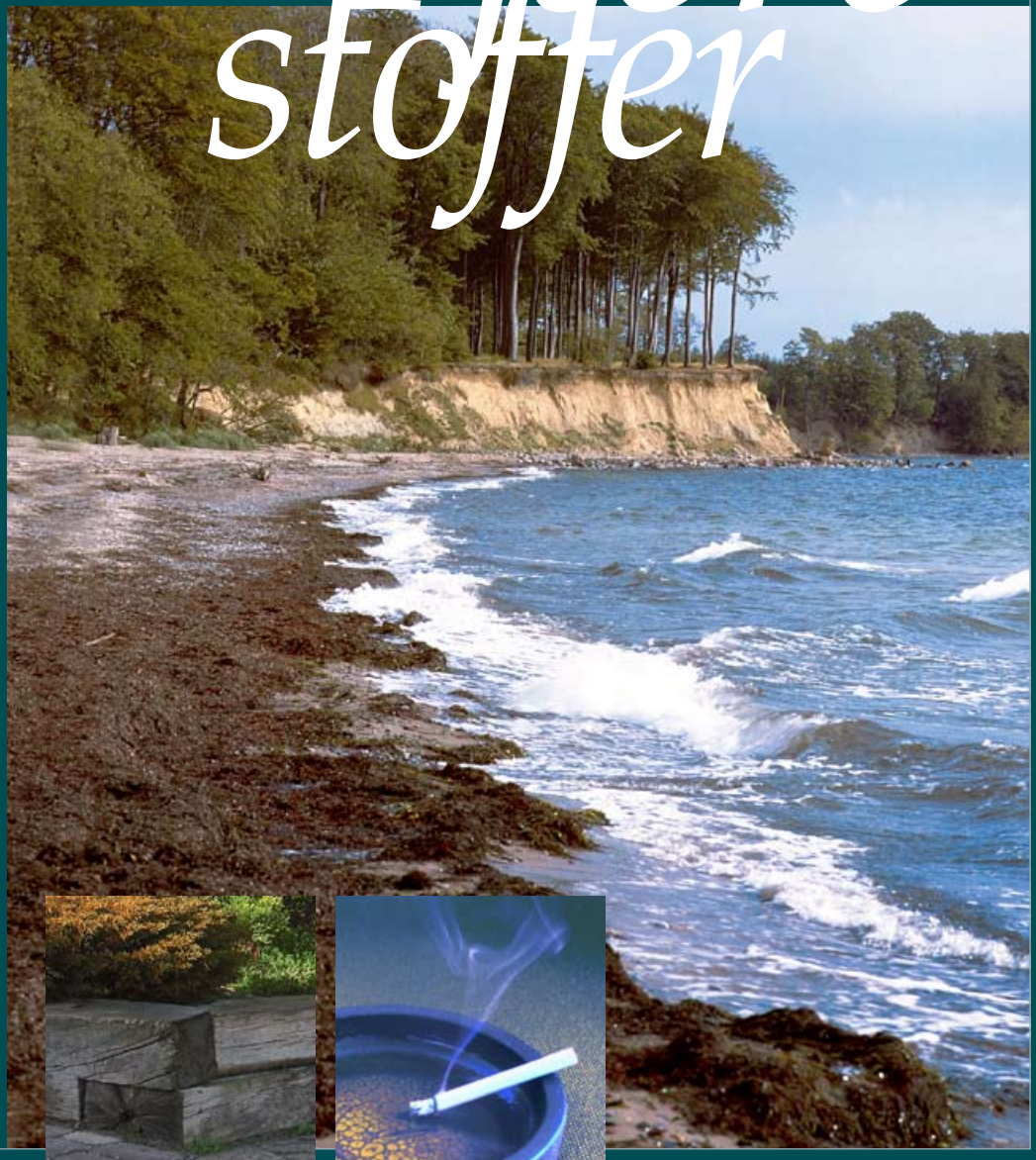
8 MiljøBiblioteket

Tjære-stoffer



Red. Ulrich Karlson

Hovedland

Mona-Lise Binderup er uddannet farmaceut og har en ph.d. i genotoksikologi fra Danmarks Farmaceutiske Universitet. Hun undersøger bl.a. den arveanlægsbeskadigende og muligt kræftfremkaldende virkning af miljøforurening i luft og jord og i fødevarer. Ansat som seniorforsker ved Afdeling for Toksikologi og risikovurdering, Danmarks Fødevareforskning.

Lars Carlsen er uddannet organisk kemiker og er dr.scient fra Roskilde universitetscenter. Hans forskningsområde fokuserer på vurdering af kemikalier og deres mulige miljø- og sundhedsmæssige problemer. Adjungeret professor i miljøkemi ved Roskilde Universitetscenter og har sin egen konsulentvirksomhed, Awareness Center.

Marianne Glasius er uddannet miljøkemiker og har en ph.d. i kemi fra Syddansk Universitet i Odense. Hun arbejder bl.a. med studier af organiske stoffer i partikler og er ansat ved Kemisk Institut, Aarhus Universitet.

Asger B. Hansen er cand.scient. i kemi-fysik fra Århus Universitet. Han arbejder med olieanalyser i forbindelse med den danske marine olieovervågning samt undersøgelse af miljøfremmede stoffers tilstedeværelse og skæbne i miljøet. Ansat som seniorforsker ved Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi, Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde.

Åse Marie Hansen er uddannet som farmaceut og har en ph.d. i biomonitering af PAH fra Danmarks Farmaceutiske Universitet. Hun undersøger bl.a. arbejdsmiljømæssig udsættelse for PAH og er ansat som seniorforsker ved Arbejdsmiljøinstituttet.

Anders R. Johnsen er biolog fra Aarhus Universitet og har en ph.d. i miljømikrobiologi fra Københavns Universitet. Han er projektseniorforsker ved Geokemisk Afdeling, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS).

Ulrich Karlson er uddannet som agronom og har en ph.d. i jordbundsmikrobiologi fra University of California, Davis. Han undersøger bl.a. mikrobiel omsætning af miljøfremmede stoffer i jorden og er ansat som seniorforsker ved Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi, Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde.

Pia Lassen er uddannet som civilingeniør og har en ph.d. fra Odense Universitet. Hun arbejder med monitering af miljøfremmede stoffer i miljøet og kvalitetssikring. Hun er ansat som seniorforsker ved Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi, Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde.

Philipp Mayer er uddannet som civilingeniør og har en ph.d. i miljøkemi fra Universiteit Utrecht i Holland. Han arbejder bl.a. med nye metoder til at måle, hvor meget folk udsættes for af miljøfremmede stoffer, og er ansat ved Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi, Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde.

Jacob Mønster er uddannet miljøkemiker ved Københavns Universitet. Han arbejder bl.a. med måling og modellering af luftforurening og er ansat ved Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Center, JRC - European Commission, Ispra, Italien.

Finn Palmgren er uddannet som civilingeniør og har en ph.d. fra DTU i faststoffysik. Han er specialist i overvågning og forskning inden for luftkvalitet og arbejder bl.a. med målinger af partikler i luften. Han er ansat som seniorforsker ved Afdeling for Atmosfærisk Miljø, Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde.

Tjærestoffer

Redigeret af:
Ulrich Karlson

Skrevet af:
Mona-Lise Binderup
Lars Carlsen
Marianne Glasius
Asger B. Hansen
Åse Marie Hansen
Anders R. Johnsen
Ulrich Karlson
Pia Lassen
Philipp Mayer
Jacob Mønster
Finn Palmgren

Danmarks Miljøundersøgelser **2006** **Hovedland**

Tjærestoffer
Redigeret af Ulrich Karlson

Skrevet af Mona-Lise Binderup, Lars Carlsen, Marianne Glasius, Asger B. Hansen, Åse Marie Hansen, Anders R. Johnsen , Ulrich Karlson, Pia Lassen, Philipp Mayer, Jacob Mønster, Finn Palmgren

© 2006 Danmarks Miljøundersøgelser, forfatterne 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, ombrydning og scanning: Britta Munter, Grafisk værksted, Danmarks Miljøundersøgelser

Omslagsfoto: Ole Malling, små fotos: Britta Munter
Tryk: Arco Grafisk A/S, Skive
Indbinding: Jysk Bogbind, Holstebro

Denne bog er trykt på 130 g Cyclus Print
Overskydende papir er genbrugt

ISBN 10: 87-7739-797-5
ISBN 13: 978-877739797-4
1. udgave, 1. oplag 2006

Forlaget Hovedland
www.hovedland.dk
E-mail: mail@hovedland.dk

Forord 6

1

Tjærestoffer i dagligdagen 9

2

Hvad er tjærestoffer? 15

3

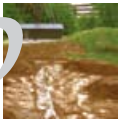
Hvor kommer tjærestoffer fra? 21

4

Hvor farlige er tjærestoffer? 37

5

Hvad sker der med tjærestofforureninger? 51

6 

Samfundets håndtering af tjærestoffer 63

Litteratur 76
Ordliste 79
Stikordsregister 81

Forord

Hvad har byluft, cigaretrøg, grillmad, en skorsten, et sodende fyrfadslys og et oliespild til fælles? De indeholder tjærestoffer! Og hvilken nytteværdi har denne oplysning for almindelige mennesker? Det er det, denne bog handler om.

Bogen formidler aktuel viden om tjærestoffer, som læseren kan bruge som baggrund for at forstå politiske initiativer vedrørende partikelfiltre på dieselkøretøjer, debatten om miljøzoner i storbyer, meningen med røgfrie arbejds-

pladser, begrundelsen for fiskeforbud efter et tankskibsforlis, overvejelserne bag en hævelse af grænseværdier for, hvornår en jord er forurenet, og den i fremtiden forventede EU-lovgivning om brændeovne.

Læseren kommer også til at forstå, hvorfor tjærestoffer er giftige, og hvad man kan gøre for at beskytte sig selv og sin familie – evt. ved at ændre sine vaner i hjemmet og på arbejdspladsen.

Menneskelige aktiviteter medfører ikke kun synlige forandringer i naturen, som det ses i billedet, men bidrager også til dannelsen af tjærestoffer, som i de fleste tilfælde ikke er synlige.
Foto: Ole Malling.

1 Tjærestoffer i dagligdagen

Tjærestoffer er noget særligt. De udgør den største enkeltklasse af kræftfremkaldende stoffer, og alligevel kan man ikke bare afskaffe dem. De forekommer nemlig overalt. Mange steder er koncentrationen så lav, at de formodentlig er uproblematiske, men fx i storbyer og røgfyldte lokaler er tjærestofkoncentrationerne så høje, at de er skadelige.

Foto: High-lights.

Tjærestoffernes dannelse og forekomst

Før mennesket kom ind i billedet, var tjærestoffer ikke ukendte på jordkloden. Skovbrande og vulkanudbrud, geologisk frigørelse af tjærestof fra sedimenter og dannelse i planter og mikroorganismer bidrog til, at tjærestofkoncentrationerne ikke var helt nul i miljøet. Men fra den dag, mennesket opdagede ilden, begyndte en langt mere alvorlig dannelse af tjærestoffer. Da kemikerne i begyndelsen af 1800-tallet for første gang identificerede dem, blev de dog set på som noget ganske brugbart. Det var først senere, at man fandt ud af, at de også kunne være skadelige.

Visse af tjærestofferne er så svært nedbrydelige i jorden, at arkæologerne tusinde år senere ved at analysere jordens indhold af tjærestoffer har kunnet fastslå beliggenheden af et forhistorisk ildsted, og dermed af en boplads. I luften er tjærestoffers levetid knap så lang, men de sætter sig på alt: støvpartikler og pollen i luften, blade på træer, fliser på fortovet, jord i baghaven, glas i vinduerne og desværre også på indersiden af lungerne.

Tjærestoffer udgør formentlig ingen sundhedsfare i fjerne og øde egne, men på steder med stor menneskelig aktivitet (trafik, industri, energiproduktion) er koncentrationen af disse stoffer i luft og jord ofte sundhedsskadelig. Dog skal man ikke tro, at man er i sikkerhed, bare fordi man bor på landet. Luftforureningsmålinger foretaget om vinteren i et villakvarter i en lille landsby, hvor beboerne havde godt gang i deres brændeovne, viste det modsatte.

Til trods for, at tjærestoffer er til stede overalt i verden, er vores drikkevand kun få steder og kun i meget begrænset omfang forurenet med dem. Det skyldes, at de fleste tjærestoffer kun kan opløses i meget små mængder i vand, og at de endvidere bindes hårdt til jordpartiklerne, hvilket stærkt begrænser risikoen for, at de siver ned til grundvandet.

Som antydet ovenfor dannes der tjærestoffer ved forbrænding af organisk materiale, fx benzin, diesel, kul, haveaffald, halm, træ, brænde og tobak. Mængden af dannet tjærestof afhænger af forbrændingsforholdene, og en iltfattig og sodende forbrænding giver en større dannelse af tjærestoffer end en "ren" forbrænding. Der kommer også tjærestoffer ud i miljøet på andre måder, fx fra udslip af olie- og kulprodukter.

På grund af at tjærestoffer forekommer næsten overalt i miljøet, og fordi de er så skadelige, er der fra myndighedernes side stor opmærksomhed over for denne stofgruppe og dens kilder. Men da stofferne typisk ikke produceres kommercielt, får man ikke noget ud af at forbyde dem som sådan.

Åbenbart er tilstedeværelsen af tjærestoffer uløseligt forbundet med industrisamfundet. Imidlertid kan forskellige tiltag mindske forureningen. Et eksempel er partikelfiltre på dieselkøretøjer, et andet er Oslo-Paris-konventionen (OSPAR), en international aftale hvori deltagerlandene har lovet at begrænse udledning af miljøfremmede stoffer til Nordsøen, bl.a. tjærestoffer fra råolieproduktion.

Hvor møder man tjærestoffer, og hvordan er de kommet der?

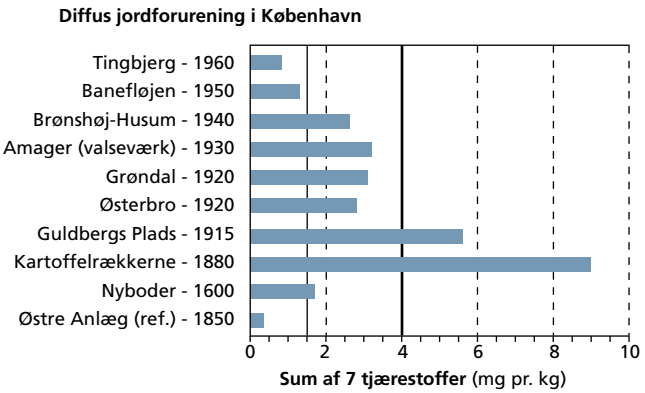
For at se lidt nærmere på de enkelte steder, hvor mennesker udsættes for tjærestoffer, kan man starte i hjemmet. Røg fra tobak, stearinlys og brændeovne er nogle af de store syndere, men også en lang række af vores fødevarer indeholder mindre mængder tjærestoffer. Således kan der være rester af tjærestoffer i korn- og melprodukter (som kan skyldes tørringsprocessen) og i grøntsager og kød, hvis de fx stammer fra områder, hvor jorden eller luften er forurenet med tjærestoffer. Også vores madlavning kan i ganske betydeligt grad bidrage til kroppens udsættelse for tjærestoffer. Specielt røgning og grillstegning af kød samt stegning ved høje temperaturer kan forurene vores mad med tjærestoffer. På indendørs arbejdspladser kan visse aktiviteter, fx aluminiumsproduktion, medføre en risiko fra tjærestoffer. Også sådanne steder vil tobaksrøg give et betragteligt bidrag til den samlede påvirkning, hvor det altså er tilladt at ryge.

Udendørs medfører fx asfaltarbejde eller tagpaplægning en risiko. Endvidere er det vist, at buschauffører, skorstensfejere og postbude er risikogrupper, der er specielt udsat for tjærestoffer. Udendørs kan vi blive udsat for tjærestoffer i luften, enten i gasform (fordampet) eller bundet til partikler. Det betyder, at vi udendørs mest optager tjærestoffer ved indånding. Dog kan specielt børn blive udsat for tjærestoffer ved kontakt med forurenet jord eller med gamle jernbanesveller eller andet tjærebehandlet træ, fx i sandkassevægge. Børn kan også optage tjærestoffer ved at spise forurenet jord.

Jorden i storbyer indeholder i øvrigt altid tjærestoffer. Hvor stor risikoen ved kontakt med tjærestofforurenet jord er, debatteres stadig af eksperterne. Byjord, hvor man ikke kender til en forureningskilde, opfattes af de fleste som "uforurenet", men den indeholder faktisk ofte større eller mindre mængder tjærestoffer. Denne såkaldte diffuse forurening skyldes den almindelige aktivitet i byen, som igennem mange år kan have tilført jorden mindre mængder tjære, koks, olie eller bygningsrester som tjæret træ og tagpap. Derudover bliver overfladejorden forurenet via luften fra afbrænding af olie, kul og brænde, og af udstødning fra køretøjer, kraftværker og forbrændingsanlæg. Eksempelvis har man i Københavnsområdet taget over 500 jordprøver og fundet tjærestoffer i de fleste af dem (figur 1-1). Hvad disse resultater betyder for beboernes helbred, omtales i kapitel 5 og 6.

Der findes ingen landsdækkende undersøgelser af den diffuse forurening med tjærestoffer i Danmark, dvs. forurening der fra forskellige kilder spredes med luften. På baggrund af indsamlede data skønner Miljøstyrelsen imidlertid, at koncentrationerne er betydeligt højere i byerne end på landet for summen af de syv tjærestoffer, der er vist i figur 1-1. Således regner man med, at koncentrationen på landet er 0,06-0,6 mg tjærestof pr. kg jord og i byerne 0,6-20 mg.

Tjærestoffer kan endelig optræde i naturen på grund af isolerede og akutte forureningsulykker. Et eksempel er det store oliespild i Østersøen i 2001, hvor olietankeren Baltic Carrier blev påsejlet af et andet skib og lækkede en særlig



Figur 1-1
Oversigt over såkaldt diffus jordforurening med tjærestoffer i områder i København med forskellig alder og historik. Årstallene viser tidspunktet, hvor området kom ind i byzonen. Jordprøverne blev taget fra de øverste 10 cm. Summen af tjærestoffer blev beregnet ved at sammenlægge måleresultaterne for følgende 7 stoffer: fluoranthen, benzo[b]fluoranthen, benzo[j]fluoranthen, benzo[k]fluoranthen, benzo[a]pyren, dibenz[a,h]anthracen og indeno[ghi]pyren (se kapitel 2). Værdier repræsenteret af de vandrette, blå streger er medianværdier af mellem 11 og 166 jordprøver (dvs. halvdelen af dem er højere end de angivne værdier). De to optrukne linjer repræsenterer de gamle og de nye jordkvalitetskriterier (kapitel 6), hhv. 1,5 mg pr. kg (tynd streg) og 4,0 mg pr. kg (tyk streg).

Kilde: Københavns Kommune, Miljøkontrollen, 1998.

fuelolie rig på tjærestoffer. I løbet af de næste dage drev store mængder olie ind i Grønsund, hvor den forurenede lange kyststrækninger og ødelagde flere havdambrug i området. Selv efter flere år finder man stadig sediment med forhøjede koncentrationer af tjærestoffer i området. Se også side 25.

Figur 1-2
Olieforurening ved Farø-broen efter Baltic Carriers forlis i 2004.
Foto: Anders Mosbech.

NS 60/46
500
ml

2 Hvad er tjærestoffer?

Navnet tjærestof stammer fra, at disse stoffer først blev fundet som dele af kultjære, der er et restprodukt fra den gammeldags produktion af bygas fra stenkul. Der findes mange forskellige tjærestoffer, og samlet går de under betegnelsen polycykliske aromatiske forbindelser. I dette kapitel berettes der nærmere om deres kemiske og fysiske egenskaber.

Foto: Britta Munter.

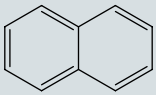
Begrebet tjærestoffer dækker over en gruppe organiske stoffer, der i kemisk sprogbrug kaldes polycycliske aromatiske forbindelser, på engelsk Polycyclic Aromatic Compounds (PAC).

Polycyclisk hentyder til, at forbindelserne er opbygget af flere ringe, og aromatisk betyder, at en eller flere af ringene er "aromatiske", dvs. omgivet af en særlig elektronsky. Tjærestofferne består således af to eller flere 5- eller 6-ledede ringe, der er sat sammen i forskellige kombinationer. Hver eneste kombination giver et selvstændigt tjærestof, der har sit eget navn og sine egne egenskaber, der ikke helt ligner de andres. Derfor taler man om tjærestoffer som en samlebetegnelse for en gruppe af kemisk beslægtede stoffer. I figur 2-1 ses strukturformlerne for udvalgte eksempler. De fleste tjærestoffer indeholder udelukkende kulstof- og brintatomer, men nogle indeholder også andre atomer, fx kvælstof (N), ilt (O) eller svovl (S).

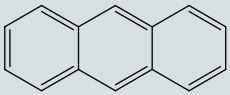
Tjærestoffer er karakteriseret ved, at de, når de foreligger som kemisk rene enkeltstoffer, er faste og hvide eller svagt gul-grønne og kan have en svag duft. De er generelt ikke særlig opløselige i vand og fordamper kun langsomt (hvilket kan ses i figur 2-1 på de lave damptryk. Til sammenligning er vands damptryk ved stuetemperatur ca. $2,7 \times 10^3$ Pa). De stoffer, der indeholder kvælstof, ilt eller svovl, har dog en lidt højere vandopløselighed end de tilsvarende stoffer på grund af disse atomers hydrofile ("vandelskende") karakter. Til gengæld er alle tjærestoffer opløselige i organiske opløsningsmidler som fx terpentin og benzin, desuden opløses de i fedtstof.

Kemiske stoffers fysisk-kemiske egenskaber er vigtige størrelser, når stoffernes farlighed skal vurderes. Som allerede nævnt i indledningen bestemmes tjærestoffernes mulige spredning i miljøet bl.a. af, hvor let de opløses i vand, ligesom deres fordampning er medbestemmende for den koncentration, vi kan finde i luften. Også deres optagelse i organismer, og dermed deres giftighed, bestemmes i vid udstrækning af disse egenskaber. Her er det særligt stoffernes fedtopløselighed, der betyder noget.

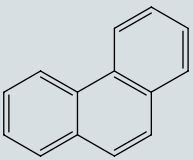
Det er imidlertid vigtigt at bemærke, at de fleste forureninger ikke består af rene enkeltstoffer, men af blandinger af flere tjærestoffer, ofte sammen med andre stoffer, da tjæ-



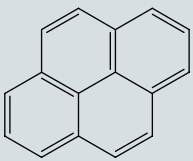
Naphthalen
Molekylevægt: 182,2
Smeltepunkt: 80,2 °C
Vandopløselighed: 30,8 mg pr. liter
Damptryk: 10,9 Pa



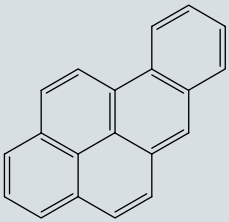
Anthracen
Molekylevægt: 178,2
Smeltepunkt: 215 °C
Vandopløselighed: $6,6 \times 10^{-2}$ mg pr. liter
Damptryk: $7,5 \times 10^{-4}$ Pa



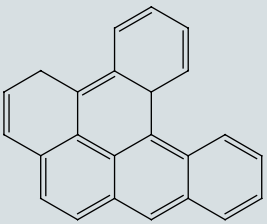
Phenanthren
Molekylevægt: 178,2
Smeltepunkt: 200,5 °C
Vandopløselighed: 1,3 mg pr. liter
Damptryk: $1,8 \times 10^{-2}$ Pa



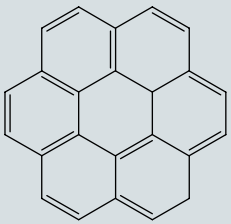
Pyren
Molekylevægt: 202,3
Smeltepunkt: 150,4 °C
Vandopløselighed: $1,5 \times 10^{-1}$ mg pr. liter
Damptryk: $8,9 \times 10^{-4}$ Pa



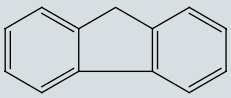
Benzo[a]pyren
Molekylevægt: 252,3
Smeltepunkt: 178,1 °C
Vandopløselighed: $3,8 \times 10^{-3}$ mg pr. liter
Damptryk: $8,4 \times 10^{-7}$ Pa



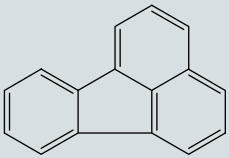
Dibenzo[a]pyren
Også kaldt dibenzo(def,p)chrysen
Molekylevægt: 302,4
Smeltepunkt: 162,4 °C
Vandopløselighed: $3,6 \times 10^{-4}$ mg pr. liter
Damptryk: $6,4 \times 10^{-8}$ Pa



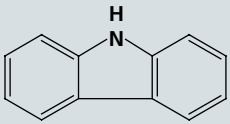
Coronen
Molekylevægt: 300,4
Smeltepunkt: 439 °C
Vandopløselighed: $1,4 \times 10^{-24}$ mg pr. liter
Damptryk: 5×10^{-11} Pa



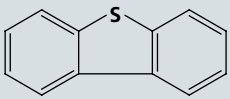
Fluoren
Molekylevægt: 166,2
Smeltepunkt: 116 °C
Vandopløselighed: 2,2 mg pr. liter
Damptryk: $8,9 \times 10^{-2}$ Pa



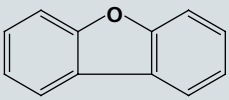
Fluoranthen
Molekylevægt: 202,26
Smeltepunkt: 108,8 °C
Vandopløselighed: $2,6 \times 10^{-1}$ mg pr. liter
Damptryk: 0,25 Pa



Carbazol
Molekylevægt: 167,2
Smeltepunkt: 247 °C
Vandopløselighed: 1,8 mg pr. liter
Damptryk: $1,0 \times 10^{-3}$ Pa



Dibenzothiophen
Molekylevægt: 184,3
Smeltepunkt: 97 °C
Vandopløselighed: 1,47 mg pr. liter
Damptryk: $2,7 \times 10^{-3}$ Pa



Dibenzofuran
Molekylevægt: 168,2
Smeltepunkt: 86,5 °C
Vandopløselighed: 3,1 mg pr. liter
Damptryk: $3,3 \times 10^{-1}$ Pa

Figur 2-1
Strukturformel og fysisk-kemiske egenskaber for udvalgte tjærestoffer. Flere forskellige tjærestoffer er beskrevet i kapitel 4.

restoffer typisk forekommer i komplekse materialer som fx røg, udstødningsgasser, sod, råolie, kul eller kultjære. Når man vil bestemme, hvor forurenet en jord-, vand- eller luftprøve er, kan man dog ikke bare måle tjærestoffer generelt. I stedet undersøger man, om de enkelte tjærestoffer er til stede eller ej – og i hvilke mængder.

Kemiske laboratorier har faktisk udstyr til nøjagtigt at måle koncentrationen af enkelttjærestoffer.

Boks 1

Kreosot – en klassiker

Kreosot er næsten udelukkende blevet anvendt som træimprægneringsmiddel. Industrielle og erhvervsmæssige anvendelser i stor målestok er langt de vigtigste: jernbanesveller, elmaster, vandbygning (bredbeskyttelse), landbrug og frugtproduktion. Kreosot og lignende produkter er dog også i nogen udstrækning blevet brugt af private til træimprægnering. I kapitel 3 omtales det miljømæssige resultat af denne type træimprægnering.

Jernbanesveller bestod tidligere af træ. For at beskytte mod svampeangreb blev de behandlet med kreosot. Nu bruges de kun til pynt, men træet indeholder dog stadig tjærestoffer.
Foto: Britta Munter.

Man kender langt over 100 forskellige tjærestoffer, så for at overkomme miljøundersøgelser er man som regel nødt til at forenkle dem ved kun at analysere for et udvalg af de vigtigste tjærestoffer. Typisk undersøger man prøverne for mellem 5 og 21 af dem, i nogle undersøgelser dog op til 40. I havovervågning er tallet fx oppe på 25 (se nærmere i kapitel 5). Udvælgelsen foretages bl.a. på baggrund af de enkelte stoffers giftighed (se kapitel 4).

Kreosot er fremstillet af kultjære, som den afspejler i sin kemiske sammensætning. Det består af en blanding af over 200 kemiske forbindelser, hovedsagelig tjærestoffer (op til 85 %) og phenolforbindelser. Teknisk opnår man kreosot ved at destillere stenkulstjære ved mellem 200 og 400 °C.

De vigtigste tjærestoffer i kreosot er acenaphthen, naphthalen, phenanthren, anthracen, fluoren, fluoranthen, chrysen, triphenylen, benz[a]anthracen, benzo[b]fluoranthen, benzo[k]fluoranthen og benzo[a]pyren. Afhængig af kreosottype kan benzo[a]pyren-indholdet variere mellem 0,003 og 0,3 vægtprocent.

Søllerød Kommunes Gasværk anno 1950. Dengang fandtes over 100 gasværker som dette i Danmark. På hvert gasværk opstod som biprodukt i gennemsnit omkring 300 tons kultjære om året.
Foto: Byhistorisk Arkiv, Søllerød Museum.

3

Hvor kommer tjærestofferne fra?

Der er mange forskellige kilder til tjærestoffer i miljøet. I langt de fleste tilfælde skal de imidlertid først dannes – enten ved naturlige processer som vulkanudbrud og skovbrande, eller ved menneskelig aktivitet som afbrænding af affald, olie, kul, træ eller tobak. De enkelte kilder og de processer, hvorved tjærestofferne opstår, beskrives i dette kapitel.

Foto: Anders Mosbech.

Indledning

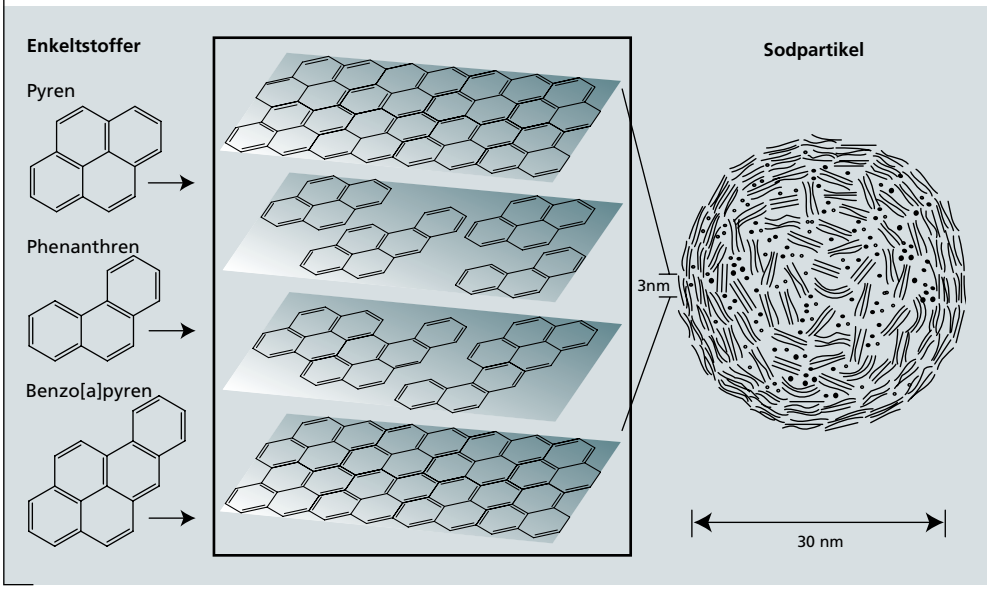
Man skelner mellem naturlige og menneskeskabte (antropogene) kilder til tjærestoffer i miljøet. Kemikerne kan på basis af analyseresultaterne fra en miljøprøve bestemme, hvilke kilder der har bidraget til en given forurening. De forskellige kilder er nemlig kendetegnet ved at indholde bestemte kemiske forbindelser, såkaldte markør-tjærestoffer.

Strengt taget er selve kilden som regel ikke i sig selv hverken naturlig eller menneskeskabt. Selve kilden er almindeligt forekommende stoffer som fx olie og træ, men når de omdannes i naturlige eller menneskeskabte processer, kan der (bl.a.) opstå tjærestoffer. For overskuelighedens skyld omtaler man imidlertid tit disse processer som kilder. I boks 3 er der mere detaljerede oplysninger om de tjærestofdannende processer.

Naturlige kilder

Stoffer, der omdannes ved brande

Stoffer, der går op i skov-, prærie- og steppebrande er de vigtigste naturlige kilder til tjærestoffer i atmosfæren. De



Figur 3-1
Dannelse af sod ved sammenkædning af tjærestoffer under forbrændingsprocessen. Frie tjærestoffer kan senere frigives fra sodpartiklerne.

tjærestoffer, der opstår under forbrændingen, er indeholdt i røgen og binder sig overvejende til sod- og askepartikler, som senere igen vil falde ned på land- eller vandoverflader. Spredningen sker globalt. Fx er der blevet fundet tjærestoffer i Arktis og Antarktis, som stammer fra brande på andre kontinenter. Dannelse af tjærestoffer under forbrænding er nærmere forklaret i boks 3.

Andre naturlige kilder

Stoffer, der omdannes i forbindelse med vulkansk aktivitet og i visse levende organismers stofskifte, er andre naturlige kilder til tjærestoffer. Det er dog kun nogle få udvalgte tjærestoffer, der bliver dannet på denne måde. Mest kendt er det, at perylen (et 5-rings-tjærestof, se tabel 4-1 på side 39), som ofte findes i havsediment med højt organisk indhold, bliver dannet ved naturlig nedbrydning af rester fra svampe og planter.

På baggrund af kemiske analyser har man fastslået, at tjærestoffer fra vulkaner og levende organismer kun spiller en ubetydelig rolle i den totale miljøbelastning. Under danske forhold er der i øvrigt aldrig blevet fundet biologisk dannet tjærestof, som der er fastsat grænseværdier for.

Figur 3-2
Sodpartikler indeholdende tjærestoffer bliver spredt over hele jordkloden og kan findes på fx Grønland.
Foto: Colin Stedmon.

Menneskeskabte kilder

De fleste tjærestoffer i miljøet skyldes som nævnt menneskelig aktivitet. Der findes mange forskellige kilder (tabel 3-1), og strengt taget er selve kilden som regel ikke i sig selv menneskeskabt – dens potentiale som kilde bliver blot først realiseret, når mennesker behandler den. Det gælder fx olie og træ.

Tabel 3-1
Oversigt over de vigtigste, menneskeskabte kilder til tjærestoffer i miljøet, inklusive indendørsmiljøet. Stofferne er ikke nævnt i rækkefølge efter deres vigtighed. Nogle kilder nævnes flere gange – fx bidrager slitage af dæk til tjærestoffer i såvel spildevandsslam som spildevand.

Menneskeskabte kilder til tjærestoffer
• Brændstof forbrændt i biler, skibe og flyver
• Træ forbrændt i brændeovne
• Tobak forbrændt i fx cigaretter
• Stearin og røgelser
• Bildæk
• Kultjære og andre spildprodukter fra kul
• Kommunalt affald, der forbrændes
• Kul, der omdannes til væske eller gas
• Højtemperaturselektroder under forarbejdning af aluminium
• Olie fra raffinaderier og depoter
• Olie fra tankskibe og andre fartøjer til havs
• Kreosot og spildte træbeskyttelsesmidler
• Spildevand fra olieraffinaderier
• Spildevandsslam
• Spildevand

Olie- og kulprodukter

Råolie og kul indeholder allerede tjærestoffer, når de kommer ud af jorden. Dannelse af tjærestoffer i råolie og kul i den geologiske fortid er nærmere forklaret i boks 3.

Ved industriel forarbejdning eller ved spild af olie og kul kan disse tjærestoffer blive frigjort og ledt til jord- og vandmiljøet. Blandt de hyppigste kilder er tjærestofholdige væsker (benzin, diesel, spildolie, råolie m.m.), der utilsigtet spildes i forbindelse med fx indvinding og bearbejdelse, industrielt spildevand, overfladespildevand fra byer og veje, udsivende vand (perkolat) fra lossepladser og behandlet træ (jernbanesveller, havneanlæg, o.l.).

Ved spild på landjorden kan tjærestofholdige væsker sive ned gennem jorden og forurene grundvandet, mens de mere

Boks 2

Oliespild til havs

En stor del af verdens energiforbrug dækkes af råolie og naturgas. Råolie og olieprodukter transporteres først og fremmest fra produktionsstederne til forbrugsstederne på store tankskibe. Når sådanne olietankere forulykker, får det altid stor medieopmærksomhed, fordi de miljømæssige konsekvenser af et stort oliespild er meget synlige.

Som eksempler kan nævnes Exxon Valdez (1989, 37.000 tons), Erika (1999, 20.000 tons) og Prestige (2002, 63.000 tons). I Danmark havde vi indtil 2001 været skånet for de store ulykker med olietankere, men den 29. marts 2001 slap heldet op, da tankskibet Baltic Carrier lastet med tung fuelolie kolliderede med et andet skib i Østersøen og lækkede omkring 2.700 tons olie vest for Falster. Omkring 1,1 % af olien bestod af tjærestoffer af typerne med 2 til 6 ringe, og i alt skønnes det, at omkring 3.000 kg tjærestoffer blev udledt til farvandene omkring Grønsund.

Selv om dette oliespild efter international målestok var beskedent, lykkedes det ikke selv efter flere ugers grundigt oprydningsarbejde at fjerne al olie, og endnu flere år efter er der stadig isolerede områder ud for Bogøs kyst, hvor sedimentet indeholder rester af tung fuelolie.

Oprydningsarbejde efter Baltic Carriers forlis.
Se også figur 1-2 på side 13.
Foto: Anders Mosbech.

letfordampelige stoffer spredes i atmosfæren, hvorfra de senere kan vende tilbage til jorden med regnvandet og bundet til partikler.

Kreosotbehandlet træ

Tidligere anvendtes kreosot (boks 1, side 18) til imprægnering af brugstræ, bl.a. jernbanesveller og telefonmaster, mod råd og svamp. Det er ikke længere tilladt at anvende kreosot til træimprægnering i Danmark, men der importeres fortsat meget kreosotimprægneret træ. Miljøstyrelsen skønner, at der i perioden 2002-2010 skal bortskaffes ca. 11.000 tons kreosotimprægnerede master og sveller pr. år med et gennemsnitligt kreosotindholdt på over 300 g pr. kg.

Hvad disse tal vil betyde, hvis samfundet bliver direkte udsat for denne mængde kreosot, er nærmere omtalt i kapitel 4. Selvom kreosot er bundet til træet, kan tjærestofferne langsomt komme ud i miljøet, fx ved udsivning i regnvejr eller afbrænding i private pejse og brændeovne, hvor temperaturen ofte ikke er højt nok til, at tjærestoffer destrueres, inden de fordamper op i atmosfæren. Tallene giver altså et indtryk af et muligt miljøproblems størrelse.

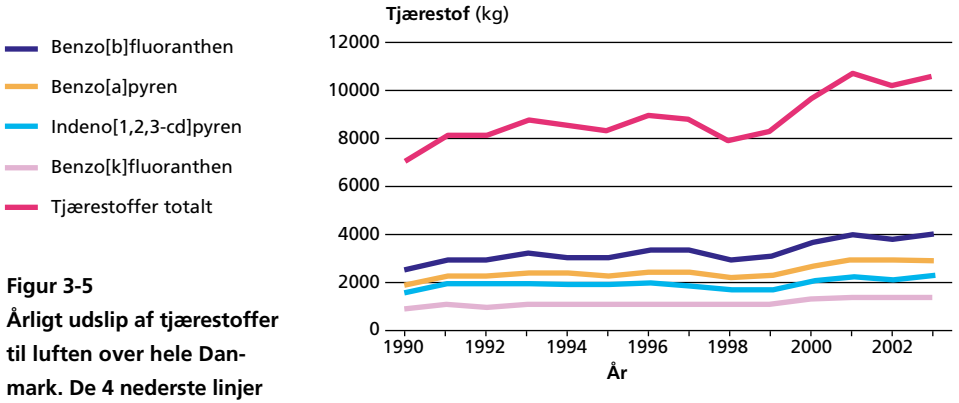
Figur 3-3
Kreosotbehandlet træ er blevet brugt overalt i Danmark, bl.a. på legepladser.
Foto: Lasse Dam Rasmussen.

Figur 3-4
Kreosotbehandlet træ blev bl.a. også anvendt til elmaster. I dag bruger man i stedet trykimprægneringsvæske indeholdende bor og kobber.
Foto: Britta Munter.

Bildæk

Bilernes dæk er en anden kilde til tjærestoffer i miljøet. Ved slid under kørslen ender tjærestofholdige dækpartikler langs vejene, og disse partikler bliver med regnvandet ført videre ud i vand- og jordmiljøet. Desuden bidrager dækslid til luftforurening med grove partikler (se kapitel 6).

Dæk indeholder 10-40 % carbon black (industriel fremstillet sod), der indeholder omkring 600 mg tjærestoffer pr. kg. Langt den største del af de omkring 5.200 tons dæk, der årligt sælges i Danmark, ender i affaldsdeponier, men få procent bliver frigivet til miljøet ved slitage. Hvad der på længere sigt sker med deponerede dæk, ved man ikke. Også her viser tallene størrelsen af et muligt miljøproblem.



Figur 3-5
Årligt udslip af tjærestoffer til luften over hele Danmark. De 4 nederste linjer viser enkeltstofferne benzo[a]pyren, benzo[b]fluoranthen, benzo[k]fluoranthen og indeno[1,2,3-cd] pyren, mens den øverste linje viser en opsummering af de fire. Det kan tydeligt ses, at der i perioden fra 1990 til 2003 har været en stigning. Stigningen skyldes den stigende anvendelse af træ som varmekilde i private husstande. I 2003 bidrog trafik med kun omkring 10 % af tjærestofudslippet, mens den resterende mængde hovedsageligt stammer fra træfyring i private hjem, dvs. brændeovne og -fyr.
Kilde: Research Notes from NERI No. 229

Stoffer, der forbrændes

Stoffer, der ikke forbrændes fuldstændigt, er en af de største menneskeskabte kilder til tjærestoffer i miljøet. Det, at der dannes tjærestoffer under en forbrænding, er tegn på, at der ikke er ilt nok til stede (se boks 3). Den slags forbrændinger findes i såvel industrielle som private anlæg (se tabel 3-1). Som eksempler kan nævnes brændeovne, kul- og gasfyrede anlæg, kulforgasningsanlæg, anlæg til tjære- og asfaltproduktion, olieraffinaderier, kraft- og varmeværker, affaldsforbrændingsanlæg, afbrænding af fx halm i landbruget og afbrænding af haveaffald. Dertil kommer trafik på vandet og landjorden og i luften. Fra biltrafikken alene skønnes udledningen af tjærestoffer at være ca. 1.300-1.500 tons pr. år i Danmark.

Tjærestoffer fra disse kilder udledes hovedsagligt til atmosfæren. I figur 3-5 kan man se, hvordan udledninger til luften har udviklet sig i de seneste år i Danmark. Tjærestoffernes videre skæbne i luften er nærmere belyst i kapitel 5.

Udslip af tjærestoffer fra en forbrændingsproces er tæt forbundet med udslip af partikler – jo flere partikler, jo flere tjærestoffer. Sammenhængen mellem partikler og tjærestoffer er nærmere omtalt i boks 6, side 56.

Tobak

En lang række tjærestoffer, bl.a. phenanthren, anthracen, fluoranthen, pyren og benzo[a]pyren, er påvist i cigaretrøg. Summen af disse tjærestoffer, som afgives pr. cigaret, er om-

kring 100 nanogram i den røg, der suges direkte igennem cigaretten, og over 2.000 nanogram i den røg, der afgives til omgivelserne.

Tallene viser, at den største del af tjærestofferne fra rygning går til miljøet og ikke direkte til rygeren. Målinger i indeklimaer har da også vist, at koncentrationen af tjærestoffer i luften bliver højere, jo mere der ryges. Fx steg koncentrationen af benzo[a]pyren i et forsøgsrum efter 20 cigaretter fra under 1 til over 3 nanogram pr. kubikmeter luft.

Stearinlys og røgelse

Især om vinteren spreder stearinlys hygge i mange danske hjem. Men de frigiver også mindre mængder tjærestoffer, især phenanthren og anthracen. Mængderne er dog, som det ses af tabel 3-2, meget afhængig af typen af lys. Værdierne er målt under normal, ikke-sodende brug af lyskilderne. Dannelsen af tjærestoffer i sodende lys er mere end 100 gange så stor.

Der dannes også tjærestoffer, når man brænder røgelsespinde, da der ofte er tale om en sodende forbrænding. I en undersøgelse fandt man, at røgen fra 1 gram røgelsespind indeholdt omkring 20 mikrogram tjærestoffer. For at komme ned på udendørskoncentrationen skal denne mængde fordeles over omkring 1.000 kubikmeter luft. Målinger inde i et tempel i Taiwan viste tjærestofkoncentrationer, der var op mod 20 gange højere end udendørs.

Tjærestoffer på arbejdspladsen

På flere både udendørs og indendørs arbejdspladser anvendes produktionsprocesser, der kan frigive tjærestoffer. Dette skyldes delvist opvarmning af tjærestofholdige materialer (altså fordampning af tjærestoffer) og delvist ufuldstændig forbrænding.

Tabel 3-2
Afgivelse af tjærestoffer fra forskellige stearinlys. Sum af tjærestoffer blev beregnet som sum af de målte værdier for naphthalen, phenanthren, pyren, chrysen og benzo-[a]pyren.

Kilde: Miljøstyrelsen, Kortlægning nr. 6, 2002.

	Stearinlys hvidt	Spindelvævslys blåt	Fyrfadslys hvidt	Duftlys	Gelelys blåt	Stagelys med guldovertræk
Sum af tjærestoffer pr. lys (µg pr. time)	3,00	0,58	0,05	0,12	0,22	1,18
Sum af tjærestoffer pr. g stearin (µg pr. g)	0,30	0,10	0,02	0,03	0,09	0,17

Arbejdsplads	Koncentrationsområde (sum af tjærestoffer[1]) µg pr. m³	Koncentrationsområde (benzo[a]pyren) µg pr. m³
Asfaltudlægning	0,004-2,5	ikke oplyst
	13-106	ikke oplyst
	9,5-94	1,2-7,4 (pyren[3])
	10-21	0,9-1,5
Kreosotbehandling af træ	1,2-22,3	ikke oplyst
	2,3-130	0,04-0,07
	0,1-106	under 0,03
	op til 960	under 0,01
Aluminiumsindustri	52-268	1-9,8
	3,5-380	1-16
	11,3-854	ikke oplyst
	14,5-1383	ikke oplyst
	op til 79	op til 2,4
Motorsav (2-takt-udstødningsgas)[4]	4.900-75.000	op til 9
Koksværker	op til 1.500	under 0,4
	6-570	under 5
Jernstøberier	3,6-52	0,4-12
	4,1-41,7	0,004-0,25
	op til 31	op til 0,4
Skorstensfejning	2,27-5,08	0,36-0,83
Fiskerøgning	2,2-2.472	0,2-78
Slagterier (kødrøgning)	0,09-25,5	0,4 (sum af kræftfremkaldende[2,3])
	30 (phenanthren)	ikke målt

[1] Sum af naphthalen, acenaphthylen, acenaphthen, fluoren, phenanthren, anthracen, fluoranthen, pyren, benz[a]anthracen, chrysen, benzo[b]fluoranthen, benzo[k]fluoranthen, benzo[a]pyren, dibenz[a,h]anthracen, benzo[ghi]perylen og indeno[1,2,3-cd]pyren

[2] Sum af benz[a]anthracen, benzo[b]fluoranthen, benzo[k]fluoranthen, benzo[a]pyren, dibenz[a,h]anthracen, og indeno[1,2,3-cd]pyren

[3] I denne enkelte måling målte man ikke benzo[a]pyren, men de i parantes angivne stoffer.

[4] Målingen blev foretaget fra et kammer koblet til udstødningsrøret med et én meter langt rør.

Tabel 3-3
Koncentrationen af tjærestoffer i luften på forskellige arbejdspladser.

I tabel 3-3 findes en oversigt over tjærestofkoncentrationer i luften på forskellige arbejdspladser. De koncentrationer, der er anført i forbindelse med udlægning af asfalt, er lavere end resultater fra undersøgelser foretaget af Arbejdsmiljøinstituttet, hvor der i en stationær måling af tjærestoffer lige ved asfalteringsmaskinen blev målt op til 1.219 µg pr. m^3. Ved fremstilling af aluminium giver specielt Söderbergelektroder, der anvendes ved elektrolysen, høje tjærestofkoncentrationer i luften. Disse elektroder indeholder petroleumskoks og stenkulstjære.

Sod har stor betydning i skorstensfejeres arbejdsmiljø. I en undersøgelse er der fx målt op til 231 mg tjærestoffer pr. kg sod. Tjærestoffer var i denne undersøgelse defineret som summen af de 11 stoffer: naphthalen, diphenyl, fluoren, phenanthren, anthracen, fluoranthen, pyren, benzo(c)phenanthren, benz[a]anthracen, chrysen og benzo[a]pyren, mens værdier for benzo[a]pyren alene lå mellem 1,0 og 1,6 mg pr. kg sod. Der var dog store forskelle i tjærestofkoncentrationerne, afhængig af brændselstypen.

Figur 3-6
Der er målt en forøget koncentration af tjærestoffer i luften ved udlægning af asfalt.
Foto: Britta Munter.

Tjærestofforurenede fødevarer

Frugt og grønt dyrket på tjærestofforurenet jord kan optage noget af forureningen. Den største del vil sidde på overfladen, fx på salat og jordbær, der dyrkes tæt ved jorden, fordi mindre mængder jord under dyrkningen har sat sig på overfladen. I rodfrugter vil det meste sidde i skrællen. Afsætning af tjærestoffer fra luft under dyrkning eller opbevaring, fx på frugt og grønt i butikker i forurenede byområder, kan også bidrage.

Fisk fra olieforurenede områder kan indeholde tjærestoffer i høje koncentrationer, i særlig grad lige efter oliespildet. Da fisk kan omdanne og udskille tjærestoffer, vil koncentrationen i fisken falde med tiden. Rejer og muslinger kan derimod ikke skille sig af med tjærestofferne så hurtigt, og stofferne kan derfor opkoncentreres i disse organismer.

Tjærestoffer kan også blive dannet under tilberedning af fødevarer. Madolie af dårlig kvalitet, fx olivenrestolie, og kornprodukter kan således indeholde tjærestoffer, som antageligt dannes under opvarmnings- og tørringsprocesser. Til gengæld indeholder olivenolie af jomfrukvalitet og koldpressede olier oftest kun meget små mængder eller ingen tjærestoffer. De fødevarer, der bidrager mest til tjærestofindtagelsen, er netop madolier af ringe kvalitet, også

Tabel 3-4
Eksempler på benz[a]pyren-indholdet målt ved undersøgelser af fødevarer. Benzo[a]pyren forekommer i mange fødevarer i koncentrationer fra 0,001 til ca. 2 µg pr. kg. Fødevarer, der har været udsat for miljøforurening, røgning, tørring eller stegning kan indeholde 2-10 µg pr. kg, mens uhensigtsmæssig røgning, tørring eller kraftig stegning (grillstegning og brankning) kan give koncentrationer på 20-200 µg pr. kg. Tallene anført i tabellen er fra såvel danske som udenlandske undersøgelser og giver et billede af, hvilke koncentrationer der kan forekomme i fødevarer.

Fødevare	Typisk benzo[a]pyren-indhold µg pr. kg	Særligt høje fund af benzo[a]pyren µg pr. kg
Fersk kød	ND-0,5	
Røget kød*	under 1	20-200
Grillet kød*	2-10	50-150
Fersk fisk**	ND-1,5	Op til 10
Røget fisk	0,1-5	Op til 20
Muslinger**	0,5-5	Op til 150
Vegetabilske olier	0,02-6	20-140***
Kornprodukter	0,02-0,8	6

* Koncentrationen vil afhænge af fedtprocent og den anvendte fremstillingsprocedure, herunder temperatur og tid.

** Høje koncentrationer stammer fra olieforurenede områder.

*** Olier af dårlig kvalitet, fx olivenrestolie.

ND – under påvisningsgrænsen.

hvis de er blevet anvendt til fremstilling af margarine, samt kornprodukter, fordi indtaget af sidstnævnte er stort.

De højeste koncentrationer af tjærestoffer findes dog i røgede og grillede produkter. Under grillstegning og anden stegning ved for høje temperaturer (hvor kødet bliver branket) dannes betragtelige mængder tjærestoffer, der så efterfølgende mere eller mindre ukritisk indtages. Man kan nemt reducere indtagelsen af tjærestoffer ved at fjerne de brankede dele og begrænse antallet af grillede måltider.

Røgning er en anden væsentlig årsag til tjærestofforurening i fødevarer. Mængden af dannede tjærestoffer afhænger bl.a. af røgemetoden, hvor direkte røgning, som fx hjemmerøgning, giver de højeste koncentrationer. Man bør undgå at spise for meget, specielt hjemmerøget mad, og man kan fjerne skindet og det yderste lag af det røgede produkt, fordi en stor del af tjærestofferne vil sidde her.

Figur 3-7
Når maden bliver branket, kan der opstå tjærestoffer.
Foto: Charlotte Hviid Nielsen.

Boks 3

Petrogenese og pyrogenese

Naturen har opfundet to forskellige måder at danne tjærestoffer på. Den første tager millioner af år, den anden tager kun sekunder: petrogenese og pyrogenese. Mennesker anvender udelukkende den hurtige måde.

1. Petrogenese, dannelse i kul og råolie

Råolie og naturgas bliver dannet over millioner af år ved omdannelse af rester fra mikroorganismer, alger og plankton (fedtstoffer, proteiner, steroider, kulhydrater, lignin, humus). Organismerne er bundfældet i søer og have, hvor de efterhånden er blevet dækket af sediment, inden de blev nedbrudt. Ved fortsat sedimentation stiger trykket og temperaturen så meget, at det højmolekylære biologiske materiale langsomt bliver omdannet og indbygget i det uorganiske sediment som kerogen og bitumen; denne delproces kaldes diagenese.

Ved en yderligere sedimentation, nedsynkning og temperaturstigning uden adgang til ilt bliver kerogen og bitumen termisk nedbrudt (krakning) til mindre kulbrintemolekyler (råolie og naturgas); denne delproces kaldes katagenese. Ved disse processer dannes også mange forskellige tjærestoffer. Disse findes derefter opløst i råolien, mens naturgas er så godt som tjærestoffri.

Kul bliver dannet ud fra døde planter i sumpområder. Pga. et lavt iltindhold i de sumpede områder er det organiske materiale bevaret uden at blive nedbrudt, og ved en efterfølgende sedimentation bliver planteresterne i første omgang omdannet til tørv (diagenese). Ved yderligere sedimentation med temperaturstigning til følge bliver tørven efterfølgende omdannet til lignit (brunkul), subbituminøst kul, bituminøst kul og endelig stenkul (antracit). I denne proces (katagenese) bliver også mange forskellige tjærestoffer dannet.

Foto: Ole Malling.

Tjærestoffer, der er opstået under dannelse af råolie og kul kaldes for petrogene. Katagenesen foregår ved lav temperatur (100-150 °C) over millioner af år. Denne proces favoriserer dannelsen af alkylerede tjærestoffer, dvs. aromatiske molekyler med kortere eller længere sidekæder (fx methylnaphthalen). Analysekemikerne kan her se forskel mellem råolie og kul, fordi indholdet af tjærestoffer i disse to typer fossile brændsler er forskelligt. Tjærestoffer i råolie er sammensat af færre ringe og er meget alkylerede, mens tjærestoffer i kul er sammensat af flere ringe og er mindre alkylerede.

Under naturlige forhold bidrager fossile brændsler kun relativt lidt til belastningen af miljøet. Råolie findes jo primært i reservoirer dybt nede i jorden, hvorfra der kun i mindre omfang sker naturlig udsivning. Andre steder er der dog råolieforekomster tæt ved overfladen, fx i tjæresand, som kan give et vist, begrænset bidrag til miljøet. Men først når menneskerne bruger råolie og kul, får det konsekvenser for miljøet.

I tabellen ses eksempler på indholdet af udvalgte tjærestoffer i olieprodukter og i stenkulstjære, et produkt fra stenkul. Det fremgår heraf, at indholdet af tjærestoffer er langt højere i stenkulstjære end i olieprodukter.

Tjærestof, mg pr. kg	Benzin	Dieselolie	Bitumen	Stenkulstjære
Naphthalen	900-4.000	200-4.000	i.o.	7.000-99.000
Methylnaphthalen	i.o.	5.700-9.100	i.o	4.200-19.600
Phenanthren	15-21	0-429	0,3-7,0	10.000-63.000
Fluoranthen	1,7-7,5	37	0,1-28	33.000
Pyren	1,6-12,8	0-41	0,08-35	21.000
Benz[a]anthracen	0,04-2,7	1,2	0,2-35	6.500
Benzo[a]pyren	0,09-8,3	0,6	0,1-27	5.500
Sum af tjærestoffer med mere end 3 ringe	Omkring 100	Under 50.000	i.o.	300.000-650.000

i.o. = ikke oplyst

Tjærestofindholdet (målt i mg pr. kg) i benzin, dieselolie og bitumen (produkter fra råolie) samt stenkulstjære (et produkt fra stenkul). Produkterne afspejler råmaterialernes indhold af tjærestoffer.

2. Pyrogenese, dannelse ved forbrænding

Langt den vigtigste årsag til dannelse og spredning af tjærestoffer i miljøet er ufuldstændig forbrænding af alt brændbart materiale, fx kul, fyringsolie, dieselolie, benzin, træ, halm og tobak. Denne gruppe af tjærestoffer kaldes for pyrogene.

Foto: Lene Magner.

I modsætning til petrogenesen, hvor det organiske materiale ved forholdsvis lav temperatur og over millioner af år langsomt omdannes til råolie og gas med bevarelse af mange af de kemiske grundstrukturer fra det oprindelige biologiske materiale, sker både pyrogenesens processer (pyrolyse, dvs. krakning, termisk nedbrydning og forbrænding) ved betydeligt højere temperaturer, hvorved der dannes helt andre produkter. Således består pyrogene tjærestoffer hovedsagligt af ringe uden, eller med meget få og korte, side-kæder. De højere omdannelsestemperaturer betyder også, at der ud over en nedbrydning af store komplekse molekyler faktisk også sker en kondensering af mindre molekyler til molekyler med flere ringe (pyrosyntese).

Resultatet er, at pyrogene tjærestoffer primært består af et større antal ringe (4-6 og endnu flere), hvorimod petrogene tjærestoffer er domineret af molekyler med få ringe (2-4). Da tjærestoffernes uheldige og skadelige virkninger på langt sigt, fx udviklingen af kræft, oftest stiger med molekylvægten og antallet af ringe, er pyrogene tjærestoffer generelt mere problematiske end de petrogene.

En vigtig faktor i pyrogenese er ilt. Iltmangel i forbrændingsprocesser, uanset om det er stearinlys, brændeovne, benzinmotorer eller dieselmotorer, medfører en sodende forbrænding, hvilket er ensbetydende med forøget dannelse af tjærestoffer. Omvendt er det fx en forbedret styring af lufttilførslen, der gør at moderne brændeovne forurener mindre. En god styring af luften til forbrændingskammeret giver en højere forbrændingstemperatur, en mere fuldstændig forbrænding og en bedre udnyttelse af brændet. Derudover har moderne brændeovne, i modsætning til gamle brændeovne, to luftindtag. Den første giver ilt til forbrændingskammeret, mens den anden giver luft til røggassen, hvorved sod i røggassen bliver afbrændt.

4 Hvor farlige er tjærestoffer?

I dette kapitel belyses det, hvorfor tjærestoffer er så usunde. Nogle af dem kan hæmme immunsystemet, andre forstyrrer hormonbalancen og påvirker evnen til at få børn. Men det alvorligste er, at de kan skade arveanlæggene og fremkalde kræft. Og for disse virkninger kan man ikke angive en tærskelværdi, hvorunder de er uskadelige.

Foto: Ulrich Karlson.

Indledning

Som nævnt findes der flere hundrede tjærestoffer, men det er kun ganske få enkeltstoffer og endnu færre blandinger, der er undersøgt i dyreforsøg. På basis af disse forsøg har forskerne vurderet så mange tjærestoffer som skadelige for arveanlæggene (gentoksiske). Det, der i dag er enighed om, er sammenfattet i tabel 4-1. Det ses, at 15 af stofferne er blevet vurderet som skadelige for arveanlæggene (genotoksiske) og 14 af disse som både genotoksiske og kræftfremkaldende. En skade på arveanlæggene, der også bliver givet videre til den næste generation, betegnes som en mutation. Et mutagent stof er altså nødvendigvis også genotoksisk, men det omvendte behøver ikke at være tilfældet.

Hvordan optages tjærestofferne i organismen?

Som allerede nævnt udsættes vi alle, i større eller mindre grad, for en vifte af tjærestoffer i vores dagligdag, både i hjemmet, på arbejdspladsen eller når vi færdes udendørs. Afhængigt af kilden (fx tobaksrøg eller udstødning fra biler) er det forskellige stoffer, der indgår i den blanding, vi udsættes for.

Tjærestofferne kan optages i organismen på tre forskellige måder – gennem lungerne, fra mave-tarmkanalen og gennem huden. De største mængder optages i forbindelse med indånding af forurenet luft og indtagelse af tjærestofforurenede fødevarer, mens optagelse gennem huden kun spiller en mindre rolle.

Optagelse gennem lungerne

Mængden af tjærestoffer, der kommer ind i kroppen gennem lungerne, afhænger naturligvis af, hvor vi befinder os. Det gælder både indendørs og udendørs. Udendørs afhænger det bl.a. af, hvor meget, og hvilken, industri, der er, om det er bymæssig bebyggelse eller på landet og af trafikken i området. Således fandt man i 1990'erne typiske årlige gennemsnitskoncentrationer af benzo[a]pyren i landlige omgivelser mellem 0,1 og 1 ng pr. m^3 udendørs luft, mens koncentrationerne i byen typisk lå mellem 0,5 og 3 ng pr. m^3. Indendørs er det som nævnt fx tobaksrøg, mados, stearinlys, brændeovne og åbne pejse, der er ansvarlige for vores kon-

Navn	CAS-nummer[a]	Antal af ringe i molekylet	Genotoksisk virkning	Kræftfremkaldende virkning
Acenaphthen	83-32-9	3	Utilstrækkeligt datamatriale	Tvivlsom
Acenaphthylen	208-96-8	3	Utilstrækkeligt datamatriale	Ikke undersøgt
Anthanthren	191-26-4	6	Begrænset bevis	Positiv
Anthracen	120-12-7	3	Ikke genotoksisk	Negativ
Benz[a]anthracen	56-55-3	4	Genotoksisk	Positiv
Benzo[b]fluoranthen	205-99-2	5	Genotoksisk	Positiv
Benzo[j]fluoranthen	205-82-3	5	Genotoksisk	Positiv
Benzo[k]fluoranthen	207-08-9	5	Genotoksisk	Positiv
Benzo[ghi]fluoranthen	203-12-3	5	Begrænset bevis	Negativ ?
Benzo[a]fluoren	238-84-6	4	Formodentligt ikke genotoksisk	Tvivlsom
Benzo[b]fluoren	243-17-4	4	Utilstrækkeligt datamateriale	Tvivlsom
Benzo[ghi]perylen	191-24-2	6	Genotoksisk	Negativ ?
Benzo[c]phenanthren	195-19-7	4	Begrænset bevis	Positiv ?
Benzo[a]pyren	50-32-8	5	Genotoksisk	Positiv
Benzo[e]pyren	192-97-2	5	Modstridende resultater	Tvivlsom
Chrysen	218-01-9	4	Genotoksisk	Positiv
Coronen	191-07-1	6	Utilstrækkeligt datamateriale	Tvivlsom
Cyclopenta[cd]pyren	27208-37-3	5	Genotoksisk	Positiv
Dibenz[ah]anthracen	53-70-3	5	Genotoksisk	Positiv
Dibenzo[a,e]pyren	192-65-4	6	Genotoksisk	Positiv
Dibenzo[a,h]pyren	189-64-0	6	Genotoksisk	Positiv
Dibenzo[a,i]pyren	189-55-9	6	Genotoksisk	Positiv
Dibenzo[a,l]pyren	191-30-0	6	Genotoksisk	Positiv
Fluoranthen	206-44-0	4	Modstridende resultater	Positiv ?
Fluoren	86-73-7	3	Utilstrækkeligt datamateriale	Negativ
Indeno[1,2,3-cd]pyren	193-39-5	6	Genotoksisk	Positiv
5-Methylchrysen	3697-24-3	4	Genotoksisk	Positiv
1-Methylphenanthren	832-69-9	3	Begrænset bevis	Negativ ?
Naphthalen	91-20-3	2	Formodentligt ikke genotoksisk	Tvivlsom
Perylen	198-55-0	5	Begrænset bevis	Negativ ?
Phenanthren	85-01-8	3	Modstridende resultater	Tvivlsom
Pyren	129-00-0	4	Ikke genotoksisk	Tvivlsom
Triphenylen	217-59-4	4	Begrænset bevis	Negativ ?

[a] CAS: Chemical Abstact Service. Nummereringen med CAS-numre er en entydig identifikation af det enkelte stof og kan fx bruges i forbindelse med søgning efter oplysninger om stoffet i databaser.

Tabel 4-1

Udvalgte tjærestoffers evne til at fremkalde skader på arveanlæggene og kræft baseret på en vurdering, der tager hensyn til al eksisterende viden om virkningen af enkeltstofferne.

- **Positiv = Stoffet har fremkaldt kræft i forsøgsdyr.**
- **? = Der kun findes meget få testresultater fra dyreforsøg.**
- **Begrænset bevis = Antallet af stoffer er kun undersøgt i cellekulturer og ikke i dyreforsøg.**
- **Tvivlsom = Der er få og modstridende resultater.**

Kilde: European Commssion, 2002.

Figur 4-1
Tjærestoffer optages gennem lungerne, huden og mave- tarmkanalen.
Foto: Charlotte Hviid Nielsen.

takt med tjærestoffer. For en person, der ryger 20 cigaretter om dagen, er det anslået, at han eller hun vil blive belastet med yderligere ca. 210 nanogram benzo[a]pyren om dagen.

Da tjærestofferne ofte er bundet til partikler – især fra trafik og brændeovne (se nærmere i kapitel 5 og 6) – afhænger optagelsen af stoffer gennem luftvejene bl.a. af disse partiklers størrelse. Generelt vil partikler mellem 0,002 µm og 0,2 µm trænge dybt ned i lungerne, mens partikler større end 4 µm og mindre end 0,002 µm vil blive fanget i slimhinderne i de øvre luftveje, hvorfra de kan transporteres gennem luft- og spiserøret til maven.

Optagelse gennem mave-tarmkanalen

For ikke-rygere udgør indtagelse med fødevarer ca. 90 % af tjærestofindtaget. Børn mellem 1,5 og 2,5 år indtager gennemsnitligt omkring 4 nanogram benzo[a]pyren pr. kg legemsvægt om dagen. Stofferne optages hurtigt fra mave-

tarmkanalen og kan måles i blodet allerede efter en time, og den højeste koncentration nås efter 5-6 timer. Hvor stor en del, der optages, afhænger af fødevarernes sammensætning og varierer mellem 20 og 50 %. Optagelsen er højest fra fedtrig mad.

Optagelse gennem huden

Forsøg med levende dyr har vist, at tjærestoffer kan optages gennem huden, ligesom man hos mennesker, der i medicinsk sammenhæng behandles med tjærepræparater, som fx psoriasispatienter, kan se, at stofferne kan optages gennem huden. Denne optagelsesvej er blevet nøjagtigt undersøgt på isoleret hud fra dyr og mennesker. Der er relativt store forskelle imellem forskellige arter. Således blev der af den påsmurte mængde benzo[a]pyren optaget 10 % gennem musehud, mens 3 % gik gennem menneskehud og mindre end 0,5 % gennem marsvinehud.

Den videre transport og oplagring

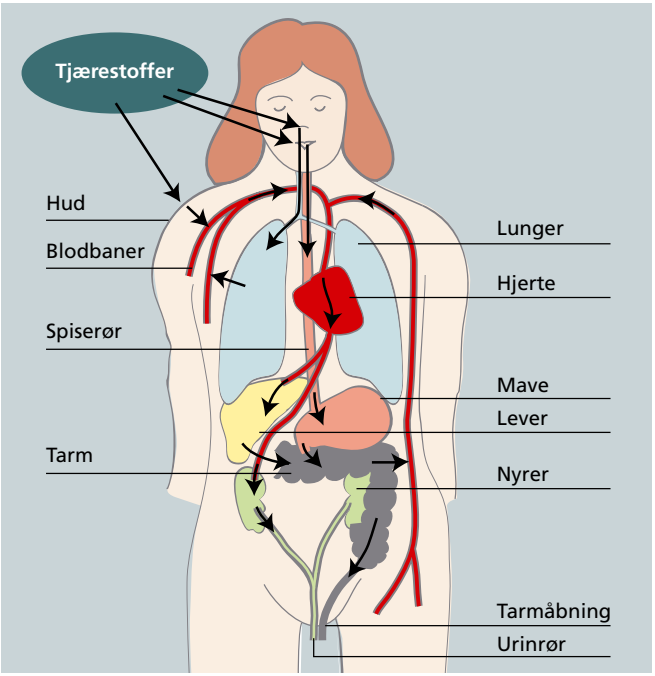
Dyreforsøg har vist, at tjærestoffer efter optagelse i kroppen hurtigt findes i næsten alle organer. De transporteres nemlig hurtigt rundt med blodet (se figur 4-2).

Den største koncentration findes i de dele af kroppen, der indeholder mest fedt, hvorfra de langsomt frigøres og nedbrydes som beskrevet nedenfor. Tjærestoffer kan overføres fra moderen til fosteret og kan også findes i modermælk.

... og hvordan slipper organismen af med dem igen?

Tjærestoffer omdannes (metaboliseres) i mennesker og de fleste dyr inden for få dage. Omdannelsesprodukterne er vandopløselige stoffer, der kan udskilles via urin og afføring. En undtagelse er som tidligere nævnt rejer og muslinger, som ikke kan omdanne tjærestoffer og derfor opkoncentrerer dem.

Omdannelsen er imidlertid ikke ensbetydende med, at stofferne automatisk uskadeliggøres. Under omdannelsen af nogle tjærestoffer dannes der nemlig mellemprodukter, som er skadelige for arveanlæggene og kræftfremkaldende (se boks 4). Faktisk er det mest på grund af disse mellemprodukter, at tjærestoffer er giftige.



Figur 4-2
Oversigt over tjærestoffernes optagelse i, transport i og udskillelse fra kroppen.

Hvad gør tjærestofferne ved helbredet?

Som nævnt er det tjærestoffernes virkninger på arveanlæggene (DNA), der anses for at være de mest alvorlige, idet de kan medføre kræft. Skader på arveanlæggene kan også nedsætte evnen til at få børn. Nogle tjærestoffer kan også virke hormonforstyrrende, og det kan også nedsætte evnen til at få børn.

Kræftfremkaldelse

Kun få af de mange tjærestoffer er undersøgt i dyreforsøg for evt. kræftfremkaldende virkning, og 14 af dem er vurderet som kræftfremkaldende i forsøgsdyrene – og derfor muligvis også i mennesker (se tabel 4-1).

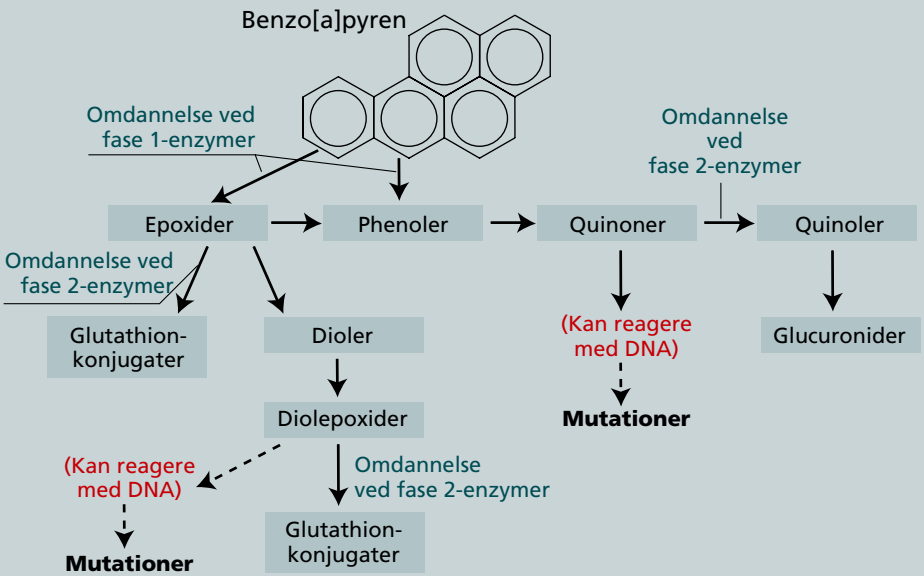
Der findes kun meget få undersøgelser (epidemiologiske studier), som viser, at tjærestoffer kan fremkalde kræft hos mennesker. En række undersøgelser, overvejende fra arbejdsmiljøet, viser, at indånding af tjærestofforurenet luft (fx røg fra kul, tagpap og cigaretter) kan forårsage lungekræft. Der er også observeret en sammenhæng mellem lungekræft blandt kinesiske kvinder og udsættelse for høje

Boks 4

Kroppen omdanner tjærestoffer til noget nyt

Tjærestoffer omdannes på forskellige måder i kroppens celler (se figur nederst). Langt den største del omdannes til phenoliske forbindelser ved hjælp af de såkaldte fase 1-enzymer. En mindre del omdannes dog af de samme enzymer til diolepoxider. Dette kunne anses som en fejltagelse fra naturens hånd, fordi diolepoxider er meget reaktive stoffer, som kan reagere med DNA og føre til mutationer og kræft. Det er specielt tjærestoffer, der har 4 eller flere ringe, og som har en struktur som fx benzo[a]pyren eller dibenzo[a,l]pyren, der kan omdannes til disse reaktive mellemprodukter af fase 1-enzymerne. Derudover omdannes nogle tjærestoffer til quinoner, som også kan reagere med DNA.

De phenoliske forbindelser og de reaktive mellemprodukter uskadeliggøres af fase 2-enzymer ved dannelse af uskadelige glucuronider eller glutathionkonjugater, som udskilles af kroppen i urin og afføring. "Balancen" mellem fase 1- og fase 2-enzymerne er derfor medbestemmende for, hvorvidt tjærestoffer skader arveanlæggene og fremkalder kræft eller ikke.



tjærestofkoncentrationer i indendørs luft pga. madlavning over åben ild, hvor der har været anvendt brunkul, som afgiver meget røg.

Flere undersøgelser tyder på, at personer, der i længere tid er udsat for produkter, hvori der findes tjærestoffer, fx olieprodukter, kan udvikle hudkræft. Allerede i 1700-tallet observerede en læge en sammenhæng mellem hudkræft i pungen hos skorstensfejere og deres kontakt med sod, som indeholder tjærestoffer. Epidemiologiske undersøgelser i jernstøberibranchen har vist en overdødelighed som følge af kræft, specielt lungekræft og blærekræft. Det er vist, at specielt grupper, der arbejder som formere, har en overdødelighed som følge af blærekræft.

I asfaltindustrien er der også foretaget flere epidemiologiske undersøgelser. For støbeasfaltarbejdere er der fundet en overdødelighed af kræft, specielt overdødelighed som følge af lungekræft, og en forhøjet hyppighed af hjernekræft og skrumpelever. Endvidere har epidemiologiske undersøgelser vist, at der i aluminiumsindustrien var en overhyppighed af lungekræft, og hos langtidsudsatte arbejdere også blærekræft.

Selvom tjærestofferne anses for at være den væsentligste årsag til kræft i disse undersøgelser, kan olieprodukter, sod, røg og asfalt dog også indeholde andre kræftfremkaldende stoffer. Undersøgelser har dog vist en klar sammenhæng mellem dannelsen af ondartede svulster og udsættelsen for varierende mængder tjærestoffer fra udstødningsgasser hos mus.

Der findes kun to mindre undesøgelser på mennesker, som har antydet en sammenhæng mellem tyktarms- og mavekræft og indtagelse af tjærestofforurenede føde- og drikkevarer. Da tjærestoffer (som det er blevet nævnt tidligere) næsten altid forekommer i blandinger, findes der ingen undersøgelser af mennesker, hvor personerne har været udsat for enkeltstoffer. Risikovurderinger af enkelte tjærestoffer vil derfor altid være baseret på dyreforsøg.

Benzo[a]pyren er det bedst undersøgte tjærestof. Det er undersøgt i forsøgsdyr ved indånding, via foderet, gennem huden og ved indsprøjtning under huden. Det er her fundet, at benzo[a]pyren har forårsaget udvikling af svulster i mave-tarmkanalen, leveren, lungerne og brystkirtlerne hos

mus og rotter. Det viste sig endvidere, at trækulstjære, som indeholder benzo[a]pyren sammen med andre kræftfremkaldende tjærestoffer, var 2-5 gange så giftig som benzo[a]pyren alene i lunger, lever og tyndtarm. Desuden ses i dyreforsøg ved hudkontakt med tjærestoffer både en såkaldt sensibilisering (udvikling af overfølsomhed) og dannelse af svulster, afhængig af sammensætningen af blandingerne.

Evnen til at få børn

Indtagelse af tjærestoffer kan formodentlig som nævnt også påvirke menneskers evne til at få børn. Igen er beviserne, når det gælder mennesker, af gode grunde kun indirekte, men i dyreforsøg har det vist sig, at nogle tjærestoffer kan give anledning til en nedsat evne til at formere sig. Således har forsøg vist, at mus, der fodres med høje doser af benzo[a]pyren, under deres graviditet har problemer med at få unger. I øvrigt ser det ud til, at denne nedsatte evne til at få unger også overføres til efterfølgende generationer.

Misdannelser

Endvidere så man hos ungerne andre virkninger som misdannelser og nedsat fødselsvægt, der blev tilskrevet tjærestofferne. Hvorvidt dette også vil gælde for mennesker kan ikke umiddelbart konkluderes, men det er nærliggende, at virkningerne i et vist omfang vil være de samme hos mennesker.

Figur 4-3

Man ved endnu kun fra epidemiologiske undersøgelser, om tjærestoffer påvirker mennesker.

Foto: Britta Munter.

Hvor giftige er tjærestofferne?

Som det fremgår af tabel 4-1 er ikke alle tjærestoffer lige farlige eller giftige. Dyreforsøg har vist, at det er tjærestoffer med 4 ringe og derover, der giver anledning til skader på arveanlæggene og er kræftfremkaldende. Der er imidlertid stor forskel på, hvor giftige eller skadelige de enkelte stoffer er, dvs. hvor meget der skal til af et givet stof, for at det fx i 1 ud 100 forsøgsdyr fremkalder svulster. Benzo[a]pyren er det bedst undersøgte og et af de mest giftige.

Men i praksis er værdier, der angiver enkelte tjærestoffers giftighed, ikke så brugbare. Der er derimod et stort behov for at kunne sætte tal på, hvor giftig en konkret forurening er, dvs. hvor giftig en blanding af tjærestoffer er. For at kunne vurdere den samlede sundhedsskadelige virkning af en tjærestofblanding er der blevet udviklet forskellige metoder. Én metode, som tidligere har været anvendt inden for miljøområdet, er at beregne de enkelte stoffers giftighed som en brøkdel af benzo[a]pyrens giftighed. Blandingens giftighed kan derefter beregnes ved at gange koncentrationen af de enkelte stoffer med deres giftighed i forhold til benzo[a]pyren og lægge bidraget fra de enkelte stoffer sammen. Resultatet udtrykkes i såkaldte benzo[a]pyren-ækvivalenter. Denne metode tager dog ikke højde for, at blandinger kan være mere eller mindre giftige end summen af enkeltstofferne, såkaldt synergistisk eller antagonistisk virkning. Nyere dyreforsøg med trækulstjære har også vist, at metoden ofte undervurderer risikoen ved tjærestofblandinger.

På den anden side har disse forsøg også vist, at benzo[a]pyren-indholdet er vejledende for den samlede giftighed af praktisk relevante blandinger. Et internationalt panel af forskere har derfor vurderet, at den samlede kræftfremkaldende virkning af tjærestoffer i fødevarer kan beregnes ved bare at gange benzo[a]pyren-koncentrationen med 10. Dette skyldes, at de blandinger, der er undersøgt, er højst 5 gange så giftige, som deres benzo[a]pyren-indhold alene. Ved at anvende en samlet sikkerhedsfaktor på 10 vil man sjældent undervurdere risikoen ved ikke-undersøgte blandinger. Samtidig vil risikovurderingen blive meget enklere.

Hvor meget kan mennesker tåle?

I princippet kan et enkelt molekyle af fx benzo[a]pyren forårsage skader på arveanlæg, hvilket efterfølgende muligvis også kan føre til kræft. Sandsynligheden formodes dog at være meget lille. Da det ikke er muligt at finde en ufarlig, mindste mængde af stoffer, som både beskadiger arveanlæg og er kræftfremkaldende, er det svært at fastsætte en egentlig grænseværdi. Der er altså ingen, der kan sige, hvor stor en mængde tjærestoffer, mennesker kan indtage uden at tage skade.

Men i vores samfund er der stort behov for grænseværdier. Forskerne har derfor brugt en del energi på alligevel at komme frem med grænseværdier for tjærestoffer. Også her er der blevet udviklet forskellige metoder. Indtil for nylig har der fx ikke været fastsat grænseværdier for tjærestoffer i fødevarer. Man har i stedet anbefalet, at koncentrationen skulle være så lav som man med rimelighed kunne opnå. Dette princip har dog givet myndighederne begrænset mulighed for at agere og prioritere.

Et andet princip har været at beregne en livstidsrisiko, den såkaldte "virtually safe dose", og på baggrund heraf sætte en acceptabel grænse. Ved sådanne beregninger er livstidsrisikoen ved fx benzo[a]pyren blevet beregnet til 0,1 nanogram pr. kg legemsvægt pr. dag. Dette vil sige, at hvis 1 million mennesker hver dag indtager denne dosis gennem maden, så længe de lever, vil en af dem få kræft pga. de spiste tjærestoffer.

Det er en politisk beslutning at fastsætte, hvilken livstidsrisiko man finder acceptabel. Inden for miljøområdet har man ofte accepteret en risiko på et ekstra kræfttilfælde pr. million, mens man for de fødevarer, hvor man har fundet meget høje koncentrationer af tjærestoffer, ofte har accepteret en 10 gange højere risiko. Princippet er fx blevet anvendt til at vurdere, om planteolier og muslinger skulle trækkes tilbage fra butikkerne.

For at kunne beregne livstidsrisikoen skal forskerne regne tilbage fra de meget høje koncentrationer, der anvendes i dyreforsøg for at fremkalde kræft i mindst 5-10 % af dyrene, til de meget lavere koncentrationer, mennesker er

udsat for. Der er naturligvis stor usikkerhed forbundet med sådanne beregninger, og forskellige forskere er derfor kommet frem til forskellige værdier. Forskerne er dog enige om, at alle beregninger sætter risikoen for højt. Derfor har myndigheder og forskere over hele verden prøvet at udvikle sundhedsbaserede grænseværdier, som er både videnskabeligt underbyggede, sundhedsmæssigt forsvarlige og samfundsmæssigt hensigtsmæssige. Man har bl.a. drøftet, hvor stor en mængde tjærestoffer, man allerede indtager med mad, hvor lille en procentdel af tjærestofferne fra fødevarer og jord, der optages i kroppen (men det kan man endnu ikke måle; se boksen nedenfor om tilgængelighed af tjærestoffer i jord og sediment) og om der ikke alligevel findes en tærskelværdi for den kræftfremkaldende virkning.

Detaljerne i denne debat er for vidtgående for denne bog. Det foreløbige resultatet af debatten, som i 2005 kom frem på to møder indkaldt af Verdenssundhedsorganisa-

Boks 5

Kan man måle tjærestoffers tilgængelighed?

Høje koncentrationer af tjærestoffer udgør ikke nødvendigvis en høj risiko for vores sundhed – risikoen afhænger nemlig også af, hvor tilgængelige disse stoffer er. Et godt eksempel er det høje indhold af tjærestoffer i almindelig asfalt. Her er stofferne kapslet ind i asfaltmaterialet, og kun en lille del bliver løbende frigjort til miljøet. Et andet eksempel er diffust forurenet byjord, hvor en væsentlig del af tjærestofferne kan være så hårdt bundet til sodpartikler, at de ikke bliver frigivet. Så længe de ikke frigives, udgør de heller ikke en fare. Hvis man altså kun ser på det totale indhold af tjærestoffer i en sådan jord, vil man muligvis overvurdere dens farlighed.

Det er altså vigtigt at finde ud af, hvor meget af tjærestofferne, der er bundet, og hvor kraftigt de er bundet? Man må også finde ud af, om tjærestofferne alligevel kan frigives over længere tid? Hvad sker der, hvis et barn spiser forurenet jord, eller sætter sig på en kreosotbehandlet jernbanesvelle? Det er altså vigtigt at vide, om vi kan måle, hvor stor en del af tjærestofferne, der er tilgængelige, og hvor meget der er bundet.

Sådanne spørgsmål danner baggrund for den analytiske metodeudvikling, som forskere for tiden beskæftiger sig med. Der sigtes efter at udvikle enkle, analytiske metoder til at måle tjærestoffernes tilgængelighed, og dette kræver veldefinerede mål for tilgængelighed. Ét mål er mængden af tjærestoffer, som kan frigives, og et andet er stoffernes såkaldte kemiske aktivitet, der er den styrende faktor for mange miljøkemiske processer.

Kemiske aktivitet kan måles ved at stikke en tynd glasfiber med et endnu tyndere silikonelag ned i en prøve (se billede 1), på samme måde som man stikker et termometer ned i jorden for at

tionen (WHO) og den Europæiske Fødevaresikkerheds Autoritet (EFSA), er en anbefaling om helt nye metoder til fastsættelse af acceptable tjærestofkoncentrationer i fødevarer. Hvis en myndighed vælger at følge anbefalingen, kan der fastsættes en vejledende dosis på 10 nanogram benzo[a]pyren pr. kg legemsvægt pr. dag som markør for de kræftfremkaldende tjærestoffer.

Danmark valgte dog at anvende en tilsvarende anbefaling af de australske myndigheder, som fører til en vejledende dosis på 8 nanogram benzo[a]pyren pr. kg legemsvægt pr. dag. De forskellige værdier skyldes, at metoden indebærer brug af sikkerhedsfaktorer, som eksperterne endnu ikke er enige om. Valget af sikkerhedsfaktorer er i den sidste ende et politisk spørgsmål. På basis af den vejledende dosis kan man bl.a. beregne grænseværdier for tjærestoffer i jord (kapitel 6).

måle dens temperatur. Efter et stykke tid trækker man glasfiberen ud og analyserer den ved hjælp af gaskromatografi (se billede 2). I fremtiden vil man med sådanne metoder måle tjærestoffernes kemiske aktivitet i jord og dermed få et mål for, hvor "farlig" jorden er for mennesker.

1. Glasfiber med mikrometer-tyndt silikonelag stikkes direkte ned i jord eller havbund for at måle, hvor tilgængelige tjærestofferne er.
Foto: Ulrich Karlson.

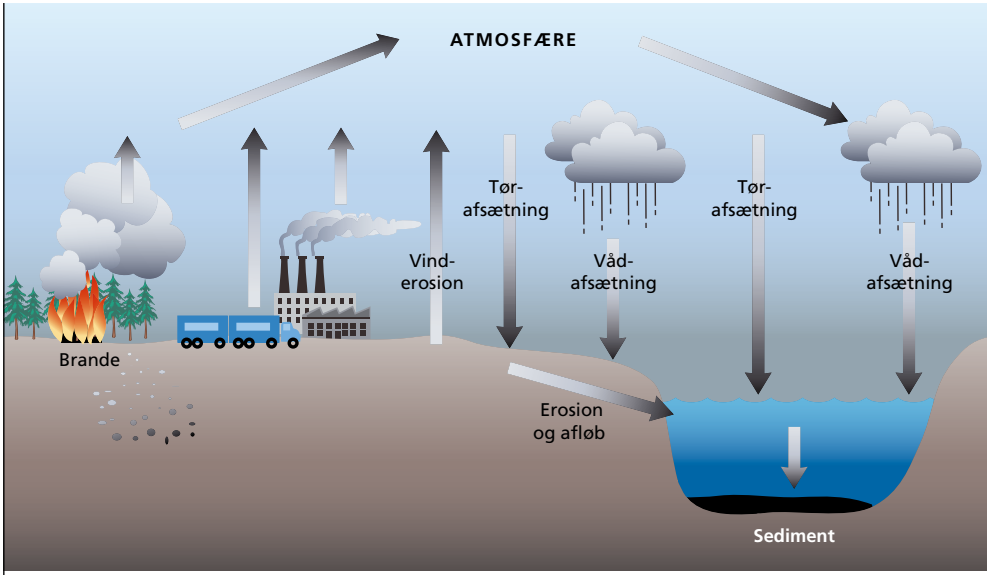
2. Efter at glasfiberen er blevet trukket ud af jorden, anbringes den i en gaskromatograf for at bestemme mængden af de tilgængelige tjærestoffer.
Foto: Philipp Mayer.

5

Hvad sker der med tjærestof-forureninger?

Dette kapitel handler om, hvad der sker med de tjærestoffer, som slipper ud i miljøet. I den forbindelse beskrives betydningen af den overvågning, miljømyndighederne foretager. Heldigvis er det ikke alle tjærestofferne, der blive ophobet i miljøet. Nogle bliver nedbrudt, andre flytter sig, fx fra luften til jorden. Af hensyn til miljøbeskyttelse er det vigtigt at se på detaljerne.

Foto: Ole Malling.



Figur 5-1
Tjærestoffernes kredsløb.

Indledning

Efter dannelsen og udslippet til miljøet bliver tjærestofferne udsat for såvel kemiske omdannelser som transportprocesser. Figur 5-1 giver et samlet overblik over dem. Et givent tjærestofs konkrete skæbne afhænger bl.a. af, om det kommer ud i luftmiljøet, vandmiljøet eller jordmiljøet.

Luftmiljø

Kemiske reaktioner

Tjærestoffer nedbrydes i atmosfæren ved reaktion med Solens stråler (fotonedbrydning) eller andre stoffer i luften (oxidation). Det er fælles for de to nedbrydningstyper, at de er med til at omdanne tjærestofferne og dermed fjerne dem fra atmosfæren. De mest reaktive tjærestoffer, fx acenaphtylen, har en levetid i atmosfæren på nogle få timer, mens de mere stabile, fx chrysen, ofte er bundet til partikler og kan befinde sig i atmosfæren i dagevis.

Oxiderede tjærestoffer er dog ikke automatisk mindre giftige end de oprindelige stoffer. Et eksempel er det relativt uskadelige fluoren, der kan oxideres til nitro-fluoren,

som er 1.000 gange så mutagent som fluoren selv. Reaktionsprodukterne kan, uanset giftighed, også nedbrydes i luften. Nitro-tjærestoffer fjernes fx mest effektivt fra luften ved fotonedbrydning.

Partikler beskytter tjærestoffer

De forskellige tjærestoffers fysiske og kemiske egenskaber, især deres damptryk (figur 2-1, side 17), er bestemmende for, om de befinde sig i atmosfæren som gas eller på en partikel. Som en tommelfingerregel vil stoffer med mere end fire ringe hovedsageligt befinde sig på partikler, mens de mindre især vil befinde sig i gasform.

Partiklerne er oftest sodpartikler fra forbrænding, men i mindre omfang også støv og pollen. Hvor sodpartikler og tjærestoffer dannes samtidig, fx i dieselmotorer, kondenserer tjærestofferne på sodpartiklerne under nedkølingen gennem udstødningsrøret. Tjærestoffer fra trafikken findes derfor mest bundet på sodpartikler.

Om stofferne findes som frie, gasformige molekyler, eller om de er bundet til partikler, har stor betydning for deres levetid. Stoffer på gasform kan frit reagere og nedbrydes derfor hurtigt, mens stoffer, der er bundet til partikler, har sværere ved at reagere med atmosfærens reaktive gasser, og Solens stråler har svært ved at ramme dem. Nedbrydning af tjærestoffer på partikler, specielt mørke partikler, sker derfor langsomt.

Naturlig luftrensning

Fjernelse af partikelbundne tjærestoffer fra atmosfæren sker hovedsageligt ved, at partiklerne bliver afsat på jordoverfladen. Det kan enten ske ved, at flere af dem støder sammen og bliver så store, at de ikke kan holde sig svævende i luften. Det kan også ske ved, at regn eller sne vasker dem ned. Den gode sigtbarhed, som vi oplever efter regn- og snevejr, hænger netop sammen med, at partiklerne er fjernet, vasket ud, fra luften.

En amerikansk undersøgelse har vist, at 10 % af tjærestofferne i luften over det nordøstlige USA blev afsat direkte på jorden, 40 % blev afsat på vegetationen og endte om efteråret på jorden i forbindelse med bladenes fald, og de sidste 50 % blev fotonedbrudt eller transporteret med luftstrøm-

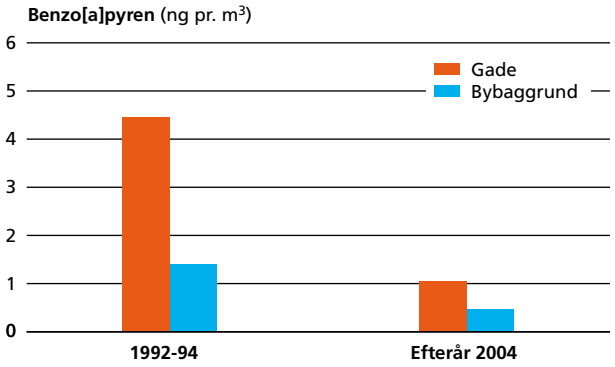
mene ud over havet eller de store søer. Tjærestoffer fra luften bidrager dermed til diffus forurening af overfladejord, vandløb, søer og havet.

I Danmark var den samlede årlige luftudledning af benzo[a]pyren i 2003 på 2.969 kg (se figur 3-5, side 28). Teoretisk set kunne denne mængde forurene 5 millioner tons jord pr. år, hvis halvdelen ender i jorden ligesom i USA, og hvis man sætter kriteriet for, hvornår jord er forurenet, til 0,3 mg pr. kg (se kapitel 6). Hvis det nedfaldne benzo[a]pyren kun blander sig med den øverste centimeter af jorden, vil dette svare til omkring 300 kvadratkilometer forurenet jordoverflade om året. Så galt går det dog ikke, for forureningen spredes over et meget større areal, og Danmark har forholdsvis mere vandoverflade end USA. Dertil kommer, at landmændene pløjer jorden og fordeler forureningen i et tykkere jordlag.

Overvågningsresultater

I Danmark er man først i de senere år begyndt at holde øje med udeluftens indhold af tjærestoffer systematisk. Dette sker bl.a. gennem overvågningsprogrammet NOVANA, hvor indholdet af tjærestoffer i regnvand måles forskellige steder i landet. Fremover vil man også holde øje med benzo[a]pyren i luft. Da benzo[a]pyren er et fast stof ved normale, udendørs temperaturer, findes det bundet til partikler i luften.

Figur 5-2
Målestation til overvågning af luftforurening.
Foto: Bjarne Jensen.



Figur 5-3
Sammenligning af nye målinger (foretaget i dagtimerne i efteråret 2004) af benzo[a]pyren i luftbårne partikler i København med døgnmålinger fra lignende steder ca. 10 år tidligere. Værdierne angiver koncentrationen af benzo[a]pyren pr. m³ luft. Målemetoden er baseret på, at partiklerne i luften opsamles ved at suge luften gennem et filter, som derefter bliver kemisk analyseret. Målinger på gaden viser, hvad man er udsat for, når man færdes på en meget trafikeret gade. Den koncentration, man er udsat for andre steder i byen, betegnes som bybaggrund og bliver fx målt i en park væk fra trafikken eller på toppen af en høj bygning.

For at undersøge, om luftens forurening med tjærestoffer er blevet mindre, må man sammenligne målinger fra flere år. Desværre har man i Danmark først fra 2007 et landsdækkende program for tjærestoffer i luft, hvor man regelmæssigt måler under ensartede betingelser. Forskerne har dog i mange år gennemført enkelte målinger på udvalgte steder i landet.

En sammenligning af sådanne målinger fra 2004 og en måleserie fra 1992 til 1994 er vist i figur 5-3. Alle målingerne er foretaget om vinteren på den samme gade. Bybaggrundsluft finder man i taghøjde, i parker og bag bygninger i byen. Figuren viser, at der er sket et betydeligt fald i luftens indhold af benzo[a]pyren. Luften på en stærkt trafikeret gade i dag indeholder altså tjærestoffer på et niveau, som svarer til bybaggrund for bare ti år siden. Dette skyldes sandsynligvis forbedringer i diesemotorer, da netop disse er en vigtig kilde til tjærestoffer på gadeniveau. I den samme periode er luftens indhold af partikler også faldet betydeligt de fleste steder.

Hvorfor er partikler i luften farlige?

I medierne hører man meget om, at de partikler i luften, der stammer fra forbrændingsprocesser, udgør en stor sundhedsrisiko. Men hvorfor er de så farlige? Forskerne er endnu ikke klar over, hvad der er værst ved dem – deres ringe størrelse i sig selv eller deres indhold af fx tjærestoffer.

Det er velkendt, at man kan få lungekræft, hvis man udsættes for benzo[a]pyren. Desuden har forskerne set, at faren for at udvikle lungekræft i forsøgsdyr øges, hvis dy-

Boks 6

Sammenhængen mellem tjærestoffer og partikler i luften

Luftforurening med partikler er et vanskeligt og sammensat luftforureningsproblem, fordi partiklerne dannes ved mange forskellige processer (såsom forbrænding, mekaniske påvirkninger og processer i atmosfæren), og fordi partiklerne har forskellige størrelser og forskellige kemiske og fysiske egenskaber.

Partiklerne opdeles typisk efter deres størrelse i grove, fine, ultrafine og nanopartikler (se figuren nedenfor).

Almindeligvis anvendes begreberne PM_{10}, der er massen (vægten) af alle partikler op til 10 µm i diameter, samt $PM_{2,5}$, der er massen af alle partikler op til 2,5 µm osv. Ofte ses også betegnelsen TSP (Total Suspended Particulates), som omfatter alle partikler under ca. 40 µm.

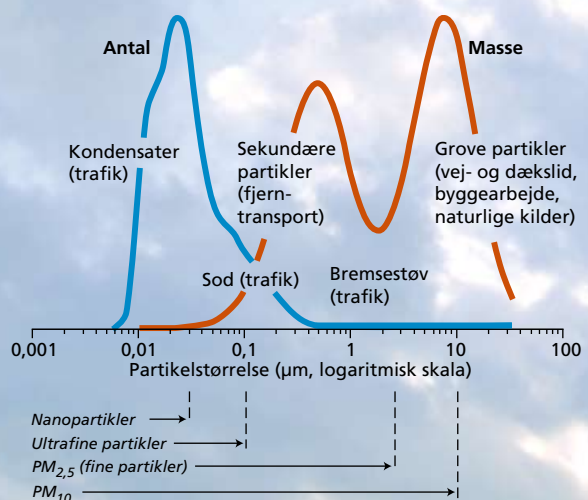
Grove og fine partikler opgøres primært efter vægt, mens især ultrafine partikler opgøres efter deres antal, da de vægtmæssigt udgør forsvindende lidt i forhold til de grove partikler.

Ultrafine partikler og nanopartikler dannes ved forbrændingsprocesser. Disse partikler kan være væskedråber af brændstof eller olie eller faste sodpartikler. I byer er især dieselmotorer de væsentligste producenter af ultrafine partikler. Ultrafine sodpartikler i størrelse 0,08-0,1 µm kan trænge dybt ned i lungerne. Tjærestoffer er oftest bundet til sodpartikler.

De fine partikler er et resultat af en række kemiske og fysiske omdannelser, dvs. de typisk har længere opholdstid i atmosfæren end de ultrafine partikler. De fine partikler kan holde sig svævende i flere uger og derfor blive transporteret over adskillige tusinde kilometer. Fine partikler dannes især i forbrændingsprocesser, der udsender gasserne svovldioxid og kvælstofoxider, som efterfølgende omdannes til fine partikler under langtransport fra det europæiske kontinent til Danmark.

Grove, luftbårne partikler dannes typisk ved forskellige mekaniske processer, fx vindens eller trafikkens ophvirvling af jord- og vejstøv. Også havsprøjt (som tørrer ud til saltpartikler), vulkaner, vegetation (pollen), dæk- og kørebaneslid, byggeri og industrielle aktiviteter danner grove partikler. Disse partikler har en væsentligt kortere levetid, idet de pga. deres vægt kun holder sig svævende i kortere tid. Desuden indgår de kun i begrænset omfang i kemiske og fysiske omdannelser.

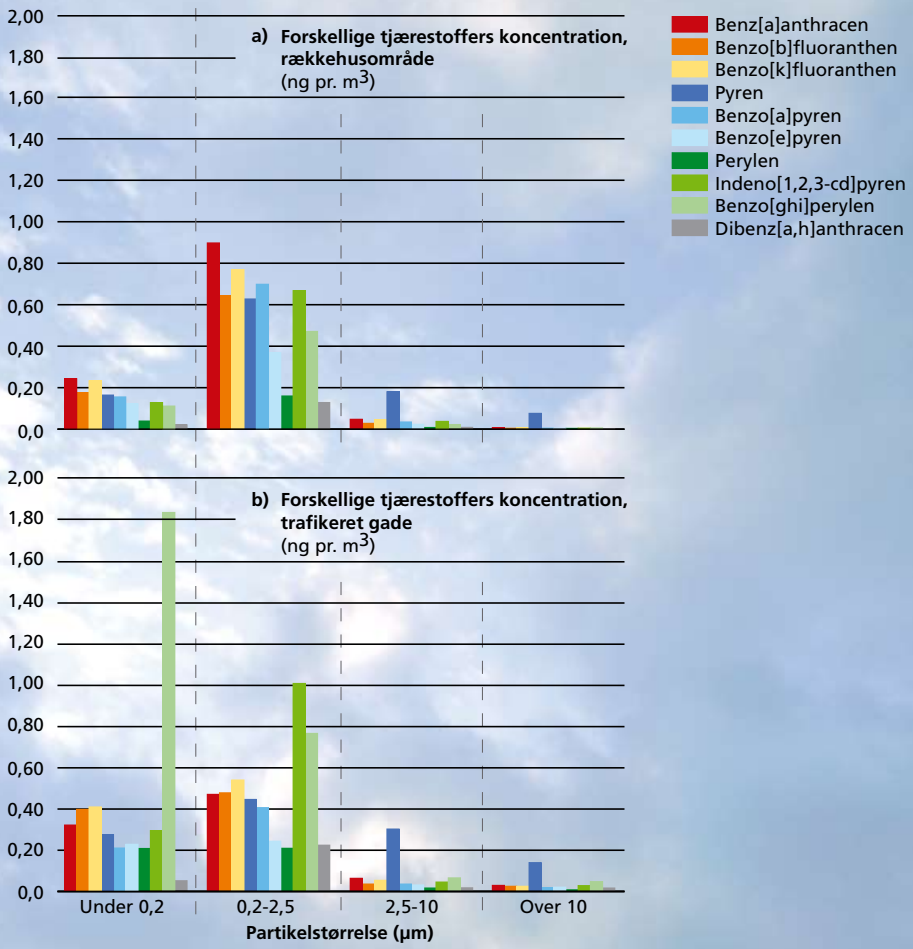
Sammenhængen mellem tjærestoffer og partikler er også blevet undersøgt for brændeovnes vedkommende. Undersøgelsen blev foretaget ved at opsamle røggasprøver direkte fra skorstenen i 6 huse.



Skematisk tegning af størrelsesfordelingen af partikler i luften i en trafikeret gade. Den vandrette akse er partikeldiameteren i mikrometer (µm). Den røde kurve er opgjort som masse, og den blå kurve er den samme fordeling af partiklerne opgjort i antal. Forskellen mellem de to kurver kan forklares ved, at en partikel på 10 µm vejer lige så meget som 1 milliard partikler på 0,01 µm. De i kapitel 6 omtalte partikler fra dieseludstødning findes i denne figur under betegnelsen "Sod (trafik)".

Kilde: Luftforurening med partikler i Danmark, Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr. 1021, 2005.

Resultaterne viste, at pr. kilo træ forurenede de mest forurenende brændeovne 26 gange mere med partikler og 18 gange mere med tjærestoffer end de mindst forurenende ovne. Men der var store forskelle fra ovn til ovn.



Eksempler på koncentrationen af forskellige tjærestoffer bundet til partikler med forskellig størrelse. a) Opsamlet i et rækkehusområde med mange brændeovne og b) på en trafikeret gade med meget tung trafik. Måleresultater er angivet som koncentrationen af enkelte tjærestoffer pr. kubikmeter luft. Figuren viser, at tjærestoffer oftere sidder på mindre partikler, når de kommer fra trafik, end når de kommer fra brænderøg. En sammenligning mellem de to kilder illustrerer også, at tjærestoffernes sammensætning er forskellig. Endvidere kan man se, at den samlede mængde tjærestoffer, der er bundet til partiklerne med størrelse 0,2-2,5 µm stort set er den samme i de to figurer, men da prøverne ikke er opsamlet i samme periode, kan niveauerne ikke sammenlignes direkte.

rene samtidig udsættes for cigaretrøg og asbest. Meget tyder på, at luftbårne partikler også forhøjer faren. Forskerne formoder, at dette skyldes et uheldigt samspil mellem kroppens reaktioner på partiklerne og optagelse af tjærestoffer. Dette vil betyde, at partikler fra forbrændningsprocesser (motorer, brændeovne) er særligt farlige, fordi de er så små og samtidig indeholder tjærestoffer.

Partikler i luften kan også forøge risikoen for hjerte-karsygdomme. Det er dog ikke belyst, om partiklernes indhold af tjærestoffer betyder noget i denne forbindelse.

Jordmiljø

Når man diskuterer forurening af jord med tjærestoffer, må man skelne mellem to typer: punktkildeforurening og diffus forurening. Traditionelt har man opfattet jordforurening som punktkildeforurening. Det kunne for eksempel dreje sig om en gasværksgrund. Ved en sådan forurening er jordens indhold af tjærestoffer meget højt, til gengæld er forureningen begrænset til et bestemt sted, nemlig gasværksgrunden.

Som beskrevet i kapitel 3 udledes der imidlertid tjærestoffer fra mange kilder. Som en del af den almindelige aktivitet i byer kan jorden i årenes løb være tilført tjære, koks, olie eller bygningsrester som tjæret træ og tagpap. Dertil kommer, at jorden kan være blevet forurenet gennem luften, hvorfra forurenende stoffer fra afbrænding af træ, olie, kul og brande, og fra udstødning af køretøjer, kraftværker og forbrændingsanlæg er blevet afsat på jordoverfladen. Disse typer forurening kaldes diffus forurening, fordi man ikke kan identificere en egentlig punktkilde, og fordi den ikke dækker et klart afgrænset areal. Derimod er der tale om forureninger med et relativt lavt indhold af tjærestoffer, som oftest kun findes i det øverste jordlag, og forureninger, der dækker meget store arealer.

I jorden foregår der hele tiden en mikrobiologisk nedbrydning af tjærestofferne, idet mange jordbakterier kan leve af at nedbryde dem. Nyere forskning har vist, at der kun skal meget små mængder tjærestoffer til, før jordens bakteriesamfund tilpasser sig til at nedbryde disse stoffer. Allerede i jord, der kun indeholder 0,02 milligram benzo[a]pyren pr. kg, går bakterierne i gang med at nedbryde dette.

Figur 5-4
Markafbrænding er en af de processer, hvorved tjærestoffer dannes.
Foto: Jægersborg Skovdistrikt.

Faktisk har det vist sig svært at finde danske jordprøver, hvor bakterierne ikke er tilpasset tjærenedbrydning. Det tillader den omvendte konklusion, at så godt som alt dansk overfladejord, også på landet, indeholder små mængder tjærestoffer, langt under grænseværdien og helt uskadeligt, men de er der. Det er et resultat af århundreders afbrænding af træ, kul og olie, afbrænding af halm på markerne samt naturligt nedfald fra skovbrande og vulkanudbrud.

Man kan spørge, hvorfor der stadigvæk er tjærestoffer i jorden, når der er masser af bakterier, der kan nedbryde tjærestoffer i den samme jord? Da den diffuse byforurening har været der i op til 100 år, ville det være nærliggende at tro, at bakterierne har haft god tid til at nedbryde den. Nyere

Tabel 5-1
Indhold af udvalgte tjærestoffer i jordprøver med varierende forureningsgrad, vist i mg pr. kg jord.

	Baggrunds-koncentration Nordnorge	Baggrunds-koncentration Hostrup Strand	Diffus forurening Vejenbrød, motorvejsrabat	Punkt-forurening Frederiksberg Gasværk
Phenanthren	0,06	0,11	1,0	8
Fluoranthen	0,07	0,06	1,9	15
Pyren	0,04	0,05	1,7	16
Benzo[a]pyren	0,003	0,02	1,0	6
Indeno[1,2,3-cd]pyren	0,03	0,01	0,9	–

forsøg har imidlertid vist, at når først den diffuse forurening er nede i jorden, foregår nedbrydningen af de tunge tjærestoffer uhyre langsomt. Det skyldes bl.a., at de færreste jordbakterier har evnen til at nedbryde tjærestoffer med mere end tre ringe. Men selv når bakterierne får optimale betingelser i laboratoriet, omsætter de kun et par procent.

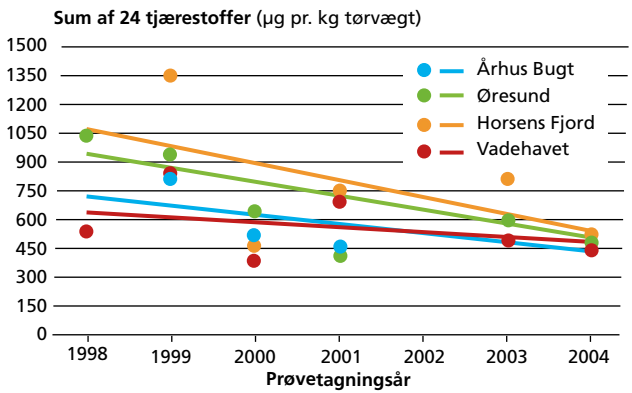
Her kommer vi til et helt centralt begreb: biotilgængelighed. Ikke alle tjærestoffer, der findes i jorden, er tilgængelige for bakterierne. Det meste er bundet så fast til jordens partikler, at det ikke kan omsættes af jordens bakterier. Mere om tilgængelighed kan læses i boks 5, side 48.

Vandmiljø

Tjærestoffer spredes til vandmiljøet ved, at partikler og sod med tjærestofferne bundet til sig falder ned fra luften, ved afstrømning af overfladevand og tilledning af spildevand samt ved direkte spild af olieprodukter.

Fra vandmiljøet kan tjærestoffer fordampe og dermed blive sendt tilbage til luften. En anden del bliver optaget af de vandlevende organismer, mens hovedparten synker til bunds og ender i sedimentet. I sedimentet bliver en del optaget af de organismer, der lever på bunden, mens en del igen frigives og gøres tilgængeligt for de dyr, der lever i vandet. På denne måde kan tjærestofferne til sidst ende i mennesker, fx via fisk.

I Danmark overvåger myndighederne ligesom i mange andre lande miljøet med det formål at holde øje med indholdet af miljøfremmede stoffer, herunder tjærestoffer, i vand-



Figur 5-5
Udviklingen i tjærestofkoncentrationen i blåmuslinger ved forskellige danske målestationer for årene 1998-2004. Tallene viser summen af 24 forskellige tjærestoffer. De fuldt optrukne linjer viser tendensen for udviklingen over tid. Muslingerne afspejler vandmiljøets belastning med tjærestoffer. Det er nemmere og mere meningsfuld at analysere muslinger end at analysere vandet.

løb, åer, søer, havne og fjorde. Som et mål for graden af forureningen med tjærestoffer anvendes ofte stoffernes koncentration i muslinger. Da muslinger som nævnt tidligere kun i ringe grad nedbryder og udskiller tjærestoffer, sker der en opkoncentrering i deres væv, og da de samtidig er stationære, er de velegnede som "sladrehanke", såkaldte *biomonitorer*.

I Danmark har de nationale programmer, først NOVA og siden NOVANA, i de seneste knap 10 år stået for overvågning af vandmiljøet. Resultaterne fra disse programmer viser, at tjærestoffer, i større eller mindre mængder, findes overalt i vores vandmiljø. De højeste koncentrationer findes i og omkring de større havne og i et antal fjorde, hvortil der er udløb fra byer og industri. Figur 5-5 viser eksempler på koncentrationer og tendenser i den tidsmæssige udvikling af indholdet af tjærestoffer i muslinger.

Figur 5-6
Belastningen af havmiljøet rundt om Danmark har været faldende siden 1998.
Foto: Ole Malling.

6 Samfundets håndtering af tjærestoffer

Selvom man ikke bare kan forbyde tjærestoffer, er der mange ting, den enkelte såvel som samfundet kan gøre, og er i færd med at gøre, for at begrænse skader fra tjærestoffer på mennesker og miljø. Disse forskellige tiltag beskrives nærmere i dette kapitel, der også forklarer begreber som kvalitetskriterium og partikelfilter.

Foto: Jørn Bo Larsen.

Indledning

For at miljømyndighederne kan sætte ind over for tjærestofforureninger, er der opstillet såkaldte kvalitetskriterier for disse stoffer i jord, luft og vand. Kvalitetskriterier angiver, hvilke stofkoncentrationer man bør være under for at undgå uønskede virkninger på mennesker og miljø. Således angiver kvalitetskriteriet for jord den højeste værdi, hvor den fri og mest følsomme anvendelse af jorden stadig er sundhedsmæssigt forsvarlig.

Tilsvarende gælder for luft og drikkevand. Kvalitetskriteriet for grundvand skal sikre, at grundvandet kan drikkes nu og i fremtiden. I tabel 6-1 er de i 2005 gældende kvalitetskriterier anført.

Grænseværdier i jord

Hvis koncentrationen af tjærestoffer overskrider jordkvalitetskriterierne, skal jorden erklæres for forurenet. Det betyder, at den ikke må anvendes til følsomme formål, uden at kontakten til jorden bliver forhindret. Fx skal legepladser have et lag ren jord eller en tæt græsplæne, og sandkasser en fast bund. Endvidere må forurenet jord kun flyttes uden for ejendommens grænser, hvis der forud er sket anmeldelse heraf til kommunen.

For at komplicere tingene arbejder man også med et såkaldt afskæringskriterium, der er 10 gange højere end jordkvalitetskriteriet. Afskæringskriteriet hedder sådan, fordi

Tabel 6-1
Danske kvalitetskriterier for jord og vand.

Kilde: Miljøstyrelsen, Miljøprojekt Nr. 975 (2004).

Medie	Stof	Kvalitetskriterium[d]
Jord	Sum tjærestoffer[a]	1,5 mg pr. kg (4,0 mg pr. kg)
	Benzo[a]pyren	0,1 mg pr. kg (0,3 mg pr. kg)
	Dibenz[a,h]anthracen	0,1 mg pr. kg (0,3 mg pr. kg)
Grundvand	Tjærestoffer[b]	0,2 µg pr. L
Drikkevand	Fluoranthen	0,1 µg pr. L
	Benzo[a]pyren	0,01 µg pr. L
	Tjærestoffer[c]	0,1 µg pr. L

[a] Sum af benzo[a]pyren, benzo(b+j+k)fluoranthen, dibenz[a,h]anthracen, fluoranthen og indeno[1,2,3-cd]pyren.

[b] Sum af benzo[a]pyren, benzo(b+k)fluoranthen, fluoranthen, indeno[1,2,3-cd]pyren og benzo[ghi]fluoranthen.

[c] Sum af benzo[b]fluoranthen, benzo[k]fluoranthen, benzo[ghi]perylen og indeno[1,2,3-cd]pyren.

[d] Tal i parantes giver de fra den 22. december 2005 gældende kvalitetskriterier for jord.

mennesker skal afskæres fra kontakt med jorden, hvis tjærestofindholdet overstiger denne værdi. Afskæringskriteriet kaldes nogle steder også for indsatskriteriet, dvs. der skal aktivt gøres en indsats for at fjerne forureningen.

Tre jordkategorier

Man kan altså inddele jord i tre kategorier: ikke-forurenet, let forurenet og forurenet. I ikke-forurenet jord er indholdet af tjærestoffer under jordkvalitetskriteriet. Jorden udgør ikke et problem, og der er derfor ingen begrænsninger for dens anvendelse. Hvis tjærestofindholdet ligger mellem jordkvalitetskriteriet og afskæringskriteriet, betragtes jorden som let forurenet og ligger i det såkaldte rådgivningsinterval. Der skal ikke umiddelbart gøres noget, men beboerne rådgives om, hvordan man undgår at blive udsat for tjærestofferne. Hvis indholdet derimod ligger over afskæringskriteriet, klassificeres jorden som så forurenet, at der skal foretages en oprensning. For det meste betyder det, at jorden graves op og køres til rensning.

Figur 6-1
Forurenet jord renses ved tilsætning af bakterier og kunstgødning.
Foto: Ulrich Karlson.

Tabel 6-2
Indhold af tjærestoffer i jordprøver fra to københavnske børneinstitutioner i 2003, vist i milligram pr. kg jord. Betegnelsen "sum af tjærestoffer" er defineret i fodnote a i tabel 6-1. Gennemsnitsværdierne er beregnet ud fra flere jordprøver, der blev taget fordelt over arealet fra de øverste 20 cm af jorden. Man er interesseret i gennemsnitsværdierne for at kunne vurdere, om jordkvalitetskriterierne (tabel 6-1) er overskredet. Det ses, at de i 2003 i jorden fra begge institutioner blev overskredet for både benzo[a]pyrens og summen af tjærestoffers vedkommende. Med de nye jordkvalitetskriterier vil jorden fra begge institutioner ligge over kriteriet for benzo[a]pyren og vil derfor stadig ikke kunne anvendes som legeplads for børn. Maksimumsværdierne er ikke meget højere end gennemsnitsværdierne, hvilket er typisk for diffus forurening. Jorden på de to institutioner bestod af såkaldt byfyld, da analyserne blev gennemført.

Kilde: Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr. 845, 2003.

Stof	Store Møllevej	Stolemagerstien
Benzo[a]pyren, gennemsnit	0,51	0,39
Benzo[a]pyren, maksimum	1,16	0,62
Sum af tjærestoffer, gennemsnit	2,92	2,18
Sum af tjærestoffer, maksimum	5,95	3.49

Embedslægens gennemgang af 6.700 jordprøver fra Københavns og Frederiksberg Kommune fra 1991-2001 viste, at jorden i områder uden mistanke om punktforurening gennemsnitligt indeholder 1,6 mg benzo[a]pyren pr. kg. Det vil sige, at hovedparten af de to kommuners borgere bor og færdes på forurenet jord. Efter de indtil 2005 gældende kriterier, lå 54 procent af prøverne i rådgivningsintervallet mellem 0,1 og 1 mg benzo[a]pyren pr. kg, og 21 procent lå over afskæringskriteriet på 1 mg pr. kg. Men det er jo hverken fornuftigt eller i praksis muligt at grave 21 procent af København væk.

Nu hæver man grænseværdierne – hvad betyder det?

I december 2005 har Miljøstyrelsen hævet de grænseværdier for tjærestofforurenet jord, som er vist i tabel 6-1, med en faktor på omkring 3. Det betyder fx, at det daværende jordkvalitetskriterium på 0,1 milligram og afskæringskriteriet på 1 milligram benzo[a]pyren pr. kg er blevet hævet til henholdsvis 0,3 og 3 milligram pr. kg. Efter de nye kriterier vil kun omkring 30 procent af prøverne fra Københavns og Frederiksberg Kommune fra 1991-2001 ligge i rådgivningsintervallet og kun omkring 8 procent vil ligge over afskæringskriteriet. En del jord, der tidligere var vurderet som forurenet, har man altså "gjort" til ren jord ved at hæve kriterierne.

Ændringerne skete, efter at myndighederne havde konsulteret forskerne om, hvordan risikovurderingen af tjærestoffer i fødevarer (kapitel 4) kunne oversættes til grænseværdier for jord. Man beregnede først, hvor forurenet jord må være, uden at et barn på 13 kg, der hver dag spiser 0,2 g jord, overstiger den "virtually safe dose" på 0,1 nanogram benzo[a]pyren pr. kg legemsvægt pr. dag, som er baseret på

den ældre riskovurderingsmetode. Det forskrækkende resultat af regnestykket var, at grænseværdien for jord burde ligge ved 0,013 mg benzo[a]pyren pr. kg. Det vil ikke give mening, fordi så godt som al jord i Danmark ligger over denne koncentration. Desuden er forskerne enige om, at den ældre riskovurderingsmetode sætter risikoen ved tjærestoffer alt for højt.

Derfor valgte Miljøstyrelsen ved genvurderingen af jordkvalitetskriterierne i 2005 at anvende nye beregningsmetoder (kapitel 4) og en vejledende dosis på 8 nanogram benzo[a]pyren pr. kg legemsvægt pr. dag. Denne dosis blev omregnet til et jordkvalitetskriterie på 0,3 mg pr. kg jord pr. dag ved at inddrage børnenes kropsvægt, formodede jordspisning og indtagelse af tjærestoffer gennem mad. I beregningen antog man, at tjærestoffer i mad og jord er 100 % tilgængelige (se dog boks 5, side 48).

Hvad sker der med forurenede grunde?

Ifølge den hidtil gældende jordforureningslov skal enkeltgrunde registreres som forurenet, hvis tjærestofindholdet overstiger jordkvalitetskriterierne. Registrering af den enkelte parcel er fornuftig, når det gælder punktforureninger, idet disse parceller oftest er meget forurenede. Det er til gengæld ikke særligt fornuftigt for diffuse forureninger. Hvis man finder diffus forurening på en grund, er de omkringliggende grunde nemlig med stor sandsynlighed lige så forurenede, men der er kun begrænsninger i anvendelsen af jord fra de grunde, hvor forureningen er påvist.

Ifølge de lovændringer, der træder i kraft den 1. januar 2007, skal enkeltgrunde, hvor tjærestofindholdet ligger i rådgivningsintervallet, ikke mere registreres. Derimod skal hele området registreres som diffust forurenet. I praksis vil det sige, at store dele af København og andre større byer registreres som diffust forurenet. Princippet om registrering af områder i stedet for enkeltgrunde betyder, at myndighederne kan rådgive alle beboere i et område om, hvordan de skal forholde sig. Kun hvis tjærestofindholdet er højere end afskæringskriteriet, registreres jorden som forurenet. Diffust forurenet jord skal fortsat anmeldes ved flytning af jord, og det vil stadig være muligt at stille særlige krav til fx børneinstitutioner.

Grænseværdier i madvarer

Når man nu ved, at forurenet mad udgør hovedkilden til tjærestoffer for ikke-rygere, kan man blive overrasket over, hvor lidt opmærksomhed tjærestofforurening af fødevarer rent faktisk får hos medier og myndigheder. Først i 2005 fik Danmark ved et EU-direktiv en lovgivning, der indeholder grænseværdier for tjærestoffer i madvarer (se tabel 6-3). Tjærestofferne vil i fremtiden indgå i Fødevarestyrelsens overvågning af de madvarer, der sælges i Danmark.

Figur 6-2
Madvarer har forskellige grænseværdier for tjærestoffer. Muslinger hører til dem med den højeste grænseværdi.
Foto: Christian M. Glahder.

Tabel 6-3
Grænseværdier i madvarer, angivet som koncentration i µg.

	Benzo[a]pyren pr. kg vådvægt
Olier og fedtstoffer	2
Levnedsmidler til spædbørn og småbørn	1
Røget kød og kødprodukter	5
Røget fisk og fiskerivarer	5
Ikke-røget fiskekød	2
Ikke-røgede krebsdyr og blæksprutter	5
Toskallede bløddyr (muslinger)	10

Grænseværdier i luft

Lovgivning om dieselmotorer på lastbiler

For at begrænse luftforurening fra køretøjer, bl.a. lastbiler, har EU udarbejdet et sæt normer for det tilladte udslip fra nye køretøjer. Disse krav er løbende blevet strammet gennem de seneste mere end 20 år. Dette har været medvirkende til, at luftforureningen fra trafik er blevet begrænset, og at udslippet af tjærestoffer fra trafikken er blevet mindre. Samtidig er der dog sket en øgning i trafikken med flere køretøjer og flere kørte kilometer.

Der findes EU-normer for de fleste typer køretøjer. Endnu strammere regler er under forberedelse. Disse normer bliver løbende indført i dansk lov. Et eksempel er vist i tabel 6-4, der viser EU-normer for lastbiler over 3,5 tons. Siden oktober 2006 skal nye lastbiler overholde de nye, såkaldte EURO IV-krav. Disse krav drejer sig ikke om brug af en bestemt teknologi, men de vil i praksis betyde, at nye lastbiler skal have partikelfilter eller være udstyret med anden teknologi, der tilsvarende reducerer udslippet af partikler. Efterhånden som bilparken skiftes ud i løbet af 10-15 år, vil stort set alle køretøjer automatisk få et betydeligt lavere udslip af partikler.

Indtil videre er kravene vedrørende partikler dog kun udtrykt som den samlede partikelmasse (eller -vægt). Det betyder, at de allermindste partikler endnu ikke bliver begrænset af EU-normerne. I boks 6 på side 56 og boks 7 på næste side findes flere detaljer om emnet.

Forkortet betegnelse af EU-norm	NO_X (g pr. kWh)	HC (g pr. kWh)	PM (mg pr. kWh)
Euro 0 (1990)	14,4	2,4	–
Euro I (1993)	8,0	1,1	360
Euro II 1996)	7,0	1,1	150
Euro III (2001)	5,0	0,66	100/(160)[1]
Euro IV (2006)	3,5	0,46	20/30[1]
Euro V (2009)	2,0	0,46	20/30[1]

[1] Henholdsvis test på stillestående og kørende biler.

Tabel 6-4
EU's nuværende udslipskrav og forslag gældende fra 2009. I løbet af årene skærpes udslipskravene mere og mere. Tidspunkter er 1. registrering, og grænseværdier er typegodkendelsesværdierne for det maksimalt tilladte udslip fra tunge køretøjer (vægt over 3,5 tons). NO_x er nitrogenoxider, og HC er kulbrinter (hydrocarboner). PM betyder partikelmasse udtrykt som partikelvægt, som til og med Euro III kun kræves målt ved stationær test, fra og med Euro IV dog både ved test på stillestående og kørende biler.

Boks 7

Partikelfiltre på dieselmotorer

Forbrændingsmotorernes udstødning indeholder forskellige uønskede stoffer. De vigtigste er kvælstofoxider (NO_x), kulilte (CO), kulbrinter (inklusive tjærestoffer) og partikler. Som forklaret i tidligere kapitler er tjærestofferne oftest bundet til partiklerne. De sidste årtiers tekniske forbedringer og anvendelse af katalysatorer på benzindrevne bilmotorer har bevirket, at moderne motorer producerer mindre mængder af alle disse uønskede stoffer. Bemærkelsesværdigt ved de tekniske forbedringer er, at de bygger på en mere fuldstændig forbrænding og dermed medfører forbedret brændstoføkonomi og en forøget motorydelse.

Imidlertid er der enighed om, at dieselmotorer pga. deres større partikeldannelse stadig udgør et vigtigt miljøproblem. De nævnte tekniske forbedringer har nemlig kun medført en nedsættelse af den samlede masse (eller vægt) af partikler fra disse motorer, men ikke af deres antal. Faktisk udsender moderne dieselmotorer typisk det samme antal partikler som ældre motorer, og i nogle tilfælde endda flere. Partiklerne ligger for såvel nye som gamle motorer inden for størrelsesspektret fra 0,01 µm til 0,6 µm. Den gennemsnitlige diameter er kun ændret ganske lidt i forhold til tidligere. Den store forskel ligger i, at antallet af de største partikler er reduceret væsentligt, hvorved massen af partiklerne reduceres i stort omfang. En stor partikel kan nemlig veje det samme som flere tusinde små partikler.

De største partikler fra dieseludstødning kan man se med det blotte øjne. Den velkendte "sky" af dieseludstødning er heldigvis blevet et sjældent syn. Men det betyder ikke, at udstød-

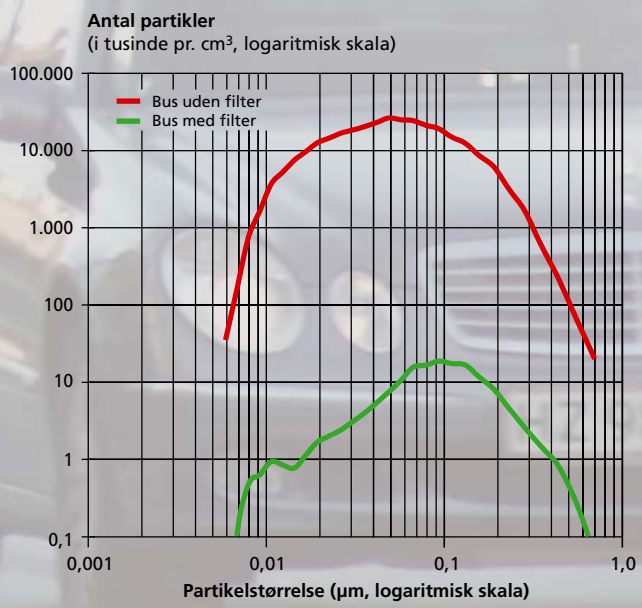
Princippet af keramiske filtre. Filtrenes opbygning kan sammenlignes med vokskager, hvor dog hver anden åbning er lukket på den ene side, mens de øvrige åbninger er lukket på den modsatte side. Dette design nedsætter trykmodstanden i filteret, og filteret kan renses ved at vende gennemstrømsretningen. De nyeste modeller af både katalytiske filtre og partikelfiltre er opbygget efter dette princip. De røde pile viser ufiltreret udstødning og de blå pile filtreret udstødning.

Foto: Karin Specht

ningen fra moderne dieselmotorer er blevet mindre farlig. I vores åndedrætssystem bliver de større partikler nemlig fanget på bronkiernes slimhinder, hvorfra de kan udskilles. Derimod når de ganske små partikler hele vejen ned i lungernes alveoler, hvor der ikke findes slimhinder. Det er derfor mest i alveolerne, at partikler og tjærestoffer skader vores helbred. I boks 6, side 56 kan man læse mere om partiklernes kemiske sammensætning og størrelsesklasser.

Forskellige filterteknologier er under afprøvning med det formål at nedsætte antallet af partikler i udstødningen. En af teknologierne er katalytiske filtre, hvor udstødningen bliver ledt gennem en katalysator, hvor partiklerne forbrændes. Samtidig bevirker katalysatoren, at mængden af kulbrinter og kulilte mindskes i udstødningen. Desværre medfører denne type filter dog et 4 gange forhøjet NO_2-udslip.

Et alternativ er teknologier, hvor hele udstødningen bliver presset gennem et finporet keramikfilter, ligesom man bruger filter på en støvsuger. Dette reducerer ganske vist motorydelsen med op til 10 %, men rummer den fordel, at partiklerne helt ned til 0,01 µm i diameter tilbageholdes. Det betyder, at også de små partikler fjernes fra udstødningen. Målt som antal fjerner denne type partikelfilter over 99 % af alle partikler. Beregnet på vægt er det mellem 95 og 100 % af den samlede partikelmasse. Partikelfiltre fjerner dog ikke gasser, fx kulbrinter og kulilte fra udstødningen. Detaljerne i denne teknologi er stadig under udvikling, og Danmark er inden for den europæiske bilbranche p.t. førende i design og fremstilling af filtre til dieselmotorer.

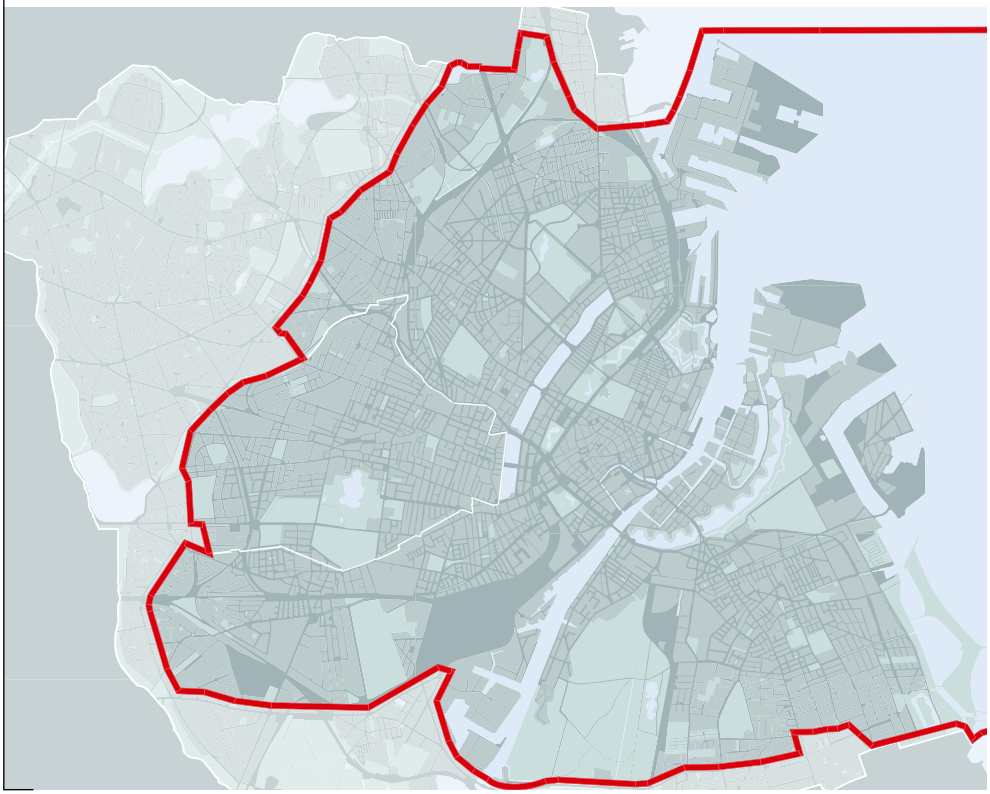


Udslip af partikler fra en dieselmotor uden filter (rød), og med partikelfilter (grøn). Bemærk, at begge akser er logaritmiske, dvs. – en fordobling af afstanden fra nulpunktet betyder en tidobling af størrelse i µm (x-akse) eller antallet af partikler pr. cm³ (y-akse).

Kilde: Færdselsstyrelsen, bilteknisk afdeling.

Figur 6-3
Miljøzone, der i 2005 blev foreslået for det indre København og Frederiksberg. Inden for den røde linje gælder der ifølge forslaget strammere miljøkrav for tunge køretøjer. Lastbiler, der ikke opfylder kravene, må ikke køre i miljøzonen, hvis forslaget bliver vedtaget.

Kort: Miljøkontrollen, Københavns Kommune, 2006.



Miljøzoner i storbyer

En miljøzone er et geografisk afgrænset byområde, hvor der indføres særlige bestemmelser for eller begrænsninger i biltrafikken med henblik på at reducere den belastning, som trafikken udgør på byens miljø. Oftest drejer det sig om begrænsning af partikeludslip fra lastbiler og dieselbiler.

Der er indført miljøzoner i større byer i Sverige, bl.a. i Malmø og Göteborg. I Danmark er et lovforslag undervejs, som giver muligheder for også at indføre miljøzoner her. Konkret har man i Københavnsområdet arbejdet med mulighederne for indførelse af en miljøzone i den indre by inden for Ring 2 og Vejlands Allé. I dette område bor og arbejder ca. 287.000 mennesker, og selv en lille sænkning af partikelforurening kan derfor have stor betydning for mange mennesker. I det første forslag fra Københavns Kom-

mune indgik bl.a. krav om partikelfiltre på alle tunge køretøjer, der har EURO III-motorer eller ældre, mens der i to alternative forslag indgik krav om partikelfiltre på tunge køretøjer med hhv. EURO II-motorer eller ældre, og EURO I-motorer eller ældre.

En miljøzone kan altså tilskynde til en hurtigere udskiftning af lastbilparken ved at indføre de nye krav for alle tunge køretøjer i de områder, hvor man mener at sundhedsvirkningerne er de største, inden lovkravene træder i kraft i hele landet.

Grænseværdier for tjærestoffer i udendørs luft

EU-kommissionen har fastsat en grænseværdi for benzo[a]pyren i udendørs luft på 1 ng pr. m^3. Denne værdi er fastsat som et gennemsnit for målinger over et helt år. Benzo[a]pyren er, som det mest giftige af tjærestofferne, valgt som indika-

Figur 6-4
I København og på Frederiksberg overstiger tjærestofindholdet i udendørsluften grænseværdien.
Foto: Lene Magner.

tor for den risiko, der er forbundet med udsættelse for en blanding af tjærestoffer (se også side 46). Desuden skal benzo[a]pyren måles i nedbør for at overvåge, hvor meget der tilføres til bl.a. naturområder.

Ifølge embedslægens rapport fra 2002 har Københavns og Frederiksberg Kommune et gennemsnitligt benzo[a]-pyren-indhold i udendørs luft på 1,5 ng pr. m^3. Den nye grænseværdi betyder derfor, at myndighederne i Københavnsområdet er tvunget til at gøre noget ved luftforureningen. Debatten om en miljøzone i København kan bl.a. forstås på denne baggrund.

Grænseværdier for tjærestoffer i luft på arbejdspladsen

For at beskytte mennesker på arbejdspladserne er der fastsat grænseværdier for tjærestoffer her. I USA og Danmark er grænseværdien fastsat til 200 µg tørstof pr. m^3. I Norge måler og fastsætter man grænseværdien lidt anderledes end i Danmark, men i praksis er de ens.

Lovgivning vedrørende afbrænding af halm

De fleste husker de sommerdage, hvor luften pludselig var fyldt med røg fra markerne, mest pga. afbrænding af halm. For at beskytte luftmiljøet er det i EU siden 1989 generelt forbudt at afbrænde halm. Landmændene kan dog få dispensation, afhængig af vejrforholdene, hvis det drejer sig om halm fra græsfrøproduktion. Begrundelsen for denne dispensation ligger i behovet for at destruere ikke-høstede græsfrø ved at brænde halmen.

Lovgivning vedrørende brændeovne

Luftforening fra brændeovne og pejse har endnu ikke været højt på dagsordenen i Danmark. Men for nyligt har man dog talt meget om udvikling af partikelfiltre til brændeovne – men endnu findes hverken færdigudviklede eller godkendte filtre til salg i Danmark. De mest lovende teknologier er elektrostatiske filtre, som monteres oven på skorstenen, og som vil kunne fjerne størsteparten af partiklerne.

I de senere år har producenterne arbejdet på at udvikle moderne brændeovne med en optimeret forbrænding for at sænke udslippet af bl.a. partikler og dermed tjærestoffer. Disse moderne brændeovne kan have opvarmet forbrændingsluft og tilførsel af luft flere steder i forbrændingen for at undgå områder med luftmangel og dannelse af partikler.

Endnu er der ingen lovkrav om begrænsning af udslip af partikler og tjærestoffer fra brændeovne i Danmark, men et lovforslag er på vej. I Norge og USA stilles der strenge krav til udslip af partikler fra brændeovne, da man i disse lande har været opmærksom på problemet i flere år og har områder fx dale med meget lidt opblanding af luften i visse perioder, det fænomen der i fagkredse omtales som inversion. Således var det i nogle dele af Sydcalifornien allerede i 1970'erne forbudt at bruge en almindelig brændeovn eller pejs.

Figur 6-5
I Danmark er lovgivning om brændeovne under forberedelse.
Foto: High-lights.

Litteratur

Kilder

Binderup, M.L., m.fl. 2002. Comet assay på regnorm til bestemmelse af genotoksisk effekt af PAC forurenet jord. Miljøforskning, 53: 23-27.

Eggert, T., m.fl. 2002. Indholdsstoffer i levede lys der sælges i detailhandlen. Miljøstyrelsen, Kortlægning nr. 6.

Embedslægeinstitutionen i Københavns og Frederiksberg Kommuner 2002. Jordforurening og sundhedsrisiko. Beskrivelse af den sundhedsmæssige betydning af jordforurening med bly og benz[a]pyren i Københavns og Frederiksberg kommuner.

European Commission 2002. Opinion of the Scientific Committee on Food on the risks to human health of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in food. SCF/CS/CNTM/PAH/29/Final.

European Commission 2005. Commission Regulation (EC) No 208/2005. Official Journal of the European Union, L 34/3.

Fitzgerald, D.J., m.fl. 2004. Application of benzo[a]pyrene and coal tar tumor dose-response data to a modified benchmark dose method of guideline development. Environ. Health Perspect., 112: 1341-1346.

Færdeselsstyrelsen 2002. Storskalaforsøg med partikelfiltre på tunge dieselkøretøjer i Odense.

Glasius, M., m.fl. Ny viden om partikler fra brændeovne og vejtrafik i Danmark. Miljø og Sundhed 11: 10-16.

Hansen, A.B. og Christensen, J. H. Assessment and time-trend analysis of TPH and PAC in Grønsund. Monitoring 2001-2004. NERI Technical Report. Storstrøms County, May 2005.

Hansen, Å.M. 1992. Biologisk måling af udsættelse for polycykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i arbejdsmiljøet. Udvikling af metoder til analyse af PAH i luft samt udvalgte metabolitter heraf i urin. Ph.D.-afhandling. Arbejdsmiljøinstituttet, Arbejdstilsynet, København.

Johnsen, A.R., m.fl. 2006. Microbial degradation of street dust polycyclic aromatic hydrocarbons in microcosms simulating diffuse pollution of urban soil. Environ. Microbiol., 8:535-545.

Miljøstyrelsen 2003. Indhold af udvalgte tjærestoffer i jordprøver med varierende forureningsgrad. Miljøprojekt nr. 845.

Miljøstyrelsen 2004. Diffus jordforurening og kulturlag. Delrapport 2. Miljøprojekt nr. 912.

Miljøstyrelsen 2004. Diffus jordforurening og trafik. Delrapport 3. Miljøprojekt nr. 913.

Miljøstyrelsen 2004. Diffus jordforurening og industri. Delrapport 4. Miljøprojekt nr. 914.

Miljøstyrelsen 2004. Kvalitetskriterier og kortlægning af forurenet jord - praksis i udvalgte EU lande. Miljøprojekt nr. 975.

Miljøstyrelsen 2004. Principper for sundhedsmæssig vurdering af kemiske stoffer med henblik på fastsættelse af kvalitetskriterier for luft, jord og vand. Miljøprojekt nr. 974.

Miljøstyrelsen 2005. Eksponering for ultrafine partikler fra trafikken i København. Miljøprojekt Nr. 981.

Miljøstyrelsen 2005. Luftforurening med partikler i Danmark. Miljøprojekt nr. 1021.

Miljøstyrelsen, 2000. Rådgivning af beboere i lettere forurenede områder. Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 7.

National Health and Medical Research Council of Australia. 1999. Toxicity assessment for carcinogenic soil contaminants. NHMRC Technical Working Party on Carcinogenic Risk Assessment for Soil Contaminants.

Nielsen, M. og Illerup, J. B. 2005. Danish emission inventories for stationary combustion plants. Inventories until year 2003. National Environmental Research Institute. – Research Notes from NERI No. 229.

Palmgren, F., m.fl. 2003. Luftforurening med partikler i København. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 433.

Palmgren, F., m.fl. 2005. Vurdering af konsekvenserne af indførelse af miljøzone i København. Arbejdsrapport fra DMU nr. 222.

Anbefalet videre læsning

Binderup, M.L., m.fl. 2004. The effect of oil spills on seafood safety. An example of the application of the Nordic risk analysis model. Copenhagen, Nordic Council of Ministers. TemaNord 553.

Hansen, Å.M., m.fl. 2004. Indicators in urine of genotoxic exposure of busdrivers and mail carriers to urban air pollution in Denmark. Mutation Research, Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 557: 7-17.

Mayer, P., m.fl. 2003. Equilibrium sampling devices: An emerging strategy for monitoring exposure to hydrophobic organic chemicals. Environ. Sci. & Technol., 37: 184A-191A.

Miljøstyrelsen 2001. Miljøzoner, partikler og sundhed. Miljøprojekt nr. 620.

Miljøstyrelsen 2003. Human Bioaccessibility of Heavy Metals and PAH from Soil. Environmental Project no. 840.

Nielsen, T., m.fl. 1999. The variation of street air levels of PAH and other mutagenic PAC in relation to regulations of traffic emissions and the impact of atmospheric processes. Environ. Sci. Res, 6: 133-137

Reichenberg, F. and Mayer, P., 2006. Two complementary sides of bioavailability: accessibility and chemical activity of organic contaminants. Environ. Toxicol. & Chem., 25:1239-1245.

Ordliste

Aktivitet (kemisk): Udtryk for, hvor effektivt et stof deltager i en kemisk reaktion; for gasser og stoffer i fortyndede opløsninger det samme som koncentrationen af det pågældende stof.

Alkyleret: Bruges fx om en ringformet kulstofforbindelse (aromatisk forbindelse), der har fået tilføjet en kortere eller længere kæde af kulstofatomer (en alkylgruppe); den proces, hvorved det sker, kaldes en alkylering.

Antagoni: Modvirkning; det, at én faktor modvirker en anden faktors virkning.

Biomonitor: Levende "måleapparat", en levende organisme, hvis tilstedeværelse, hyppighed eller evt. tilstand måles og bruges om udtryk for fx miljøtilstanden, et prøvestofs giftighed eller lignende. Målingen kan foregå i naturen eller i et laboratorium afhængigt af situationen.

Bitumen: Bestanddel af råolie; fremkommer som tyktflydende eller fast restfraktion efter olierafinering; anvendes bl.a. i produktion af asfalt.

Damptryk: Det tryk, dampen af et givet stof udøver i luften lige over overfladen af det selv samme stof i væskeform. Jo højere damptryk, jo lettere fordamper stoffet.

Enzym: Organisk katalysator, dvs. en organisk forbindelse, der øger en given kemisk reaktions villighed til at forløbe – eller sagt med andre ord nedsætter den energimængde, der skal til for at sætte reaktionen i gang. Der findes mange forskellige enzymer i de levende organismer, og de er hver især kun katalysator for en enkelt eller nogle få beslægtede reaktioner.

Epidemiologisk: Vedr. befolkningsgrupper, bruges i forbindelse med sygdomshyppigheder og sygdommes fordeling i befolkningsgrupper.

Gaskromatografi: Metode til adskillelse af stofblanding i dens komponenter efter forskellig transporthastighed gennem et rør; blandingen "bæres" af en gas (deraf navnet) gennem et rør fyldt med et porøst stof, hvortil blandingens forskellige komponenter knytter sig med forskellig kraft, således at komponenterne forlader røret efter forskellig tid; metoden anvendes i stor udstrækning til måling af miljøfremmede stoffer i jord-, vand-, luft- og levende organismer.

Hydrofil: "Vandelskende", dvs. opløselig i eller blandbar med vand.

Iltning: Det samme som oxidation.

Kerogen: Organisk stof af fossil oprindelse i sedimentbjergarter; afgiver råolie, når det bliver opvarmet.

Konjugerede dobbeltbindinger: Kemisk betegnelse for dobbeltbindinger, der parvist er adskilt af en enkeltbinding, hvor dog elektronerne fra dobbeltbindingerne er jævnt fordelt over dobbelt- og enkeltbindingerne, så man vanskeligt kan skelne mellem dobbelt- og enkeltbindingerne; hvis dette optræder i en ringstruktur med seks kulstofatomer (altså 3 dobbeltbindinger adskilt af 3 enkeltbindinger), betegner man **aktivitet (kemisk):** udtryk for, hvor effektivt et stof deltager i en kemisk reaktion; for gasser og stoffer i fortyndede opløsninger det samme som koncentrationen af det pågældende stof.

Kultjære: Tyktflydende blanding af kulstofhol-

dige forbindelser, opstået som biprodukt ved opvarmning af kul til produktion af bygas.

Metabolisere: At omdanne et stof i en levende organismes stofskifteprocesser.

Mikrogram: En 1.000.000'ende del af et gram, hvilket også skrives 10^{-6} g. Forkortes µg.

Milligram: En 1.000'ende del af et gram, hvilket også skrives 10^{-3} g. Forkortes mg.

Nanogram: En 1.000.000.000'ende del af et gram, hvilket også kan skrives 10^{-9} g. Forkortes ng.

Oxidation: proces, hvorved et stof afgiver en elektron; da det ofte er til ilt (oxygen), at elektronen afgives, kaldes processen også iltning.

Pa: Pascal, enhed for tryk, dvs. kraft pr. arealenhed; 100 Pa = 1 millibar som tidligere blev brugt inden for meteorologien; 100.000 Pa = 1 bar (men ikke = 1 atmosfære) som man fx bruger i forbindelse med dæktryk.

Phenolisk: Bruges om en ringformet (aromatisk) kulstofforbindelse, hvor der på en eller flere af kulstofatomerne sidder en OH-gruppe.

Sediment: Løst materiale, der er transporteret af vind eller vand og derefter aflejret (sedimenteret), hvor betingelserne gør det muligt. Et typisk eksempel er sand, der transporteres fra et sted med strømmende vand for at blive aflejret et nyt sted, hvor vandets strømhastighed ikke længere er stærk nok til at "bære" det.

Sod: Små sorte partikler, hovedsagligt bestående af kulstof, der opstår ved ufuldstændig forbrænding af kul, olie, træ eller andre brandbare materialer.

Synergi: Samvirke; i denne forbindelse det, at virkningen af to eller flere samtidigt virkende faktorer er større end summen af de enkelte faktorers virkning.

Termisk: Vedr. varme, varmefremkaldt eller varmebetinget, fx. varmeudvidelse eller varmeenergi (termisk energi).

Stikordsregister

A

Afskæringskriterium · 64
Aluminiumsarbejdere · 44
Anthracen · 17
Arbejdspladser · 29
  grænseværdier på · 74
Asfaltarbejdere · 44

B

Baltic Carrier · 12, 25
Benzo[a]pyren · 17, 44
  udledning til luften · 54
Benzo[a]pyren-ækvivalent · 46
Benzin · 35
Bildæk · 27
Biologisk dannet tjærestof · 23
Biomonitor · 61
Biotilgængelighed · 60
Bitumen · 35
Blærekræft · 44
Brande og tjærestofdannelse · 22
Brændeovne · 74
Byjord · 12

C

Carbozol · 17
Coronen · 17

D

Dannelse · 43
Diagenese · 34
Dibenzo(def,p)chrysen · 17
Dibenzo[a]pyren · 17
Dibenzofuran · 17
Dibenzothiophen · 17
Dieselmotorer · 69, 70
Diffus tjærestofforurening · 12
Dieselolie · 35
Drikkevand · 10

E

EU-normer for køretøjers partikeludslip · 69

F

Filter · 71
Fluoranthen · 17
Fluoren · 17
Forbrænding · 27
Fotonedbrydning · 52
Frugtbarhed (evne til at få børn) · 45
Fødevarer · 32, *se også* Madvarer

G

Genotoksisk virkning · 38
Giftighed · 46; *se også* Farlighed
Grillstegning · 33
Grænseværdier · 47
  i jord · 64
  i luft · 69
  i madvarer · 68
  i udendørs luft · 73
  nye · 66
  på arbejdspladsen · 74

H

Halmafbrænding · 74
Havforurening · 25
Hormonforstyrrende virkning · 42
Hudoptagelse · 41
Hudkræft · 44

J

Jernstøberiarbejdere · 44
Jordforurening · 12, 58
Jordkategorier · 65
Jordkvalitetskriterier · 64

K

Katagenese · 34
Katalysator · 71
Keramisk filter · 71
Kilder til tjærestoffer, *se* Tjærestofkilder
Krakning · 34
Kreosot · 18, 26
Kreosotbehandlet træ · 26
Kræftfremkaldende virkning · 38;42
Kul · 24
Kvalitetskriterier · 64
Køretøjer, tunge · 69

L

Lastbiler · 69
Livstidsrisiko · 47
Luft, grænseværdier i · 69
Luftforurening, udvikling i · 55
Luftrensning, naturlig · 53
Lungekræft · 44
Lungeoptagelse · 38

M

Madolie · 32
Madvarer, *se også* Fødevarer
  grænseværdier i · 68
Mavekræft · 44
Mave-tarmkanaloptagelse · 40
Mellemprodukter · 41
Menneskeskabte tjærestofkilder · 24
Mikrobiologisk nedbrydning · 58
Miljøzoner · 72
Misdannelser · 45
Modermælk · 41
Muslinger, tjærestoffer i · 32, 60
Mutationer · 38, 43

N

Naphthalen · 17
Naturlig luftrensning · 53
Naturlige tjærestofkilder · 22
Nedbrydning af tjærestoffer · 52
Nitro-tjærestoffer · 53

O

Olieprodukter · 24
Oliespild · 25
Omdannelse · 41
Optagels · 38
Oxidation · 52

P

PAC · 16
Partikelfiltre · 70
Partikler · 53, 55, 56, 69
Petrogenese · 34
Phenanthren · 17
Polycycliske aromatiske forbindelser · 16
Pungkræft · 44
Punktkildeforurening · 58
Pyren · 17
Pyrogenese · 35

R

Rejer, tjærestoffer i · 32
Røgelse · 29
Røgning · 33
Råolie · 24

S

Skorstensfejere · 44
Stearinlys · 29
Stenkulstjære · 35

T

Tilgængelighed · 48
Tjærestofblandinger · 16
  giftighed · 46
Tjærestoffer
  biologisk dannede · 23
  blandinger af · 16
  dannelse · 10
  definition · 16
  farlighed · 39, 42
  forekomst · 10
  giftighed · 46
  i blåmuslinger · 60
  i drikkevand · 10
  i jord · 59, 66
  i luften · 55, 57
  i vandmiljøet · 60
  identificering · 10
  kemisk formel for · 17
  levetid i atmosfæren · 52
  mikrobiologisk nedbrydning · 58
  nedbrydning · 10
  omdannelse af · 41, 43
  optagelse af · 38
  på arbejdspladser · 29
  tilgængelighed · 48
  udskillelse af · 41
  udslip af · 27
Tjærestofforurening
  fødevarer · 32
  hav · 25
  jord · 12
  luft · 55
  diffus · 12
Tjærestofkilder
  menneskeskabte · 24
  naturlige · 22
Tjærestofkredsløb · 52
Tjærestofnedbrydning · 52
Tjærestofudslip · 27
Tobak · 28
Tyktarmskræft · 44

U

Udendørs luft, grænseværdier i · 73
Udskillelse · 41

V

Vandforurening · 60
Vandkvalitetskriterium · 64
Vejledende dosis · 49
Vulkaner · 23

Tjærestoffer
Red. Ulrich Karlson

Tjærestoffer findes næsten overalt: i jorden, i luften, i vores mad og i små mængder også i vandmiljøet. Det meste af det er menneskeskabt, og det er noget af det giftigste, man kender.

Denne bog beskriver, hvad tjærestoffer er, og hvordan de dannes ved såvel naturlige som menneskeskabte processer. Den indeholder også de nyeste oplysninger om, hvor udbredt tjærestofforurening er, og hvad man kan gøre for at begrænse den. Bl.a. kan man læse om:

- **hvor man især finder tjærestoffer**
- **de forskellige tjærestoftyper og deres farlighed**
- **tjærestofdannelse og tjærestofnedbrydning**
- **grillning, stegning og røgning af mad**
- **dieselmotorer og partikelforurening**
- **grænseværdier og miljøzoner**

Bogen indeholder den nyeste, ajourførte viden og er skrevet for ikke-eksperter uden at slække på den faglige kvalitet.

Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet