring eller stearinlys. Det er høje doser af luftforurening, som man kan udsættes for i korte perioder. Det er den luftforurening, der kan genere vejtrækning eller give svie i øjnene eller hovedpine for nogle mennesker – ofte særlige sårbare grupper som fx borgere med kronisk sygdom. Det er ligeledes beskrevet i Kapitel 6 og Kapitel 7.

Nedenstående illustration er en simpel visning af ovenstående to forståelser: Den almindelige luftforurening, som alle københavnere udsættes for hele tiden, er overalt i byen. Høje doser af luftforurening, som københavnere af og til udsættes for, er tæt på kilden fx en bil. Når man sidder i et køretøj på vejbanen, når man cykler på cykelstien – og når man går på fortovet, er man tættere på kilden.

Når der beregnes sundhedskonsekvenser af luftforurening, sker det på baggrund af måling fra en såkaldte bybaggrundsmåler, der fx i København er placeret på taget af H.C. Ørstedts Instituttet. De høje doser af sundhedsskadelig luftforurening er fx på gadeniveau, hvor Københavns Kommunes egne luftmålestationer, samt to nationale målestationer, er placeret. Disse anvendes dog ikke til sundhedskonsekvensberegning.

Figur 8 / Illustration af sondring ml. luftforurening på gadeniveau og bybaggrundsmåling



Illustrationen understreger bl.a. vigtigheden af folkesundhedsperspektivet på luftforurening, hvor der er fokus på den dosis eller mængde luftforurening, man udsættes for, når man som borger færdes i byen. Jo større mængde, jo større potentiel 'sundhedsskade'. Mennesker udsættes således udover den almindelige lave, vedvarende dosis af sundhedsskadelig luftforurening også for høje doser af luftforurening på gadeniveau.

Kapitlet opsummerer indsigter og konklusioner fra en række bidrag, rapporter og projekter, der på forskellige vis berører københavnernes eksponering for luftforurening på gadeniveau. Først og fremmest understreges i kapitlet, at der er meget høje niveauer af luftforurening på gadeniveau i København. Med Googleprojektet og Københavns Universitets cykelstudie tydeliggøres og konkretiseres høje niveauer på hhv. vejbane, cykelsti og langs fortove. Med indsigter fra rapporten 'Ren luft i børnelivszoner' gives et muligt bud på, hvorledes det er muligt at gribe eksponering for sundhedsskadelig luftforurening an i øjenhøjde for en udvalgt målgruppe.

8.1 / Indsamling af luftforureningsdata med Google Street View-bilen (Googleprojektet)

Københavns Kommune har gennem et samarbejdsprojekt med bl.a. Google indsamlet viden om luftforurening via Google Street View-bilen²¹ (i daglig tale Googleprojektet). I perioden 5. november 2018 til 1. marts 2020 kortlagde projektet luftforurening på de københavnske veje ved hjælp af videnskabeligt luftmåleudstyr, der var påmonteret Google Street View-bilen med. Alle vejstrækninger i København er blevet kørt på mindst seks gange²².

På baggrund af projektet er udarbejdet en række offentlige kort over byen (jf. tidligere eksempel Figur 7), hvor det er muligt at se luftforurening i København for henholdsvis kvælstofdioxid, ultrafine partikler og black carbon. Kortene er tilgængelige på <https://insights.sustainability.google/labs/airquality>

Kortene er udarbejdet på basis af målinger i projektet. Kortene indeholder endvidere en modellering, hvor der indgår oplysninger fra bl.a. faste målestationer i København, trafikoplysninger mv. Utrechts Universitet og DCE ved Aarhus Universitet har varetaget målinger, dataevaluering, efterfølgende modelberegninger og de offentliggjorte kort.

De offentlige kort, der udgør projektets afrapportering viser, at det særligt er på indfaldsveje og større, trafikerede veje, hvor der er høje niveauer af luftforurening. WHO's retningslinje for kvælstofdioxid er for døgnmiddelværdi $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hvilket er overskredet for mange af trafikerede gadestrækninger. De viser desuden, at niveauet af ultrafine partikler i gennemsnit over hele byen er på $14.195 \text{ antal}/\text{cm}^3$, hvilket ifølge WHO's anslås til at være et højt niveau (WHO 2021).

8.2 / Måleundersøgelse af ultrafine partikler på en cykelrute i København (cykelstudiet)

Måleundersøgelsen af ultrafine partikler på en cykelrute i København (i daglige tale cykelstudiet), der blev udarbejdet af Københavns Universitet i 2020²³, er ligeledes en dokumentation af luftforurening på gadeniveau i København. I det konkrete studie er der tale om luftforurening (i dette tilfælde ultrafine partikler) på en særlig strækning, bl.a. en del af Nørrebrogade, H.C. Andersens boulevard og Jagtvej²⁴.

Undersøgelsen dokumenterer bl.a., at der er betydelige lokale forskelle på niveauer af luftforurening. Koncentrationer af ultrafine partikler er højest de steder på cykelruten, hvor der er lyskryds, meget trafik, vejarbejde eller bygninger, der former en såkaldt "street canyon". De laveste målte niveauer af ultrafine partikler er de steder på cykelruten med mindre vejtrafik, restriktioner for gennemkørsel, eller hvor der langs vejen er mindre tæt bebyggelse. Københavns Universitet har i forbindelse med cykelstudiet supplerende undersøgt data fra kommunale målestationer i København²⁵. Undersøgelsen viser, at der er høje niveauer af ultrafine partikler i løbet af

²¹ Læs mere om projektet her: www.opendata.dk/city-of-copenhagen/airview

²² Blinde gader og veje er i nogle tilfælde blevet målt færre gange

²³ Cykelstudiet er en del af rapporten om gadeforurening, der er beskrevet tidligere

²⁴ Ruten kan ses i årsrapport 2020 side 58 (bilag 1): https://www.kk.dk/sites/default/files/2021-09/aarsrapport_2020_final-a%20%281%29.pdf

²⁵ Data fra kommunale målestationer kan ses på www.erluftensund.kk.dk

dagen, der har sammenhæng med trafikintensiteten. Niveauet af ultrafine partikler stiger således op mod og lidt efter morgenmyldretiden, hvorefter de begynder at falde for igen at stige op mod og lidt efter eftermiddagsmyldretiden.

WHO anslår en kategorisering for 24 times midelværdier for ultrafine partikler, hvor niveauer under 1.000 antal/cm³ er lav og over 10.000 antal/cm³ høj. Timemidelværdier over 20.000 antal/cm³ anslås også for at være i den høje kategori. De målte niveauer af ultrafine partikler på cykelruten i København er flere steder på niveauer omkring 35.000-51.000 antal/cm³.

Forskningsoversigt om gadeforurening

I rapporten om gadeforurening, der er udarbejdet af Københavns Universitet i 2020, er inkluderet en kort forskningsoversigt, der bl.a. dokumenterer, at der er meget høje niveauer af luftforurening på gadeniveau i byer, samt at alle former for transport og færden i gadeniveau (fx gang, cykling, biltransport) medfører eksponering for væsentlig højere niveauer af luftforurening end de niveauer, der måles ved gadestationer og bybaggrundsmålinger.

Den største forskel i målinger er for ultrafine partikler, hvor forskellen ml. målinger målt på fx fortov, cykelsti eller vejbane er en til syv gange højere sammenlignet med målinger på bybaggrundsniveau. For fine partikler er målinger målt på fx fortov, cykelsti eller vejbane 20-40 pct. højere end målinger ved gademålestationer og to til fire gange (svarende til 200-400 pct.) højere end målinger på bybaggrundsniveau (Københavns Universitet 2020).

Der er således stor forskel på den eksponering, man udsættes for, når man bevæger sig gennem byen og her spiller typen af transport således en væsentlig rolle. Der er med andre ord forskel på niveauer af luftforurening, som man eksponeres for alt efter, om man sidder i en bil, cykler eller går. I forskningsoversigten konkluderes, at fodgængere bliver eksponeret for de laveste niveauer af luftforurening i trafikken efterfulgt af cyklister, mens

bilister er den gruppe, der i højeste grad eksponeres for luftforurening i trafikken. Dette skyldes, at bilister befinder sig tættest på vejtrafikken og dermed kilden til forurening.

Københavns Universitet konkluderer endvidere i forskningsoversigten om gadeforurening, at kortvarig eksponering for et højt niveau af luftforurening hos fodgængere og cyklister, har akutte skadelige effekter på en række forskellige biomarkører, der relaterer sig til luftvejs- og hjertesygdomme. Dette indebærer eksempelvis lungefunktion, blodtryk, hjerterytme, inflammatoriske biomarkører og skade på DNA'et. Den hyppigste effekt viser sig at være en reduktion af lungefunktion, hvilket kan medføre ubehag hos raske individer, mens det hos personer med kroniske sygdomme kan forværre allerede eksisterende symptomer (Københavns Universitet 2020).

8.3 / Ren luft i børnelivszoner

Et muligt greb for at skabe fokus på og sætte ind i forhold til at mindske eksponeringen for den høje lokale forurening på gadeniveauer blev udført i Københavns Kommune i 2020.

I 2020 kortlagde Københavns Kommune 43 såkaldte børnelivszoner²⁶. I kortlægningen defineres en børnelivszone som et mindre område i København med en høj densitet af institutioner og faciliteter for børn inden for en kort afstand, dvs. hvor institutioner og faciliteter til børn er placeret særlig tæt på hinanden. Af de 43 børnelivszoner er der udvalgt seks zoner, der alle er kendetegnet ved et højt niveau af luftforurening, i forhold til at identificere mulige tiltag for at mindske børns eksponering for luftforurening i disse zoner.

På baggrund af de seks udvalgte zoner blev der udarbejdet en rapport, der bygger på et overordnet perspektiv om sundhedsfremmende byrum²⁷. Rapporten beskriver bl.a., at tiltag for reduktion af eksponering for luftforurening kan ske med udgangspunkt i forskellige strategier, fx at skabe afstand mellem forureningskilde og mennesker eller at afskærme

²⁶ Link til kort over de 43 kortlagte børnelivszoner: www.kk.dk/sites/default/files/agenda/f87b85f6-8a4d-4442-ab39-de1b-26121dcf/b40d3319-a716-46ee-a1d9-2b0bd32adc19-bilag-2.pdf

²⁷ Link til rapport "Ren luft i børnelivszoner i Københavns Kommune": www.kk.dk/sites/default/files/agenda/f87b85f6-8a4d-4442-ab39-de1b26121dcf/b40d3319-a716-46ee-a1d9-2b0bd32adc19-bilag-3.pdf

opholdsområder og steder for fodgængere fra luftforurening gennem interventioner, der beskytter for sundhedsskadelig luftforurening.

Børnelivszoner er således et muligt greb til at supplere fokus på bybaggrundsmålinger med et fokus på luftforurening i øjenhøjde der, hvor vi alle færdes og hvor vi eksponeres for høje niveauer af luftforurening.

8.4 / Opsamling

Googleprojektet og cykelstudiet dokumenterer, at københavnernes udsættes for højere niveauer af luftforurening på gadeniveau sammenlignet med de niveauer, som traditionelt offentliggøres og anvendes til beregning af sundhedskonsekvenser.

Googleprojektet viser, at det særligt er på indfaldsveje og større, trafikerede veje, hvor der er høje niveauer af luftforurening – både kvælstofdioxid, ultrafine partikler og black carbon. Niveauer af kvælstofdioxid målt overskrider markant WHO's retningslinjer på mange gadestrækninger i København. De målte niveauer af ultrafine partikler i København kan ligeledes anses for at være i den høje kategori, hvis man følger WHO's vejledende kategorisering for niveauer af ultrafine partikler.

Cykelstudiet viser, at der er betydelige lokale forskelle i koncentrationer af ultrafine partikler, når man færdes på cykel i København. De højeste koncentrationer er målt de steder på cykelruten, hvor der er lyskryds, meget trafik, vejarbejde eller bygninger, der former en såkaldt "street canyon". De målte niveauer af ultrafine partikler på cykelruten er flere steder markant højere end den vejledende kategorisering for høje niveauer af ultrafine partikler, som WHO anbefaler.

Forskningsoversigten om gadeforurening dokumenterer bl.a., at kortvarig eksponering for et højt niveau af luftforurening kan have akutte skadelige effekter på en række forskellige biomarkører, der relaterer sig til luftvejs- og hjertesygdomme. Det er eksempelvis lungefunktion, blodtryk, hjerterytme, inflammatoriske biomarkører og skade på DNA. Den hyppigste skadelige effekt viser sig at være en reduktion af lungefunktion, hvilket kan medføre ubehag hos raske mennesker, mens det hos personer med kroniske sygdomme kan forværre allerede eksisterende symptomer.

Et muligt næste skridt i arbejdet med øget viden om sundhedskonsekvenserne af luftforurening er et fokus på, hvor syge københavnernes bliver af de høje doser på gadeniveau og i hvor høj grad de sårbare grupper oplever fysiske og psykiske gener på baggrund heraf.

Et andet muligt skridt med inspiration fra projektet om ren luft i børnelivszoner er, at arbejde med forskellige løsninger for at reducere eksponering for sundhedsskadelig luftforurening i København fx gennem afskærmning, nudging, fredeliggørelse fra trafik i områder, hvor der er meget luftforurening og mange børn og unge færdes.

9 / Opsamling – status på sundhed og luftforurening i København

Københavns Kommunes tredje årsrapport med status på sundhed og luftforurening i København samler op på foregående årsrapporter for 2019 og 2020, og supplerer med ny viden og nye perspektiver på udfordringer med sundhedsskadelig luftforurening i en by som København.

Sundhedskonsekvensberegninger skal opdateres og udbygges væsentligt

Rapporten peger på, at de eksisterende beregninger og beregningsmetoder er utilstrækkelige i forhold til at afdække det fulde billede af de sundhedsmæssige konsekvenser af luftforurening i København.

Luftforurening har over en længere årrække været faldende i København. Det viser bl.a. nationale opgørelser. Niveauerne af luftforurening i København overskrider dog WHO's retningslinjer for flere luftforurenende stoffer. WHO's seneste retningslinjer indeholder væsentlige reduktioner af de anbefalede niveauer. Eksempelvis en reduktion på 50 procent for anbefaling af niveauet af fine partikler i luften.

Endvidere understreger WHO med de nye retningslinjer, at det fulde billede af sundhedskonsekvenser forårsaget af luftforurening fortsat ikke er muligt at afdække endegyldigt. WHO tydeliggør desuden, at sundhedskonsekvenser af luftforurening indtræffer ved markant lavere niveauer end hidtil antaget. Denne konklusion fra WHO understreger vigtigheden af, at man fortsat har fokus på udfordringer med den generelle sundhedsskadelige luftforurening, som vi alle udsættes for hele tiden, selv i en by som København.

De beregningsmodeller, som anvendes til opgøre sundhedskonsekvenser af luftforurening, benytter (udover nu forældede anbefalinger fra WHO) et begrænset sygdomsbillede som grundlag. Det er kritisk, idet det er rimeligt at formode, at sundhedskonsekvenserne af luftforurening er langt større (jf. WHO's udmelding). Eksempelvis inkluderer den beregningsmodel, der benyttes til at estimere helbredskonsekvenserne af luftforurening

i København seks tilfælde af lungekræft, cirka 350 episoder med bronkitis, cirka 1500 episoder med bronkitis eller astma hos københavnske børn, samt omkring 450.000 dage med helt eller delvist sygdom eller nedsat aktivitet blandt københavnernes. Dertil kommer således alle de sygdomstilfælde mv., som der ikke regnes på. Det drejer sig fx om lungebetændelse, astma også for voksne og diabetes mv. Den fulde liste over kendte sundhedskonsekvenser af luftforurening fremgår af bilag 3.

Supplerende anbefaler WHO, at der skabes mere viden om black carbon og ultrafine partikler med henblik på at kunne lave fremtidige studier af helbredskonsekvenserne. På dette område er København allerede i gang, idet der måles ultrafine partikler på alle de fem kommunale målestationer, ligesom to af de kommunale målestationer også måler for black carbon.

Luftforurening er også skyld i øget sygelighed og fysiske og psykiske gener

Et andet væsentligt perspektiv, der fremhæves i rapporten, handler om, hvordan der fremadrettet kan regnes på sundhedskonsekvenser af luftforurening af meget høje doser på gadeniveau herunder betydningen for fx borgere med kroniske sygdomme.

Her fremhæver årsrapporten, at sundhedskonsekvenser af luftforurening kan forstås som for tidlig død, egentlig sygdom (akut eller kronisk), forværring af sygdom eller symptomer og forskellige fysiske og psykiske gener.

Særligt de to sidste områder er underbelyste i en luftforureningssammenhæng, men er yderst relevante i og med, at man som borger ikke kan undgå luftforurening i en by som København. Forværring af sygdom kan fx tage sig ud som øget medicinbrug, hospitalsindlæggelser, flere sygedage knyttet til kronisk sygdom mv., mens fysiske og psykiske gener bl.a. er overvægt, mistrivsel, hovedpine, åndenød, utilpashed mv. Alt sammen noget der også kan medføre ekstra sygedage og mindre produktivitet.



Risiko for død

For eksempel:
For tidlig død
Øget dødelighed
pga. sygdom



Risiko for akut og kronisk sygdom

For eksempel:
Asthma
Lungecancer
Lungebetændelse



Risiko for øget sygelighed ved kronisk sygdom

For eksempel:
Forværring
Flere symptomer
Mere medicin



Risiko for fysiske og psykiske gener

For eksempel:
Overvægt
Hovedpine
Åndenød
Utilpashed

Luftforurening kan potentielt bidrage til lang større gene og sygdomsbyrde end hidtil estimeret, da det ikke kun forårsager sygdom og for tidlig død, men potentielt også gener, lidelser og tilstande, der i sig selv kan forårsage anden sygdom som fx overvægt, dårlig trivsel eller gentagne stressepisoder, der kan føre til depression og angst. Der er ikke modelberegninger for sundhedskonsekvenser af luftforurening i København, der inkluderer denne type udfald af fysiske og psykiske gener.

Der er endvidere borgere, der er særligt sårbare overfor sundhedskonsekvenserne af luftforurening, hos hvem de mere akutte fysiske og psykiske gener kan have stor påvirkning i hverdagen. Heri lægger et stort forebyggelsespotentiale i særligt udsatte grupper; børn, gravide, borgere med kroniske sygdomme og ældre borgere.

Opsamlende kan det konkluderes, at sundhedskonsekvenser af luftforurening i København bør forstås i en kontekst af, at sundhedskonsekvenserne er langt større end forudsætningerne i de eksisterende beregninger, og at man derfor allerede i dag er klar over, at sundhedskonsekvenserne reelt må forventes at være betydelig større.

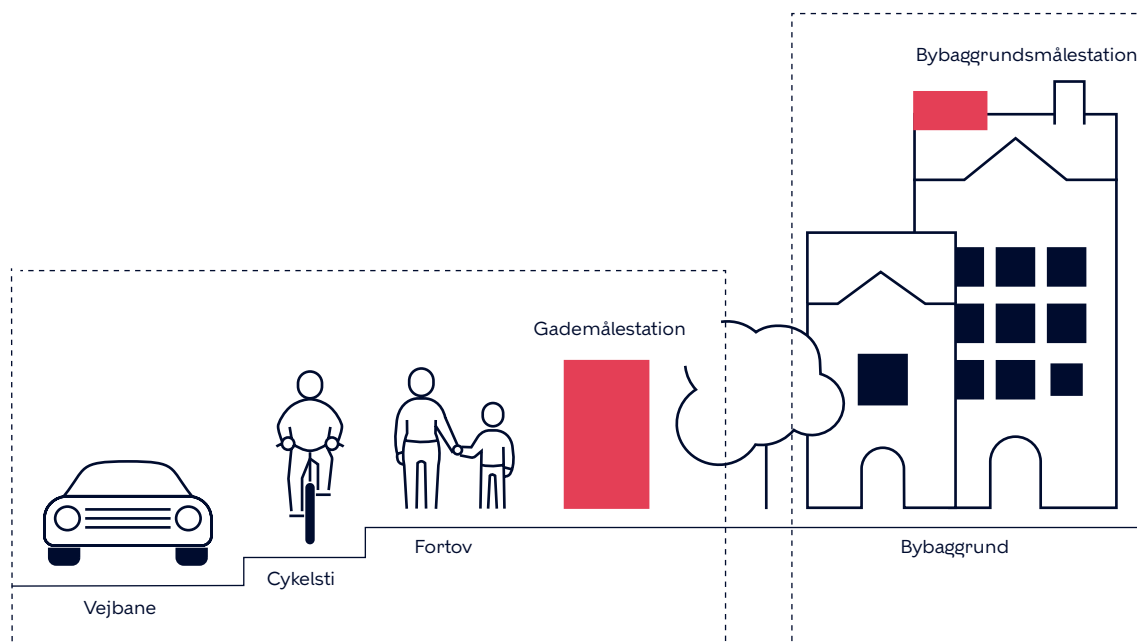
Fremadrettet fokus på de store doser af luftforurening på gadeniveau

Et supplerende perspektiv i rapporten er, når borgere udsættes for store doser af sundhedsskadelig luftforurening. Der kan være stor forskel på den mængde af luftforurening, som man eksponeres for afhængig af, hvor tæt man er på en given kilde. Meget forskning inden for folkesundhed har ofte fokus på, at dosis spiller en væsentlig rolle for sundhedskonsekvenser forbundet med indtag eller brug af fx tobak, alkohol eller andre rusmidler. Laves sammenligningen til luftforurening, er en høj dosis fx luftforurening i myldretiden, tæt på en brændeovn, på vejstrækninger med tæt trafik etc. Samtidig er en lav dosis den almindelige luft i København, som vi alle sammen udsættes for hele tiden. Der er således stor forskel på den enkeltes eksponering i forhold til tid og sted.

Kortvarig eksponering for et højt niveau af luftforurening, som fx de niveauer man udsættes for på gadeniveau, kan have akutte skadelige effekter på en række forskellige biomarkører, der relaterer sig til luftvejs- og hjertesygdomme. Dette indebærer eksempelvis lungefunktion, blodtryk, hjerterytme, inflammatoriske biomarkører og skade på DNAet. Den hyppigste effekt viser sig at være en reducere af lungefunktion, hvilket kan medføre ubehag hos raske individer, mens det hos personer med kroniske sygdomme kan forværre allerede eksisterende symptomer.

Beregninger af sundhedskonsekvenser af luftforurening i København foretages på baggrund af årsmiddelværdier. Det svarer til at regne på en generel lav dosis. Med andre ord tages der i den almindelige beregningsmodel i meget lille grad højde for variationer i tid og sted – og at mennesker

udover den generelle lave, vedvarende dosis af sundhedsskadelig luftforurening også udsættes for høje doser af luftforurening i løbet af en dag – fx i gadeniveau inde i deres biler, på cyklen eller som fodgænger.



Høje doser af sundhedsskadelig luftforurening, som fx er at finde på gadeniveau, indgår ikke i sundhedskonsekvensberegninger

Den almindelige luftforurening, som alle københavnere udsættes for hele tiden, anvendes som grundlag for sundhedskonsekvensberegninger

Googleprojektet (Kapitel 7) dokumenterer, at særligt på indfaldsveje og større, trafikerede veje er der høje niveauer af luftforurening. Cykelstudiet (Kapitel 7) viser endvidere, at der er betydelige lokale forskelle i koncentrationer af ultrafine partikler, når man færdes på cykel i København. De højeste koncentrationer er målt de steder på en cykelrute, hvor der er lyskryds, meget trafik, vejarbejde eller bygninger, der former en såkaldt "street canyon".

Et andet muligt skridt er, med inspiration fra rapport om ren luft i børnelivszoner i Københavns Kommune, at arbejde med forskellige løsninger for at reducere eksponering for sundhedsskadelig luftforurening i København. Det kan fx være i områder med meget luftforurening, og hvor mange børn og unge færdes.

På baggrund af ovenstående er et muligt næste skridt i arbejdet med øget viden om sundhedskonsekvenserne af luftforurening er et fokus på, hvor syge københavnere bliver af de høje doser på gadeniveau og i hvor høj grad sårbare grupper oplever fysiske og psykiske gener på baggrund heraf.



Referencer

Global Burden of Disease Study 2019

Lancet, 2020: "Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019"

Aarhus Universitet 2020

Aarhus Universitets undersøgelse af helbredseffekter af Black Carbon i Københavns Kommune

Københavns Universitet 2020

Københavns Universitet, Institut for Folkesundhedsvidenskab, 2020: "Health effects of outdoor air pollution in Copenhagen".

Aarhus Universitet 2021

Aarhus Universitet, Nationalt Center for Miljø og Energi, 2021: "Helbredseffekter af Black Carbon i Københavns Kommune".

Københavns Universitet 2021

Københavns Universitet, Institut for Folkesundhedsvidenskab, 2021: "Street-level and rush-hour air pollution in Copenhagen, Denmark".

WHO 2021

World Health Organization, 2021: "WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide".

Aarhus Universitet 2022

Aarhus Universitet, Nationalt Center for Miljø og Energi, 2022: "Luftkvalitet 2020 – Status for den nationale luftkvalitetsovervågning i Danmark".

Københavns Universitet 2022

Københavns Universitet, Institut for Folkesundhedsvidenskab, 2022: "Ambient air pollution and risk factors of disease and mortality".

Bilag

Bilagsfortegnelse

Bilag 1

Københavns Universitet – "Ambient air pollution and risk factors of disease and mortality", 2021

Bilag 2

WHO's nye retningslinjer og sammenligning til EU's grænseværdier for luftkvalitet

Bilag 3

Oversigtstabel

Ambient air pollution and risk factors of disease and mortality

Ambient air pollution and risk factors of disease and mortality

Report developed by University of Copenhagen
Report requested by the City of Copenhagen
Københavns Kommune, Sundheds-
og Omsorgsforvaltningen, March 2022



Abstract

Laura Mathilde Ingerslev Loft

Section of Epidemiology,
Department of Public Health,
University of Copenhagen,
Copenhagen, Denmark.

Serena Fossati

ISGlobal, Barcelona Institute
for Global Health, Spain;
Universitat Pompeu Fabra,
Barcelona, Spain; CIBER
Epidemiología y Salud Pública,
Barcelona, Spain.

Tim Cadman

Section of Epidemiology,
Department of Public Health,
University of Copenhagen,
Copenhagen, Denmark.

Marie Pedersen

Section of Epidemiology,
Department of Public Health,
University of Copenhagen,
Copenhagen, Denmark.

Correspondence:

Marie Pedersen

Department of Public Health,
University of Copenhagen,
Copenhagen, Denmark,
mp@sund.ku.dk
ORCID: 0000-0002-9930-0446

Background

Exposure to ambient air pollution is an important public health issue that contributes to adverse health and planetary effects.

Aim

To provide examples of epidemiological studies that have associated exposure to ambient air pollution with obesity, sleep, poor mental health and stress, which are important risk factors of disease and mortality.

Methods

We searched PubMed for peer-reviewed publications written in English and summarized the results for children and adults separately.

Results

A growing number of studies have reported that ambient air pollution exposure at the home address is associated with increased body-mass index and risk of overweight/obesity in both children and adults. A few studies, including one from Sweden, reported null associations. Existing literature on ambient air pollution and sleep is limited, but has generally reported a negative relationship between exposure to different ambient air pollutants and various sleep endpoints. In children and adolescents, ambient pollution is associated with increased sleep-related breathing disorders and other sleep outcomes. In adults, ambient air pollution exposure was most notably related to sleep disordered breathing. Evidence linking ambient air pollution with increased risk of stress and anxiety disorders is emerging, but studies are sparse, and the findings are less consistent than for obesity and sleep. Although biological mechanisms have not been fully understood it is plausible that exposure to air pollution contribute to these risk factors of disease. The reported magnitude of effects is small on an individual level, but large on a population level due to the widespread prevalence of exposure to ambient air pollution. Exposure and outcome misclassification as well as residual confounding from exposure to other environmental exposures such as road traffic noise, lack of natural space and other neighborhood characteristics cannot be ruled out. More multi-exposure studies are needed. No studies on ambient air pollution, obesity, and sleep have been conducted in Denmark, but significant associations have been reported for

populations exposed to similar concentrations of $PM_{2.5}$ and NO_2 as those measured in Denmark. Small and/or inconsistent differences in air pollution concentrations in association with stress-events and co-morbidity have been reported in a nationwide study of adults from Denmark.

Conclusion

Preventative actions to reduce ambient air pollution have been successful in many places in the world including Denmark, but further reductions are urgently needed at local, regional, national and international levels to protect human health. The existing evidence summarized here indicates that exposure to ambient air pollution is associated with the development of obesity and poor sleep in children and adults. Although evidence is sparse and limited, there are indications that exposure to ambient air pollution is also associated with increased anxiety, stress, and headaches. In the perspective of the consequences on health and quality of life associated with these endpoints, and widespread exposure to ambient air pollution, we conclude that adverse effects associated with exposure to ambient air pollution is likely to be much larger than currently quantified and that benefits of further preventive actions towards less polluted, more sustainable, natural, walkable and bikeable cities are enormous.

Resumé

Laura Mathilde Ingerslev Loft

Section of Epidemiology,
Department of Public Health,
University of Copenhagen,
Copenhagen, Denmark.

Serena Fossati

ISGlobal, Barcelona Institute
for Global Health, Spain;
Universitat Pompeu Fabra,
Barcelona, Spain; CIBER
Epidemiología y Salud Pública,
Barcelona, Spain.

Tim Cadman

Section of Epidemiology,
Department of Public Health,
University of Copenhagen,
Copenhagen, Denmark.

Marie Pedersen

Section of Epidemiology,
Department of Public Health,
University of Copenhagen,
Copenhagen, Denmark.

Correspondence:

Marie Pedersen

Department of Public Health,
University of Copenhagen,
Copenhagen, Denmark,
mp@sund.ku.dk
ORCID: 0000-0002-9930-0446

Baggrund

Udsættelse for udendørsluftforurening er et vigtigt sundhedsproblem og bidrager til uønskede helbredseffekter og klima forandringer.

Formål

At give eksempler på befolkningsstudier som belyser sammenhænge mellem udsættelse for luftforurening og fedme, søvn, mentalt helbred og stress, som er vigtige risikofaktorer for sygdom og død.

Metode

Vi brugte PubMed til at finde peer-reviewed publikationer på engelsk og opsummerede resultaterne for børn og voksne hver for sig.

Resultater

Et stigende antal undersøgelser har rapporteret, at eksponering for udendørs luftforurening ved hjemmeadressen er forbundet med øget body-mass index og risiko for overvægt/fedme hos både børn og voksne. Nogle få undersøgelser, herunder en fra Sverige, rapporterede ingen sammenhæng. Eksisterende litteratur om luftforurening og søvn er begrænset, men har generelt rapporteret en negativ sammenhæng mellem eksponering for forskellige luftforurenings komponenter og forskellige negative søvn udfald. Hos børn og unge er luftforurening forbundet med øgede søvnrelaterede vejtrækningsforstyrrelser og andre negative søvnudfald. Hos voksne er eksponering for luftforurening især relateret til søvnforstyrret vejtrækning. Evidensen for en sammenhæng mellem luftforurening med øget risiko for stress og angstlidelser, er stigende, men antallet af studier sparsomme, og resultaterne er mindre konsistente end for fedme og søvn. Selvom de biologiske mekanismer ikke er blevet fuldt ud forstået, er det sandsynligt, at eksponering for luftforurening bidrager til alle disse risikofaktorer for sygdom og død. Den rapporterede størrelse af effekter er lille på individuelt niveau, men stor på befolkningsniveau på grund af den omfangende udbredelse af eksponering for luftforurening. Eksponerings- og udfalds misklassificering samt residual confounding forbundet med for eksempel eksponering for andre relaterede miljøeksponeringer såsom vejtrafikstøj, mangel på naturlige rekreative omgivelser og andre faktorer forbundet med bopæl kan ikke udelukkes. Flere

multi-eksponeringsundersøgelser er nødvendige. Der er ikke udført undersøgelser af de mulige sammenhænge mellem eksponering for udendørs luftforurening, fedme og søvn i Danmark, men der er rapporteret signifikante sammenhænge for populationer udsat for koncentrationer af $PM_{2.5}$ og NO_2 som er på niveau med dem, der er målt og modelleret i Danmark. Små og/eller inkonsistente forskelle i luftforureningskoncentrationer er forbundet med stressfulde oplevelser og ko-morbiditet i et landsdækkende studie af voksne fra Danmark.

Konklusion

Forebyggende tiltag som reducere koncentrationen af luftforurening har været succesfulde mange steder i verden også i Danmark, men der er et presserende behov for yderligere reduktioner på lokalt, regionalt, nationalt og internationalt plan for at beskytte den generelle befolkning mod uønskede helbredseffekter. Den eksisterende evidens opsummeret her indikerer, at eksponering for luftforurening er blevet forbundet med udvikling af fedme og dårlig søvn hos børn og voksne. Selvom evidensen er sparsom og begrænset, er der også studier der peger på, at eksponering for luftforurening er forbundet med øget angst, stress og hovedpine. I perspektivet af de omfattende både direkte og indirekte konsekvenserne for folkesundheden og livskvalitet forbundet med disse risikofaktorer og udbredelsen af eksponering for luftforurening, konkluderer vi, at de negative konsekvenser forbundet med eksponering for luftforurening sandsynligvis er meget større end estimeret, og at fordelene ved yderligere forebyggende tiltag som medfører lavere eksponering for luftforurening, en mere bæredygtig, naturlig, gå- og cykelvenlig by er enorme.

Introduction

Ambient air pollution exposure is one of the greatest threats to health

Exposure to ambient air pollution is widespread and it has been estimated that 91% of the global population breathe air containing air pollutants at levels that exceed the World Health Organization (WHO) guideline limits, with low- and middle-income countries being exposed to the highest levels (WHO, 2021). Air pollution exposure including both indoor and outdoor exposure has been estimated to cause seven million premature deaths worldwide each year (WHO, 2016) with an even larger number of hospitalizations and days of sick leave. Adverse health effects have been observed for several outcomes, measured at all ages, and in populations from all over the world, even in areas like Denmark with relative low exposure levels (Andersen and Pedersen, 2020). In general, the effects associated with exposure to ambient air pollution are small compared to for instance active smoking at the individual level. However, because ambient air pollution exposure affects more people than active smoking does, the population attributable risk of term low birthweight, for instance, associated with ambient air pollution is similar in size to the population attributable risk of active smoking (Pedersen et al. 2013).

Adverse effects associated with exposure to ambient air pollution goes beyond death and disease

The adverse health consequences associated with exposure to ambient air pollution range from acute transient to life-threatening, irreversible effects that manifest in chronic diseases resulting in high costs for the affected people, their families, and societies. Estimates of costs of adverse health effects of exposure to ambient air pollution most often consider costs of premature deaths and loss of healthy years of a limited number of outcomes (Jensen et al. 2017). However, these estimates suffer from a high degree of uncertainty and are likely to underestimate the total costs as exposure to air pollution is likely to contribute to development and worsening of disease and the estimated burden of these effects doesn't

account for the indirect burden of disease through loss of functioning and quality of life (e.g., being unable to socialize, attend school or work). For example, a person suffering from severe asthma may not be able to participate in physically demanding play or sports and a person suffering from poor mental health may not be able to attend ordinary school, to perform all kinds of work and participate in social events. These indirect effects are difficult to measure and thus not included in the estimation of costs. Furthermore, ambient air pollution exposure may also contribute to development of risk factors of disease and mortality starting in early life and throughout life such as overweight and obesity, poor sleep and mental health, unhealthy behaviour, and lifestyle (Fig. 1).

Urban planning towards more sustainable cities is an important preventive priority worldwide

More and more people live in urban areas and today more than 50% of the global population is living in cities. It is estimated that by 2050 more than 70% of the world population will be living in cities of over 500,000 inhabitants (United Nation, 2015). With growing urbanization more people are exposed to urban environmental stressors and other deleterious factors of city living. Urban planning that promotes human and planetary health is an essential target for health policies for many cities, including the City of Copenhagen. According to the WHO definition, health is a state of complete physical, mental, and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity. The vision is that health is integrated into urban planning which should contribute to longer lives, healthier lives, richer lives, and more equity.

Figure 1

Ambient air pollution and risk factors of disease and mortality

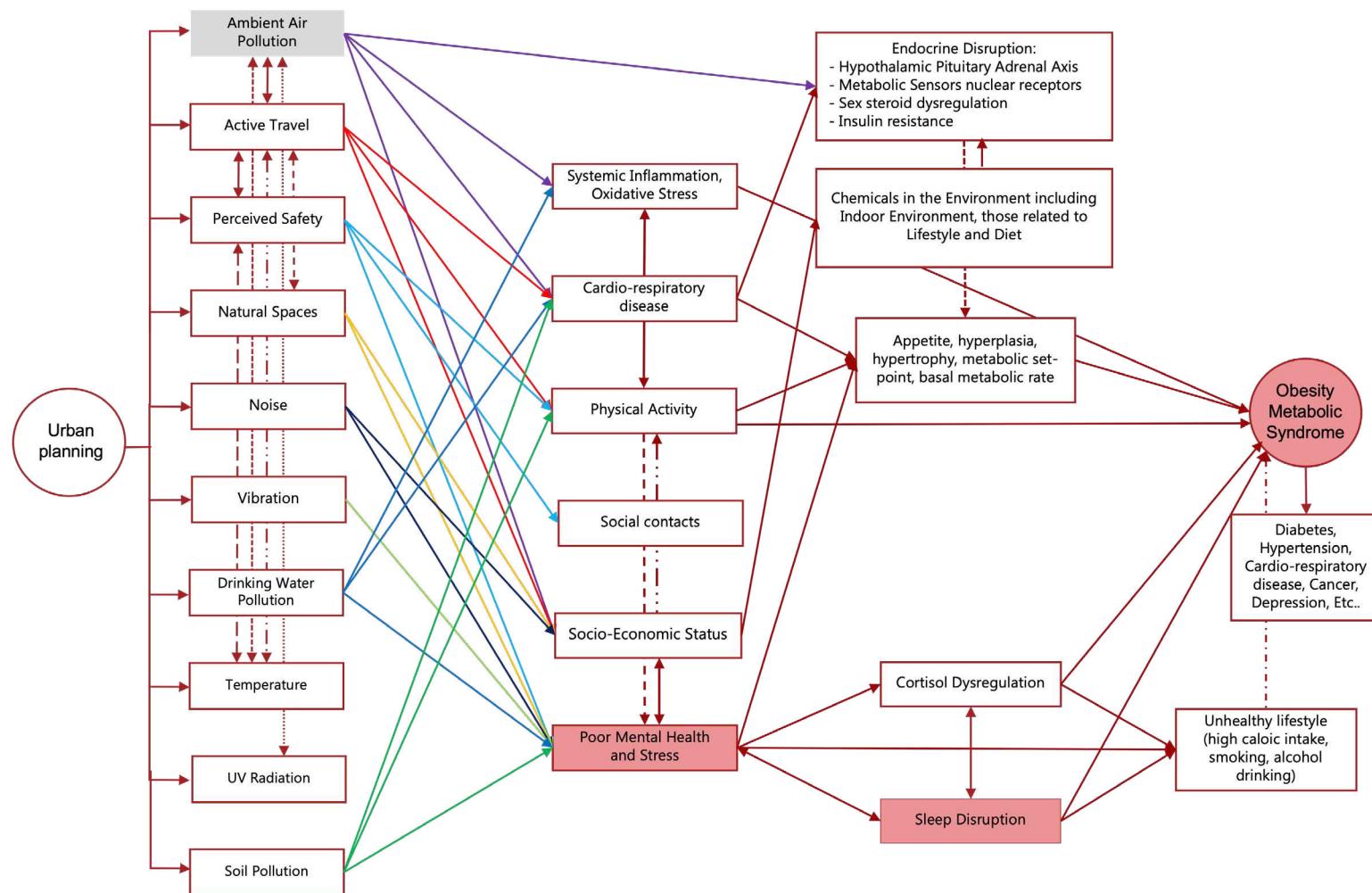


Fig 1. The importance of urban planning in relation to exposure to ambient air pollution, other urban stressor and risk factors of disease and mortality (highlighted in red). Modified figure from Jerrett et al. 2010.

It is recommended to consider environmental, socio-economic and all health-empowering aspects in urban planning (Kamper-Jørgensen et al. 2009). Lowering urban stressors such as ambient air pollution and noise as well as promoting infrastructure that increase natural space and promote physical exercise, social interactions, active and shared transport are top priorities world-wide. Many cities are transforming streets into pedestrian-only zones, massively expanding cycle routes, and introducing other restrictions to reduce air and noise pollution and promote active transport. The major challenges of the inner city may be related congestion, ambient air pollution and noise from local sources such as motorized road traffic and heating, noise, lack of natural space and biodiversity. For suburban areas, the challenge may be other sources of ambient air pollution such as wood stoves used for house heating and industrial processes, a lack of bike lanes and low variation in land-use which can increase the distance to facilities such as schools, shopping, sports facilities, and swimming pools.

Exposure to ambient air pollution occurs simultaneously to exposure to a range of other urban environmental stressors and other factors that can contribute, protect and/modify the effect of this exposure (Fig. 1). A growing number of studies examine the single and joint effects of exposure to ambient air pollution in urban areas along with other modifiable risk factors such as road traffic noise, lack of natural space, 'urban sprawl' and other aspects of the built environment that can contribute to adverse health effects. Estimation of risk of ambient air pollution along with other urban stressors are needed for a more comprehensive risk assessment of the urban environment, cost-effective preventative actions towards more sustainable cities.

Obesity

The worldwide prevalence of overweight and obesity has doubled since 1980 with nearly a third of the world's population is now classified as overweight or obese (Chooi et al. 2019). Obesity rates have increased in all ages and both sexes irrespective of geographical locality, ethnicity, or socioeconomic status (SES). Body mass index (BMI) is typically used to define overweight and obesity in epidemiological studies with a BMI of 30 kg/m² or higher used to identify adults with obesity. However, BMI has low sensitivity and there is a large inter-individual variability in the percentage of body fat, partly attributed to age, sex, and ethnicity.

According to the WHO European Childhood Obesity Surveillance Initiative (COSI) Report on the fourth round of data collection, 2015–2017 (2021) the prevalence of overweight (including obesity) was 29% in boys and 27% in girls aged 7–9 years; the prevalence of obesity 13% in boys and 9% in girls (based on WHO definitions) (Eurostat, 2022). In Denmark, a study from 2017–2019 of the national children database reported that the prevalence of overweight was 14% for children aged 6 to 7 and 19% for children of 14–15 years (Borring Andersen et al. 2020). In this data, the prevalence was highest among children of parents with low SES, non-Western origin and those born in areas of low population density.

Childhood obesity has emerged as one of the most serious public health challenges of the 21st century because of the far-reaching consequences. Overweight children are likely to become obese adults (Guo et al. 1994) and they are more prone to develop chronic disease such as diabetes, cardiovascular disease, various types of cancers and premature death (Reilly et al. 2011). Obese children are also more prone to bone and joint problem, sleep apnoea, social and psychological problems (Schwimmer et al. 2003).

One cause of obesity and overweight is an energy imbalance between calories consumed and calories expended (WHO, 2002). Beside traditional risk factors, such as unhealthy eating habits, physical activity, sedentary activity (including screen time) and sleep, other factors play a role in the development of obesity, including genetic, environmental (Fig. 1), metabolic, mental, cultural such as consumption patterns, lifestyle habits and socioeconomic factors along with having a family history of obesity (Apovian 2016; Kumar et al. 2015).

Obesity also affects many adults worldwide. It is estimated that 42% of adults are obese in the US (CDC, 2021). Overweight and obesity are risk factors for many diseases and premature death (Apovian 2016). Obese individuals have lower school attendance, reduced earning potential, and higher healthcare costs that may result in an economic burden on society.

Sleep disruption

Insufficient and poor quality of sleep are widely prevalent and are hazardous to mental, cognitive and physical health. Sleep plays a vital role in brain function and many body systems. In addition to environmental factors (Fig 1), lifestyle, health (e.g. asthma, head-

ache, stress, pain) and medical conditions can disrupt sleep. Sleep disruptions have substantial adverse short- and long-term health consequences (Medic et al. 2017). Sleep disruption is associated with increased activity of the sympathetic nervous system and hypothalamic-pituitary-adrenal axis, metabolic effects, changes in circadian rhythms, and proinflammatory responses. In otherwise healthy adults, short-term consequences of sleep disruption include increased stress responsivity, somatic pain, reduced quality of life, emotional distress and mood disorders, and cognitive, memory, and performance deficits. For adolescents, psychosocial health, school performance, and risk-taking behaviors are impacted by sleep disruption. Behavioral problems and cognitive functioning are associated with sleep disruption in children. Long-term consequences of sleep disruption in otherwise healthy individuals include hypertension, dyslipidemia, cardiovascular disease, weight-related issues, metabolic syndrome, type 2 diabetes mellitus, and colorectal cancer. All-cause mortality is also increased in men with sleep disturbances. For those with underlying medical conditions, sleep disruption may diminish the health-related quality of life and may worsen the severity of disease such as gastrointestinal disorders.

Sleep apnea and hypopnea are closely related sleep disorders. Sleep hypopnea is defined by shallow breathing during sleep, whilst with sleep apnoea people stop breathing entirely. Obstructive sleep apnea/hypopnea is caused by the relaxation of your throat muscles whilst sleeping. Central sleep apnea/hypopnea is caused by your brain failing to send the right signals to the muscles that allow you to breathe.

Poor mental health

It is estimated that over a billion people worldwide are affected by mental health disorders such as anxiety, depression, psychosis, and addiction, which equates to 16% of the world's population (Rhem and Shield, 2019). Whilst the disability adjusted life years (DALYs) lost to other diseases have decreased over the past 30 years, the burden of mental health disorders has increased. (Rhem and Shield, 2019). This is driven partly by increased rates in children, with an estimated 10-20% of children worldwide now suffering from a mental health disorder (Rhem and Shield, 2019, Kieling et al. 2011, Yang et al. 2021). Not only do these problems cause immense distress to individuals across the lifespan, but the global economic cost is also estimated to be €6 trillion by 2030 (Bloom et al. 2012).

In addition to experiencing a lower quality of life, those with mental health disorders also experience increased mortality risk (WHO, 2022). The relationship between mental health disorders and premature death is complex (Walker et al. 2015). Whilst in some cases poor mental health can be a direct cause of death (e.g., suicide), for most of the cases premature death occurs through chronic medical conditions such as cardiovascular disease, type 2 diabetes, and infection. These secondary physical health problems can result from many factors, including a less healthy lifestyle, side effects from drugs or a higher prevalence of trauma and other adverse life events. (Walker et al. 2015).

Within Denmark, research using the Danish Psychiatric Central Register found that individuals recently diagnosed with a mental health disorder had a reduced life expectancy of between 14 and 22 years, depending on the disorder (Nordentoft et al. 2013). Whilst the largest reduction in life expectancy was found for acute disorders (psychosis and bipolar disorder), individuals with anxiety and depression also had a reduced life expectancy of between 14 and 17 years. The most common causes of death associated with these disorders in Denmark were disease, infection, and external causes such as injury.

The risk for some major mental illnesses (e.g., anxiety, psychotic, mood, or addictive disorders) is generally higher in people living in cities (Gruebner et al. 2017). For instance, in another Danish study, the risk for schizophrenia was more than twofold for individuals who had spent their first 15 years in a major city versus those who had grown up in rural areas (Pedersen and Mortensen 2006). Urban planning may play a role (Fig. 1), along with other factors such as genes, social factors including isolation and discrimination as well as poverty in the neighborhood, lifestyle and health contribute to the mental health burden. Little is known about specific interactions between such risk factors and characteristics of the built environment. However, a nationwide study from Denmark has found that for 12 of 18 mental health disorders, rates were lower for children growing up in environments with more natural elements (near-natural green space, blue space, and agriculture) compared to children growing up in urban environments. High vegetation density was associated with lower rates for most disorders within all the examined environments, whereas mitigation of air pollution by natural environments seemed a less important potential pathway (Engemann et al 2020).

Since we have already summarized the epidemiological evidence for associations with depression, suicide, autism and ADHD previously as part of the review on health effects of outdoor air pollution in Copenhagen (Andersen and Pedersen, 2020), here we aim to summarize the evidence from studies on ambient air pollution in relation to anxiety and stress.

Objectives

Decades of air pollution research have produced evidence of adverse effects on health and contributed to regulation of air pollution, but exposure to ambient air pollution remain an important public health issue. Preventative actions are urgently needed at local, regional, national and international levels. The aim of this report is to provide examples of epidemiological studies that have examined the potential relationship between exposure to ambient air pollution and risk factors of disease and mortality. Hereby we aimed to illustrate that the adverse effects associated with exposure to ambient air pollution are likely to be much larger than currently quantified and that benefits of further preventive actions towards sustainable green cities are enormous.

Methods

Literature search

We initially searched for relevant publication from the start of November to the 18th of November 2021 in the electronic database PubMed. The search strands were spilt into the different subthemes to get a more manageable output (Appendix 1). First, we summarized the evidence from the newest meta-analysis and reviews in Table 1. In some cases, when too little information was provided in the reviews, we primarily used these to identify the original studies by snowball sampling. Finally, we added a few additional new studies identified from a less systematic search on PubMed ending February the 24th 2022.

We summarize the results for children aged 0-19 years separately from studies of adults as prognosis and preventive strategies differs between these populations. When possible, we also summarize the results for more narrow age groups of children as well as from studies conducted in similar settings.

Results

Ambient air pollution and obesity in children

A growing number of studies have investigated the associations between ambient air pollution exposure at the home address during early life and risk of obesity in children. Early evidence originates from studies in the US in which prenatal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) was associated with higher BMI z-scores at age 5 in children from NYC in the US (Rundle et al. 2012; 2019). Later childhood exposure to residential near-roadway pollution exposure was associated with higher BMI (McConnell et al. 2015) as well as traffic-related NO_x (Jerrett et al. 2014) in a prospective study of 4,550 children aged 5-11 from Southern California.

A review on the built environment and childhood obesity found strong evidence for an association of traffic-related air pollution (nitrogen dioxide (NO_2) and nitrogen oxides (NO_x) exposure, $p < 0.001$, not for $\text{PM}_{2.5}$ $p = 0.1$) and built environment characteristics supportive of walking (street intersection density, $p < 0.01$ and access to parks, $p < 0.001$) with childhood obesity (Malacarne et al. 2022).

A meta-analysis of eight studies by Parasin et al. 2021 has concluded that there is strong epidemiological evidence supporting the theory that ambient air pollution exposure is one of the factors that can increase the risk of childhood weight gain and development of obesity (Table 1). In the studies included in this meta-analysis long-term exposure to fine particulate matter ($\text{PM}_{2.5}$), PM_{10} , $\text{PM}_{\text{absorbance}}$, and NO_2 were associated with a statically significantly increased risk of childhood obesity/overweight in the random-effect meta-analyses (Parasin et al. 2021). There was modest heterogeneity between the six studies on $\text{PM}_{2.5}$ in the meta-analysis which estimated that intra-quartile range increase in $\text{PM}_{2.5}$ during early life was associated with an OR of 1.05 (95%CI: 1.01, 1.09) for obesity/overweight. When two studies from China was excluded and the meta-analyses was restricted to the four studies from Europe the heterogeneity was small and the OR was 1.02 (95% CI: 0.97, 1.07) for $\text{PM}_{2.5}$ (Parasin et al. 2021). The OR was 1.08 (95% CI: 1.01, 1.16) for the three European studies on NO_2 exposure (Table 1). We have noted that the above-mentioned meta-analysis by Parasin et al. 2021 did not include all existing studies and that

some of the studies which were not included have reported inconsistent findings between boys and girls, null or negative findings (Chiu et al. 2017; Fronderlius et al. 2018; Huang et al. 2019; Fossati et al. 2020;). For instance, a study of 5,815 children aged 4 from Malmö, Sweden found no evidence of increased risk for childhood overweight or obesity through to prenatal exposure to NO_x in this low-exposure setting (Fronderlius et al 2018). A study of 1,724 children from Spain has reported that prenatal exposure to $\text{PM}_{2.5}$ was associated with decreased z-scores of weights and BMI at age 4 (Fossati et al. 2020). In this study higher NO_2 and $\text{PM}_{2.5}$ exposure was associated to reduced risk of being in a trajectory with accelerated BMI gain, compared to children with the average trajectory.

Other more recently conducted studies have reported evidence supportive of associations. For example, a longitudinal study of 314 overweight and obese Latino children from LA, US who were followed for an average of 3.4 years found that higher NO_2 and $\text{PM}_{2.5}$ exposure were associated with higher BMI at age 18 (Alderete et al. 2017). Alderete et al. reported that a $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ difference in long-term $\text{PM}_{2.5}$ was significantly associated with a $3 \text{ kg}/\text{m}^2$ higher BMI at age 18 years. Whereas a $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ difference in long-term $\text{PM}_{2.5}$ was significantly associated with a 2% higher body fat percent at age 18 years. a $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ difference in long-term $\text{PM}_{2.5}$ was associated with a $3.8 \text{ kg}/\text{m}^2$ faster increase in BMI over the study period and $2.1 \text{ kg}/\text{m}^2$ faster increase in BMI over the study period for NO_2 per 5-ppb (Alderete et al. 2017),

Another longitudinal study from Spain that included 416,955 children has reported increased risk for overweight and obesity in associations with childhood exposure to NO_2 , PM_{10} and $\text{PM}_{\text{coarse}}$ (de Bont et al 2021a). One of the included studies was a study of 2,660 children aged 7-10 from Barcelona (de Bont et al. 2019). In this study, exposure to NO_2 , PM_{10} , and $\text{PM}_{2.5}$ at the residential level were found to be associated with an increase in BMI growth from birth to end of follow-up at age 5. The average increase in BMI over the 5 years follow-up for each $21.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (IQR) increase in NO_2 exposure was $0.018 \text{ kg}/\text{m}^2$ [95% CI: 0.006, 0.030], PM_{10} : $\beta = 0.023$, [95% CI: 0.013, 0.033], and $\text{PM}_{2.5}$: $\beta = 0.007$, [95% CI: 0.000, 0.013]. Additionally, de Bont et al. reported that air pollutants were negatively correlated with walkability and green spaces exposures ($r_s = -0.3$ to 0.7). Land use mix, % of green spaces, and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were associated with reduction in BMI (Land use mix: $\beta = -0.027$, [95% CI: -0.042, -0.012], % green spaces: $\beta = -0.015$, [95% CI: -0.026, -0.005], NDVI: $\beta = -0.011$, [95% CI: -0.021, -0.002]) (de Bont et al. 2019).

A later study also from Spain, which included 416,955 children, has reported increased risk of 2-3% for overweight and obesity in associations with childhood exposure to 21.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increases of NO_2 , 6.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increases of PM_{10} and 4.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increases of $\text{PM}_{\text{coarse}}$ (de Bont et al 2021a). For all air pollutants, associations were stronger among children living in most compared to least deprived areas.

The latest study by de Bont et al 2021b examined multiple urban factors that may influence children's lifestyle and increase the risk of childhood obesity in 2,213 children aged 9-12 years living in Sabadell, Spain. In multiple exposure models, $\text{PM}_{\text{coarse}}$, denser unhealthy food environment and land use mix were associated with childhood obesity outcomes (e.g 17.7 facilities/ km^2 increase of unhealthy food environment). The OR for overweight/obesity status was 1.20 (95% CI: 1.01, 1.44)]. Cluster analysis identified 5 clusters of urban exposures. Compared to the most neutral cluster, the cluster with high air pollution, road traffic, and road noise levels was associated with a higher BMI and higher odds of overweight and obesity (β (zBMI) = 0.17, [95% CI: 0.01, 0.17]; OR for overweight/obesity was 1.36 (95% CI: 0.99, 1.85); the clusters were not associated with the weight-related behaviors. This study of many exposures in the urban environment suggested that an exposure pattern characterized by higher levels of ambient air pollution, road traffic and road traffic noise is associated with increased childhood obesity risk and that $\text{PM}_{\text{coarse}}$, land use mix and food environment are separately associated with obesity risk.

Ambient air pollution and the association with obesity in children has not been investigated in Denmark, but association between exposure to road traffic noise and overweight at age 7 in a study of 40,974 singletons has been examined. Christensen et al. reported that both exposure to road traffic noise in pregnancy and childhood were associated with a higher risk for childhood overweight with OR of 1.06 (95% CI: 1.00, 1.12) per 10 dB, for exposure during pregnancy and OR of 1.06 (95% CI: 0.99, 1.12) per 10 dB for childhood exposure (Christensen et al. 2016). The reported effect estimates for road traffic noise increased slightly after adjustment for air pollution with NO_2 .

Ambient air pollution and obesity in adults

As for children, long-term exposure to ambient air pollution has also been associated with increased risk of obesity in adults (Table 1). A systematic review and meta-analysis by Huang et al. 2020 included 10 studies from England, Switzerland, the US, China, Korea and Saudi Arabia. Huang et al. reported that ambient air pollution exposure with NO_2 , SO_2 and O_3 were associated with higher risk of overweight/obesity; the ORs were 1.13 (95% CI: 1.01, 1.26), 1.04 (95% CI: 1.01, 1.06) and 1.07 (95% CI: 1.02-1.13) per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ increment in NO_2 , SO_2 and O_3 , respectively. There was high heterogeneity for $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 and O_3 and the pooled estimates for $\text{PM}_{2.5}$ included the null. Furthermore, in these studies with adults $\text{PM}_{2.5}$ and O_3 were associated with higher BMI with β of 0.34 (95% CI: 0.30, 0.38) and 0.21 (95% CI: 0.17, 0.24) kg/m^2 with $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ increment. Huang et al. concluded that that exposure to air pollution is a potential risk factor for overweight/obesity, but more studies are warranted for understanding of interactions between air pollution and other urban risk factors.

No studies on ambient air pollution and obesity in adults living in Denmark have been conducted, but there is growing evidence that road traffic noise exposure increases the risk of higher BMI among those living in urban areas from a study of nurses (Cramer et al. 2019). A 10 dB(A) higher road traffic noise has been associated with an increase in gestational weight gain of 3.8 g/week (95% CI: 2.3, 5.3) and postpartum weight gain of 0.09 kg (95% CI: 0.02, 0.16) in a study of 74,065 women from the Danish National Birth Cohort (Sørensen et al. 2020) which adds to the literature linking transportation noise to adiposity.

Ambient air pollution and sleep in children

Cao et al. 2020 reviewed 15 studies of children and adults that evaluated the potential link between exposure to ambient air pollution and sleep quality from Germany, Canada, US, Turkey Egypt, Iran, China, Taiwan, Chile, Mexico, and Brazil. The outcomes and exposure assessments in the studies in this review vary, but the authors conclude that exposure to ambient air pollution might be one of the triggers to poor sleep quality through irritation, inflammation and oxidative stress in the airways causing airway resistance or neurological pathways or other shared pathways with chronic diseases where sleep may mediate the association between exposure to air pollution and chronic disease (Akinseye et al. 2015).

Five studies in the review by Cao et al. examined the associations between ambient air pollution and sleep in children Egypt, Iran, China, Chile, and Mexico (Abou-Khadra et al. 2013, Kheirandish-Gozal et al. 2014, Lawrence et al. 2018, Sanchez et al. 2018, Bose et al. 2019). A study of 276 Egyptian children aged 6-13 based on parental reports of sleep reported that exposure to PM_{10} was positively associated with sleep disturbance (Abou-Khadra in 2013). The associations were evident for disrupting initiation and maintenance of sleep ($p=0.012$) and sleep hyperhidrosis ($p=0.045$), but no significant association with overall sleep disturbance was found ($p=0.073$). The sleep disruptions were measured through self-administrated parental questionnaires using the Sleep Disturbance Scale for Children (SDSC).

A study of 59,574 Chinese children with a mean age of 10 years who were exposed to mean $\pm$ sd concentration of $54.1 \pm 6.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $PM_{2.5}$ found that exposure to $PM_{2.5}$, PM_{10} , and PM_{10} were associated with sleep disorders according to parental records SDSC (Lawrence et al. 2018). In this study exposure to O_3 and CO was also associated with sleep disorders in children. Exposure to O_3 was also associated with increased odds of wheezing-related sleep disturbances in a study of 564 children aged 5-9 from Chile with an OR of 1.69 (95% CI: 1.41, 2.04) according to parental records (Sanchez et al. 2018). Using an objective measure of sleep (wrist-worn, continuous actigraphy over a 1-week period), a study of 397 children at 5 years of age from Mexico City has linked prenatal exposure to $PM_{2.5}$ with decreased sleep quality (Bose et al 2019). The median prenatal averaged $PM_{2.5}$ level exposure was $23.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and exposure to $PM_{2.5}$ was associated with a reduction in nocturnal sleep efficiency ($\beta = -0.247$, $p = 0.037$, for each $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ change in $PM_{2.5}$). Associations were especially significant in the first trimester ($\beta = -0.204$, $p = 0.004$ per $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ change in $PM_{2.5}$).

Another study of 4,322 children aged 6-12 y/o from Iran investigated the air quality by the Pollutant Standards Index (PSI), which is a parameter for the level of PM_{10} , NO_2 , SO_2 , O_3 , and CO in the ambient air. When the concentration showed "non-healthy day" by the PSI standard there were a significant risk of high snoring frequency according to parental questionnaire and the RR was 3.46 (95% CI: 2.66, 7.19) (Kheirandish-Gozal et al. 2014). Kheirandish-Gozal et al. compared the children in the neighborhoods with the poorest air quality to those residing in the neighborhoods with the best air quality and found that the children with the poorest air quality have a higher frequency of habitual snoring

(24.5% versus 7.2%) RR 3.49 (95% CI: 2.67, 6.69); $p < 0.0001$) (Kheirandish-Gozal et al. 2014).

Ambient air pollution and sleep in adults

A study from Taiwan of 197 adults has reported that exposure to air pollutants was associated with overnight body composition changes and sleep-related parameters (Tung et al. 2021). These findings suggest that nocturnal changes in total muscle mass and leg fat percentage could contribute to the relationship between air pollution and obstructive sleep apnea. Sleep parameters were examined by polysomnography. $PM_{2.5}$ decreased arterial oxygen saturation (SaO_2) and increased apnea-hypopnea index (AHI); NO_2 increased arousal, apnea-hypopnea index and decreased mean SaO_2 ; and O_3 increased mean SaO_2 .

Cao et al. has reviewed ten studies evaluating associations between ambient air pollution and sleep in adults (Zanobetti et al. 2010, Cassol et al. 2012, Fang et al. 2014, Weinreich et al. 2015, Laratta et al. 2017, Shen et al. 2018, Billings et al. 2018, Gulhan et al. 2020, Yu et al. 2019, Chen et al. 2019).

Note all these studies were based on crude exposure assessment relying on the nearest monitoring station without considering variation within finer scale in air quality, or potential confounding and interactions with road traffic noise (Pirrera et al. 2010) or other risk factors for poor sleep.

An American study of 1,974 adults conducted by Billings et al. reported 5 mg/m^3 greater annual exposure to $PM_{2.5}$ was associated with 60% greater odds (95% CI: 0.98, 2.62) of obstructive sleep apnea. Shen et al. found $PM_{2.5}$ to be associated with increased sleep apnea in a study of 4312 adults from Taiwan. Chen et al. found both $PM_{2.5}$ and PM_{10} to be associated with a reduction in daily hours of sleep by 0.55, respectively (95% CI: 0.51, 0.59) and 0.70 (95% CI: 0.64, 0.76) together with higher odds ratio of poor sleep quality with one interquartile range (IQR) in $PM_{2.5}$ 1.15 (95% CI: 1.03, 1.29) and PM_{10} 1.11 (95% CI: 1.02, 1.21) in a study of 27,417 adults from rural parts of China. The sleep quality was assessed by the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) (Chen et al. 2019). Finally, a study with 3,030 American adults by has reported that short-term exposure to PM_{10} was associated with an increase in sleep disorder breathing, especially during the summer (Zanobetti et al. 2010).

Four cohort studies investigated the association between NO_2 and sleep quality in the review by Cao et al. 2021. All four studies have reported positive associations with different sleep endpoints in adults. The American study by Billings with 1,974 adults found an association between 39% higher odds (95% CI: 1.03, 1.87) of obstructive sleep apnea when exposed to a yearly increase in NO_2 exposure by 10 ppb. An IQR increase in 1-year mean NO_2 (2.7 ppb) was associated with a 3.6% increase in apnea-hypopnea index (AHI) among 4312 adults from Taiwan (Shen et al. 2018). NO_2 was also found to reduce sleep duration by 0.51 h (95% CI: 0.47, 0.54), when the NO_2 concentration increased one SD (NO_2 by 28.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in a study of 16,889 adults from China (Yu et al. 2019). In the study of 27,417 adults from rural parts of China Chen et al. found that with a mean level of exposures of NO_2 38.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (IQR 4.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). The global scores of PSQI increased by 0.14 (95% CI: 0.03, 0.24) associated with per IQR increase in NO_2 (Chen et al. 2019).

In an American longitudinal study of 3,821 by Fang et al., the duration of night sleep decreased 13.8 minutes per IQR increase in BC but only in adult males (95% CI: -0.42, 0.03), no association was found among women. Participants with low SES had 0.25h less sleep (95% CI: -0.48, -0.01) per IQR increase in annual BC (0.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). The sleep quality was assessed through questionnaire (Fang et al. 2015).

In addition, a German cohort study including 1,775 adults aged 50-80 years an association was found between an IQR increase of O_3 (39.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) and an increase of apnea-hypopnea by 10.1% (95% CI: 2.0, 18.9) (Weinreich et al. 2015).

Finally, a study from Northern Europe study included cohorts from Iceland, Norway, Sweden, Estonia, and Denmark with a total of 12184 participants. Based on postal questionnaire on general and respiratory health, daytime sleepiness was associated with hearing traffic noise OR 1.46 (95% CI: 1.11, 1.92) and high combined traffic exposure OR 1.65 (95% CI: 1.11, 2.45) (bedroom window towards street with traffic and travelling along busy roads >60 minutes a day) (Gislason et al. 2016).

Ambient air pollution in relation to anxiety and stress

A recent meta-analysis of 30 studies found mixed evidence for associations between ambient air pollutants and anxiety or stress (Trushna et al. 2021; Table 1). For $PM_{2.5}$ greater exposure appeared to be slightly protective against anxiety, with a pooled OR of 0.88 (95% CI: 0.72, 1.06) per $PM_{2.5}$ 5 $\mu g/m^3$ increment. The I^2 showed that there was high heterogeneity among the included 11 study areas corresponding to 5 studies ($p=0.00$, $I^2=80\%$) which included a mix of children and adults (Trushna et al. 2021). Increased ORs were evident in four out these five studies, but the 95% CIs included the null. The meta-analysis for PM_{10} included only four studies and found slightly increased odds of anxiety/stress with greater exposure (OR anxiety/stress per 10 $\mu g/m^3$ increment in PM_{10} = 1.03 (95% CI: 1.00, 1.05). Heterogeneity was moderate ($I^2=41\%$, $p=0.17$). In a meta-analysis of 11 study areas corresponding to 3 studies greater exposure to NO_2 was associated with a reduced risk of anxiety with an OR per 10 $\mu g/m^3$ increment of 0.93 (95% CI: 0.89, 0.97). Heterogeneity between studies was high ($I^2=59\%$, $p=0.01$). These findings do not align with previous review (Braithwaite et al. 2019), which reported a positive association between these exposures and the risk of anxiety, however the previous studies did not perform a meta-analysis due to lack of eligible studies (Trushna et al. 2021).

It has also been reported in a study of 60 Chinese college students by Li et al. that ambient air pollution, especially $PM_{2.5}$ was associated with high levels of stress hormones such as epinephrine, cortisone and cortisol (Li et al. 2017).

In the remainder of this section, we describe in detail some of the more recent and higher quality studies not included in the above-mentioned meta-analysis. A study including 552,221 children across four counties in Sweden investigated associations between exposure to air pollutants using LUR models and the prescription of anti-psychotic and sedative medication assessed via linked medical records (Oudin et al. 2016). They found evidence that higher levels of air pollution exposure were associated with higher levels of prescription with a HR of 1.09 (95% CI: 1.06, 1.12) per 10 $\mu g/m^3$ increase in NO_2 and a HR of 1.04 (95% CI: 1.00, 1.08) for a 10 $\mu g/m^3$ increase in PM_{10} .

In another Swedish study, Muhsin et al. 2022 studied associations between $PM_{2.5}$ and PM_{10} exposure (measured via a monitoring station) and rates of psychiatric admission. Using data from 18,548 visits, they found that a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in concurrent exposure to both $PM_{2.5}$ and PM_{10} was associated with an increased risk of admission ($PM_{2.5}$: RR: 1.02, 95% CI: 1.00, 1.04; PM_{10} : RR: 1.02, 95% CI: 1.00, 1.03).

A large study of adults ($n=84,800$) from Canada found mostly null associations between exposure to ambient air pollutants at the residential level assessed via LUR models and self-reported psychological distress (Pinault et al. 2020). In Quebec, a one unit increase in exposure was associated with z-score increases in distress of 0.009 ($PM_{2.5}$), 0.002 (NO_2) and 0.004 (O_3). However, associations in other study centers were close to null.

In a study of older adults across 11 US states, Power et al. 2015 found evidence that recent exposure to $PM_{2.5}$ assessed via LUR models was associated with higher self-reported anxiety. A $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in $PM_{2.5}$ averaged over the preceding year was associated with an OR of 1.15 (95% CI: 1.06, 1.25) for high levels of anxiety. Another study of 1.13 million adults (16+) in Germany also reported a positive association between PM_{10} exposure and physician diagnosed anxiety disorder using linked medical records. (Zhao et al. 2020). The study found that a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in PM_{10} exposure was associated with an increased relative risk for anxiety diagnosis of 1.18 (95% CI: 1.15, 1.21).

In a study of all adults aged 35 years or older living in Denmark, small and/or inconsistent differences in air pollution concentrations with $PM_{2.5}$, NO_2 , elemental carbon (EC) and ultrafine particles (UFPs) at the home residence in association with stress-events and co-morbidity have been reported in a nationwide study of adults from Denmark (Raaschou-Nielsen et al. 2022). In this study a stressful event was defined as 'loss of job', 'family annual income below Danish relative poverty limit', 'personal income drop of 50% or more between two consecutive years' or 'family income drop of 50% or more between two consecutive years' and the Carlson co-morbidity index was based on diseases registered for a 4 year period.

Ambient air pollution in relation to headache and migraine

Two Canadian studies with adults have evaluated the associations between air pollution and headache (Szyszkowicz et al. 2009, 2009a). The first study is based on an analysis on 56,241 ED visits for migraine and on 48,022 ED visits for headache during a span of 3,652 days (Szyszkowicz et al. 2009) and the second study on 64,839 ED visits for migraine and 68,495 ED visits for headache were over 11,518 days for five cities. Szyszkowicz et al. found that a 6.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in $\text{PM}_{2.5}$ levels in cold season was associated with an increase in visits of 3.3% (95% CI: 0.6, 6.0), and 2.3-ppb increase in SO_2 was associated with a 2.5% higher risk of visits (95% CI: 0.3, 4.6) (Szyszkowicz et al. 2009a). Similar result was found in the multicity study by Szyszkowicz et al. where an increase in SO_2 was associated with 3.1% (95% CI: 0.3, 6.1) increased risk for migraine and an increased risk on 3.4% (95% CI: 0.4, 6.5) for ED visits with migraine in cold period $\text{PM}_{2.5}$ (based only on 50% of days in study). Szyszkowicz et al. also found significant increase in ED visits for headaches on days with higher concentrations of NO_2 , (%RR = 6.9; 95% CI: 2.8, 11.4), particularly during the warm season. The air pollution was measured in both studies hourly and obtained from fixed monitoring stations in the cities.

An American study of 7,054 patients found no clear association between self-reported severe headaches and increases in levels of $\text{PM}_{2.5}$ with an OR of 1.01 (95% CI: 0.97, 1.05), black carbon (OR: 1.00; 95% CI: 0.95, 1.04), NO_2 (OR: 0.98; 95% CI: 0.94, 1.03), and SO_2 (OR: 0.98; 95% CI: 0.93, 1.02) on day of exposure. The air pollution exposure was based on measurements made at a stationary ambient monitoring site located in Boston (Mukamal et al. 2009). Another American study of 89,575 prevalent migraine cases between 2014 and 2018 and 270,564 frequency-matched controls by Elser et al. 2021 found no association for $\text{PM}_{2.5}$ exposure and headache, but for NO_2 , Elser et al. observed 2% increased odds of migraine case status (95% CI: 1.00, 1.05) per each 5 ppb increase in NO_2 . The exposure of $\text{PM}_{2.5}$ and NO_2 was estimated at the block group-level derived from annual-average integrated empirical geographic regression models (Elser et al. 2021).

The interest in ambient air pollution as a possible trigger of headache is still ongoing but overall, the evidence for an association between ambient air pollution and headache/migraine is sparse. Limitations of the body of evidence we evaluated relates to limited examination of other air pollutants, other environmental exposures,

neighborhood exposures such as socioeconomic status, use of primarily cross-sectional observational study designs, lack of objective sleep outcome assessment, and limits of exposure assessment methods applied (Mayne et al. 2021). Very few studies have evaluated single and joint effects of multi pollutants and interactions between multiple exposures. Depending on the outcome this could be relevant, even within Denmark to consider potential confounding and or effect modification by road traffic noise, neighbourhood socio-economic status and green space etc. High air pollution levels have been associated with individual level SES (Raaschou-Nielsen et al. 2022). For neighborhood-level indicators of SES high air pollution concentration have been reported in neighborhoods with low socio-economic status measured as proportion of social housing, sole providers, low income and unemployment as well as in neighborhoods with higher educational level and a low proportion of manual labor (Raaschou-Nielsen et al. 2022). It was also reported that people living in an apartment and/or with little green space had higher air pollution levels.

Productivity and human wellbeing

An American study of 1,600 agricultural workers over 155 days with individual-level daily harvest rates by Graff Zivin and Neidell found that a 10 ppb change in average ozone exposure was significantly associated with a 5.5 percent reduction in the agricultural worker productivity (Graff Zivin and Neidell 2012). Another study examines the productivity among professional German soccer players. The dataset comprises information on all Bundesliga matches from the 1999/2000 season to 2010/2011 season by Lichter et al. from 2017. Lichter et al. reports that they found a significant association between increase of PM_{10} concentration on $16 \mu g/m^3$ on the number of passes by 2.4% of a SD on average. A small but significant association were also reported for pass accuracy for -0.002 by an increase of $16 \mu g/m^3$ PM_{10} level. The findings on match- and team-levels was similar to the findings on individual level (Lichter et al. 2017). Ebenstein et al. investigated the association between cognitive performance during high-stakes exams and $PM_{2.5}$ exposure among 55,796 Israeli students from 2000 to 2002. A ten unit increase in $PM_{2.5}$ was associated with 0.40 decline in the Bargut score. On days with very poor air quality the exam is associated with a 2.25 decline in the Bargut score which is nearly double of the coefficient for moderately polluted days (1.15). This indicates that the results are mostly driven by poor performance on extremely polluted days and therefore that pollutions impact on

cognitive performance are mostly relevant on days with very poor air quality (Ebenstein et al. 2016).

Ambient air quality affects climate change and climate change affects ambient air quality

Ambient air pollution can be controlled, but despite great efforts in lowering emission worldwide, it still poses one of the greatest environmental threats to human health and to the climate. Ambient air quality can also affect climate change, climate change can affect ambient air quality, and both can directly indirectly affect health (Helldén et al. 2021). Climate change can cause altered dispersion of primary pollutants, particularly PM, and intensify the formation of secondary pollutants, such as PM and near-surface ozone and hereby threatens to undo decades of progress in lowering ambient air pollution levels.

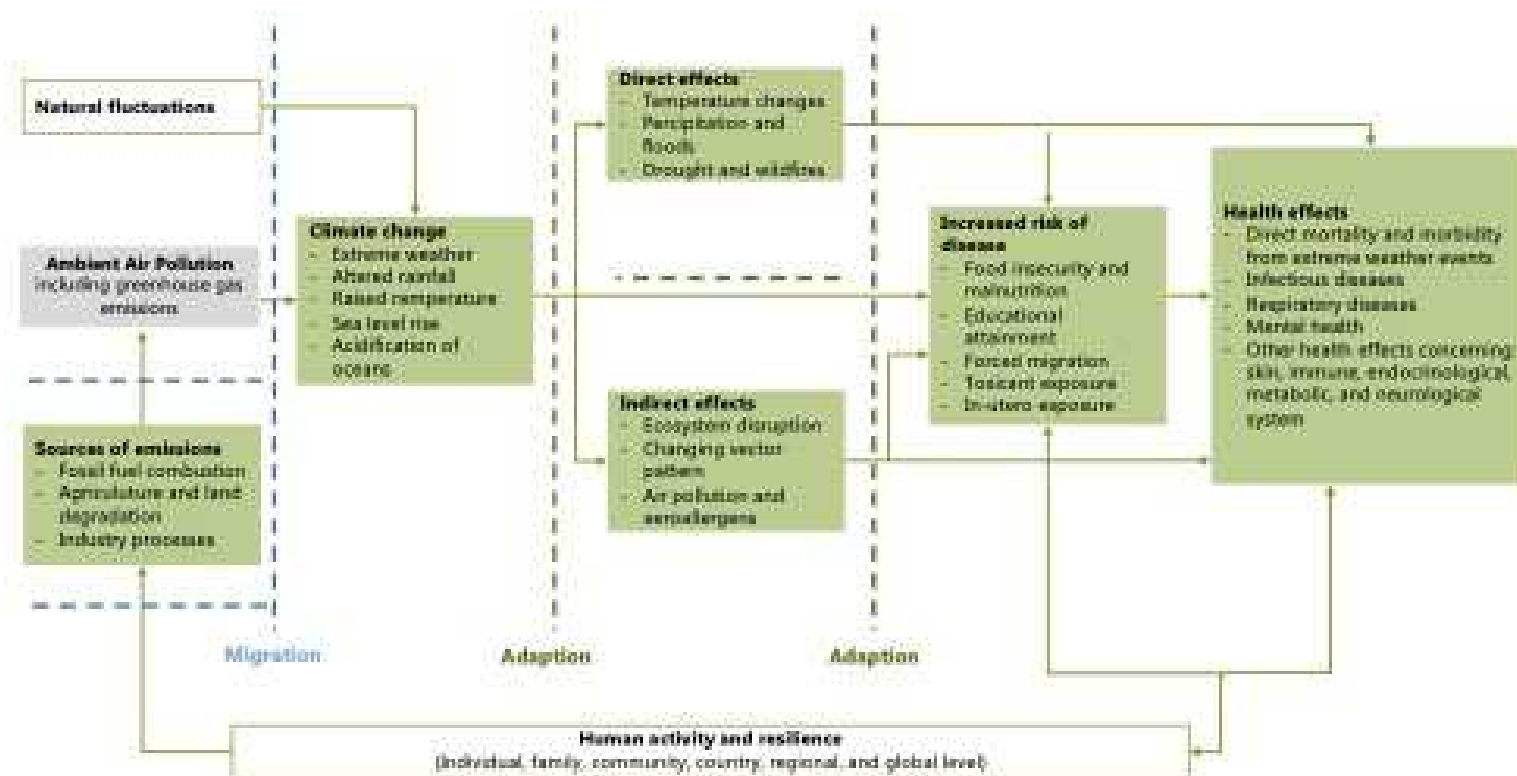


Fig. 2. Climate change and child health. Modified figure from Helldén et al. 2021.

Conclusion

Preventative actions to reduce ambient air pollution in many places of the world including Denmark have been successful, but further reductions are urgently needed at local, regional, national and international levels to protect human health. The existing evidence summarized here support that exposure to ambient air pollution contribute to development of obesity, poor sleep, and possible also anxiety and other outcomes that influence on health and quality of life in both children and adults. In the perspective of the health consequences associated with these endpoints, and widespread exposure to ambient air pollution, we conclude that adverse effects associated with exposure to ambient air pollution is likely to be much larger than currently quantified and that benefits of further preventive actions towards more less polluted, and sustainable, green, walkable and bikeable cities are enormous.

Funding

The City of Copenhagen (Københavns Kommune in Danish) has supported the research described in this article and during this time MP has also received funding from the Health Effects Institute (HEI), an organization jointly funded by the United States Environmental Protection Agency (EPA) (Assistance Award No. CR-83590201) and certain motor vehicle and engine manufacturers. The contents of this article do not necessarily reflect the views of HEI, or its sponsors, nor do they necessarily reflect the views and policies of the EPA or motor vehicle and engine manufacturers.

Acknowledgement

We thank Professor Steffen Loft from the Department of Public Health, University of Copenhagen, Denmark for his review and Professor Ole Raaschou-Nielsen from the Danish Cancer Society Research Center for input to the final report. We also thank Associate Professor Ebba Malmqvist from the Division of Occupational and Environmental Medicine, Lund University, Sweden, Professor Michael Jerrett from the University of California, LA, US and PhD student Daniel Helldén from Karolinska Institutet for permission to modify and use their figures.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

Please note that the list may need some additional editing

Abou-Khadra, M.K., Association between PM₁₀ exposure and sleep of Egyptian school children. *Sleep Breath*. 2013; 17, 653–657.

Akinseye OA, Williams SK, Seixas A, Pandi-Perumal SR, Vallon J, Zizi F, Jean-Louis G. Sleep as a mediator in the pathway linking environmental factors to hypertension: a review of the literature. *Int J Hypertens*. 2015;2015:926414.

Alderete TL, Habre R, Toledo-Corral CM, Berhane K, Chen Z, Lurmann FW, Weigensberg MJ, Goran MI, Gilliland FD. Longitudinal Associations Between Ambient Air Pollution With Insulin Sensitivity, β -Cell Function, and Adiposity in Los Angeles Latino Children. *Diabetes*. 2017;66:1789-1796.

Almetwally, A.A., Bin-Jumah, M., Allam, A.A., 2020. Ambient air pollution and its influence on human health and welfare: an overview. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27, 24815–24830.

Andersen, M.B., Thorsted, A., Jezek, A.H., Due, P., Sørensen, T.I.A., Thygesen, L.C., 2020. Overvægt og svær overvægt blandt danske børn og unge. SDU. www.sdu.dk/da/sif/rapporter/2020/overvaegt_og_svaer_overvaegt_blandt_boern_og_unge

Andersen JZ, Pedersen M. Health Effects of Outdoor Air Pollution in Copenhagen. Report for the City of Copenhagen, 2020.

Apovian CM. Obesity: definition, comorbidities, causes, and burden. *Am J Manag Care*. 2016;22:s176-85.

Billings, M.E., Gold, D., Szpiro, A., Aaron, C.P., Jorgensen, N., Gassett, A., Leary, P.J., Kaufman, J.D., Redline, S.R., The association of ambient air pollution with sleep apnea: The multi-ethnic study of atherosclerosis. *Ann. Am. Thorac. Soc.* 2019; 16, 363–370.

Borring Andersen, M., Thorsted, A., Jezek, A.H., Due, P. Sørensen T.I.A., Thygesen, L.C. Overvægt og svær overvægt blandt danske børn og unge. Forekomst og sociodemografisk fordeling. Statens Institut for Folkesundhed. 2020. www.sdu.dk/da/sif/rapporter/2020/overvaegt_og_svaer_overvaegt_blandt_boern_og_unge

Bose, S., Ross, K.R., Rosa, M.J., Chiu, Y.-H.M., Just, A., Kloog, I., Wilson, A., Thompson, J., Svensson, K., Rojo, M.M.T., Schnaas, L., Osorio-Valencia, E., Oken, E., Wright, R.O., Wright, R.J., Prenatal particulate air pollution exposure and sleep disruption in preschoolers: Windows of susceptibility. *Environ. Int.* 2019;124, 329–335.

- Braithwaite, I., Zhang, S., Kirkbride, J.B., Osborn, D.P.J., Hayes, J.F., Air Pollution (Particulate Matter) Exposure and Associations with Depression, Anxiety, Bipolar, Psychosis and Suicide Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environ. Health Perspect.* 2019;127, 126002.
- Cao, B., Chen, Y., McIntyre, R.S., Comprehensive review of the current literature on impact of ambient air pollution and sleep quality. *Sleep Med.* 2021;79, 211–219.
- Cassol, C.M., Martinez, D., da Silva, F.A.B.S., Fischer, M.K., Lenz, M. do C.S., Bós, Â.J.G., Is Sleep Apnea a Winter Disease?: Meteorologic and Sleep Laboratory Evidence Collected Over 1 Decade. *Chest* 2012;142, 1499–1507
- CDC, 2021 www.cdc.gov/obesity/index.html
- Chen, G., Xiang, H., Mao, Z., Huo, W., Guo, Y., Wang, C., Li, S., Is long-term exposure to air pollution associated with poor sleep quality in rural China? *Environ. Int.* 2019;133, 105205.
- Child and Adolescent Health Collaborators, Reiner RC Jr, Olsen HE, et al. Diseases, Injuries, and Risk Factors in Child and Adolescent Health, 1990 to 2017: Findings From the Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors 2017 Study. *JAMA Pediatr.* 2019;173:e190337.
- Chiu YM, Hsu HL, Wilson A, Coull BA, Pendo MP, Baccarelli A, Kloog I, Schwartz J, Wright RO, Taveras EM, Wright RJ. Prenatal particulate air pollution exposure and body composition in urban preschool children: Examining sensitive windows and sex-specific associations. *Environ Res.* 2017;158:798-805.
- Chooi YC, Ding C, Magkos F. The epidemiology of obesity. *Metabolism.* 2019;92:6-10.
- Choma EF, Evans JS, Gómez-Ibáñez JA, Di Q, Schwartz JD, Hammitt JK, Spengler JD. Health benefits of decreases in on-road transportation emissions in the United States from 2008 to 2017. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2021;118(e2107402118
- Christensen JS, Hjortebjerg D, Raaschou-Nielsen O, Ketzel M, Sørensen TIA, Sørensen M. Pregnancy and childhood exposure to residential traffic noise and overweight at 7years of age. *Environ Int.* 2016;94:170-176.
- Cramer J, Therning Jørgensen J, Sørensen M, Backalarz C, Laursen JE, Ketzel M, Hertel O, Jensen SS, Simonsen MK, Bräuner EV, Andersen ZJ. Road traffic noise and markers of adiposity in the Danish Nurse Cohort: A cross-sectional study. *Environ Res.* 2019;172:502-510.
- de Bont J, Casas M, Barrera-Gómez J, Cirach M, Rivas I, Valvi D, Álvarez M, Dadvand P, Sunyer J, Vrijheid M. Ambient air pollution and overweight and obesity in school-aged children in Barcelona, Spain. *Environ Int.* 2019;125:58-64.
- de Bont J, Díaz Y, de Castro M, Cirach M, Basagaña X, Nieuwenhuijsen M, Duarte-Salles T, Vrijheid M. Ambient air pollution and the development of overweight and obesity in children: a large longitudinal study. *Int J Obes (Lond).* 2021a;45(5):1124-1132.

de Bont J, Márquez S, Fernández-Barrés S, Warembourg C, Koch S, Persavento C, Fochs S, Pey N, de Castro M, Fossati S, Nieuwenhuijsen M, Basagaña X, Casas M, Duarte-Salles T, Vrijheid M. Urban environment and obesity and weight-related behaviours in primary school children. *Environ Int.* 2021b;155:106700..

D.E. Bloom et al., The global economic burden of noncommunicable diseases, World Economic Forum (Geneva, 2012).

Ebenstein, A., Lavy, V., Roth, S. The Long-Run Economic Consequences of High-Stakes Examinations: Evidence from Transitory Variation in Pollution. *Am. Econ. J. Appl. Econ.* 2016; 8, 36–65.

Engemann, K., Svenning, J.C., Arge, L., Brandt, J., Erikstrup, C., Geels, C., Hertel, O., Mortensen, P.B., Plana-Ripoll, O., Tsirogiannis, C., Sabel, C.E., Sigsgaard, T., Pedersen C.B. Associations between growing up in natural environments and subsequent psychiatric disorders in Denmark. *Environ Res.* 2020;188:109788.

Elser, H., Morello-Frosch, R., Jacobson, A., Pressman, A., Kioumourtzoglou, M.-A., Reimer, R., Casey, J.A. Air pollution, methane super-emitters, and oil and gas wells in Northern California: the relationship with migraine headache prevalence and exacerbation. *Environ. Health* 2021;20, 45.

Eurostat, accessed February the 24th 2022 [www.ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210721-2#:~:text=While%2045%25%20of%20adults%20living,body%20mass%20index%20\(BMI\).](http://www.ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210721-2#:~:text=While%2045%25%20of%20adults%20living,body%20mass%20index%20(BMI).)

Fang, S.C., Schwartz, J., Yang, M., Yaggi, H.K., Bliwise, D.L., Araujo, A.B., Traffic-related air pollution and sleep in the Boston Area Community Health Survey. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2015;25, 451–456.

Fossati, S., Valvi, D., Martinez, D., Cirach, M., Estarlich, M., Fernández-Somoano, A., Guxens, M., Iñiguez, C., Irizar, A., Lertxundi, A., Nieuwenhuijsen, M., Tamayo, I., Vioque, J., Tardón, A., Sunyer, J., Vrijheid, M. Prenatal air pollution exposure and growth and cardio-metabolic risk in preschoolers. *Environ Int.* 2020;138:105619.

Frondeus K, Oudin A, Malmqvist E. Traffic-Related Air Pollution and Child BMI-A Study of Prenatal Exposure to Nitrogen Oxides and Body Mass Index in Children at the Age of Four Years in Malmö, Sweden. *Int J Environ Res Public Health.* 2018;15:2294.

Gislason, T., Bertelsen, R.J., Real, F.G., Sigsgaard, T., Franklin, K.A., Lindberg, E., Janson, C., Arnardottir, E.S., Hellgren, J., Benediktsdottir, B., Forsberg, B., Johannessen, A. Self-reported exposure to traffic pollution in relation to daytime sleepiness and habitual snoring: a questionnaire study in seven North-European cities. *Sleep Med.* 2016;24, 93–99.

Graff Zivin, J., Neidell, M. The Impact of Pollution on Worker Productivity. *Am. Econ. Rev.* 2012; 102, 3652–3673.

Gruebner O, Rapp MA, Adli M, Kluge U, Galea S, Heinz A. Cities and Mental Health. *Dtsch Arztebl Int.* 2017;114(8):121-127.

- Gülhan, P., Güleç, Balbay, E., Elverişli, M.F., Erçelik, M., Arbak, P. Do the levels of particulate matters less than 10µm and seasons affect sleep? *Aging Male*. 2020;23:36-41.
- Guo SS, Roche AF, Chumlea WC, Gardner JD, Siervogel RM. The predictive value of childhood body mass index values for overweight at age 35 y. *Am J Clin Nutr*. 1994;59:810-9.
- Helldén D, Andersson C, Nilsson M, Ebi KL, Friberg P, Alfvén T. Climate change and child health: a scoping review and an expanded conceptual framework. *Lancet Planet Health*. 2021;5:e164-e175.
- Jensen, SS, Brandt J, Plejdrup MS, Nielsen OK, Andersen MS. Kildeoppgørelse, helbredseffekter og eksterne omkostninger af luftforurening i København. Aarhus University, Videnskabelige rapport fra DCE, Danish National Center for Environment and Energy.217. 2017 <http://dce2.au.dk/pub/SR217.pdf>
- Jerrett M, McConnell R, Chang CC, Wolch J, Reynolds K, Lurmann F, Gilliland F, Berhane K. Automobile traffic around the home and attained body mass index: a longitudinal cohort study of children aged 10-18 years. *Prev Med*. 2010;50):S50-8.
- Jerrett M, McConnell R, Wolch J, Chang R, Lam C, Dunton G, Gilliland F, Lurmann F, Islam T, Berhane K. Traffic-related air pollution and obesity formation in children: a longitudinal, multilevel analysis. *Environ Health*. 2014;13:49.
- Kamper-Jørgensen, F., Kjøller, M., Toftager, M., 2009. Den sunde by - Dokumentation af de faktorer, som påvirker sundhed i den tætte by og forstaden som led i udvikling af bæredygtig planlægning. Statens Institut for Folkesundhed. www.sdu.dk/sif/-/media/images/sif/sidste_chance/sif/udgivelser/2009/den_sunde_by.pdf
- Kheirandish-Gozal, L., Ghalebandi, M., Salehi, M., Salarifar, M.H., Gozal, D. Neighbourhood air quality and snoring in school-aged children. *Eur. Respir. J*. 2014;43, 824–832.
- Kieling C, Baker-Henningham H, Belfer M, Conti G, Ertem I, Omigbodun O, Rohde LA, Srinath S, Ulkuer N, Rahman A. Child and adolescent mental health worldwide: evidence for action. *Lancet*. 2011;378:1515-25.
- Kumar S, Kelly AS. Review of childhood obesity: from epidemiology, etiology, and comorbidities to clinical assessment and treatment. *Mayo Clin Proc*. 2017;92:251–65.
- Laratta, C., Carlsten, C., Brauer, M., Hirsch Allen, A., Fox, N., Peres, B.U., Ayas, N. 0434 THE ASSOCIATION OF TRAFFIC-RELATED AIR POLLUTION WITH SLEEP APNEA AND INFLAMMATORY BIOMARKERS, *Sleep*, 2017;40:A161–A162,
- Lawrence, W.R., Yang, M., Zhang, C., Liu, R.-Q., Lin, S., Wang, S.-Q., Liu, Y., Ma, H., Chen, D.-H., Zeng, X.-W., Yang, B.-Y., Hu, L.-W., Yim, S.H.L., Dong, G.-H. Association between long-term exposure to air pollution and sleep disorder in Chinese children: the Seven Northeastern Cities study. *Sleep* 2018; 41, zsy122.

- Li, H., Cai, J., Chen, R., Zhao, Z., Ying, Z., Wang, L., Chen, J., Hao, K., Kinney, P.L., Chen, H., Kan, H., Particulate Matter Exposure and Stress Hormone Levels. *Circulation* 2017;136, 618–627.
- Lichter, A., Pestel, N., Sommer, E., Productivity effects of air pollution: Evidence from professional soccer. *Labour Econ.* 2017; 48, 54–66.
- Liu J, Wu T, Liu Q, Wu S, Chen JC. Air pollution exposure and adverse sleep health across the life course: A systematic review. *Environ Pollut.* 2020;262:114263.
- Malacarne, D., Handakas, E., Robinson, O., Pineda, E., Saez, M., Chatzi, L., Fecht, D. The built environment as determinant of childhood obesity: A systematic literature review. *Obes. Rev. Off. J. Int. Assoc. Study Obes.* 2022; 23, e13385.
- Mayne SL, Mitchell JA, Virudachalam S, Fiks AG, Williamson AA. Neighborhood environments and sleep among children and adolescents: A systematic review. *Sleep Med Rev.* 2021;57:101465..
- McConnell R, Shen E, Gilliland FD, Jerrett M, Wolch J, Chang CC, Lurmann F, Berhane K. A longitudinal cohort study of body mass index and childhood exposure to secondhand tobacco smoke and air pollution: the Southern California Children's Health Study. *Environ Health Perspect.* 2015;123(4):360-6.
- Medic G, Wille M, Hemels ME. Short- and long-term health consequences of sleep disruption. *Nat Sci Sleep.* 2017;9:151-161.
- Muhsin, H. A., Steingrimsson, S., Oudin, A., Åström, D. O., & Carlsen, H. K. Air pollution and increased number of psychiatric emergency room visits: A case-crossover study for identifying susceptible groups. *Environmental Research*, 2022;204, 112001.
- Mukamal, K.J., Wellenius, G.A., Suh, H.H., Mittleman, M.A. Weather and air pollution as triggers of severe headaches. *Neurology* 2009 ;72, 922–927.
- Nordentoft M, Wahlbeck K, Hällgren J, Westman J, Ösby U, et al. Excess Mortality, Causes of Death and Life Expectancy in 270,770 Patients with Recent Onset of Mental Disorders in Denmark, Finland and Sweden. *PLOS ONE* 2013; 8: e55176.
- Oudin, A., Bråbäck, L., Åström, D. O., Strömgren, M., & Forsberg, B. Association between neighbourhood air pollution concentrations and dispensed medication for psychiatric disorders in a large longitudinal cohort of Swedish children and adolescents. *BMJ open*, 2016; 6(6), e010004.
- Parasin N, Amnuaylojaroen T, Saokaew S. Effect of Air Pollution on Obesity in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Children (Basel)*. 2021 Apr 23;8(5):327. doi: 10.3390/children8050327.
- Pedersen, C.B., Mortensen, P.B. Urbanization and traffic related exposures as risk factors for schizophrenia. *BMC Psychiatry.* 2006;6:2.

- Pinault L, Thomson EM, Christidis T, Colman I, Tjepkema M, van Donkelaar A, Martin RV, Hystad P, Shin H, Crouse DL, Burnett RT. The association between ambient air pollution concentrations and psychological distress. *Health Rep.* 2020;31:3-11.
- Pirrera S, De Valck E, Cluydts R. Nocturnal road traffic noise: A review on its assessment and consequences on sleep and health. *Environ Int.* 2010;36:492-8.
- Power, M. C., Kioumourtoglou, M. A., Hart, J. E., Okereke, O. I., Laden, F., & Weisskopf, M. G. The relation between past exposure to fine particulate air pollution and prevalent anxiety: observational cohort study. *bmj*, 2015. 350.
- Raaschou-Nielsen O, Taj T, Poulsen AH, Hvidtfeldt UA, Ketzel M, Christensen JH, Brandt J, Frohn LM, Geels C, Valencia VH, Sørensen M. Air pollution at the residence of Danish adults, by socio-demographic characteristics, morbidity, and address level characteristics. *Environ Res.* 2022;208:112714.
- Rehm J, Shield KD. Global Burden of Disease and the Impact of Mental and Addictive Disorders. *Curr Psychiatry Rep.* 2019;21:10.
- Reilly JJ, Kelly J. Long-term impact of overweight and obesity in childhood and adolescence on morbidity and premature mortality in adulthood: systematic review. *Int J Obes (Lond).* 2011;35:891-8.
- Rocha, I.I., Narasimhalu, K., De Silva, D.A.. Impact of Air Pollution and Seasonal Haze on Neurological Conditions. *Ann. Acad. Med. Singapore* 2020;49, 26–36.
- Rundle AG, Gallagher D, Herbstman JB, Goldsmith J, Holmes D, Hassoun A, Oberfield S, Miller RL, Andrews H, Widen EM, Hoepner LA, Perera F. Prenatal exposure to airborne polycyclic aromatic hydrocarbons and childhood growth trajectories from age 5-14 years. *Environ Res.* 2019;177:108595.
- Rundle A, Hoepner L, Hassoun A, Oberfield S, Freyer G, Holmes D, Reyes M, Quinn J, Camann D, Perera F, Whyatt R. Association of childhood obesity with maternal exposure to ambient air polycyclic aromatic hydrocarbons during pregnancy. *Am J Epidemiol.* 2012;175(11):1163-72.
- Shen, Y.-L., Liu, W.-T., Lee, K.-Y., Chuang, H.-C., Chen, H.-W., Chuang, K.-J., Association of PM_{2.5} with sleep-disordered breathing from a population-based study in Northern Taiwan urban areas. *Environ. Pollut.* 2018; 233, 109–113.
- Schwimmer JB, Burwinkle TM, Varni JW. Health-related quality of life of severely obese children and adolescents. *JAMA.* 2003 ;289:1813-9.
- Sørensen M, Sørensen TIA, Ketzel M, Raaschou-Nielsen O. Exposure to traffic noise and gestational weight gain and postpartum weight retention: a cohort study. *Occup Environ Med.* 2020;77:107-114.
- Trushna T, Dhiman V, Raj D, Tiwari RR. Effects of ambient air pollution on psychological stress and anxiety disorder: a systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *Rev Environ Health.* 2020;36:501-521.

Szyszkowicz, M., Kaplan, G.G., Grafstein, E., Rowe, B.H., Emergency Department Visits for Migraine and Headache: A Multi-City Study. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2009a;22, 235–242.

Szyszkowicz, M., Stieb, D.M., Rowe, B.H., Air pollution and daily ED visits for migraine and headache in Edmonton, Canada. *Am. J. Emerg. Med.* 2009b; 27, 391–396.

Tung NT, Lee YL, Lin SY, Wu CD, Dung HB, Thuy TPC, Kuan YC, Tsai CY, Lo CC, Lo K, Ho KF, Liu WT, Chuang HC. Associations of ambient air pollution with overnight changes in body composition and sleep-related parameters. *Sci Total Environ.* 2021;791:148265.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. United Nations. New York: 2015. World urbanization prospects. The 2014 revision
<https://population.un.org/wup/publications/files/wup2014-report.pdf>

Walker ER, McGee RE, Druss BG. Mortality in mental disorders and global disease burden implications: a systematic review and meta-analysis [published correction appears in *JAMA Psychiatry.* . 2015;72(4):334-341.

Weinreich, G., Wessendorf, T.E., Pundt, N., Weinmayr, G., Hennig, F., Moebus, S., Möhlenkamp, S., Erbel, R., Jöckel, K.-H., Teschler, H., Hoffmann, B., Association of short-term ozone and temperature with sleep disordered breathing. *Eur. Respir. J.* 2015; 46, 1361–1369.

WHO accessed February the 24th 2022 Obesity and overweight: key facts. Geneva: World Health Organization; 2020
(<https://www.who.int/newsroom/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>).

Huang JV, Leung GM, Schooling CM. The association of air pollution with body mass index: evidence from Hong Kong's "Children of 1997" birth cohort. *Int J Obes (Lond).* 2019;43:62-72.

WHO ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. Geneva: World Health Organization, 2021
www.who.int/publications/i/item/9789241511353

WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization, 2021
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf>

WHO, Information sheet Premature death among people with severe mental disorders, n.d
https://www.who.int/mental_health/management/info_sheet.pdf

Yang X, Fang Y, Chen H, et al. Global, regional and national burden of anxiety disorders from 1990 to 2019: results from the Global Burden of Disease Study 2019. *Epidemiol Psychiatr Sci.* 2021;30:e36.

Yu, H., Chen, P., Paige Gordon, S., Yu, M., Wang, Y., The Association between Air Pollution and Sleep Duration: A Cohort Study of Freshmen at a University in Beijing, China. *Int. J. Environ. Res. Public. Health* 2019; 16, 3362.

Zanobetti, A., Redline, S., Schwartz, J., Rosen, D., Patel, S., O'Connor, G.T., Lebowitz, M., Coull, B.A., Gold, D.R., Associations of PM_{10} with sleep and sleep-disordered breathing in adults from seven U.S. urban areas. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2010; 182, 819–825.

Zhao, T., Tesch, F., Markevych, I., Baumbach, C., Janßen, C., Schmitt, J., Heinrich, J. Depression and anxiety with exposure to ozone and particulate matter: An epidemiological claims data analysis. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2020; 228, 113562.

Table 1. Ambient Air Pollution and risk factors of disease and mortality.

Outcome	Pollutant	Exposure Unit ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Population	Countries	Studies Included	Subjects Included (N)	I ²	P-value	Effect Size OR (95%CI)	Reference
Obesity										
Obesity/overweight	PM _{2.5}	Bloemsma: 1.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Bont: 2.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Fioravanti: 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Guo: 59.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Mao: 3.17 mg/m^3 Wilding: 13.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Children (0-19 years)	England The Netherlands Spain Italy China (2 studies)	6	64,028	44%	0.11	1.05 (1.01,1.09)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	PM _{2.5}	Bloemsma: 1.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Bont: 2.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Fioravanti: 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Wilding: 13.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Children (0-19 years)	Europe only	4	21143	18.2%	<0.001	1.02 (0.97,1.07)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	PM _{2.5}	N/A	Children (0-4 years)	N/A	N/A	N/A	24.5%	<0.001	1.03 (0.98,1.08)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	PM _{2.5}	N/A	Children (>4 years)	N/A	N/A	N/A	62.5%	<0.001	1.08 (1.02,1.14)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	PM ₁₀	Bloemsma: 1.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Bont: 5.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Dong: 124 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Fioravanti: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Wilding: 18.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Children (0-19 years)	England The Netherlands Spain Italy China	5	51199	73%	0,005	1.07 (1.04,1.10)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	PM ₁₀	Bloemsma: 1.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Bont: 5.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Fioravanti: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Wilding: 18.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Children (0-19 years)	Europe only	4	21143	0.0%	<0.001	1.04 (1.01,1.07)	Parasin et al. 2021

Table 1. Ambient Air Pollution and risk factors of disease and mortality – continued.

Outcome	Pollutant	Exposure Unit ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Population	Countries	Studies Included	Subjects Included (N)	I ²	P-value	Effect Size OR (95%CI)	Reference
Obesity/overweight	PM ₁₀	N/A	Children (0-4 years)	N/A	N/A	N/A	84.6%	<0.001	1.07 (1.04,1.10)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	PM ₁₀	N/A	Children (>4 years)	N/A	N/A	N/A	0.0%	<0.001	1.01 (0.89,1.12)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	PM _{coarse}	Bont: 3.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Fioravanti: 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Children (0-19 years)	Spain Italy	2	3379	0.0%	0.291	1.07 (0.95,1.20)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	PM _{coarse}	Bont: 3.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Fioravanti: 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Children (0-19 years)	Europe only	2	3379	0.0%	0.291	1.07 (0.95,1.20)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	PM _{coarse}	N/A	Children (0-4 years)	N/A	N/A	N/A	-	0.228	1.08 (0.95,1.22)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	PM _{coarse}	N/A	Children (>4 years)	N/A	N/A	N/A	-	0.817	0.96 (0.68,1.36)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	PM _{absorbance}	Bont: 25*10 ⁻⁵ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Fioravanti: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Vrijheid: Outdoor 0.41*10 ⁻⁵ /m ⁻¹ ,	Children (0-19 years)	England France, Spain, Lithuania, Nor- way, Greece, Italy, the Netherlands	3	5700	0.0%	0.007	1.23 (1.06,1.43)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	PM _{absorbance}	Bont: 25*10-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Fioravanti: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Vrijheid: Outdoor 0.41*10 ⁻⁵ /m ⁻¹ ,	Children (0-19 years)	Europe only	3	5700	0.0%	0.007	1.23 (1.06,1.43)	Parasin et al. 2021

Table 1. Ambient Air Pollution and risk factors of disease and mortality – continued.

Outcome	Pollutant	Exposure Unit (µg/m³)	Population	Countries	Studies Included	Subjects Included (N)	I²	P-value	Effect Size OR (95%CI)	Reference
Obesity/overweight	PM _{absorbance}	N/A	Children (0-4 years)	N/A	N/A	N/A	-	0.076	1.31 (0.97,1.77)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	PM _{absorbance}	N/A	Children (>4 years)	N/A	N/A	N/A	0.0	0.036	1.21 (1.01,1.44)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	NO ₂	Bloemsma: 8.9 µg/m³ Bont: 13.7 µg/m³ Fioravanti: 10 µg/m³ Dong: 19.5 ppb	Children (0-19 years)	Italy, Spain, the Netherlands, China	4	37115	55.2%	<0.001	1.10 (1.04,1.16)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	NO ₂	Bloemsma: 8.9 µg/m³ Bont: 13.7 µg/m³ Fioravanti: 10 µg/m³	Children (0-19 years)	Europe only	3	7059	66.5%	0.032	1.08 (1.01,1.16)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	NO ₂	N/A	Children (0-4 years)	N/A	N/A	N/A	41.1%	0.014	1.09 (1.03,1.15)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	NO ₂	N/A	Children (>4 years)	N/A	N/A	N/A	66.8%	0.003	1.24 (1.04,1.47)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	NO _x	Fioravanti: 20 µg/m³ Wilding: 40.2 µg/m³	Children (0-19 years)	Italy, England	2	14803	0.0%	0.571	1.00 (0.99,1.02)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	NO _x	Fioravanti: 20 µg/m³ Wilding: 40.2 µg/m³	Children (0-19 years)	Europe only	2	14803	0.0%	0.423	1.00 (0.99,1.01)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	NO _x	N/A	Children (0-4 years)		N/A	N/A	0.0%	0.428	1.00 (0.99,1.01)	Parasin et al. 2021
Obesity/overweight	NO _x	N/A	Children (>4 years)	N/A	N/A	N/A	0.0%	0.839	1.02 (0.84,1.24)	Parasin et al. 2021

Table 1. Ambient Air Pollution and risk factors of disease and mortality – continued.

Outcome	Pollutant	Exposure Unit ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Population	Countries	Studies Included	Subjects Included (N)	I ²	P-value	Effect Size OR (95%CI)	Reference
Obesity/overweight	PM _{2.5}	10 mg/m ³	Adults (20-70 years)	Saudi Arabia, China, US (2 studies), Korea	5	144920	97.5%	<0.001	1.21 (0.94,1.56)	Huang et al. 2020
Obesity/overweight	PM ₁₀	10 mg/m ³	Adults (20-70 years)	Switzerland, Saudi Arabia, China (2 studies), Korea	5	138396	94.0%	<0.001	1.06 (0.98,1.14)	Huang et al. 2020
Obesity/overweight	NO ₂	10 mg/m ³	Adults (20-70 years)	China (2 studies), Switzerland, Korea	4	142895	94.4%	<0.001	1.13 (1.01,1.26)	Huang et al. 2020
Obesity/overweight	SO ₂	10 mg/m ³	Adults (20-70 years)	China (2 studies), Korea	3	139126	6.4%	0.343	1.04 (1.01,1.06)	Huang et al. 2020
Obesity/overweight	O ₃	10 mg/m ³	Adults (20-70 years)	China (2 studies), Korea	3	88592	95.2%	<0.001	1.07 (1.02,1.13)	Huang et al. 2020
BMI	PM _{2.5}	10 mg/m ³	Adults (20-70 years)	China, Korea, US	3	18686	0.0%	0.529	0.34 (0.30,0.38)	Huang et al. 2020
BMI	PM ₁₀	10 mg/m ³	Adults (20-70 years)	China, US (2 studies)	3	15944	94.4%	<0.001	0.03 (-0.26,0.32)	Huang et al. 2020
BMI	NO ₂	10 mg/m ³	Adults (20-70 years)	China, Korea, US	3	18686	98.6%	<0.001	0.24 (-0.18,0.67)	Huang et al. 2020

Table 1. Ambient Air Pollution and risk factors of disease and mortality – continued.

Outcome	Pollutant	Exposure Unit ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Population	Countries	Studies Included	Subjects Included (N)	I ²	P-value	Effect Size OR (95%CI)	Reference
BMI	O ₃	10 mg/m ³	Adults (20-70 years)	US, China	2	13572	0.0%	0.458	0.21 (0.17,0.24)	Huang et al. 2020
Mental health										
Anxiety disorder	PM _{2.5}	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Children and adults	The Netherlands, Germany (2 studies), Spain (1 study 4 sub-cohorts), UK, USA (2 studies)	5		80%	<0.001	0.88 (0.72,1.06)	Trushna et al. 2020
Anxiety disorder	PM ₁₀	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Children and adults	The Netherlands, Germany (2 studies), Poland, Spain (check n3 studies), USA (2 studies)	10		59%	0.01	0.88 (0.78,0.98)	Trushna et al. 2020
Anxiety disorder	NO ₂	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Children and adults	The Netherlands, Germany (2 studies), Poland, Italy, Spain (5 studies), UK	11		0%	0.91	0.93 (0.89,0.97)	Trushna et al. 2020

Appendix 1

Search terms used:

Obesity (hits: 806)

((("traffic pollution"[Title/Abstract] OR "air pollution"[Title/Abstract] OR "particulate matter"[Title/Abstract] OR "NO₂"[Title/Abstract] OR "ambient air pollution"[Title/Abstract]) AND ("BMI"[Title/Abstract] OR "obesity"[Title/Abstract] OR "over-weight"[Title/Abstract]))

Sleep (hits: 213)

((("traffic pollution"[Title/Abstract] OR "air pollution"[Title/Abstract] OR "particulate matter"[Title/Abstract] OR "NO₂"[Title/Abstract] OR "ambient air pollution"[Title/Abstract]) AND ("sleep"[Title/Abstract]))

Mental health (hits: 378)

((("traffic pollution"[Title/Abstract] OR "air pollution"[Title/Abstract] OR "particulate matter"[Title/Abstract] OR "NO₂"[Title/Abstract] OR "ambient air pollution"[Title/Abstract]) AND ("depression"[Title/Abstract] OR "anxiety"[Title/Abstract]))

Headache (hits: 113)

((("traffic pollution"[Title/Abstract] OR "air pollution"[Title/Abstract] OR "particulate matter"[Title/Abstract] OR "NO₂"[Title/Abstract] OR "ambient air pollution"[Title/Abstract]) AND ("headache"[Title/Abstract] OR "migraine"[Title/Abstract]))

Well-being (hits: 206)

((("traffic pollution"[Title/Abstract] OR "air pollution"[Title/Abstract] OR "particulate matter"[Title/Abstract] OR "NO₂"[Title/Abstract] OR "ambient air pollution"[Title/Abstract]) AND ("sick day*" [Title/Abstract] OR "well-being"[Title/Abstract]))

WHO's nye retningslinjer og sammenligning til EU's grænseværdier for luftkvalitet

Bilag 2 / WHO's nye retningslinjer og sammenligning til EU's grænseværdier for luftkvalitet

Verdenssundhedsorganisationen (WHO) udgav i september 2021 en rapport med deres nye retningslinjer for seks forurenende stoffer i luften, henholdsvis fine og grove partikler, ozon, kvælstofdioxid, svovldioxid og kulilte. Det er muligt at se retningslinjer og hente rapporten på WHOs hjemmeside her:

www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines

I tabel 6 vises WHO's nye retningslinjer fra 2021 for alle seks stoffer.

Tabel 6 / WHO's nye retningslinjer 2021

Stof	Måleperiode	WHO's retningslinje
Fine partikler (PM _{2,5})	Årsmiddelværdi	5 µg/m ³
	Døgnmiddelværdi	15 µg/m ³
Grove partikler (PM ₁₀)	Årsmiddelværdi	15 µg/m ³
	Døgnmiddelværdi	45 µg/m ³
Ozon (O ₃)	Sæsonmiddelværdi	60 µg/m ³
	8 timers middelværdi	100 µg/m ³
Kvælstofdioxid (NO ₂)	Årsmiddelværdi	10 µg/m ³
	Døgnmiddelværdi	25 µg/m ³
Svovldioxid (SO ₂)	Døgnmiddelværdi	40 µg/m ³
Kulilte (CO)	Døgnmiddelværdi	4 mg/m ³

Sammenligning med tidligere retningslinjer fra WHO

For alle seks stoffer i de nye retningslinjer bortset fra svovldioxid er niveauerne væsentlig reduceret i forhold til de tidligere WHO's retningslinjer fra 2005.

Årsmiddelværdier og døgnmiddelværdi er således væsentlig reduceret for fem af stofferne i de nye retningslinjer. Mens time- og minutmiddelværdier er de samme som de tidligere fra 2005 og dermed ikke medtaget i ovenstående tabel.

Nedenfor sammenlignes WHO's tidligere retningslinjer fra 2005 med de nye retningslinjer fra 2021 for fine partikler og grove partikler, ozon, kvælstofdioxid, samt kulilte og svovldioxid. Derudover ses også den procentvise forskel mellem de tidligere og de nye retningslinjer.

Tabel 7 / Sammenligning af WHO's tidligere og nye retningslinjer

Stof	Måleperiode	WHO's retningslinje 2005	WHO's retningslinjer 2021	Forskel
Fine partikler (PM _{2,5})	Årsmiddelværdi	10 µg/m ³	5 µg/m ³	50 pct. mindre
	Døgnmiddelværdi	25 µg/m ³	15 µg/m ³	40 pct. mindre
Grove partikler (PM ₁₀)	Årsmiddelværdi	20 µg/m ³	15 µg/m ³	25 pct. mindre
	Døgnmiddelværdi	50 µg/m ³	45 µg/m ³	10 pct. mindre
Ozon (O ₃)	8 timers middelværdi	40 µg/m ³	100 µg/m ³	Samme værdi
Kvælstofdioxid (NO ₂)	Årsmiddelværdi	—	10 µg/m ³	75 pct. mindre
	Døgnmiddelværdi		25 µg/m ³	—
Svovldioxid (SO ₂)	Døgnmiddelværdi	—	40 µg/m ³	—
Kulilte (CO)	Døgnmiddelværdi	—	4 mg/m ³	—

Der er væsentlige reduktioner i WHO's anbefalede niveauer af luftforurening til forskel fra 2005 for både fine og grove partikler og kvælstofdioxid. WHO's nye retningslinjer anbefaler fx en årsmiddelværdi for fine partikler, der er 50 procent lavere sammenlignet med tidligere, samt en årsmiddelværdi for kvælstofdioxid, der er 75 procent lavere sammenlignet med tidligere.

Sammenligning med EU's grænseværdier

Tabellen nedenfor viser WHO's nye retningslinjer fra 2021 sammenlignet med EU's grænseværdier for fine og grove partikler, ozon, kvælstofdioxid, samt kulilte. Derudover ses også forskellen mellem WHO's retningslinjer og EU's grænseværdier.

Tabel 8 / Sammenligning ml. WHO's nye retningslinjer og EU's grænseværdier

Stof	Måleperiode	WHO's retningslinjer 2021	EU's grænseværdi	Forskel
Fine partikler (PM _{2,5})	Årsmiddelværdi	5 µg/m ³	25 µg/m ³	WHO: Omkring fem gange lavere niveau
	Døgnmiddelværdi	15 µg/m ³	—	—
Større partikler (PM ₁₀)	Årsmiddelværdi	15 µg/m ³	40 µg/m ³	WHO: Omkring 2,7 gange lavere niveau
	Døgnmiddelværdi	45 µg/m ³	50 µg/m ³	WHO: Omkring 1,1 gange lavere niveau

Tabel 8 fortsat / Sammenligning ml. WHO's nye retningslinjer og EU's grænseværdier

Stof	Måleperiode	WHO's retningslinjer 2021	EU's grænseværdi	Forskel
Ozon (O ₃)	8 timers middelværdi	100 µg/m ³	120 µg/m ³	WHO: Omkring 1,2 gange lavere niveau
Kvælstofdioxid (NO ₂)	Årsmiddelværdi	10 µg/m ³	40 µg/m ³	WHO: Omkring fire gange lavere niveau
	Døgnmiddelværdi	25 µg/m ³	50 µg/m ³	WHO: Omkring to gange lavere niveau
Kulilte (CO)	Døgnmiddelværdi	4 mg/m ³	—	—

WHO's nye retningslinjer er markant lavere end EU's grænseværdier for både fine og grove partikler og kvælstofdioxid. WHO's nye retningslinjer anbefaler fx niveauer af årsmiddelværdier, der er omkring fem gange lavere for fine partikler og omkring fire gange lavere for kvælstofdioxid til sammenligning med EU's grænseværdier.

Nye retningslinjer ift. eksisterende luftmålinger i København

For at forstå betydningen af WHO's nye retningslinjer i København er herunder sammenlignet med data fra de tre nationale målestationer for

fine partikler, grove partikler, samt kvælstofdioxid. Tabellerne viser også den procentvise ønskede reduktion pr. målestation for at nå det anbefalede niveau i WHO's nye retningslinjer.

Nationale målestationer i København

Tabel 4 viser en sammenligning af WHO's nye retningslinjer og årsmiddelværdier, der er målt ved de tre nationale målestationer på H. C. Andersens Boulevard, Jagtvej og H. C. Ørsted Institut (bybaggrund) som led i det nationale måleprogram (data fra 2019).

Tabel 9 / Sammenligning af WHO's tidligere og nye retningslinjer

Stof	Måleperiode	WHO's retningslinje 2021	Nationale målestationer*	Reduktion ift. WHO's. retningslinje
Fine partikler (PM _{2,5})	Årsmiddelværdi	5 µg/m ³	HCAB: 13 Jagtvej: 12 Bybaggrund: 11	HCAB: 61 pct. Jagtvej: 58 pct. Bybaggrund: 54 pct.
Grove partikler (PM ₁₀)	Årsmiddelværdi	15 µg/m ³	HCAB: 26 Jagtvej: 21 Bybaggrund: 17	HCAB: 42 pct. Jagtvej: 28 pct. Bybaggrund: 12 pct.
Kvælstofdioxid (NO ₂)	Årsmiddelværdi	10 µg/m ³	HCAB: 33 Jagtvej: 24 Bybaggrund: 12	HCAB: 70 pct. Jagtvej: 58 pct Bybaggrund: 16 pct.

Tabellen viser bl.a., at det kræver en reduktion af fine partikler og kvælstofdioxid på omkring 50-70 pct. på H. C. Andersens Boulevard og Jagtvej, hvis WHO's retningslinjer skal imødekommes ved de nationale målestationer.

* Kilde: DCE "Luftkvalitet 2019, nr. 410 2021".

Oversigtstabel

Bilag 3 / Oversigtstabel

Oversigtstabellen er en samling af helbredseffekter beskrevet i tabel 3, 4 og 5. Oversigtstabellen viser således det samlede billede af helbredseffekter forårsaget af eksponering for luftforurening. Både helbredsudfald med etableret sammenhæng og de helbredsudfald, hvor der er en mistanke om sammenhæng, samt de inkluderede helbredseffekter i

modelberegningerne af sundhedskonsekvenserne for Københavns Kommune. Indholdet af tabellen er drøftet med ekspertgruppen for sundhed og luftforurening i Københavns Kommune og efterfølgende kvalitetssikret af professor Zorana J. Andersen og lektor Marie Pedersen fra Københavns Universitet.

Tabel 10 / Oversigtstabel

	Moderat til høj evidens (etablerede sammenhænge)	Mistanke om sammenhænge	Udfald inkluderet i beregning af helbreds- effekter for Køben- havns Kommune
Øget dødelighed	– Samlet dødelighed – Øget dødelighed pga. luftvejssygdomme – Øget dødelighed pga. hjertekarsygdomme – Øget dødelighed pga. type 2-diabetes – Øget dødelighed pga. lungekræft – Øget spædbarnsdødelighed (børn)	– Øget dødelighed pga. svangerskabsforgiftning – Øget dødelighed pga. luftvejssygdomme (børn)	– Tabte leveår (kroniske dødsfald som følge af langtidseksponering) – Totale antal dødsfald (kroniske tabte leveår og akutte dødsfald) – Akutte dødsfald (som følge af korttidseksponering)
Øget sygelighed – cancer	– Lungekræft	– Blærekræft – Brystkræft – Hjernetumor – Leukæmi – Leverkræft – Lymfeknudekræft – Mavekræft – Nyrekræft – Leukæmi (børn) – Lymfeknudekræft (børn) – Kræft i centralnervesystemet (børn) – Neuroblastom og Wilms tumor (børn) – Retinoblastom (børn)	– Lungekræft

Tabel 10 fortsat / Oversigtstabel

	Moderat til høj evidens (etablerede sammen- hænge)	Mistanke om sammen- hænge	Udfald inkluderet i beregning af helbreds- effekter for Køben- havns Kommune
Øget sygelighed – Hjerte-, kar- og kreds- løbssygdomme	– Hjerteranfald – Slagtilfælde (hjerneblødning, blodprop i hjernen) – Hjertestop – Forhøjet blodtryk under graviditet – Svangerskabsforgiftning	– Hjerteflimmer – Forhøjet blodtryk – Forhøjet blodtryk (børn)	
Øget sygelighed – luftvejs- og lungesyg- domme	– Astma – KOL – Lungebetændelse (børn og voksne) – Nedsat lungefunktion (børn og voksne) – Øget sygelighed pga. luftvejssygdomme (børn) – Astma og astmarelaterede symptomer (børn)	– COVID-19 (børn og voksne) – Nedre luftvejsinfektioner (børn)	– Hospitalsindlæggelser for åndedrætsbesvær og hjertekarsygdomme – Bronkitis hos voksne – Astma hos børn – Bronkitis hos børn
Øget sygelighed – diabetes	– Type 2-diabetes	– Diabetes under graviditet – Type 1-diabetes (børn)	
Øget sygelighed – neurodegenerative sygdomme og lidelser		– Demens/Alzheimers – Multipel Sklerose (MS) – Parkinsons sygdom – Nedsat kognitiv funktion – Accelereret kognitivt forfald – Hæmmet kognitiv funktion og udvikling (børn)	

Tabel 10 fortsat / Oversigtstabel

	Moderat til høj evidens (etablerede sammen- hænge)	Mistanke om sammen- hænge	Udfald inkluderet i beregning af helbreds- effekter for Køben- havns Kommune
Øget sygelighed – neurologiske og psykologiske syg- domme og lidelser		– Depression – Selvmord – Efterfødsels- depression – Skizofreni – Dårlig mental sundhed – Stress – Angst – ADHD (børn) – Autisme (børn)	
Øget sygelighed – vedr. foster/fødsel	– Lav fødselsvægt (børn)	– Dødfødsel – Spontan abort – Nedsat fertilitet – Reduceret foster- vækst (børn) – Medfødte misdannel- ser (børn) – For tidlig fødsel (børn)	
Øget sygelighed – overvægt		– Overvægt – Overvægt (børn)	
Øget sygelighed – søvn		– Dårlig søvnkvalitet – Dårlig søvnkvalitet (børn)	
Øget sygelighed – velbefindende og almindelige aktivitet		– Nedsat produktivitet/ aktivitet – Hovedpine – Dårlig trivsel generelt	– Sygedage inkl. nedsat aktivitet fx hovedpine