

Luftkvaliteten

Miljøets fodspor nr. 2

December 2018



Redaktion:

Finn Palmgren (finn.palmgren@mail.dk), civilingeniør Ph.d. Sektionsleder. Har arbejdet med luftforurening siden 1973 på Forsøgsanlæg Risø, Miljøstyrelsens Luftforureningslaboratorium, Danmarks Miljøundersøgelser og DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet. Pensioneret 2008.

Thomas Ellermann (tel@envs.au.dk), Seniorforsker, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi Aarhus Universitet. Har arbejdet med luftforurening siden 1993.

Ole Hertel (oh@envs.au.dk), professor og sektionsleder ved Institut for Miljøvidenskab og DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi Aarhus Universitet. Har arbejdet med luftforurening siden 1987.

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøets fodspor er en selvstændig hjemmeside, som Miljøstyrelsen ikke har et indholdsmæssigt ansvar for. Alle artikler på Miljøets fodspor tager udgangspunkt i situationen i 1971, hvor Ministeriet for Forureningsbekæmpelse blev oprettet. Ansvaret for de enkelte artikler hviler udelukkende på den enkelte forfatter. Artiklerne skal alene betragtes som historieskrivning, ikke som led i den aktuelle debat eller som konsulentarbejde for nogen eksisterende organisation. Indholdet i artiklerne står alene for forfatterens regning. Heraf følger, at henvendelser i anledning af artiklerne, herunder eventuelt korrektioner af fremstillingerne, må rettes til de enkelte forfattere, ikke til Miljøstyrelsen.

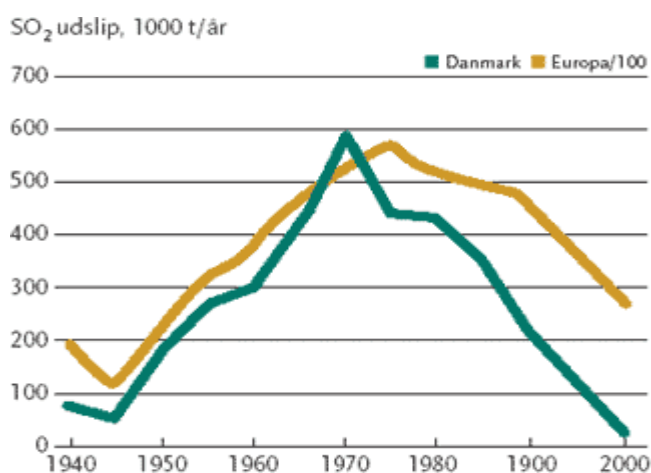
Indhold

1.	Luftkvaliteten er blevet meget bedre	4
2.	Luften var meget foruren	5
3.	Måling af luftforurening	6
4.	Hvad blev gjort for at reducere luftforureningen?	8
5.	Udviklingen i luftkvaliteten	10
5.1	Svovldioxid	10
5.2	Bly i benzin	11
5.3	BENZEN	12
5.4	Kulmonoxid	13
5.5	Nitrogenoxider	14
5.6	Ozon	16
5.7	Partikler	17
5.8	Lugt	20
6.	Situationen i 2018	21
7.	Referencer	23

1. Luftkvaliteten er blevet meget bedre

Talrige undersøgelser har vist, at luftforurening er skyld i sundhedsskader på mennesker, skader på naturen og på materialer. Hertil kommer indvirkninger på klimaet. Derfor er det vigtigt at indsamle information om luftforureningens omfang og om de forskellige forureningskilders bidrag til luftforureningen, lige som det er vigtigt at få mere viden om sammenhængen mellem luftforureningen og dens skadevirkninger.

Vi hører ofte udtrykket "den stigende luftforurening". Det var rigtigt for 40-50 år siden, men i dag er luften meget renere, først og fremmest fordi både Danmark, Europa (EU) i øvrigt og andre lande har gjort meget for at gøre luftkvaliteten bedre, og dermed mindske skader på mennesker og natur. Det betyder ikke, at man ikke kan og skal gøre mere. Vort kendskab til sammenhængen mellem luftforureningen og dens skadevirkninger er stadig mangelfuld på en række områder. I tillæg kommer der stadig nye typer af luftforurening i takt med indførelsen af nye teknologier. Også den økonomiske vækst kan give mere luftforurening, selv om det har vist sig, at vækst ikke nødvendigvis fører til mere forurening. Fx har det vist sig muligt at reducere luftforureningen selv om energiforbrug til produktion og varme samtidig er steget markant, Figur 1.



FIGUR 1. Udledning af svovldioxid Danmark og Europa/100 fra 1940 til 2000 *Ref 8*

2. Luften var meget forurenede

Lige efter 2. verdenskrig oplevede vi en voldsom luftforurening. London var fx kendt for sin "smog". I december 1952 var der en særlig kraftig smog-episode. Sigtbarheden var ned til nogle få meter på grund af stille vejr og omfattende afbrænding af kul til el produktion, opvarmning og industri. Man skønner, at op til 4000 mennesker døde i løbet af få dage som følge heraf, (Ref 4).

Generelt oplevede vi en kraftig stigning i luftforureningen i hele Europa op gennem 1950'erne og 1960'erne, som følge af den kraftige vækst og manglende regler for udledning (emission) af luftforurenende stoffer.

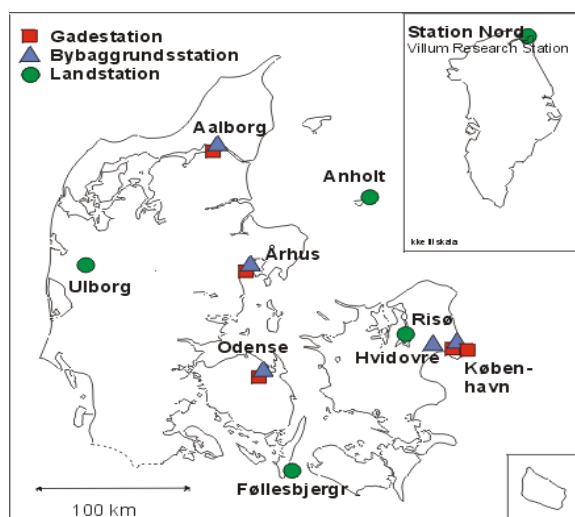
I lighed med en række andre miljøproblemer udgør luftforurening og bekæmpelse heraf en kompleks problemstilling.

I 1950'erne oplevede man luftforureningen som dårlig lugt og tilsmudsning, især på grund af fyring med fast brændsel (kul og koks). I England var man efter episoden i 1952 begyndt at sætte lungesygdomme (bronkitis) i forbindelse med udsættelse for luftforurening. Hertil kom den efterhånden stigende biltrafik op gennem 60'erne, som gav anledning til nye typer af luftforurening, bl.a. bly, nitrogenoxider (NO_x) og kulilte (CO) - især i byerne.

Ud over luftforureningens påvirkninger af helbred viste andre miljøskader sig. Omkring 1970 blev luftforurening – specielt svovl - sat i forbindelse med forurening af søer og vegetationen med skader på livet i søerne og skader på vegetationen til følge. Eutrofiering tilførsel af næringsstoffer – specielt nitrogenforbindelser - til naturområder viste sig også at være et voksende problem.

3. Måling af luftforurening

Der findes kun spredte måledata af luftforureningen i Danmark fra 1950'erne og 1960'erne, bl.a. i København og Fredericia, så vi ved ikke så meget om situationen dengang. Der er dog ingen tvivl om, at forureningen var betydelig højere end i dag, og det vakte da også bekymring i såvel befolkningen som hos myndighederne på den tid. En arbejdsgruppe (Hovedluftudvalget) under Miljøstyrelsen forsøgte i 1970'erne at undersøge sammenhængen mellem de til rådighed værende måleresultater og sygelighed, bl.a. lungekræft og bronkitis, men det var med det begrænsede datamateriale ikke muligt at finde en klar sammenhæng, Ref 1. Derimod fandt man en sammenhæng mellem sygelighed og bystørrelse (Ref 2). Arbejdsgruppen pegede da også på, at det var nødvendigt at etablere et landsdækkende luftforureningsmåleprogram. Hovedluftudvalget (Ref 1) pegede på behovet for mange målestationer etableret i alle byer med mere end 30 000 indbyggere. Antallet skulle afhænge af bystørrelsen og ville få et betydeligt omfang - måske op mod flere hundrede målestationer placeret i et kvadratnet.



FIGUR 2. Målestationer i det Danske luftkvalitetsmåleprogram under NOVANA i 2017.

De første systematiske målinger af luftkvalitet i Danmark blev startet i midten af 1960'erne i København af Storkøbenhavns Luftforureningsudvalg. I begyndelsen af 1970'erne var der ca. 30 målestationer fordelt ud over Storkøbenhavn. I første omgang omfattede målingerne svovldioxid (SO_2) og sod. Sod er den sorte del af partiklerne. Senere kom analyse af grundstoffer, bl.a. bly i partikler. Da luftforureningen fra vejtrafikken var størst i byområderne, foretog man kampagnemålinger med en mobil målestation i 12 gader i København. Det var målinger kulmonoxid (CO), nitrogenoxider (NO_x og NO), kulbrinter (HC) og partikler (svævestøv), Ref 3.

Efter flere års forhandlinger og omfattende planlægning etablerede man i 1980 det såkaldte "Landsdækkende Luftkvalitetsmåleprogram (LMP)". LMP havde økonomisk støtte fra "Den Kommunale Momsfond", Miljøstyrelsen og de involverede kommuner. Målestationer blev oprettet i 7 byer: Hovedstadsområdet, Næstved, Odense, Fredericia, Esbjerg, Randers og Aalborg – og senere kom også Aarhus med i programmet. Måleprogrammet er siden blevet revideret flere gange, og har været finansieret på forskellig vis gennem årene, men er i dag omfattet af det "Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur (NOVANA)", Figur 2.

Måleprogrammet i byområderne består i dag af gadestationer, som måle luftkvaliteten tæt på trafikken, og bybaggrundsstationer, som måler luftkvaliteten, hvor der ikke er direkte påvirkning fra trafikken eller andre kilder. Luftkvalitetsovervågningen udføres af DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet (tidligere Miljøstyrelsens Luftforurenings laboratorium og Dan-marks Miljøundersøgelser) (Ref 6).

I midten af 1980'erne udvidedes målinger i baggrundsområder (naturområder) til også at dække afsætning på vegetationen og vandoverflader. Der måles især afsætning af svovl- og nitrogenforbindelser for at vurdere forsurening og eutrofiering. Måleprogrammet omfatter desuden målinger i Arktis på Station Nord i Grønland, som et bidrag til at undersøge den globale luftforurening.

Måleprogrammet er gennem årene ændret i takt med ny viden om luftforureningernes skader på mennesker og natur. For eksempel følges nu også luftforureningen fra ozon, organiske stoffer (bl.a. benzen), tungmetaller og forskellige typer af partikler, herunder forskellige størrelsesfraktioner og såkaldte ultrafine partikler (partikler mindre end 100 nanometer i diameter). Desuden har den teknologiske udvikling medført adgang til nye målemetoder, som tillader måling med større tidsopløsning og online præsentation af data.

Vi har ikke fuldstændige tidsserier for alle luftforureninger, fordi nogle målinger er startet sent. Andre er efter nogle år blevet stoppet som følge af mindre interesse og/eller økonomiske begrænsninger. Som supplement til målingerne er der udviklet luftkvalitetsmodeller, som kan give en større geografisk dækning og som kan anvendes til konsekvensvurdering af tiltag samt til beregning af en fremtidig luftkvalitet. Kombinationen af målinger og modelberegninger giver et meget kost-effektivt program. Kombinationen af målinger og modelberegninger betegnes *integreret overvågning* og er bl.a. beskrevet i en videnskabelig artikel (Ref 7).

4. Hvad blev gjort for at reducere luftforureningen?

Allerede i slutningen af 1960'erne blev svovldioxid anerkendt globalt som luftforurenende stof med forskellige negative virkninger på sundheden og miljøet. Det førte i 1972 til reguleringen af svovlindholdet i brændselsolier i Danmark. Med Miljøbeskyttelsesloven fra 1974 fik myndighederne bemyndigelse til at begrænse eksempelvis udledninger fra industrien og energisektoren. Loven viste sig at være et effektivt instrument til reduktion af lokale udledninger og de dermed forbundne sundhedsrisici.

Danmark tiltrådte Genèvekonventionen for grænseoverskridende luftforurening i 1979 under De Forenede Nationers Økonomiske Kommission for Europa. Baggrunden for indførelsen af konventionen var, at det blev anerkendt, at forsurening og eutrofiering på grund af udledningen af svovldioxid og nitrogenoxid forårsager signifikante skader på økosystemer i følsomme områder, når kritiske belastninger for skader overskrides.

I 1990 udsendte Miljøministeriet et omfattende sæt af vejledninger (bl.a. den såkaldte Luftvejledning) om kontrol af industrielle udledninger, som siden blev revideret i 2001. Parallelt hermed blev der i EU fastsat minimumskrav til udledninger fra affaldsforbrændingsanlæg og store kraftvarmeværker, og senere også krav om BAT (Bedste Tilgængelig Teknologi) med EU-direktivet om integreret forebyggelse og bekæmpelse af forurening (IPPC) fra større forurenende industrier.

Initiativer i Danmark for at reducere udledningerne fra kraftværker er implementeret over flere trin, og omfatter ud over krav til udledninger bl.a. indførelse af miljøafgifter for svovldioxid og nitrogenoxider. Et af resultaterne har været, at koncentrationerne af svovldioxid i Danmark i dag er en faktor 20 lavere end i 1982.

I 2001 vedtog EU NEC¹-direktivet (Nationale udledningslofter). NEC-direktivet fastsatte reduktionsmål for fire forurenende stoffer (svovldioxid, nitrogenoxider, flygtige organiske forbindelser og ammoniak), som er kendt for at spille en central rolle i forsurening, eutrofiering og ozonforurening ved jordoverfladen.

I Danmark er der sket en betydelig reduktion af udledningerne af tungmetaller som bly, cadmium, nikkel, kobber og kviksølv. Disse reduktioner er opnået gennem afsvovling ved kraftværker, rensning af afkast fra affaldsforbrændingsanlæg, samt kontrol af luftforurening fra industri. Miljøproblemer relateret til tungmetaller har i dag et begrænset omfang i Danmark sammenlignet med mange andre lande.

Reguleringer som følge af EU-direktiver på luftområdet er løbende gennemført i dansk lovgivning. Danmark har desuden deltaget aktivt i udarbejdelse af EU reguleringer, og har i flere tilfælde været progressiv i EU-forhandlinger til reduktion af luftforurening, fx i forbindelse med tiltag for begrænsning af blyforurening fra biltrafikken.

Følgende giver en oversigt over de vigtigste tiltag i Danmark/EU (Ref 4).

1970'erne

¹ National Emission Ceilings

- Grænser for svovl i olie (1972) og bly i benzin (1977).
- Miljøbeskyttelsesloven (1974).
- Genève-konventionen om Grænseoverskridende luftforurening (1979).

1980'erne

- Luftkvalitetsgrænseværdier for svovldioxid og partikler (1983).
- Reduktion af svovldioxid fra kraftværker (1984), og svovldioxid og nitrogenoxider (1989).
- Begrænsning af lugtgener fra virksomheder (1985)
- Luftkvalitetsgrænseværdier for nitrogendioxid (1987).
- Vejledning om affaldsforbrændingsanlæg (1987).

1990'erne

- Katalysatorer i nye biler (1990).
- Reduktion af udledninger af svovldioxid, nitrogenoxider og partikler fra store fyringsanlæg (1990).
- Reduktion af nitrogenoxider fra gasmotorer og gasturbiner (1990).
- Vejledning om affaldsforbrændingsanlæg (1991).
- Luftkvalitetsgrænseværdier for ozon (1994). Integreret forebyggelse og bekæmpelse af forurening (1996).
- Reduktion af udledning fra offroad køretøjer (1998).
- Skat på svovl (1998).

2000'erne

- EU-direktiv om nationale udledningslofter til overholdelse fra 2010 (2001) (NEC).
- Luftkvalitetsdirektiver, herunder Luftvejledningen: Begrænsning af luftforurening fra virksomheder (2001, 2008).
- Partikeludledningsstandard (testkrav) for brændeovne (2008).
- IMO-regulering af SO_x og NO_x udledninger fra skibe (2008).
- National luftkvalitetsplan (2008).

2010'erne

- Lavudledningszoner (miljøzoner) i store byer (2010).
- Ingen skatter på elbiler (2010), senere ændret.
- Partikelfiltre på nye biler og varevogne (2010-2011)
- Svovludledningskontrolområder (SECAs) for Østersøen og Nordsøen (2010).
- National luftkvalitetsplan for NO₂ (2011).
- Direktivet om industrielle udledninger, f.eks. regulering af store forbrændingsanlæg, affaldsforbrænding og andre større forurenende industrier.
- EU-direktiv om nationale udledningslofter frem til 2030.

5. Udviklingen i luftkvaliteten

De følgende afsnit giver en oversigt over udviklingen i koncentrationen af de forskellige luftforureninger i Danmark. Tidseriernes længde er bestemt af, hvornår de pågældende stoffer er blevet erkendt som værende skadelige, hvornår målemetoder blev tilgængelige, og hvornår der kunne skaffes finansiering til målingerne. Undervejs er nogle målinger blevet nedprioriteret, når de har vist sig at være af mindre betydning i relation til skadevirkninger.

Beskrivelse og rapportering af luftkvalitetsmålinger i Danmark findes i *Ref 9* og *Ref 10*.

5.1 Svovldioxid

I 1970'erne blev det erkendt, at udslip af svovl, udover at påvirke menneskers sundhed, også havde alvorlig indvirkning på miljøet. Nedfald af sulfat og andre forsurende forbindelser (nitrat og ammonium) førte til alvorlig skade på søer i Nordskandinavien, samt til den såkaldte "skovdød" i det centrale Europa. Desuden blev det konstateret, at nedfald af forsurende forbindelser var resultatet af fjerntransport i atmosfæren fra kilder op til mere end tusind kilometer væk. Erkendelsen af disse virkninger var baggrunden for en lang række af både danske og europæiske regler omkring regulering af udledninger til luften gennemført i anden halvdel det 20. og begyndelsen af det 21. århundrede, se afsnit 4. Disse regler har signifikant reduceret niveauet af luftbåren svovlforurening i Danmark sammenlignet med situationen for kun 40 år siden.

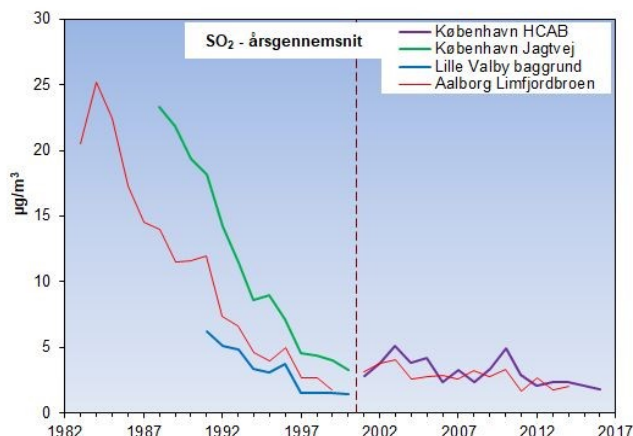
Danske og europæiske udledninger

Danmark begyndte at regulere svovludledninger i 1972, og har generelt været lidt foran mange af de andre europæiske lande på området. Indholdet af svovl i olie blev således reguleret 1972, og i 1984 blev lovgivningen udvidet til at omfatte regulering af svovldioxidudledninger fra store kraftværker og kombinerede kraft/varmeværker. Siden er reglerne strammet flere gange, skatter er indført, og begrænsninger på svovlindholdet i diesel blev indført over to omgange i 1999 og 2005. De tekniske løsninger til reduktion af svovludledningerne var lavere svovlindhold i brændsler samt afsvovling i forbrændingsanlæg (fx kraftværker). Stigende brug af naturgas og anvendelse af vindmøller i energiproduktionen resulterede også i reduktion af udledningen, da det gav anledning til mindre forbrug af svovlholdige brændsler. Disse foranstaltninger har vist sig at være meget effektive, og har ført til en reduktion på hele 97 % i de danske udslip. Grundet den grænseoverskridende karakter af den luftbårne svovlforurening har der været politisk enighed om en stærk regulering af svovludledninger på europæisk plan. De vigtigste reguleringer omfatter først og fremmest Göteborgsprotokollen under Geneve Konvention om langtransport af luftforurening, men denne er senere fulgt op gennem EU's luftkvalitetsdirektiver. De internationale indgreb omfattede introduktion af bindende nationale udledningslofter som medlemslandene og parterne i konventionen skulle overholde fra 2010 og fremefter. Reguleringen har været en succes og har ført til ca. 70 % reduktion i de samlede europæiske udledninger. Danmark overholdt allerede i 2000 svovludledningsloftet for 2010, og i 2012 udgjorde de danske udledninger kun 25 % af det nationale udledningsloft (NEC).

Svovldioxid i dansk byer

Danske og europæiske reduktioner af svovludledningerne har medført en signifikant reduktion i koncentrationerne af svovldioxid i danske byer. Omkring 1970 var den årlige baggrundskoncentration i København 70-80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, og har været over 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i de travleste gader. Såvel danske som europæiske udledninger nåede deres maksima tidligt i 1970'erne, og det var også i denne periode, at koncentrationerne toppede i Danmark. I dag er danske svovldioxidkoncen-

trationer reduceret til mindre end 3 % af de niveauer man så i begyndelsen af 1970'erne. Koncentrationerne af svovldioxid ligger i dag langt under EU-grænseværdien for beskyttelse af menneskers sundhed, Figur 3.



FIGUR 3. Udviklingen i luftforureningen med svovldioxid i Danmark *Ref 6*. Det skal bemærkes at værdierne i byerne efter 2000 er usikre og for høje, fordi koncentrationerne er blevet så lave, at måleinstrumenterne ikke kan måle så lavt.

Dog er niveauet af partikelformigt sulfat i Danmark ikke reduceret helt så meget som svovldioxid, fordi Danmark stadig modtager svovl i luften fra andre lande, samtidig med at der er et vist naturligt bidrag af svovl fra havet. Koncentrationerne af partikelformigt sulfat er i dag ca. 15 % af niveauerne i begyndelsen af 1980'erne (*Ref 6*), hvilket betyder, at partikulært sulfat stadig har en vis indflydelse på menneskers sundhed i Danmark om end denne indflydelse er væsentligt reduceret i forhold til tidligere.

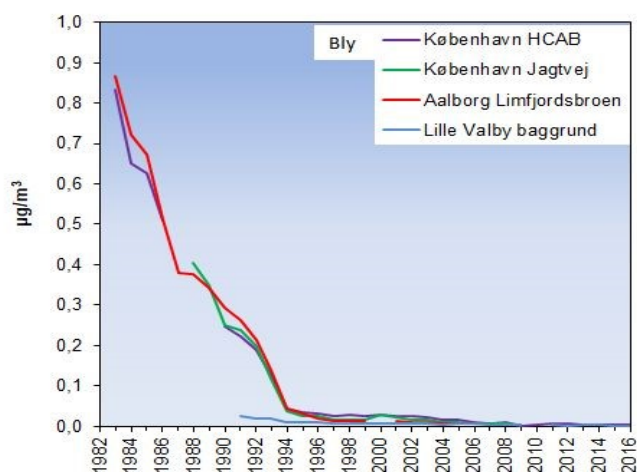
Forsuring ved nedfald af svovldioxid og partikelformigt sulfat havde en signifikant negativ indvirkning på både vand- og jordbaserede økosystemer i anden halvdel af det 20. århundrede. I løbet af perioden 1990 til 2010, er arealet af følsomme økosystemer i EU, der modtager forsurende nedfald over kritisk belastning, reduceret med 92 %. I dag er forsurende deposition kun et mindre problem for de danske økosystemer. Udledninger af nitrogenforbindelser, som også danner forsurende forbindelser i atmosfæren, er i dag ansvarlige for deposition af størstedelen af de forsurende stoffer.

5.2 Bly i benzin

I 1960'erne og 1970'erne var der nogle industrianlæg i Danmark, som udledte store mængder af bly til luften. Der var bl.a. anlæg, som oparbejdede blyakkumulatorer. Omkring to af disse anlæg – Bergsøe A/S i Glostrup og Lyac A/S i Kongens Lyngby – blev der udført omfattende undersøgelser. Disse undersøgelser viste meget klart, at de to virksomheder forurenede kraftigt med bly omkring anlæggene. Indgreb førte til kraftige reduktioner i blyudledningen og i sidste ende til lukning af anlæggene.

Bly udledes også i forbindelse med forbrænding af fossile brændsler, men de vigtigste udledninger af bly var relateret til anvendelse af bly som et anti-bankningsmiddel i benzin (højere oktantal). Bly blev først introduceret til benzin i 1923, og i de følgende årtier – især efter den anden verdenskrig – var der en hurtig stigning i udledninger af bly på grund af stigende antal biler. På grund af de sundhedsmæssige konsekvenser af blyforureningen – bl.a. hjerneskader - foreslog de danske miljømyndigheder i 1970'erne en øvre grænse på 0,40 g bly pr. liter benzin, i forhold til standarden på 0,54 g/liter. Vedtagelsen af denne lovgivning blev udsat på grund af forhandlinger om en lignende regulering i EØF (Europæisk Økonomisk Fællesskab,

senere EU). Den danske lovgivning og bekendtgørelse blev endelig vedtaget i 1977 og trådte i kraft i januar 1978, to år før EU. I 1981 sænkede Danmark grænsen til 0,15 g/liter - 4 år før EU. I midten af 1980'erne forhøjede Danmark afgiften på blyholdig benzin, og udledningen faldt yderligere. Indførelse af katalysatorer på nye biler i 1990 krævede desuden blyfri benzin, fordi bly ødelægger katalysatorerne. Danmark har ikke forbudt blyholdigt benzin, men siden 1994 sælges kun blyfri benzin i Danmark. Disse regler har resulteret i et hurtigt fald i udledning af bly fra 1978. I 1977 var den danske udledning af blyforbindelser omkring 920 tons årligt, der hovedsagelig stammede fra transportsektoren. I 1984 var den 200 tons og i 1994 kun ca. 20 tons. Udledningen er i dag kun 1 % af de udledninger man havde før reguleringen blev påbegyndt. Den hurtigt faldende udledning er naturligvis blevet efterfulgt af et hurtigt fald i atmosfæriske koncentrationer. Den længste danske tidserie af blymålinger (fra 1983 og frem) findes på gader i København og Aalborg, og senere fulgt op af målinger i Aarhus og Odense. Disse data viser, at blykoncentrationen er faldet fra ca. 0,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tilbage i 1983 til ca. 0,005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i dag. Resultatet er en mere end hundrede gange lavere koncentration i dag og, at dagens niveau er en faktor 100 under EU-grænseværdien, Figur 4.

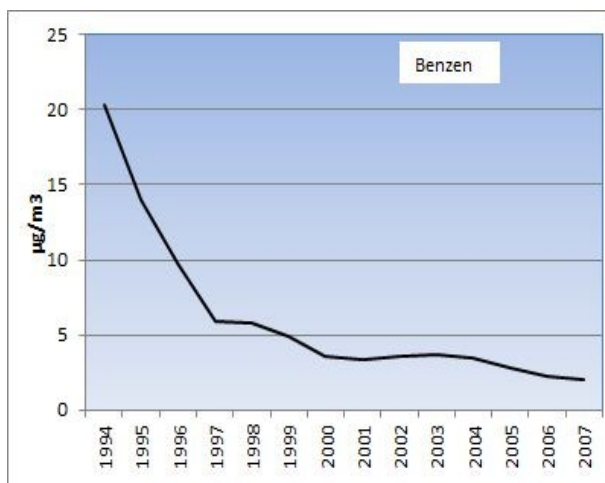


FIGUR 4. Udviklingen i blyforureningen i Danmark Ref 6. Grænseværdien for bly er 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.3 BENZEN

I de tidlige 1990'ere afslørede overvågningsprogrammet for luftkvalitet (LMP), at gadekoncentrationer af benzen overskred grænseværdier for luftkvalitet. Benzen er kræftfremkaldende, og befolkningens eksponering for høje koncentrationer øger således risikoen for udvikling af kræft. Benzen stammer fra komponenter i benzin. Som følge af udfasning af bly, blev det nødvendigt at ændre sammensætningen af motorbenzin for at sikre tilstrækkeligt højt oktantal. Det skete ved i stedet at tilsætte aromatiske stoffer, bl.a. benzen og toluen.

For at reducere benzen i danske bygader blev det aftalt, at danske raffinaderier gik over til nye teknologier, så de kunne producere benzin med det nødvendige oktantal, men med et lavt benzenindhold. Disse aftaler kom på plads i midten af 1990'erne. I løbet af sommeren 1998 havde Statoils raffinaderi i Kalundborg og Shells raffinaderi i Fredericia sænket benzenindholdet i deres benzin fra 3,5 % til 1 %. I løbet af de næste par år viste målinger, at benzenkoncentrationerne faldt på Jagtvej i København fra ca. 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 1996 til 3,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 2001. I dag er benzenniveauerne i danske byggader betydeligt under grænseværdierne i EU's Luftkvalitetsdirektiv, Figur 5.



FIGUR 5. Luftforurening med benzen på Jagtvej i København Ref 11. Grænseværdien er 5 µg/m³.

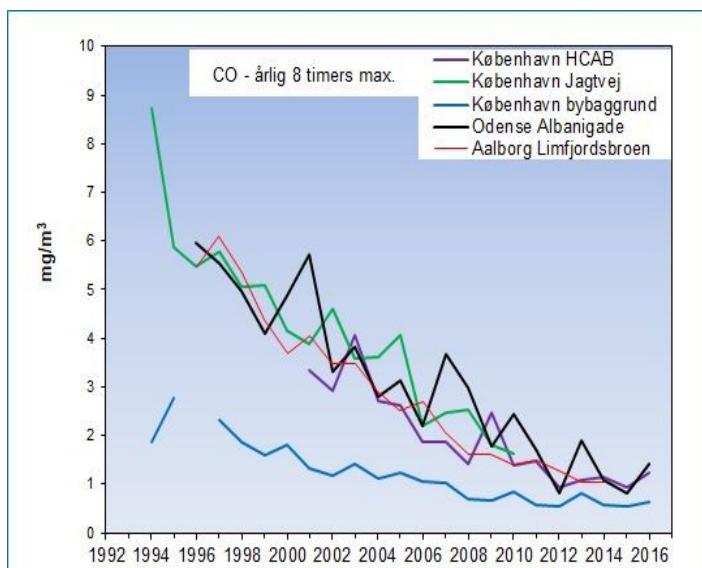
Methyl t-Butylether (MTBE) er i en periode blevet anvendt som erstatning for benzen. MTBE kan give anledning til forurening af grundvand, men fra 2001 anvendes det ikke længere i dansk benzin.

5.4 Kulmonoxid

Kulmonoxid (kullilte) udledes efter ufuldstændig forbrænding af brændstoffer, bl.a. i benzin- og dieselmotorer. Tilbage i 1960'erne og 1970'erne, kunne koncentrationen af kulmonoxid i danske bygader blive højt på grund af dårlig motorteknologi og manglende kontrol af motorkøretøjer. Tidligere var luftens indhold af kulmonoxid i stærkt trafikerede gader i Danmark på niveauer, der kunne føre til sundhedsproblemer.

I begyndelsen af 1980'erne var udstødning fra biler den vigtigste kilde til kulmonoxid. Regulering af udledninger fra biler er især drevet på europæisk plan. De første tiltag blev indført i 1984 under FNs Økonomiske Kommission for Europa, som vedtog standarder for maksimalt tilladte udledninger af kulmonoxid fra motorkøretøjer. I 1990 fulgte EU op ved at stramme disse regler, bl.a. med krav om katalysatorer på nye benzinbiler, og i 1993 indførte EU den såkaldte Euro 1-standard for biler, et sæt regler der regulerer udstødningsudledninger.

Standarden mere end halverede de tilladte udledninger fra benzindrevne biler. Udledningerne er blevet reduceret yderligere gennem de efterfølgende strammere Euro-standarder. Lignende standarder er senere blevet vedtaget for andre typer køretøjer.



FIGUR 6. Luftforurening med Kulmonoxid i Danmark Ref 6. Grænseværdi for CO er 10 mg/m^3 .

Danske regler har fulgt disse europæiske regler, selv om Danmark var foran Europa i starten. I 1990, tre år i forvejen, introducerede Danmark udledningskravene i Euro 1-standarden, som i praksis krævede, at alle nye benziner skulle installere 3-vejskatalysator. Disse katalysatorer reducerede kulmonoxidudledningerne med mere end 90 %. I dag er der også katalysatorer i andre køretøjer end de benzindrevne biler.

Resultater fra overvågning af kulmonoxid har som forventet vist, at koncentrationerne er højest tæt på gader med stærk trafik. Koncentrationerne er reduceret med mere end 80 % sammenlignet med niveauerne i 1994, da overvågningen af kulmonoxid begyndte, Figur 6.

Reduktionen af kulmonoxid i bybaggrund har været langsommere end i gaderne således at forskellen mellem bybaggrund og de travleste gader er meget mindre end den var tilbage i 1994. Dette er fordi udledningerne fra husopvarmning, herunder brændeovne, har været relativt konstant siden 1994, mens udledningerne fra trafikken er faldet markant.

I dag er regulering og kontrol af udledninger af kulmonoxid effektiv, og niveauer i danske byer ligger langt under grænseværdierne i EU-direktivet og anses ikke for sundhedsskadelige.

5.5 Nitrogenoxider

Nitrogenoxiderne omfatter nitrogenmonoxid (NO) og nitrogen dioxide (NO₂), der begge udledes i forbindelse med forbrændingsprocesser ved høje temperaturer. De vigtigste kilder er i dag forbrænding i forbindelse med vejtrafik, boligopvarmning og landbrug samt energiproduktion og industri.

Nitrogen dioxide er luftvejsirriterende og har direkte indvirkning på menneskers sundhed, mens nitrogenmonoxid er uskadelig ved de koncentrationer, der findes i vores byer. Eksponering med nitrogen dioxide går især ud over mennesker med luftvejssygdomme, ældre, og børn. De sundhedsmæssige virkninger af nitrogen dioxide er hovedsagelig et problem i byområder, hvor niveauerne generelt er højest, hovedsageligt på grund af udledninger fra vejtrafikken.

Atmosfæriske nitrogenforbindelser har desuden betydelige direkte eller indirekte påvirkninger på flere miljø- og sundhedsproblemer. Direkte påvirkninger fra atmosfæriske nitrogenforbindelser indbefatter udover sundhed også forsuring og eutrofiering (næringsstofberigelse).

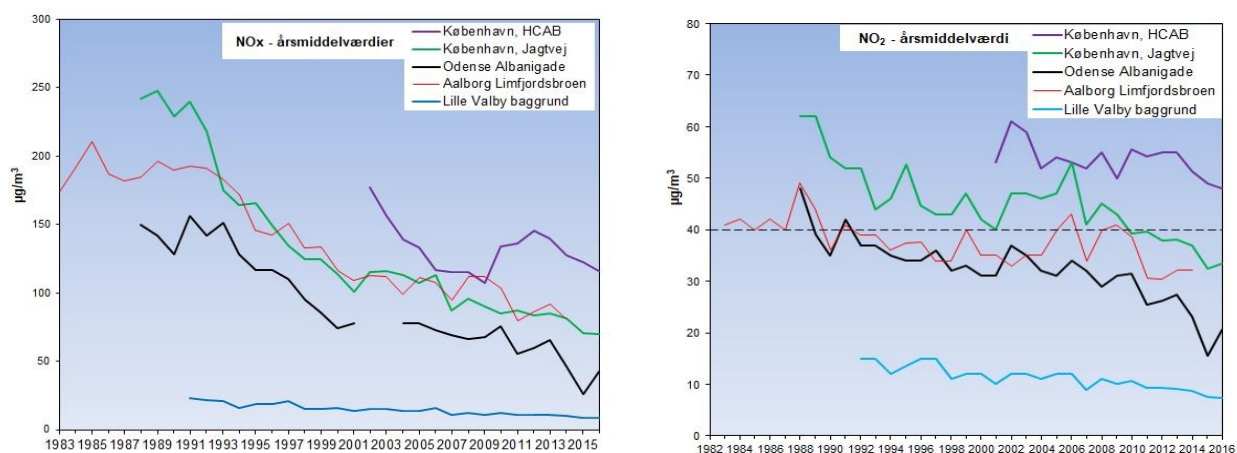
Danske udledninger af nitrogenoxider nåede ca. 300.000 tons (udtrykt som tons nitrogendioxid) i midten af 1980'erne. I 1990'erne var de reduceret til ca. 200.000 tons, og i 2015 var de omkring 114.000 tons. Udledningsreduktioner blev bl.a. opnået ved indførelse af DeNOx-teknologi i kraftværker og store industrianlæg. Teknologien er blevet, og bliver stadig, udviklet i dansk industri. Indførelse af DeNOx teknologi betød, at udledningerne af nitrogenoxider fra energisektoren i 2015 kun udgjorde omkring 15 % af udledningerne i begyndelsen af 1990'erne.

Udledninger af nitrogenoxider fra dansk energiproduktion og industri forventes at falde yderligere i de kommende år på grund af nye lovgivningsmæssige initiativer. I 2010 gennemførte den danske regering en ny miljøskat på nitrogendioxidudledninger ved forbrændingen af fossile brændsler. Miljøbeskatning er et incitament til danske forbrugere af fossile brændsler (primært i energisektoren og industrien) for yderligere at reducere udledningerne.

Udledninger af nitrogenoxider fra dansk vejtrafik blev også reduceret væsentligt i denne periode, som et resultat af indførelsen af katalysatorer i 1990'erne. Brug af 3-vejs katalysatorer blev et lovkrav for nye benzinkøretøjer fra 1990, hvilket kunne ses i de faldende koncentrationer i bygader i 1990'erne i takt med at bilparken blev fornyet.

Via kemiske reaktioner i atmosfæren (navnlig reaktion med ozon (O_3)) omdannes nitrogenmonoxid til nitrogendioxid, mens sollys kan spalte nitrogendioxid, således at der dannes nitrogenoxid igen. Nitrogenoxider fjernes fra luften, når nitrogendioxid omdannes kemisk i atmosfæren, hvorved der dannes salpetersyre (HNO_3). Salpetersyre afsættes på overflader, og det reagerer med ammoniak eller optages af luftbårne partikler. I sidstnævnte tilfælde omdannes salpetersyre til partikelformigt nitrat (NO_3), som kan forblive i atmosfæren i op til 10 dage og kan transporteres over afstande på mere end 1.000 km.

Mange større europæiske byer (herunder København) har de seneste år oplevet overskridelser af grænseværdier for luftkvalitet for nitrogendioxid i trafikerede gader. Den lokale vejtrafik er langt den dominerende kilde til nitrogenoxider. Nitrogenoxider udledes især som nitrogenmonoxid. Mængden af NO_2 i luften er i høj grad afhængig af tilstedeværelsen af ozon i luften, som følge af ozons medvirken til at omdanne nitrogenmonoxid til nitrogendioxid ved en kemisk reaktion i atmosfæren. Derfor vil en reduktion i udslippet af nitrogenoxider ikke i fuldt omfang



Figur 7. Udviklingen i luftforurening med nitrogenoxider ($NO+NO_2$) og nitrogendioxid (NO_2) i Danmark Ref 6. Grænseværdi for NO_2 er $40 \mu g/m^3$ for beskyttelse af mennesker. Grænseværdi for NO_x for beskyttelse af vegetation er $30 \mu g/m^3$.

slå igennem i den NO_2 -koncentration, der findes i luften, hvor ozon kan være den begrænsende faktor. Derfor vil NO_2 -koncentrationen ikke falde helt så meget som NO_x -koncentrationen, som det fremgår af Figur 7. Grænseværdien for NO_2 overskrides bl.a. på H.C. Andersens

Boulevard i København. Læg mærke til at NO_x koncentrationen er meget lavere på baggrundsmålestationen Lille Valby end i gaderne.

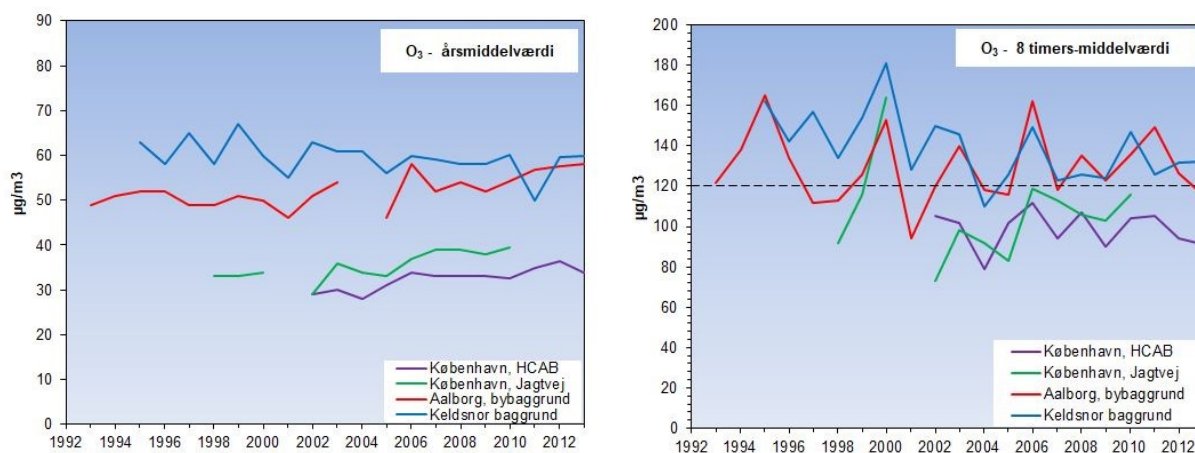
Andelen af emitteret nitrogendioxid er steget betydeligt i de seneste 10-15 år. Det er hovedsageligt et resultat af den stigende andel af dieselmotorer. Andelen af direkte udledt nitrogendioxid er steget betydeligt for dieseldrevne køretøjer, fra 5-10 % i 1980'erne til op mod 50 % i 2000'erne. Stigningen er et resultat af introduktionen af oxidative katalysatorer til moderne dieselmotorer. Det betyder, at det store fald i koncentrationerne af nitrogenoxider kun har ført til et mindre fald i nitrogendioxid. For at vende denne udvikling er der i løbet af de seneste år rækker på lastbiler og busser blevet monteret katalysatorer, der kan fjerne nitrogenoxider fra udstødningen. Det er en af årsagerne til faldet, som er observeret de senere år.

Koncentrationen af NO₂ overskrider nogle år stadig grænseværdien for årsmiddelkoncentrationen af NO₂ ved en enkelt målestation i Danmark, Figur 7.

Afsætning af nitrogenforbindelser, herunder nitrogenoxider, ammoniak og partikulært bundet nitrogen bidrager væsentligt til forurening og eutrofiering, men det behandles i en anden artikel.

5.6 Ozon

Ozon findes to steder i atmosfæren. I stratosfæren i 15-30 kilometers højde beskytter ozon os og naturen i øvrigt mod skadeligt ultraviolet lys fra solen. Derimod er ozon nær jordoverfladen et luftforurenende stof med skadelige virkninger på sundhed, naturen og materialer (ligesom den også medvirker til klimaændringer). Ozon giver irritation af slimhinderne i øjnene og åndedrætsorganerne. Folk med allergier og åndedrætssygdomme kan opleve forværrede symptomer ved forhøjede ozonkoncentrationer. I Skandinavien er intensiteten af solstråling generelt ikke tilstrækkelig stærk til lokal dannelse af ozon i store mængder. I Danmark er ozonepisoder

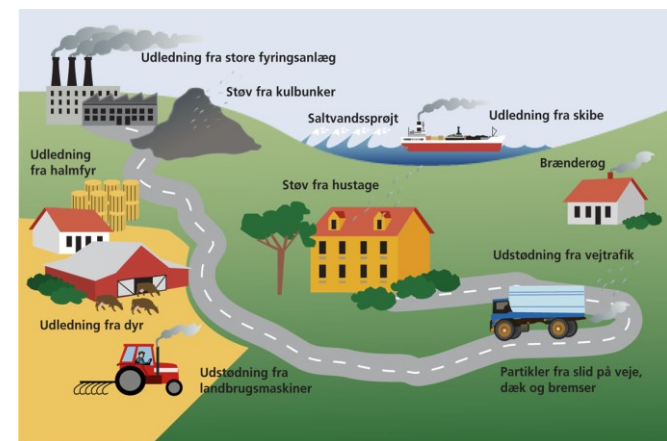


Figur 8. Udviklingen i koncentrationen af ozon. Til venstre årsmiddelværdi og til højre maksimal 8 timers middelværdi Ref 6.

normalt resultatet af transport af luftmasser fra det europæiske kontinent. Typisk sker det under højtryksituationer over Centraleuropa, der sender luftmasserne fra Centraleuropa mod Skandinavien. I byområder fjernes ozon ved en reaktion med nitrogenmonoxid, der hovedsagelig kommer fra vejtrafikken (se afsnit om nitrogenoxider). Ozonkoncentrationer i danske by-områder er således generelt lavere end i landdistrikterne, Figur 8. Målinger fra Danmark og andre lande viser, at årlige gennemsnitlige ozonværdier har været langsomt stigende i de seneste år, mens spidsværdierne har været faldende, Figur 8.

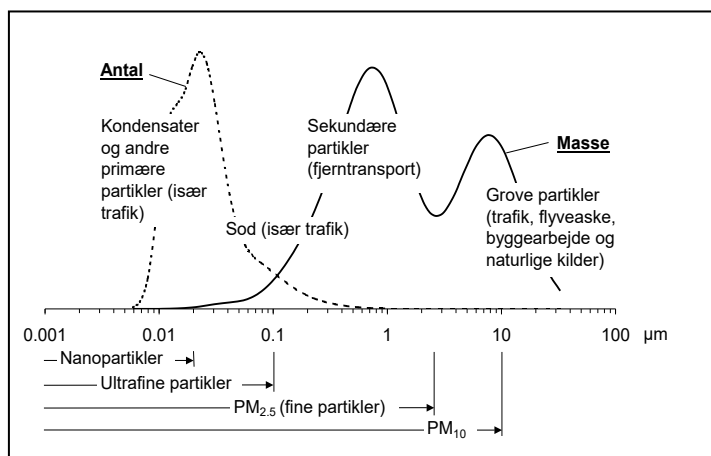
5.7 Partikler

Partikler er små samlinger af stof, som ikke er større end de kan hvirvles rundt med vinden og indåndes af mennesker. De kan bestå af faste stoffer, fx jord(støv), cement(støv), sod fra dieslbiler eller brændeovne, slibestøv fra træ- eller metalbearbejdning og meget andet. De kan også bestå af væskedråber, fx olie, vand (skyer), tjære, maling (sprøjtemaling) og meget andet. En del partikler består endvidere af organisk materiale og udsendes fra planter i form af fx pollen. Endelig kan de være faste partikler med en væskefilm eller samlinger af faste og flydende små partikler. Ref 5 og Figur 9.



Figur 9. Partikler fra mange forskellige kilder Ref 5.

Der findes mange naturligt dannede partikler i luften, fx havsalt, jordstøv, tåge og lignende, som vi altid har været udsat for. Vores moderne samfund har imidlertid ført til dannelse af mange andre typer af partikler, som formentlig er mere skadelige end de naturlige kilder. Det gælder fx sodpartikler fra alle typer af forbrænding fra bål til fyringsanlæg, herunder brændeovne, til industrielle processer og trafik. I dag skyldes den største partikelforurening i Danmark partikler, som dannes af forureningen i det øvrige Europa og som transporteres med vinden til Danmark. Hertil kommer den lokale danske partikelforurening, som hovedsageligt stammer især fra opvarmning (brændeovne) og fra trafikken (fx biler og skibe).



Figur 10. Skematisk tegning af forskellige størrelsesfraktioner af partikler. Den punkterede kurve angiver fordelingen som antal af partikler. Den fuldt optrukne kurve viser fordelingen som masse (vægt) af partikler (Ref 5).

virke hormonforstyrrende. Studier har således vist, at partikelforurening øger risikoen for blodpropper og hjerneblødning samt diverse luftvejssygdomme, sukkersyge og kræft.

Disse partikelstørrelser spænder fra få nanometer til 50-100 mikrometer, hvor man dog i luftkvalitetssammenhænge normalt koncentrerer sig om partiklerne med diameter under 10 mikrometer, Figur 10.

Når man taler om niveauet af partikelforurening skelnes mellem forskellige grupper af partikler.

Negative sundhedseffekter af luftforurening er især relateret til partikelforureningen. Partikler i vores indåndingsluft kan irritere eller ligefrem beskadige vore slimhinder, ligesom de kan optages i selve lungevævet eller fra lungerne transporteres over i blodbanen. I blodbanen kan skadelige stoffer, der transporteres med partikelforureningen medføre betændelse og forkalkning af årerne, og de kan

Ultrafine partikler: Denne gruppe indeholder partikler med diametre fra nogle få nanometer op til 100 nanometer (100 nanometer er det samme som 0,1 mikrometer). Disse partikler er meget små, og derfor måles de ved deres antal pr cm^3 , da de er så små, at de normalt kun bidrager lidt til partiklernes masse. De stammer hovedsagelig fra lokale kilder som brændeovne og trafik, men partikler dannet ved kemiske reaktioner og fysiske processer i atmosfæren findes også i denne gruppe. Danmark var først til at foretage længerevarende målinger af ultrafine partikler i gader, *Ref 5*.

PM_{2.5}: Partikler med diametre op til 2,5 mikrometer. Hvis man ikke står meget tæt ved en kilde (fx inde i en trafikeret bygade), så stammer en betydelig del af PM_{2.5} fra langtransport af partikler med oprindelse uden for Danmark. PM_{2.5} har vist sig at være den gruppe af partikler, som er tættest knyttet til helbredsskader på menneskers.

PM₁₀: Partikler med diametre op til 10 mikrometer. Lokale kilder som transport, ophvirvling af vej- og jordstøv samt havsprøjt bidrager betydeligt til PM₁₀. PM_{2.5} udgør en del af PM₁₀, og da førstnævnte langtransporteres, så er der også et bidrag til PM₁₀ fra udenlandske kilder.

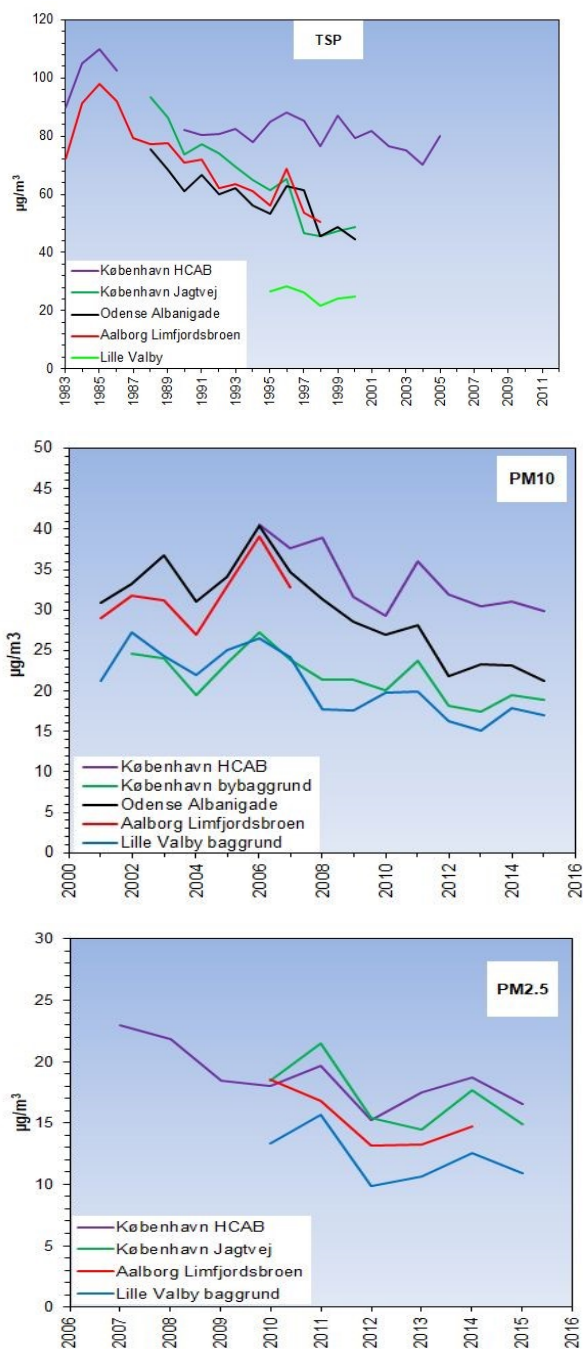
TSP: Betegnelsen TSP (populært: totalt svævestøv) dækker over partikler målt med nogle ældre målemetoder. TSP var tidligere en meget almindelig måde til bestemmelse af partikelforurening, men er i dag overvejende afløst af målinger af PM₁₀- og PM_{2.5}-målinger. De anvendte TSP-målemetoder inkluderer partikler med diametre op til ca. 20 mikrometer. PM_{2.5}, PM₁₀ og TSP måles som partikelmasse i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sod: Sod er den sorte del af partikelforureningen. Det opstår ved ufuldstændig forbrænding i fx bilmotorer, brændeovne og industri. Sod spiller en vigtig rolle i forhold til såvel helbredseffekter som klima. Sod synes således at være stærkere koblet til helbredseffekter end PM_{2.5} og ved afsætning på jordoverfladen øges absorptionen af sollys på overfladen, hvilket bl.a. medvirker til at øge afsmeltningen af ismasserne på Grønland.

Luftbårne partikler er mere eller mindre involveret i de væsentligste negative effekter af luftforurening:

- Helbredsskader
- Forsuring
- Eutrofiering (næringsstofberigelse)
- Nedbrydning af materialer
- Nedsat sigtbarhed
- Klimaforandring

En stor del af tilstedeværelsen af luftbårne partikler skyldes fjerntransport. Selv relativt store partikler kan transporteres over store afstande. Sand ophvirvlet i forbindelse med storme over Sahara kan fx i nogle tilfælde nå så langt som til Danmark. Partikelforurening er således et grænseoverskridende problem. En stor del af partiklerne i landdistrikterne og bybaggrund i Danmark er resultatet af udledning fra kilder i andre europæiske lande. Fjerntransport afhænger meget af partikelstørrelse, da større partikler har så stor en masse, at de hurtigt afsættes på overfladen, mens de ultrafine partikler vil have en tendens til at sætte sig på overfladen af større partikler. Fine partikler (0,1- 2,5 μm) kan imidlertid svæve i luften i op til 8-10 dage og dermed transporteres mere end 1.000 km. I landdistrikterne og bybaggrund i Danmark kommer mere end to tredjedele af massen af de fine partikler fra kilder uden for Danmark.



Figur 11. Udviklingen i luftforureningen med TSP (øverst), PM₁₀ (midten) og PM_{2,5} (nederst) målt i det danske luftkvalitetsmåleprogram. Ref 6. Grænseværdi for PM₁₀ og PM_{2,5} er henholdsvis 40 og 25 µg/m³.

I løbet af de seneste to årtier er mange metoder blevet brugt til at måle partikelformigt stof. Ændringer i målemetoder har gjort evaluering af langsigtede tendenser i partikelforureningen vanskelig. På trods af disse vanskeligheder er det dog tydeligt, at koncentrationerne af partikler i Danmark er flere gange mindre i dag end i 1960'erne.

De første danske målinger af sod blev indledt i 1960'erne og viste sodkoncentrationer i København tæt på 100 µg/m³. I løbet af de følgende årtier, blev sodkoncentrationer reduceret til ca. 20 % af dette niveau. Den anvendte målemetode har imidlertid vist sig at være unøjagtig/uspe-

De ultrafine partikler (mindre end 100 nanometer) er i stort omfang af lokal oprindelse. Fx skyldes mere end halvdelen af ultrafine partikler (regnet som antal) i en stærkt trafikeret gade direkte udladninger fra trafikken i gaden selv. De ultrafine partikler vokser i løbet af minutter/timer til større partikler (dvs. koagulerer) eller de sætter sig på overfladen af større partikler og ses derfor i langt mindre omfang længere væk fra kilderne. Dog dannes der også ultrafine partikler under transporten i atmosfæren ved omdannelse af gasformige forureninger, og derfor bidrager udenlandske kilder også til en mindre del af antallet af ultrafine partikler i Danmark.

På grund af partikelforureningens komplekse karakter, herunder bidrag fra mange forskellige kilder i ind- og udland, så kræver regulering af partikelforurening tiltag på både nationalt og internationalt plan. Desuden kræves tiltag rettet mod både sekundære partikler (partikler der dannes i luften ud fra gasser udledt til luften) og direkte udsendte primære partikler.

Nogle af de tidligste tiltag mod SO₂ fra svovlholdige brændsler påvirkede også forureningen med partikler på grund af oxidation af SO₂ i atmosfæren til dannelse sulfatpartikler. Danske og europæiske fyringsanlæg er nu udstyret med afsvovlingsteknologi. Desuden anvendes renere brændsler (dvs. mindre kul), som omtalt tidligere.

cifik, men de observerede tendenser i målingerne menes at være korrekte, og har klart vist effekten af de tidlige tiltag. I 1990'erne var de eneste partikelmålinger i det danske overvågningsprogram totalt TSP. I 2001 blev målinger af TSP erstattet med PM₁₀-målinger. I 2007-2008 blev nogle PM₁₀-målere ændret til PM_{2.5}-målere for at følge udviklingen i den fine fraktion af partikler. Disse ændringer var nødvendige for at opfylde kravene i EU's luftkvalitetsdirektiver, der stiller krav om anvendelse af standardiserede målemetoder i Europa til bestemmelse af om EU-grænseværdier for de forskellige fraktioner overholdes, Figur 11.

Partikelstørrelse spiller en stor rolle for hvor i åndedrætsorganerne partiklerne afsættes, og dermed for helbredsskaderne. I Danmark blev grænseværdier for PM₁₀ tidligere overskredet, men siden 2009 har der ikke været overskridelser.

Reduktioner i niveauerne af PM₁₀ er resultatet af både nationale og internationale initiativer. Begge typer reduktion er nødvendig, da både kilder i Danmark og kilder i andre dele af Europa bidrager til PM₁₀-niveauer i Danmark. De danske niveauer af PM_{2.5} ligger langt under EU's grænseværdier, Figur 11.

Koncentrationerne af ultrafine partikler (antal) er målt i Danmark siden 2002 ved nogle få målestationer i og omkring København. Målingerne viser, at koncentrationerne er halveret inden for bare 10 år. Reduktionerne menes primært at være relateret til renere motorkøretøjer, herunder anvendelse af partikelfiltre på dieselmotorkøretøjer.

5.8 Lugt

Lugt var – sammen med synlig luftforurening (røg/partikler) – baggrund for de tidligste klager over og den tidligste erkendelse af luftforurening.

Lugt fra virksomheder, landbrug og trafik giver ofte anledning til gener, og måske også sundhedsproblemer. Det er imidlertid ikke altid muligt, som for mange andre luftforureningsproblemer, at beskrive lugt ved hjælp af enkeltstoffer, fordi lugtgener ofte skyldes blandinger af mange forskellige stoffer. Vi kender det fx fra fiskerihavne, fiskemelsfabrikker, slagteriaffaldsfabrikker, svinefarme og brændeovne. Derfor kræves specielle metoder til vurdering af lugtens omfang og muligheder for at reducere generne.

Lugtgener kan skyldes afkast fra en skorsten eller udsugningskanaler. For regulering af denne type kilder skal man skaffe et mål for hvor meget af lugtstoffet, der udledes og derefter beregne koncentrationen af lugtstoffet i omgivelserne. Lugtgenernes omfang afhænger både af koncentrationen af de lugtende stoffer og specielt hyppigheden af lugtpåvirkningen. DMU/DCE har udviklet metoder til sådanne spredningsberegninger. Hovedproblemet er at skaffe data om størrelsen af udledningen af lugtende stoffer og dens variationer.

Andre lugtgener opstår som følge af håndtering eller opbevaring af lugtende stoffer (fisk- og slagteriaffald). Disse problemer skal primært løses ved at lave lukkede systemer og udlede ventilationsluften gennem et afkast.

Lugtgener omkring virksomheder blev først reguleret af en vejledning fra Miljøstyrelsen (1985). Den indeholder bl.a. en standardiseret metode til måling af lugt ved hjælp af et lugtpanel, referencelugtstof og en tilhørende beregningsmetode til bestemmelse af afksthøjde. Endvidere indeholder den vejledning til håndtering af lugtende materialer. Den er blevet anvendt med succes, bl.a. på fiskemelsfabrikker, slagteriaffaldsfabrikker og husdyrproduktion (svinefarme). Der forligger et udkast til ny Lugtvejledning. Det er imidlertid uvist hvornår/om det kommer i høring. Endvidere har EU givet retningslinjer for begrænsning af lugt.

Lugtgener fra trafikken er blevet reduceret en del som følge af katalysatorer på bilerne og bedre motorteknologi, da de fleste lugtgener fra trafikken skyldes flygtige organiske stoffer og nitrogenoxider. Katalysatorer på benzindrevne biler fjerner disse. Der er dog stadig lugtgener fra visse dieselmotorer.

6. Situationen i 2018

Luftkvaliteten i Danmark er langt bedre i dag end før reguleringerne startede omkring 1970 i form af vejledninger fra Miljøstyrelsen, EU-direktiver implementeret i dansk lov og internationale aftaler. Udviklingen i udledninger af luftforurenende stoffer i Danmark har i det store og hele fulgt udviklingen i de øvrige EU-lande. På nogle områder er Danmark gået foran, fx hvad angår blyforureningen og svovlforureningen.

Transporten af luftforurening fra andre lande og dermed nedfald af bl.a. svovl- og nitrogenforbindelser er betydelig. Sammen med danske udledninger af nitrogenforbindelser (ammoniak fra landbruget) giver det anledning til eutrofiering. Forsuring og eutrofiering behandles i en anden artikel.

De alvorlige sundhedsproblemer som følge af luftforurening med svovl, bly og andre tungmetaller, benzen og kulmonoxid er stort set løst gennem disse reguleringer; niveauerne er alle under gældende grænseværdier.

Der er stadig problemer med at overholde grænseværdierne for nitrogendioxid i stærkt trafikerede gader i de større byer. Den samlede udledning af nitrogenoxider (summen af nitrogenmonoxid og nitrogendioxid) er faldet markant til under halvdelen i løbet af de seneste 30 år. Derimod er koncentrationen af nitrogendioxid i bygader ikke faldet tilsvarende. Det skyldes flere dieselmotorer med oxiderende katalysatorer, som udleder en større fraktion af nitrogendioxid. Igennem de seneste år har mange dieselkøretøjer fået monteret katalysatorer, som kan fjerne nitrogenoxiderne, hvilket har givet et fald i koncentrationerne af nitrogendioxid i de seneste år.

Selv om koncentrationen af partikler ligger under gældende grænseværdier, er det alligevel vurderet, at partikelforureningen er årsag til et større antal for tidlige dødsfald². Det er skønnet, at antallet af for tidlige dødsfald trods alt vil falde fra ca. 4000 i år 2000 til ca. 2000 i år 2020 baseret på forventet udvikling i $PM_{2.5}$. Dertil kommer, at udsættelse for partikler giver anledning til forskellige helbredsproblemer, som luftvejssygdomme, hjertekarsygdomme og kræft.

Luftforurening med partikler er et specielt og komplekst problem, idet partiklerne har mange forskellige former/størrelser og kemisk sammensætning. Undersøgelser har vist den klareste sammenhæng mellem helbredsskader og den fine fraktion ($PM_{2.5}$), men indtil videre har det ikke været muligt at relatere helbredsskade til specifikke egenskaber ved partiklerne. $PM_{2.5}$ er blot et mål for massen af partikler med diameter under 2,5 mikrometer, som ikke siger noget om indholdsstoffer, partikelform eller størrelsesfordeling. Transporten af luftforurening fra andre lande til Danmark er betydelig; det gælder specielt svovl- og nitrogenforbindelser, som bl.a. fører til dannelse af fine partikler ($PM_{2.5}$) ved kemiske processer i atmosfæren.

Nogle undersøgelser indikerer, at der er en klarere sammenhæng mellem helbredsskader og kulstofholdige partikler (sod).

² Begrebet "for tidlige dødsfald" kan være svært at forholde sig til, men det er et statistisk mål, som lægerne anvender. En anden måde at beskrive det på er ved at sige, at middelevetiden forkortes med nogle få måneder.

Da der mangler tilstrækkelig viden internationalt om sammenhængen mellem helbredsskader og partiklernes egenskaber, er der behov for forskning og dataindsamling på dette område. For fortsat at følge udviklingen og virkningen af tiltag mod luftforureningen i Danmark foretages målinger i gaderum, i bybaggrund og i landdistrikter som vist i Figur 2. De er bestykket med avanceret måleudstyr med følgende formål:

- at opfylder EU's krav om overvågning af luftkvaliteten i Danmark,
- at give data om aktuel luftkvalitet i Danmark,
- at skaffe data til vurdering af luftforureningens påvirkning af sundhed, specielt i relation til partikler,
- at følge udviklingen i luftkvaliteten i Danmark,
- at skaffe viden om kemiske og fysiske processer i luften, specielt om partikler,
- at give data, som kan støtte anvendelse og udvikling af luftkvalitetsmodeller.

Endvidere anvendes luftkvalitetsmodeller, som er udviklet af DMU/DCE til beskrivelse af luftkvaliteten i gaderum, bybaggrund og regionalt. De anvendes til vurdering af luftkvaliteten i relation til sundhed, effekten af tiltag, vurdering af omkostninger ved forringet luftkvalitet og fremskrivninger som følge af ændringer i samfundet.

7. Referencer

Ref 1 Hovedluftsudvalgets redegørelse for luftforurening og forslag til bekæmpelse. Forureningsrådet – Sekretariatet. Publikation nr. 3.

Ref 2 Miljøstyrelsen og Sundhedsstyrelsen (1978). Luftkvalitet og sygelighed, Rapport fra en arbejdsgruppe.

Ref 3 Miljøprojekt 26. (1980). Luftforurening i Danmark. Emission og luftkvalitet.

Ref 4 Ole Hertel, Thomas Ellermann, Ole-Kenneth Nielsen, Steen Solvang Jensen (2015) Clean Air in Denmark – Dedicated efforts since 1970 – Challenges, Solutions and Results.

Ref 5 Finn Palmgren (Ed.) (2009). Luftforurening med partikler – et sundhedsproblem. Miljøbiblioteket, Hovedland. <http://www2.dmu.dk/Pub/MB14.pdf>

Ref 6 DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. Hjemmeside med luftkvalitetsdata. <http://envs.au.dk/videnudveksling/luft/maaling/>

Ref 7 Hertel, O., Ellermann, T., Palmgren, F., Berkowicz, R., Løfstrøm, P., Frohn, L.M., Geels, C., Ambelas Skjøth, C., Brandt, J., Christensen, J., Kemp, K., and Ketzel, M., 2007. Integrated air pollution monitoring - combined use of measurements and models in monitoring programmes. *Environmental Chemistry*, 4(2), 65-74

Ref 8 Hertel, O., Brandt, J., and Ellermann, T., Trends in air quality in Denmark – myths, facts and perspectives (In Danish: "Udviklingen i luftkvalitet i Danmark – myter, fakta og perspektiver"), DCE-Kronikken, 4. May 2016, <http://dce.au.dk/aktuelt/nyheder/nyhed/artikel/dce-kronikken-udviklingen-i-luftkvalitet-i-danmark-myter-fakta-og-perspektiver/>

Ref 9 Ellermann, T., Nygaard, J., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M., Massling, A., Bossi, R. & Jensen, S.S. 2017. The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2016. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 78 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 234. <http://dce2.au.dk/pub/SR234.pdf>

Ref 10 Ellermann, T., Bossi, R., Nygaard, J., Christensen, J., Løfstrøm, P., Monies, C., Grundahl, L., Geels, C., Nilesen, I. E., & Poulsen, M. B., 2018: Atmosfærisk deposition 2016. NO-VANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 67s. – Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 264. <http://dce2.au.dk/pub/SR264.pdf>

Ref 11 Palmgren, F., Hansen, A. B., Berkowicz, R. & Skov, H (2000): Benzene from traffic. Fuel content and ambient air concentrations. National Environmental Research Institute, Roskilde, Denmark. 44 pp. - NERI Technical Report No. 309

