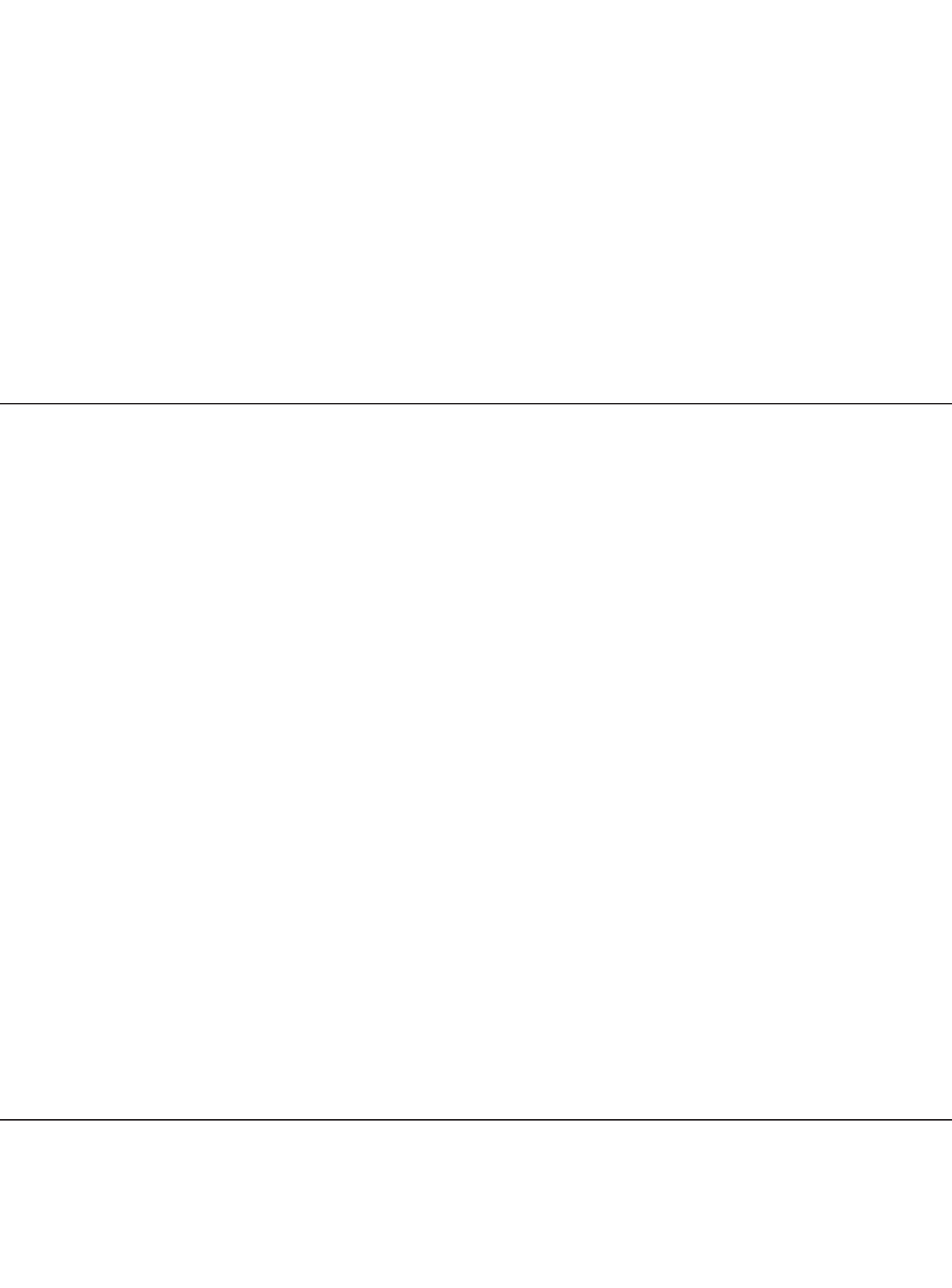


Luft- forureningens historie



Jes Fenger er uddannet som civilingeniør i elektrofysik. Dr. phil. i radiokemi. Har siden slutningen af 1970'erne arbejdet med virkninger af luftforurening – specielt forøgelsen af drivhus-effekten. Ansat ved Danmarks Miljøundersøgelser, Afdelingen for Atmosfærisk Miljø i Roskilde.





Luftforureningens historie

– fra et indendørs til et globalt problem

Jes Fenger



Luftforureningens historie

- fra et indendørs til et globalt problem

Af Jes Fenger

© 2004 Danmarks Miljøundersøgelser, Jes Fenger og Forlaget Hovedland

Alle rettigheder forbeholdes.

Ingen del af denne bog må gengives, lagres i et søgesystem eller transmitteres i nogen form eller med nogen midler grafisk, elektronisk, mekanisk, fotografisk, indspillet på plade eller bånd, overført til databanker eller på anden måde, uden forlagets skriftlige tilladelse.

Enhver kopiering af denne bog må kun ske efter reglerne i lov om ophavsret af 12. marts 2003 med evt. senere ændringer. Det er tilladt at citere med kildeangivelse i anmeldelser.

Forlagsredaktion: Ole Jørgensen

Illustrationer og ombrydning: Britta Munter,

Grafisk Værksted, Danmarks Miljøundersøgelser

Omslag: Grafisk værksted, Danmarks Miljøundersøgelser

Omslagsfotos: Wilhelm Tillge, ca. 1865

Tryk: Narayana Press, Gylling

Denne bog er trykt på 130 g Cyclus Print

Overskydende papir er genbrugt

ISBN 87-7739-740-1

2. udgave, 1. oplag 2004

Forlaget Hovedland

www.hovedland.dk

E-mail: mail@hovedland.dk

Forord 6

1



Forureningen og den globale vækst 9

2



Atmosfærens opbygning 17

3



Byen 25

4



Forurening uden grænser 41

5



Hullet i himlen 65

6



Varmedøden 75

7



Det hele hænger sammen 93

Litteratur til videre læsning 98

Stikordsregister 101

Holdningen til luftforurening har ændret sig gennem tiden. Helt op til 2. verdenskrig blev det til en vis grad betragtet som et positivt tegn på vækst. Reklameplakat af Ib Andersen for den britiske udstilling i 1932.



Forord

Denne bog fortæller historien om luftforureningen og forsøgene på at bekæmpe den. Og den antyder samtidig koblingen mellem de enkelte fænomener. Bogen indledes derfor med en kort generel beskrivelse af atmosfærens opbygning og forureningens spredning. Derefter fortællers, hvordan luftforureningen er vokset både i tidsmæssig og geofysisk målestok: fra byforurening over grænseoverskridende forurening til globale fænomener som nedbrydningen af ozonlaget og den forøgede drivhuseffekt.

Generelt er bogen skrevet uden direkte litteraturhenvisninger, men i enkelte tilfælde, hvor der er benyttet publiceret materiale, er dette angivet i teksten. Flere af de anvendte figurer er brugt af mange forfattere i forskellige sammenhænge; hvor der er angivet en kilde, er denne den benyttede og dermed ikke nødvendigvis den primære. Litteraturlisten bag i bogen er ikke en egentlig referenceliste, men giver forslag til videre læsning.

En tidligere udgave har været udsendt som TEMA-rapport fra DMU (11/1997). Denne nye udgave er i særdeleshed opdateret med hensyn til problemerne ved den forhøjede drivhuseffekt. Forfatteren takker alle, der – tidligere og nu – har bidraget med materiale og kommentarer.



Fotos: Highlight.



Forureningen og den globale vækst



Menneskene har påvirket atmosfæren lige siden de begyndte at udnytte ilden. Omfanget og konsekvenserne af denne påvirkning er efterhånden vokset til globale dimensioner, og vi er nu i gang med en udvikling med så megen inert, at den ikke umiddelbart kan stoppes.

Foto: FotoDisc.

I de gode gamle dage

I 1866 er H. C. Andersen i Paris og skriver i sin dagbog den 13. april om, hvordan han sidder og kigger på »nogle vistnok døde Træer, de havde som jeg ikke kunnet tåle Pariserluftten, og da de ikke kom af sted, vare de gået ud«. Samme år udkommer Ibsens poetiske drama »Brand«, hvor titelpersonen i sidste akt udbryder:

*Værre tider; værre syner
gennem fremtidsnatten lyner!
Brittens koalme stenkulssky
sænker sort sig over landet,
smudser alt det friske grønne,
stryger lavt med giftstof blandet,
stjæler sol og dag fra engen,
drysser ned som askeregnen
over oldtids dømte by.*

Figur 1-1
Bilreklame i Jugendstil
af Gerda Wegener.



Fem år tidligere (i 1861) havde den engelske forsker Tyndall påvist, at ændringer i atmosfærens indhold af kuldioxid kan være årsag til klimaændringer. Men mange af de forureningsproblemer, vi slås med i dag, har været kendt endnu længere tilbage. Litteraturen vrimler med beskrivelser af den dårlige luft i byerne; fx skrev Seneca i år 61 om røgen og madosen i det klassiske Rom. Og måske er den sjette ægyptiske plage, der beskrives i Anden Mosebog fra omkring år 1000 før Kristus et af de første eksempler på industriel forurening:

Derpå sagde Herren til Moses og Aron: »Tag begge eders hænder fulde af sod fra smelteovnen, og Moses skal kaste det i vejret i Faraos påsyn! Så skal det blive til en støvsky over hele Ægypten og til betændelse, der bryder ud i bylder på mennesker og kvæg i hele Ægypten!«

Selv om problemerne altså ikke blev ignoreret, var holdningen til dem ambivalent. Det var ikke langt fra, at forurening blev betragtet som et symbol på aktivitet og vækst – ord som dengang havde en mere ubetinget positiv klang end nu. Prøv bare at se på reklamer fra før 2. Verdenskrig: Rygende skorstene og biler, der suser forbi i en støvsky. Næppe et image nogen kunne finde på at dyrke i dag.

Alligevel er det overraskende, at den danske »Opfindelsesnes bog« – i en firebindsudgave fra 1912-14 – overhovedet ikke nævner luftforurening. Og man kommer ellers langt omkring med fremtidens energikilder inklusive (tro det eller lad være!) radium og det, der kaldes »indre atomenergi«. Heller ikke Salmonsens Leksikon nævner forurening – end ikke i supplementsbindet, der udkommer i 1930. Miljø (stavet »milieu« og ikke med den betydning det har fået i dag) får kun små fire linjer, mens til sammenligning »militærmusik« får halvanden spalte.

Ifølge »Nye ord i dansk 1955-75« optræder ordet »forurening« faktisk først som begreb på dansk i slutningen af 1960'erne, hvorefter det i løbet af få år bliver udbredt til at omfatte stort set enhver form for forurening: knallertforurening, visuel forurening – og selvfølgelig også luftforurening. Og så viser det sig alligevel, at Emma Gad (hende med »Takt og Tone«) allerede i 1903 i »Vort Hjem« skrev »at holde luften

i vor bolig frisk og fri for forureninger er en meget vigtig opgave«. Hun skrev også »at det elektriske lys ikke forurener luften«, hvilket jo desværre ikke er helt rigtigt.

For mange er luftforurening et moderne fænomen knyttet til de seneste par hundrede års industrialisering. Det er, som det fremgår, en sandhed med modifikationer. Menneskene har påvirket atmosfæren lige siden de begyndte at udnytte ilden, men omfanget og konsekvenserne af denne påvirkning er efterhånden vokset til globale dimensioner. Og vi er nu i gang med en udvikling med så meget inert, at den ikke umiddelbart kan stoppes.

I den politiske og offentlige debat behandles problemer med luftforurening ofte ét ad gangen. Men de basale processer finder alle sted i den samme atmosfære, og problemerne er derfor alle mere eller mindre koblet sammen. De er også koblet til miljøproblemer af andre typer: vandforurening, jordforurening osv. Endelig er virkningerne af miljøændringer normalt et resultat af en kompleks påvirkning.

Figur 1-2
Politikens jubilæumsnummer
den 1. oktober 1934.
H. C. Ørsted Værket tegnet
af Sikker Hansen – før det
blev moderne med røggas-
rensning.



Forureningsudslip

Hovedårsagen til moderne luftforurening er anvendelsen af fossile brændsler, dvs. kul, olieprodukter og gas. Umiddelbart kan den såkaldt primære luftforurening her opstå på forskellig vis:

- Som et slutprodukt ved forbrændingen. Her er det dannelsen af først og fremmest kuldioxid, der frigør energien.
- På grund af urenheder eller additiver i brændslet; typiske eksempler er svovl i olie eller bly i benzin.
- Under selve forbrændingen, som kan være ufuldstændig eller føre til dannelse af nye forbindelser; typiske eksempler er kulilte, kvælstofoxider og kulbrinter.

En anden vigtig årsag er industrielle aktiviteter, hvorfra der normalt kommer stoffer af samme type, men i andre relative mængder – fx relativt mere kulbrinter. Og fra landbrugsaktiviteter kommer bl.a. ammoniak, metan og lattergas.

Efter udslippet kan de primære forureninger reagere i atmosfæren, hvorved der opstår sekundære forureninger; mest betydning har den fotokemiske luftforurening, der dannes, når kulbrinter og kvælstofoxider reagerer under indvirkning af sollys.

Væksten i det globale udslip

Groft taget og populært sagt bestemmes de samlede forureningsudslip af tre faktorer: Antallet af mennesker, deres materielle levestandard og den anvendte teknologi. Et givet sted er der imidlertid ikke nødvendigvis nogen simpel sammenhæng mellem forureningsudslippet og det resulterende forureningsniveau; det afhænger helt af mulighederne for spredning. Der er i princippet ikke noget galt i at nedsætte det lokale forureningsniveau ved at sprede forureningen, hvis de naturlige rensningsmekanismer (se nærmere side 20) kan følge med. Problemet er blot, at den globale vækst efterhånden har medført udslip med en størrelse, der overbelaster disse mekanismer helt op på globalt plan.

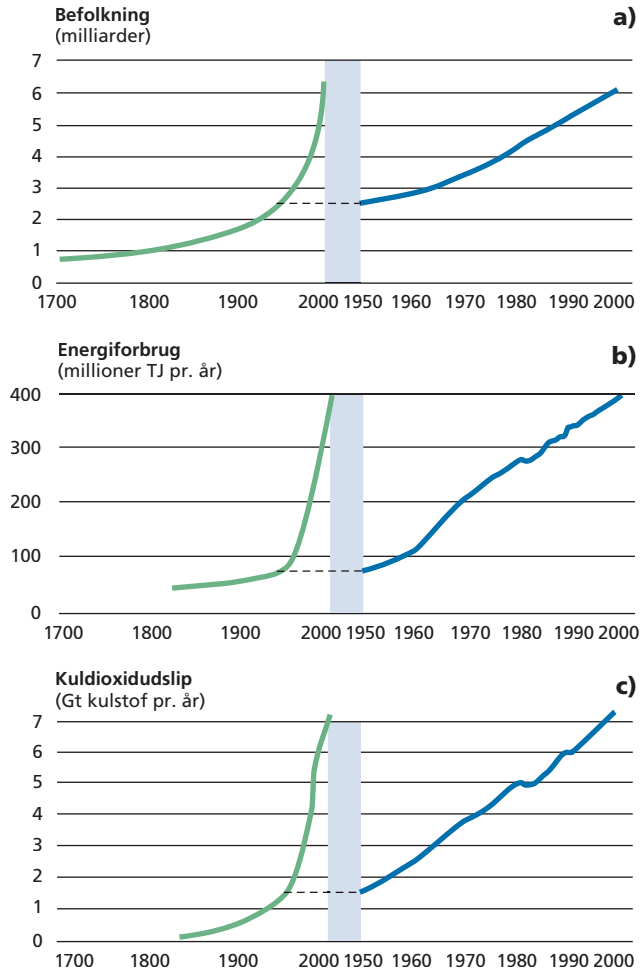
Verdens befolkning (figur 1-3a) var indtil for nogle hundrede år siden under en halv milliard. Omkring år 1900 var den under 2 milliarder, men nu er den omkring 6. Inden udgangen af dette århundrede vil vi efter al sandsynlighed være omkring 10 milliarder, før vi kan begynde at håbe på en stabilisering.

Siden 2. Verdenskrig er det globale energiforbrug steget endnu hurtigere (figur 1-3b). Da størstedelen af denne energi er

blevet fremstillet ved afbrænding af fossile brændsler og mindre mængder biobrændsler uden røgrænsning, har det betydet, at udslippet af luftforurening, globalt set, er steget tilsvarende. For Danmark har udviklingen stort set fulgt samme mønster, indtil der omkring 1970 skete en udfladning.

Verdens industriproduktion er steget med en faktor 10 siden afslutningen af 2. Verdenskrig. Det globale udslip af kuldioxid (figur 1-3c) er derimod steget stort set som anvendelsen af fossile brændsler. Det har, sammen med mindre bidrag fra bl.a. skovrydninger, medført at atmosfærens indhold af kuldioxid nu er godt 30 % højere, end det var før begyndelsen af industrialiseringen.

Figur 1-3
De lysegrønne kurver viser det udjævnede forløb af henholdsvis verdensbefolkningens størrelse (a), det globale energiforbrug (b) og det globale udslip af kuldioxid (c). Kuldioxidudslippet er opgjort som udslippet af kulstof alene. De blå kurver til højre viser de samme forhold med lidt flere detaljer for tiden efter 1950.



Ser man nøjere på de tal, som ligger bag de udjævnede kurver over verdensbefolkning, globalt energiforbrug og udslip af kuldioxid (figur 1-3), kan man lige ane en dæmpende virkning af de to verdenskrige, energikrisen, en hungersnød i Kina med 100 millioner døde og sammenbruddet i østlandene. Men globalt set er væksten fortsat uafbrudt.

Fremtidens forurening

En vurdering af den fremtidige luftforurening og dens virkninger må baseres på antagelser om udviklingen i befolkningstal, økonomi og teknologi. Ofte opstiller man såkaldte scenarier, der ikke må opfattes som prognoser, men kun som det, der ligger i ordet: Mulige fremtidige situationer. Man kan derfor også opstille flere forskellige scenarier, selv om – ifølge sagens natur – højst ét af dem vil blive realiseret.

I forbindelse med vurderinger af fremtidige klimaændringer rækker scenarierne typisk 100 år frem i tiden. Og det er, når det gælder teknologisk udvikling, meget lang tid. I sine erindringer fra »Det glade København« fortæller journalisten og forfatteren Carl Muusman om et foredrag i Industriforeningen omkring år 1900. Taleren ventede ingen større teknologiske landvindinger, for – som det hed:

»det nye Århundrede vil i det store og hele på det tekniske Område udnytte, forbedre og fuldkommengøre det gamle Århundredes Opfindelser, samtidigt med at det vil sætte hele sin overskydende Kraft ind på det sociale og kulturelle Udviklingsarbejde i Freneds og Fremskridtets Tjeneste«.

Talen blev efter sigende hilst med stærkt bifald, men hvem turde sige noget lignende nu?



Atmosfærens opbygning



Jordens diameter er næsten 13.000 km, men fra bunden af det dybeste ocean til toppen af det højeste bjerg er der kun ca. 20 km. I dette tynde lag konkurrerer og vekselvirker de forskellige livsformer og påvirker derved deres omgivelser. Kun de nederste 40 km af atmosfæren har interesse i forureningshenseende.

Foto: NASA, Goddard Space Flight center.



Figur 2-1
En væsentlig del af stofferne
i atmosfæren stammer fra
naturlige kilder.

Foto øverst: Ukendt
Foto nederst: Britta Munter

Atmosfærens sammensætning og opbygning

Jorden er omgivet af en kappe af luftarter: atmosfæren. Op til omkring 100 km's højde er dens basale, relative sammensætning stort set konstant, selv om der sker et kraftigt fald i trykket. Regnet efter luftvolumen indeholder atmosfæren knap 21 % ilt, 78 % kvælstof, knap 1 % argon og mindre mængder af en lang række andre stoffer. Selv luft, der er upåvirket af menneskelige aktiviteter, vil indeholde stoffer, som indgår i luftforurening – fx svovldioxid fra vulkaner og kulbrinter fra afdampning fra vegetation.

Denne sammensætning har atmosfæren ikke haft altid. Oprindeligt var der meget kuldioxid og næsten ingen ilt, men da der for små 4 milliarder år siden opstod liv, medførte det en gradvis ændring. Paradoksalt nok var det den lave iltindhold i den tidlige atmosfære, der gjorde det første liv muligt. Fremkomsten af grønne planter, der ved hjælp af fotosyntesen omdanner kuldioxid til ilt og organisk materiale, var en katastrofe for de primitive organismer, som var udviklet i en iltfattig atmosfære. De er nu henvist til at leve i jorden, i sø- og havaflejringer og i forskellige dyrs tarmkanal.

En stor del af det organiske materiale er blevet omdannet og gemt i form af kul, olie og gas. Når vi afbrænder dette fossile brændsel, dannes der igen kuldioxid, som sendes tilbage til atmosfæren. Men nu kan det, som det vil blive beskrevet senere, give store problemer.

Gaia-teorien

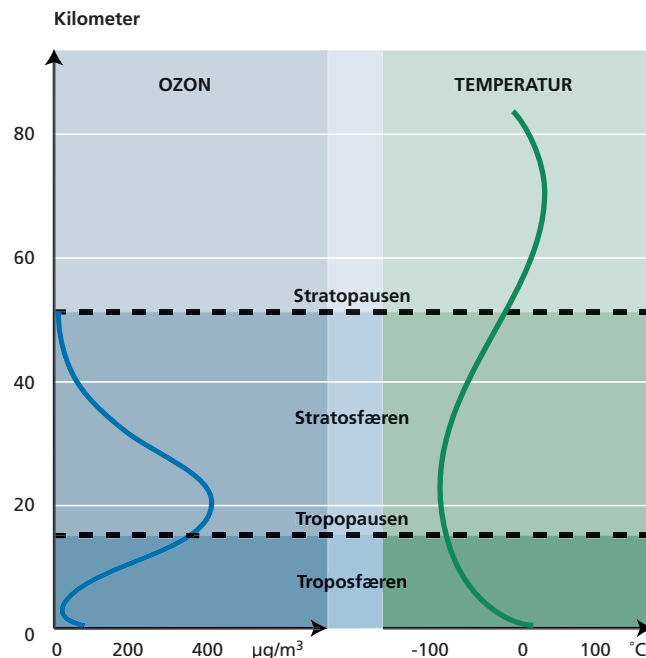
Atmosfærens sammensætning er altså i høj grad betinget af det liv, der har udviklet sig. Atmosfærens udvikling og det faktum, at Jorden trods kraftige omvæltninger har været i stand til uafbrudt at opretholde liv i næsten 4 milliarder år, har fået den engelske forsker og videnskabsfilosof James Lovelock til at fremsætte den idé, at hele biosfæren kan opfattes som én organisme, »Gaia« (den græske mytologis »Moder Jord«), der regulerer sine egne livsbetingelser. Ondskabsfuldt (men vel ikke helt ved siden af) har nogen sammenlignet det moderne menneske, der næppe har eksisteret i større antal i mere end 50.000 år, med en kræftsvulst, der i sin uahæmmede vækst truer med at dræbe den organisme, som er forudsætningen for dens egen eksistens.

Atmosfærens lagdeling

Sideløbende med væksten i iltindholdet i atmosfæren opstod en væsentlig undtagelse fra dens ensartede sammensætning – det såkaldte ozonlag. Solens UV-stråling spaltes iltmolekyler (O_2) i iltatomer (O), der reagerer med iltmolekyler og danner ozon (O_3). Processen afhænger både af strålingsintensiteten, der stiger med højden, og af trykket, der falder med højden. Resultatet er, at der dannes mest ozon i en højde af 10-15 km.

Dette er en af grundene til, at atmosfæren er opdelt i lag, der karakteriseres ved faldende eller stigende temperatur (figur 2-2).

Det er kun de nederste lag, der har interesse i forbindelse med luftforurening. I troposfæren, der er nærmest Jorden, og hvor alle vejrphenomener udspiller sig, falder temperaturen generelt med højden. I stratosfæren derimod stiger den igen på grund af energiabsorption i ozonlaget. Det er således lidt misvisende at tale om et ozonlag i stratosfæren, det er faktisk ozonlaget, der skaber stratosfæren ved at indføre en temperaturstigning (inversion), der forhindrer lodret opblanding af den nedenunderliggende kolde luft – ganske på samme måde som de lavtliggende inversioner, der kan give anledning til smogepisoder ved i praksis at lægge et låg over forureningen.



Figur 2-2
Ozonkoncentrationen og temperaturfordelingen i den nederste del af atmosfæren. Energiabsorptionen i ozonlaget giver anledning til den temperaturinversion (invers = omvendt; midlertidig stigende temperatur med højden), der skaber stratosfæren. Skillelinjen mellem troposfæren og stratosfæren kaldes tropopausen.

Den nederste del af troposfæren, hvor luftbevægelserne direkte påvirkes af jordoverfladen, kaldes det planetare grænselag. Dets højde varierer med tidspunktet på døgnet; om dagen kan højden være op til et par km, men om natten afgrænses bevægelserne, og der dannes ofte et inversionslag, der typisk starter 200 m oppe, og undertiden kan gå helt ned til jordoverfladen. Mange luftforureningsfænomener foregår udelukkende i dette grænselag.

Stofkredsløb

Selv i »naturlig« ren luft er det ikke de samme molekyler, der optræder hele tiden. Alle indgår i globale stofkredsløb med omsætningstider, der varierer fra sekunder til århundreder. I princippet kan man beskrive situationen som vist på figur 2-3, hvor forholdet mellem stofmængderne i to beholdere er bestemt af transporthastigheden mellem de to beholdere.

I praksis er det hele langt mere kompliceret, fordi der er mange transportveje, og fordi stofferne kan omdannes undervejs. Det fremgår af det globale kulstofkredsløb (figur 2-4).

Luftforurenende stoffer, der i de allerfleste tilfælde består af ganske almindelige kemiske forbindelser, vil indgå i disse kredsløb. Luftforurening består ganske enkelt i, at nogle stoffer optræder i generende koncentrationer på ubekvemme steder.

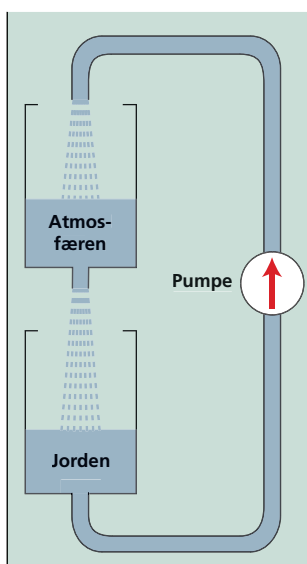
I den simple model svarer luftforurening fra menneskelige aktiviteter til, at pumpen kører hurtigere, så der kommer mere stof i den øverste beholder. I den virkelige verden er den geografiske udstrækning af denne forskydning (forureningen) bestemt af stoffernes omsætningstid, der afgør, hvor langt de kan transporteres, før de igen fjernes fra atmosfæren. Resultatet af disse fjernelsesprocesser kan være, at der dannes nye (sekundære) luftforureninger.

Hvis stofferne afsættes på Jordens overflade, kan de her give anledning til vand- eller jordforurening.

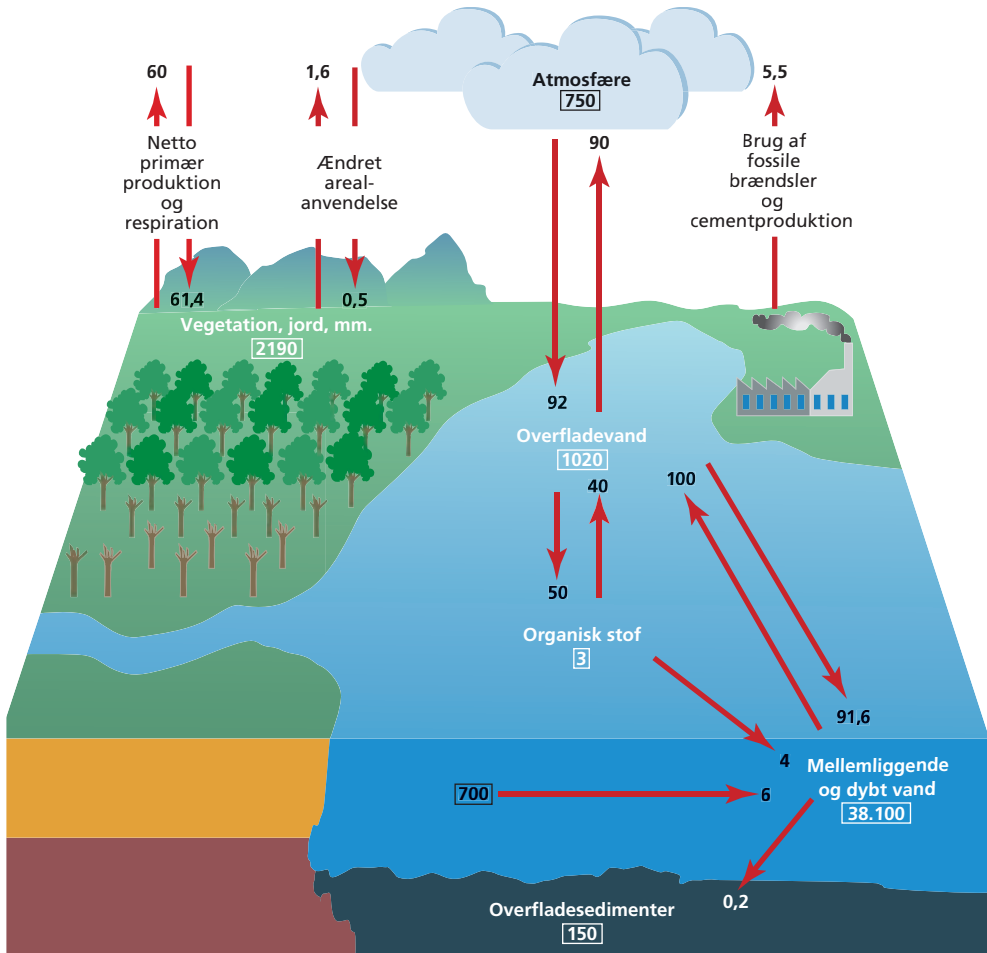
For flere stoffer er kredsløbene imidlertid ikke konstante. Der udsendes mere end der afsættes, og koncentrationen i atmosfæren stiger. Det gælder fx for kuldioxid.

Luftforureningens spredning

Luftforureningens spredningen i atmosfæren er til dels bestemt af omgivelserne. I et lukket rum er der ingen spredning, imel-



Figur 2-3
Primitiv model af stofcirkulationen mellem atmosfæren og Jorden. Pumpen pumper væske op i den øverste beholder (atmosfæren), indtil trykket i bunden af den er så stort, at der løber lige så meget ned i den nederste beholder (Jorden), som der pumpes op.



Figur 2-4

Forenklet fremstilling af det globale kulstofkredsløb. Tallene i rammer er kulstofindholdet målt i Gigaton kulstof. Tallene på pilene er transporter i Gigaton pr. år. 1 Gigaton er 1.000.000.000 tons.

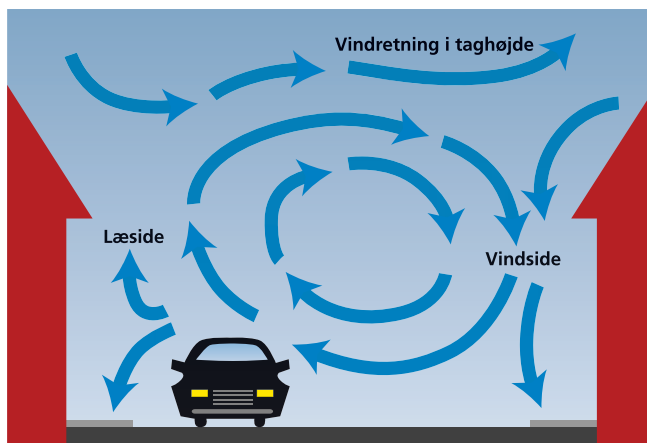
Opstillet af IPCC (The Intergovernmental Panel of Climate Change, Det Mellemstatslige Klimapanel) på basis af flere kilder.

lem to husrækker (figur 2-5) er den ringe, og i et åbent, fladt landskab er den god. Afgørende er imidlertid også de meteorologiske forhold, specielt vinden.

I Europa påvirkes vinden af flere faktorer: Jordens rotation; den store temperaturforskel mellem polarluften mod nord og den subtropiske luft i syd; fordelingen af land og hav, specielt med Atlanterhavet mod vest; og endelig de forhindringer, som udgøres af de store bjergkæder, specielt Alperne. Jordens rotation bevirker, at der i det meste af Europa er en dominerende vind fra vest; det betyder, at forureningen fortrinsvis blæser samme vej.

Mange forurenende stoffer (fx svovl- og kvælstofforbindelser) har omsætningsstider af størrelsesordenen dage. Med

Figur 2-5
Forureningens spredning i lukkede gaderum er ringe.



typiske vindhastigheder på 5 m/sek. kan de derfor spredes over områder som hele Europa. Andre stoffer (fx kuldioxid) bliver i atmosfæren i mange år og kan spredes over hele kloden. Samtidig betyder den lange levetid, at selv relativt små stofudslip gennem tiden kan opbygge store koncentrationsændringer i atmosfæren. Selv om de menneskeskabte kuldioxidudslip, som det fremgår af figur 2-4, kun udgør få procent af de naturlige stofstrømme, kan de derfor over en år-række betyde drastiske ændringer.

Modelberegninger

Målinger af luftforureningers spredning er normalt dyre, tidskrævende og følgelig begrænset til nogle få udvalgte lokaliteter; derfor benyttes ofte modelberegninger. De går meget forenklet ud på, at man bestemmer forureningsudslip og meteorologiske forhold, som fx vindstyrke og vindretning, og derefter lader en computer finde ud af, hvor forureningen blæser hen.

Metoden har to store fordele frem for direkte målinger: For det første er den som nævnt meget billigere og hurtigere, og den giver mere detaljerede oplysninger. For det andet behøver de data, man benytter, ikke at svare til den virkelige verden; man kan derfor fx beregne, hvad forureningen vil blive, hvis man bygger et kraftværk et givet sted – eller reducerer forureningsudslippet i hele Europa som følge af internationale aftaler.

Man kan også beregne, hvordan forureningen var i gamle dage. Det er selvfølgelig noget mere usikkert, fordi input-dataene, der normalt baseres på brændsels- og råstofregn-

skaber, er mangelfulde, og fordi der ikke er mulighed for at kontrollere, om man har regnet rigtigt. Det er også normalt nødvendigt at benytte nutidige meteorologiske data. Men man får alligevel et vist indtryk af forholdene.

Der findes modeller til mange forskellige formål. Modeller til beskrivelse af forurening i gaderum skal selvfølgelig have en helt anden rumlig og tidsmæssig opløsning end modeller til beskrivelse af fænomener i byskala eller langtransport. Men de er alle baseret på meteorologiske observationer og opgørelser af forureningsudslip.



Figur 2-6
Omgivelserne er afgørende for, hvilken forurening et givet udslip giver anledning til. I et lukket gaderum vil forureningen alt andet lige blive værre end langs en åben motorvej.

Fotos: Britta Munter.



Byen



Luftforureningen i fortidens byer kunne være langt større end den er i dag – omend sammensætningen var lidt anderledes. Billedet viser Købmagergade i København omkring 1865.

Foto: Wilhelm Tillge.

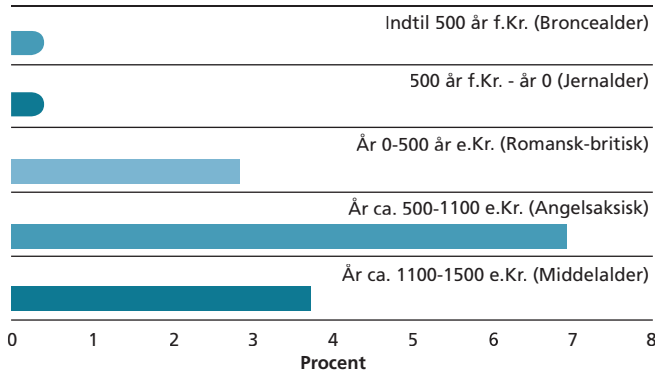
Luftforurening starter indendørs

Den alvorligste tidlige luftforurening har helt klart været indendørs, hvad der næppe kan overraske nogen, der har set rekonstruktioner af huse med åbne ildsteder og aftræk i loftet (figur 3-1). Man har således bl.a. undersøgt kranier fra førindustrielle begravelsespladser og har registreret hyppigheden af bihulebetændelse, som kan udløses af luftforurening og i alvorlige tilfælde kan angribe knoglerne. Man har her fundet en særlig stor hyppighed i tiden op til år 1000, dvs. før den såkaldte middelaldervarme satte ind, og i en periode hvor folk var mere inde, fyrede mere og luftede mindre ud (figur 3-2).



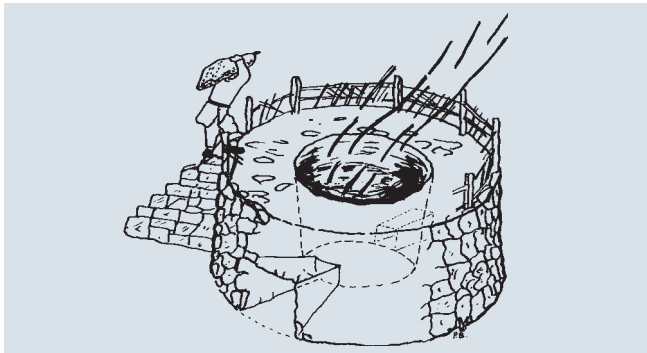
Figur 3-1
Rekonstrueret Jernalderhus på Forsøgsstation Lejre. Det åbne bål inde i huset giver en forurening, der er mindst lige så stor som på Rådhuspladsen i København.

Foto: Klima-X-forsøget, Lejre Forsøgscenter.



Figur 3-2
Hyppigheden af tegn på bi-
hulebetændelse i kranier fra
engelske begravelsespladser.

Efter: P. Brimblecombe:
The big smoke, 1987.



Figur 3-3
Kalkbrænding var en væsent-
lig kilde til luftforurening i
Middelalderen. Oprindeligt
blev der fyret med træ, men i
midten af 1200-tallet gik man
over til kul, med stigende
svovlforurening som resultat.

Efter: P. Brimblecombe:
The big smoke, 1987.

Det forurenede England

Det generelle danske ord »forurening« er temmeligt blodfattigt og af ny dato. Så er der mere stil over det engelske »pollution«, der er afledt af det latinske »polluo« med betydningen tilsmudse, besudle, vanhellige og krænke. Men der har tilsyneladende også været langt mere forurenede i England.

Tidlig byforurening

I en – på én gang underholdende og saglig – bog fra 1987 (»The big smoke«) behandler den engelske miljøforsker Peter Brimblecombe luftforureningen i England – og specielt London – fra omkring år 1000 og op til nu. Man har bl.a. undersøgt over 2000 skeletter fra et industri kvarter i York og omliggende landområde. Det viste sig, at 58 % af dem, der havde været begravet i byen mellem år 1000 og 1600 havde haft bihulebetændelse. Her har man specielt mistænkt et kalkbrænderi, der blev anlagt i 1200-tallet i forbindelse med bygningen af byens store katedral.

Indirekte oplysninger fra mange kilder

Også fra helt andre kilder kan man få oplysninger om forurening og klima; fx er det observeret, at en overskyet himmel er langt hyppigere på engelske malerier end på malerier fra det øvrige Europa. Mere kuriøst har det været foreslået, at man skulle undersøge damemoder, der i England syntes at være præget af mindre lyse farver – måske som en fornuftig tilpasning. Projektet blev dog opgivet, angiveligt fordi man fandt sammenhængen mellem fornuft og damemoder utilstrækkeligt dokumenteret. Det er dog velkendt at i gamle dage var alle paraplyer sorte.

Samme skæbne fik et forslag, der gik ud på at måle tonehøjden i gamle kirkeklokker. Angreb af luftforurening fjerner materiale og giver dermed en ændring af tonen, som skulle være et mål for forureningsbelastningen. Desværre viste det sig, at kammertonen gennem tiderne har ændret sig så meget, at det helt ville overskygge et eventuelt måleresultat.



Figur 3-4

Selv damemoder, her engelske fra 1844, har været overvejet som kilde til oplysninger om luftforurening.

London-smoggen

I århundreder var London med sine rygende skorstene symbolet på den forurenede storby. Allerede omkring år 1300 blev der nedsat en kommission, der skulle se på luftforureningen fra afbrændingen af kul i London. Noget tyder dog på, at dens bestemmelser stort set er blevet ignoreret. En ofte citeret historie om, at en miljøsnyder i 1307 skulle være blevet torteret, hængt og/eller halshugget har desværre ikke kunnet bekræftes i primære kilder. (Også dengang slap sådan nogen åbenbart alt for billigt!).

Skader på sundhed og materialer

I midten af 1600-tallet skete der en kraftig stigning i antallet af dødsfald som følge af den såkaldte engelske syge, der muligvis har forbindelse med reduktionen af sollys som følge af det næsten konstant tågede vejr om vinteren. Samtidig konstaterede man en kraftig nedbrydning af bygninger og kunstværker. I 1661 skrev John Evelyn således, at byluften

»angriber jernbjælker og de hårdeste sten med de gennemtrængende og bitre gasser, som følger med dens svøvl, og giver mere skade på et år end den rene luft på landet kan forårsage på flere hundrede«.

Tågen i kriminallitteraturen

Den berygtede Londontåge bliver et vigtigt element i den tidlige kriminalroman som fx i Dr. Jekyll og Mr. Hyde (1885), hvor man kan læse:

»Klokken var efterhånden blevet ni, og det var tåge – årets første rigtige tåge ... Medens drosken sneglede sig fra gade til gade, så sagfører Utterson en vidunderlig mængde af grader og afskygninger af halvlys; for et sted var det så mørkt som langt ud på aftenen.«

Der er her tale om et rent byfænomen. I Conan Doyles »De fires tegn« (1890) drager Sherlock Holmes, Dr. Watson og Miss Morstan således ud på en tåget september aften, men da de passerer Norwood (10-15 km fra centrum), er tågen langt bag dem.



Figur 3-5

Ved en berygtet smog-episode i London, december 1952 var sigtbarheden reduceret til få meter. Forureningsniveauet nåede op omkring 100 gange det, man ser i København i dag. Maksimumsværdierne for SO_2 og sod var knap 2 mg/m^3 . I flere dage var dødeligheden tre gange over det normale. Det gav stødet til den senere »Clean Air Act«.

Efter: E.T. Wilkins, J. Roy. Sanit. Inst. 74, 1 (1954)

Industriforurening og »The Alkali Act«

Den åbenlyse »smog« (efter en sammentrækning af det engelske »smoke« og »fog«), der i det væsentlige skyldtes afbrænding til opvarmning, var dog ikke det eneste problem. Den kemiske industri gjorde sig også gældende, specielt ved produktionen af alkaliske salte som fx natriumsulfat, der anvendes ved glasfremstilling. Som et biprodukt opstod saltsyre, der blev sluppet direkte ud i luften.

I 1863 vedtog Parlamentet den såkaldte »Alkali Act« og R. A. Smith blev ansat som den første »General Inspektør of Alkali Works For the Government« – en art direktør for miljøstyrelsen. Foruden sit administrative arbejde var Smith aktivt engageret i videnskabeligt arbejde, som kulminerede med offentliggørelsen af de første direkte målinger i en nu klassisk bog »Air and Rain« fra 1872.

Modelberegninger

Foreløbig var der dog ikke tale om egentlige bymålinger, men her er det muligt at få mere kvantitative oplysninger ved hjælp af modelberegninger baseret på brændselsforbrug. Det viser sig, at det generelle niveau for svovldioxid i London allerede omkring år 1700 må have været oppe på 150 mikrogram pr. kubikmeter, og at det først begyndte at falde efter år 1900.

Man skal være meget varsom med at sammenligne fra by til by, men umiddelbart er dette omkring 30 gange så meget, som vi måler i Københavns centrum i dag. I Londons centrum har man helt op til midten af 1960'erne målt årsmiddelværdier omkring 300 mikrogram pr. kubikmeter.

»Smog-episoder« og »Clean Air Act«

Ét er imidlertid beregnede langtidsmiddelværdier, noget helt andet er de spidsbelastninger af forurening, som kunne optræde under de berygtede »smog-episoder«; her blev niveauerne under specielle vejrforhold op til 20 gange højere, og de kunne medføre en overdødelighed på flere hundrede mennesker om dagen.

Først efter et par katastrofale episoder efter 2. Verdenskrig (figur 3-5) blev der gennemført en lovgivning (The Clean Air Act), som har gjort London til en by, der i hvert fald ikke er værre end så mange andre europæiske storbyer. I dag skal man til byer som Mexico City eller Cairo for at se problemer, der bare minder om noget i den gamle størrelsesorden.

København

Hvordan har der så været i København i tiden inden industrialiseringen? Et vist indtryk kan man få fra tidens litteratur, der taler om den ulidelige stank fra latriner, husdyrhold, garverier osv., men det giver ikke noget kvantitativt indtryk af den egentlige luftforurening.

Forpestet Luft.

Luften er det Element, som vi ere bestemte til at leve i. Ligesaa nødvendigt som det er, at de Fødemidler, vi skulde nyde, ere sunde, saaa nødvendigt er det og, at den Luft, vi skulle indaande, er sund. Men hvor ligegyldig er man ikke i den Henseende? — Man vaager strengeligen over, at Ingen sælger fordærvede Fødevarer, men man synes kun at bryde sig lidet om, at Luften paa tusinde Maader for-dærves.

Figur 3-6

Myndighedernes indsats synes ikke at imponere forfatteren til denne artikel i »Politikvennen« fra 1841.

Modelberegninger

For at belyse spørgsmålet har DMU foretaget nogle enkle beregninger af luftforureningen i København omkring midten af 1800-tallet. Tidspunktet er ikke valgt helt tilfældigt. Man var begyndt at foretage opgørelser af brændselsforbrug (af toldmæssige grunde selvfølgelig) og vi ved derfor nogenlunde, hvor stort forureningsudslippet kan have været. På den anden side lå byen med sine omkring 130.000 indbyggere endnu i alt væsentligt inden for voldene, og vi ved derfor også, hvor forureningsudslippet skete. Hertil kommer, at industrien stadig var beskedet, og at man endnu ikke havde fået gas; det skete først i 1857. Alt i alt en regnemæssigt håndterlig situation.

Det generelle niveau af svovldioxidforureningen synes, i byens centrum, at have været mindst 10 gange højere end det er nu, og dermed måske noget, der minder om det halve af det, der var i London. Da København også den gang var langt mindre end London, og vejrforholdene gunstigere, har den endvidere altid været forskånet for de store spidsbelastninger under smog-episoder.

Forureningen med kulbrinter har måske været 10 gange højere end den er nu. I dén henseende var datidens brænde- og tørvefyrr værre end nutidens biler. Til gengæld har der næppe været den store forurening med kvælstofoxider, der fortrinsvis dannes ved høj forbrændingstemperatur som fx i

Figur 3-7

Søren Kierkegaards, H.C. Andersens og Grundtvigs København (her i 1839) lå indtil 1855 i alt væsentligt indesluttet af sine volde.

Ved en simpel, overslagsmæssig modelberegning af luftforureningen går man ud fra, at alt indført brændsel er blevet anvendt til rumopvarmning, og man fordeler derfor udslipene efter bebyggelsen.

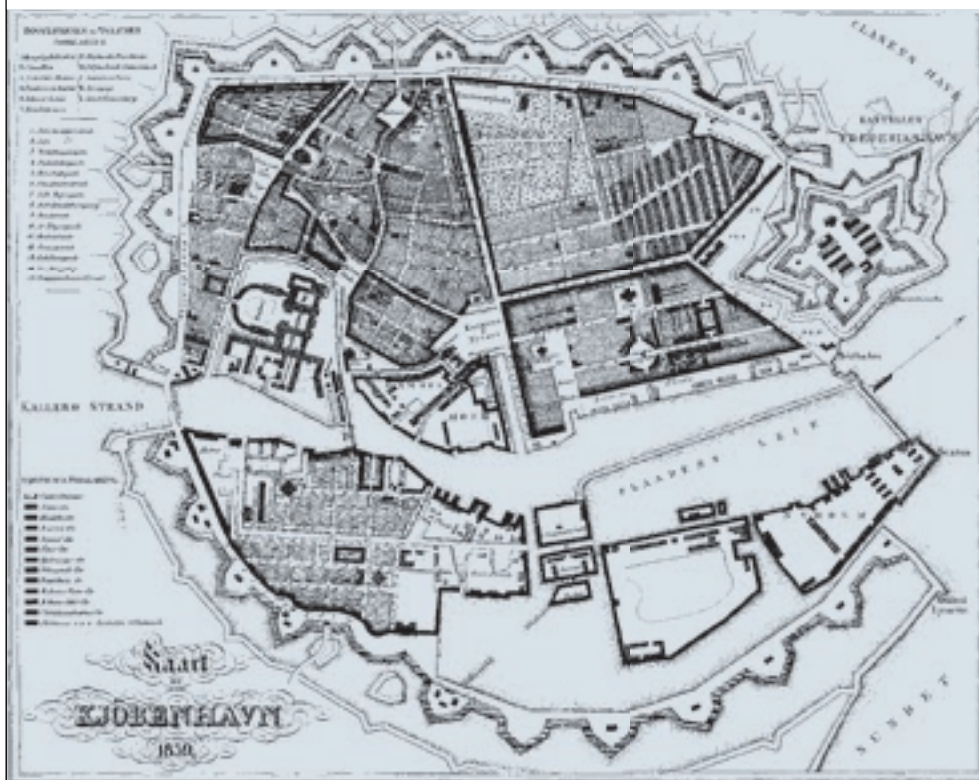
Beregningerne er udført af Per Løfstrøm, DMU.

eksplosionsmotorer. Luftforureningen i København har altså været lidt anderledes sammensat, end den er i dag, men luften har bestemt ikke været sundere – og umiddelbart langt ubehageligere. Og så har vi slet ikke talt om lugtproblemer!

Det skal dog nævnes, at man i de senere år er blevet opmærksom på ultrafine partikler fra dieseltrafik som en mulig alvorlig sundhedsrisiko. Den slags partikler kan også komme fra brændefyr.

Byens vækst

Vi har ingen konkrete oplysninger om luftforureningen i København i den følgende tid, men industrialiseringen, der tog fart i 1870'erne, og den hastige vækst i befolkning og areal, efter at voldene var faldet, kan ikke have forbedret situationen. I 1908 skrev dr. med. Poul Hertz således i Månedskrift for Sundhedspleje:



»Ser man en stille Sommereftermiddag fra Brønshøj Bakke ud over København, ligger der henover den en grålig Sky, som udoisker Konturerne og indskrænker Synskredsen. Det er Kulrøgen, som Luften er tilsat med, paa den nævnte Tid af Aaret næsten udelukkende Røgen fra Fabrikerne, og Taagens Kilder tegner sig som sorte Røgslør fra de talrige høje Skorstene, disse slanke Minareter, der er karakteristiske for en Nytidsbys Profil«.

Tonen antyder, at han ikke er helt fri for at være lidt imponeret af synet. Men hvordan har der ikke været om vinteren, når der også blev fyret til opvarmning, og hvor spredningsforholdene af meteorologiske grunde var ringere?

Figur 3-8

Gadebillede fra København i midten af 1800-tallet. Luftforurening har ikke været det eneste miljøproblem.

Tegning af C.N.M. Klæstrup.



Problemer og løsninger i København

Hvordan er det så senere gået med luften i København? Ser man på det samlede danske udslip af svovldioxid (side 50), var det i slutningen af forrige århundrede omkring 25.000 tons om året, det toppede omkring 1970 med ca. 600.000 tons om året og er nu som følge af internationale aftaler og en række indgreb igen nede omkring 25.000 tons om året. Det antyder selvfølgelig nogle tendenser, men det siger ikke nok, når det gælder lokal forurening; her er det også et spørgsmål om kildernes tæthed, skorstenenes højde o.m.a.

Figur 3-9
Saly's ryttermonument for Frederik V på Amalienborg Slotsplads i København. Det blev opstillet i 1770, og er her fotograferet i 1982. Det er helt dækket af korrosionsprodukter.

Foto: Boligministeriet.



Materialeskader

Man kan støtte sig til indirekte oplysninger. Måske det mest åbenlyse tegn på luftforurening er nedbrydningen af materialer, der er dokumenteret med fotografier siden slutningen af forrige århundrede.

Temperatursvingninger, frostsprængninger, svampeangreb og andre naturlige fænomener vil altid bevirke, at materialer nedbrydes, men nogle forurenende stoffer gør processen uacceptabelt hurtig. Den alvorligste forurening er byluftens

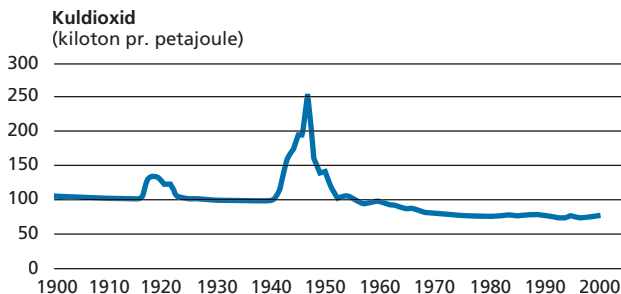
svovldioxid, der angriber både metaller og sten – i særdeleshed hvis de er fugtige. Værst går det ud over kulturgenstande, hvor værdien kan ligge i et tyndt overfladelag. Særligt udsatte er de historiske bygningers ornamenter, der ofte er udført i en blød sandsten. Stenens bindemiddel omdannes til gips, som vaskes af med regn. Hvis stenen er porøs, kan der endvidere i dens indre dannes salte, som udvider sig og forårsager sprængninger.

Også bronzestatuer angribes og dækkes efterhånden af et lag af basisk kobbersulfat, der i modsætning til ir (kobberkarbonat) ikke beskytter mod videre angreb. Figur 3-9 viser Saly's ryttermonument for Frederik V på Amalienborg Slotsplads. Det blev opstillet i 1770 og er her vist i en gengivelse fra 1982. Monumentet havde 50 år tidligere endnu den originale bronzeoverflade med tydelige værktøjsspor, men dén er nu kun tilbage på hestens bug. De væsentligste angreb synes altså at være sket i de senere år, og man kan deraf slutte, at forureningsniveauet har været relativt højt, lige før der blev udført egentlige målinger.

Tidlige målinger

I midten af 1940'erne undersøgte en komité nedsat af Akademiet for de tekniske Videnskaber »den atmosfæriske forurening som følge af den stigende industrialisering«. Resultaterne kan ikke umiddelbart sammenlignes med moderne målinger, men viste tilsyneladende, at København i visse henseender var mere forurenede end London.

Utvivlsomt hang det sammen med den unormale situation i slutningen af, og umiddelbart efter, 2. Verdenskrig med brug af store mængder brunkul og tørv. Senere opgørelser af det danske udslip af kuldioxid pr. produceret energimængde har vist, at det i krigsårene steg til mere end det dobbelte (figur 3-10). Noget tilsvarende må formodes at have været tilfældet for svovldioxid og støv.



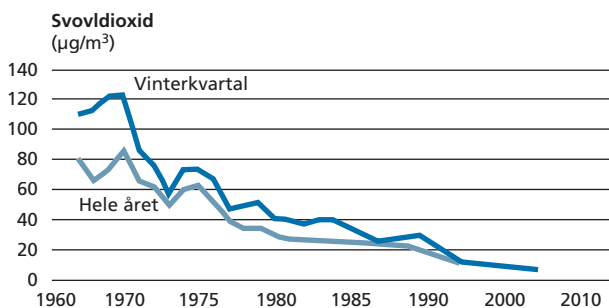
Figur 3-10
Forholdet mellem dansk udslip af kuldioxid og den producerede bruttoenergi. Man bemærker stigningen under 1. og i særdeleshed 2. Verdenskrig.

Data fra Erik Runge, DMU.

Figur 3-11

I København var forureningen med svovldioxid omkring 1970 som årsmiddel ca. $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og om vinteren oppe på $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I dag er den reduceret til under en tiendedel og dermed langt under Verdens Sundheds Organisation, WHO's vejledende grænseværdi på $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Data: DMU



Systematiske målinger

Man har først systematiske danske målinger fra slutningen af tresserne og specielt efter etableringen af det landsdækkende luftkvalitetsmåleprogram (LMP) i begyndelsen af 1980'erne. Den længste tidsserie findes for svovldioxid (figur 3-11), hvis årsmiddelværdi i Københavns centrum er faldet støt fra omkring 80 mikrogram per kubikmeter i midten af 1960'erne til nu under 5. Det skyldes dels lovgivning om begrænsning af svovl i brændsler, dels en ændring i fyringsteknik – herunder en overgang til fjernvarme, hvor store anlæg med høje skorstene spreder forureningen ud af byen.

Forureningen med partikler (målt som sod, figur 3-12) er faldet tilsvarende, dog med en mindre stigning i begyndelsen af 1980'erne, som kan hænge sammen med øget brug af kul.

Situationen i de senere år

Luftforureningen i København er i visse henseender kommet under kontrol, men den har samtidig i de senere år skiftet karakter. Den skyldes nu, som i andre industrialiserede lande, i det væsentlige den stigende biltrafik, der i byområder er den dominerende kilde til kvælstofoxider, kulilte og kulbrinter. Udslippet af disse tre forureninger er reduceret med anvendelse af katalysatorer, der i Danmark er lovpligtige på alle benziner indregistreret efter 1. okt. 1990. Virkningen er dog endnu delvist modvirket af en stigende trafikmængde.

Som i de andre vestlige storbyer er blyforureningen derimod faldet drastisk med udfasingen af blyadditiver i motorbenzin, der dels er gennemført, fordi bly er giftig i sig selv, dels fordi bly forgifter katalysatorer.

Fjernelsen af bly fra benzin har dog ikke været helt uden bivirkninger, idet man i første omgang søgte at opretholde benzinenes oktantal ved at forøge indholdet af aromatiske kulbrinter – specielt benzen – og MTBE, der kan være kræftfremkaldende.

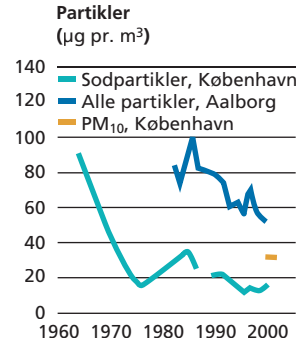
I trafikerede gader blev der i 1996 målt benzenniveauer omkring $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og det blev påvist at årsagen stort set kun var benzinsens indhold af benzen. Raffinaderierne var imidlertid indstillet på hurtigt at producere benzin med lavt indhold af benzen, og fra år 2000 er der indført EU-regler, som begrænser benzins indhold til højest 1 %. Niveaueet er nu nede på under $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eller under EU's grænseværdi på $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gældende fra 2005.

Små partikler

I de senere år har der været stigende interesse for små partikler. Mange udenlandske undersøgelser har vist sammenhæng mellem forurening med partikler og livslængde, og tilsyneladende falder den gennemsnitlige levealder med 0,4-0,6 år pr. $10 \mu\text{g}$ pr. m^3 PM_{10} (partikler med en diameter under $10 \mu\text{m}$). Meget tyder dog på, at den virkelige risiko er ultrafine partikler (diameter mindre end $0,1 \mu\text{m}$).

I Danmark har mængden kun været målt i nogle år, og man har endnu ikke kunnet konstatere nogen udviklingstendens (figur 3-12). Der er dog næppe tvivl om, at der er tale om et stort problem.

Den sekundære forurening ozon, der beskrives senere, er et alvorligt byproblem i sydligere lande, men er det ikke i Danmark.



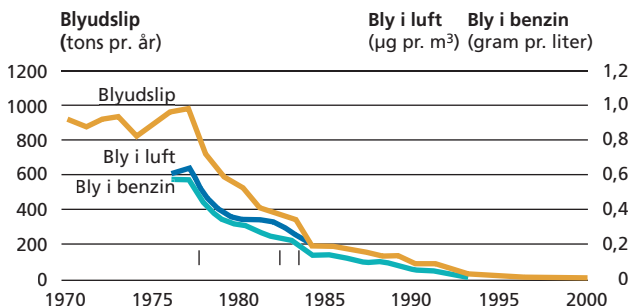
Figur 3-12

Partikler i byluft. Udslippet af sod og større partikler er blevet kraftigt reduceret ved brug af renere brændsler, samt forbedret fyrings- og rensningsteknologi, og niveauerne i danske byområder er faldet tilsvarende. For de helt små partikler (PM_{10}) er måleperioden for kort til at vise nogen tendens.

Data: HLU og DMU

Udviklingen i Europa

I en statistik (Advanced Air Quality Indicators) opgør OECD den generelle udvikling i europæiske byer således: Blyforureningen er klart faldende, kulilteforureningen er stort set uændret, kvælstofdioxidforureningen er svagt faldende og ozonforureningen er svagt stigende.



Figur 3-13

Udslippet af bly i Danmark er stort set forsvundet. Koncentrationen af bly i Københavns luft er faldet til under $1/10$ i løbet af de sidste 20 år. Det skyldes skærpede grænser for anvendelse af blyadditiver i motorbenzin (vist ved de tre små lodrette streger). I Danmark skyldes blyforurening af luften nu i alt væsentligt fjerntransport fra udenlandske industriområder.

Data: DMU



Figur 3-14

Biltrafikken er uden tvivl den moderne bys alvorligste miljøproblem. Ikke alene er den kilde til luftforurening, men også til støj, rystelser, ulykker og æstetisk belastning.

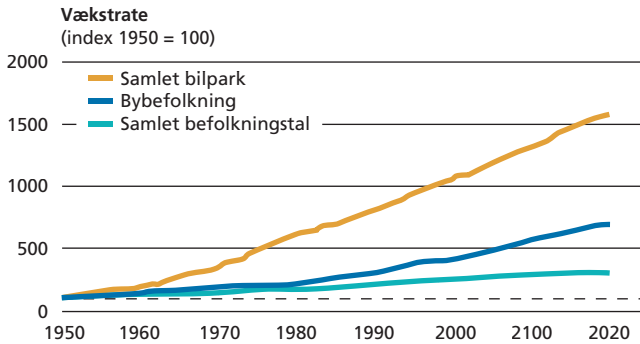
Foto: 2. maj, Sonja Iskov.

EU har beregnet, at med planlagte indgreb vil forureningen med kulilte, kulbrinter, kvælstofoxider og partikler i år 2010 være halveret i forhold til 1990 på trods af den forventede stigning i trafikken.

Den moderne storby

Alene siden 1950 er verdens befolkning mere end fordoblet, brøkdelen af personer, der lever i byer er vokset med 4 gange, og den globale bilpark er blevet ca. 10 gange større. Denne udvikling forventes at accelerere i de kommende år (figur 3-15).

Når det angår kilderne til luftforurening er verdens byer meget forskellige. I størstedelen af de industrialiserede lande udgør biler efterhånden hovedkilden, men i udviklingslandene er situationen mere blandet. I Latinamerika er der således flere biler end i fx Afrika, og i byer i tempererede områder (fx Kina og dele af Østeuropa) bruges kul og biomasse til privat opvarmning.



Figur 3-15

Anslået og forventet relativ vækst i verdens befolkning, urbanisering og bilpark i perioden 1950-2020.

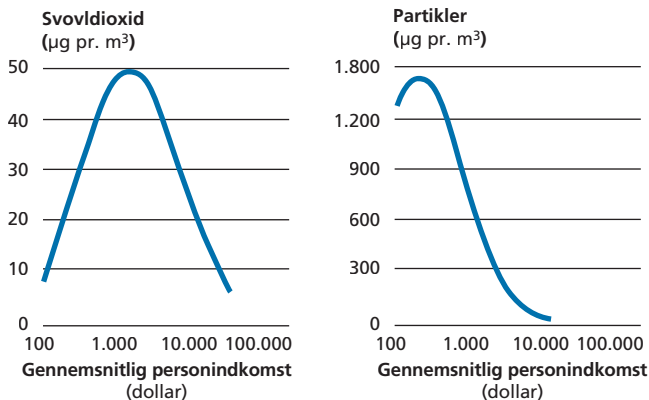
Efter: UNEP, WHO 1992.

Den store verden

Omkring 70 byområder i verden har befolkninger over 3 millioner. I år 2000 var Verdens største by Mexico City med over 24 millioner. Med sin befolkning på godt 1 million er København derfor på verdensplan en relativt lille by med håndterlige problemer – bl.a. på grund af et fladt terræn og rimelig blæst.

Gennem de sidste årtier har London, Los Angeles, New York og Tokyo reduceret deres luftforurening betragteligt. Men historien med en stigning i forureningsniveauet som følge af vækst og industrialisering gentager sig nu i udviklingslandene, hvor mange byer har nået samme forurening, som man så i London i 1950'erne.

Generelt synes forureningsniveauet i byområder først at stige med udviklingen og derefter igen at falde (figur 3-16).



Figur 3-16

Skematisk fremstilling af en typisk udvikling i luftforureningen i et byområde. Niveaulet stiger først med den økonomiske udvikling og falder derefter igen.

Efter: Mage et al. Atmos. Environ. 30. 681-686 (1996).