

31 TEMPERATURMÅLING

Som andre naturvidenskabelige målinger er det også med temperaturmålinger vigtigt, at du arbejder systematisk for at nå et resultat, som er sammenligneligt med andre målinger, og at målingerne foretages så "objektivt", at det er muligt for andre at foretage en identisk måling på samme sted og tid som dig. Temperatur måles med et termometer. De fleste kender et almindeligt kviksølvtermometer med en aflæselig skala, men efterhånden er digitale termometre udbredt. Det letter aflæsningen, øger præcisionen, og data kan nemt samles op ved hjælp af dataopsamlingsudstyr (dataloggere).

Skal temperaturen bestemmes i forbindelse med meteorologiske målinger, kræves der særlige forhold, som sikrer ensartethed i målingerne fra sted til sted. Temperaturmålingerne foretages i en såkaldt "engelsk hytte" (se foto side 18). Det er som udgangspunkt en hvidmalet tremmekasse placeret 2 m over terrænet. Hytten er ideelt set placeret på en tæt-klipet græsplæne, og døren ind til måleinstrumenterne er nordvendt. Hvorfor alle disse forholdsregler? Man vender hytten mod nord, for at Solen ikke skal kunne skinne ind på instrumenterne, når man åbner lågen for at aflæse dem. Det er samtidig vigtigt, at man får målt en skyggetemperatur i en luft i bevægelse (hvis det altså ikke er vindstille på måletidspunktet), så du får en så neutral måling som mulig. Derfor er der luftcirkulation gennem hytten, og endelig har man fundet ud af, at allerede i 2 meters højde kan man regne med at være mest mulig uafhængig af den underliggende overflades udstråling. Man foretager altså en temperaturmåling med så lidt "støj" som muligt.

Husk!

Når du aflæser et termometer, er det vigtigt, at du har dit øje vinkelret ud for aflæsningspunktet på skalaen; undgår at berøre eller ånde på måledelen af termometret – eller på anden måde påvirke målingen.



Temperaturer, som anvendes i klimadata, er fremstillet med målinger foretaget i en meget lang tidsperiode, 30 år, for at eliminere tilfældige udsving. Man arbejder med nogle fælles referenceperioder på hele Jorden. Det muliggør, at man kan sammenligne klimadata globalt. Den seneste periode er fra 1961-90.

Temperaturmåling kan også foretages med en elektronisk temperaturføler. Data kan opsamles i en datalogger eller direkte på en computer.

Til målinger i felten er det ikke muligt at medbringe en engelsk hytte! Du kan her med fordel benytte dig af fx en Silva Alba Windwatch (eller et lignende instrument). Det er en hel meteorologisk station i sig selv. Her er termometer, vindmåler og indbygget barometer. Endvidere kan man se tendensen i trykudviklingen (er trykket stigende, faldende eller uændret i de seneste timer). Du kan også måle vindstød og få beregnet den såkaldte chilltemperatur (se næste side).



Forsøg

Prøv at måle en temperaturprofil med fx 50 cm mellemrum fra jordoverfladen til 2 m højde. Varier eventuelt afstanden mellem målepunkterne i flere forsøg. Prøv at måle temperaturen i skygge og i solskin. Prøv at måle temperaturen i læ tæt på en husmur og fjernt fra denne. Prøv at måle temperaturen (i skygge) over en græsplæne og over en asfaldækket flade. Prøv at måle temperaturen over en fugtig jord og over en tør jord.

Windchill

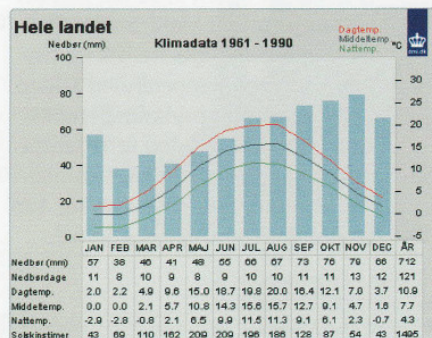
Temp. i °C	25	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
m/s																
0	25	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
2	25	20	15	9	5	-1	-6	-11	-16	-21	-26	-31	-36	-41	-46	-51
4	23	17	12	5	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-42	-48	-54	-60	-66
6	23	16	10	3	-3	-10	-16	-23	-29	-36	-42	-49	-55	-62	-68	-75
8	22	15	8	1	-6	-13	-19	-26	-33	-40	-47	-54	-61	-68	-75	-82
10	21	14	7	0	-7	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-58	-65	-72	-79	-86
12		14	6	-1	-9	-16	-23	-31	-38	-46	-53	-61	-68	-75	-83	-90
14			13	6	-2	-10	-17	-25	-32	-40	-47	-55	-63	-70	-78	-85
16				5	-3	-10	-18	-26	-33	-41	-49	-57	-64	-72	-80	-87
18						-11	-19	-26	-34	-42	-50	-58	-65	-73	-81	-89
20								-27	-35	-43	-50	-59	-66	-74	-82	-90

Sammenholder man oplysninger om vind og temperatur får man det såkaldte kuldeindex – Windchill-faktoren – som fortæller hvordan den givne kombination af temperatur og vind føles på kroppen. Eksempel: Er temperaturen ved frysepunktet og vinden blot 4 m/s vil det opleves på kroppen, som var temperaturen -6 grader.

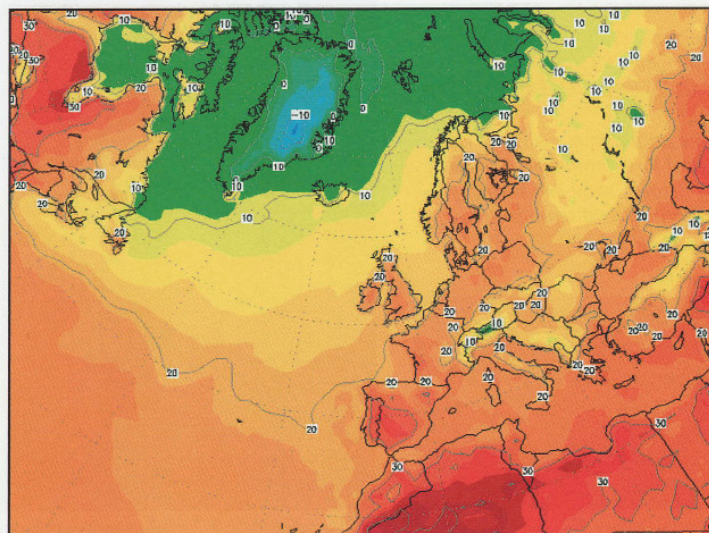
Hydrotermfigurer

En hydrotermfigur viser temperaturen som kurve og nedbøren som søjlediagrammer for en målestation. Hydrotermfigurer bruges til grafisk fremstilling af normalforholdene (30 års-gennemsnit). De bruges ofte, hvis du vil skabe et overblik og sammenligne målestationer i forskellige regioner på kloden. Bemærk, at skala kan være forskellig for målestationerne – især hvis man sammenligner områder med stort årsudsving med områder med et relativt mindre udsving i årstemperaturerne. Det samme kan gøre sig gældende, når histogrammet for nedbør fremstilles.

Skal man illustrere temperaturforholdene over et større område fremstiller man ofte et kort med isotermer (iso = ens, term = temperatur). Det betyder, at man fremstiller et tematisk kort med linjer gennem områder med samme temperatur. På samme måde fremstiller man trykkort med isobarer – linjer igennem områder med samme tryk (bar). Dette er en del af grundlaget for fremstilling af et vejrkort.



Den klassiske hydrotermfigur viser kun oplysninger om den månedlige gennemsnitlige temperatur og nedbør. Figuren her er suppleret med flere oplysninger. Bemærk årstidsforskydningen: Vi får mindst solindstråling i december, men årets laveste månedsmiddeltemperatur ligger i januar - februar. På samme måde ligger den maksimale solindstråling ved sommarsolhverv i juni, men den højeste månedsmiddeltemperatur ligger i august.



Eksempel på tematisk kort. Her er det en temperaturprognose. Andre tematiske kort kunne for eksempel være kort over vegetationstyper, landskabsformer eller jordbundstypers udbredelse.

32 MÅLING AF LUFTFUGTIGHED

Luftfugtigheden kan være vigtig at kende. For astmapatienter kan det være afgørende for deres velbefinde, og de fleste har prøvet at sidde i et lille lokale med mange mennesker – luftfugtigheden stiger og stiger, og det bliver mere og mere uudholdeligt. For Jordens planteliv er luftfugtigheden ofte af afgørende betydning for, om de findes et givet sted eller ej.

Skal du måle luftens fugtighed, kan du benytte et hårhygrometer. Måleaggregatet er et bundt hår, som er udspændt inden i måleinstrumentet. Hår udvider sig, når det bliver fugtigt, og trækker sig sammen, når det bliver tørt. Man har derfor konstrueret og kalibreret hygrometret, så det på en skala viser den relative luftfugtighed mellem 10 og 100 %. Apparatet fungerer bedst ved stuetemperatur, men virker dog i et større temperaturområde.

Psykrometertabel til bestemmelse af luftens relative fugtighed (RF)

Tørt termometer (TT)

Vådt termometer (VT)

Termometerdifference °C (Diff.)

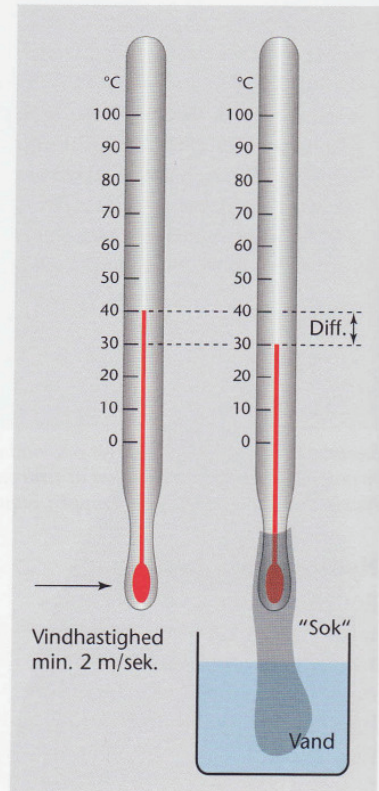
De angivne tal har kun gyldighed ved en luftfugtighed forbi termometret på ca. 2 m/sek. og derover, samt ved korrekt pasning og anbringelse af termometret.

Eksempel:

Tør temperatur TT 25 °C
 Våd temperatur VT 19 °C
 Difference (Diff.) 6 °C
 Luftens relative fugtighed ca. 53 %

Du kan også anvende et psykrometer til bestemmelse af luftens fugtighed. Et psykrometer består af to ensvisende termometre. Det ene termometer måler luftens "tørre" temperatur, det andet luftens "våde" temperatur. Det våde termometer har en "sok", et stykke væge, omkring den nederste del af termometret, og denne væge skal holdes våd. Der skal være en vis luftbevægelse (minimum 2 m/s) for at få en korrekt visning.

Hvis luften indeholder meget vanddamp, vil der være en ringe fordamning fra vægen – og omvendt ved et lavt vanddampindhold. Er luften altså tør, kan der fordampe meget vand; fordampningsenergien tages fra sok og termometer – og temperaturen falder. Ved hjælp af en psykrometertabel, hvor du anvender den tørre temperatur og temperaturforskellen mellem de to termometres visning, kan du bestemme luftens fugtighed.



TT

Termometerdifference (diff)

°C	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
5	84	68	53	38	23	10										
10	87	74	62	49	37	26	4									
15	89	78	68	58	48	38	20	2								
20	90	81	72	64	55	47	31	17	3							
25	92	83	75	68	60	53	40	27	15	4						
30	93	85	78	71	65	58	46	35	25	16	6					
35	93	86	80	74	68	62	51	41	32	23	15	7	1			
40	94	87	82	76	71	65	55	46	37	29	22	15	9	3		
45	94	88	83	78	73	68	58	50	42	34	27	21	15	9	5	
50	95	89	84	79	74	70	61	53	45	38	32	26	20	15	11	7

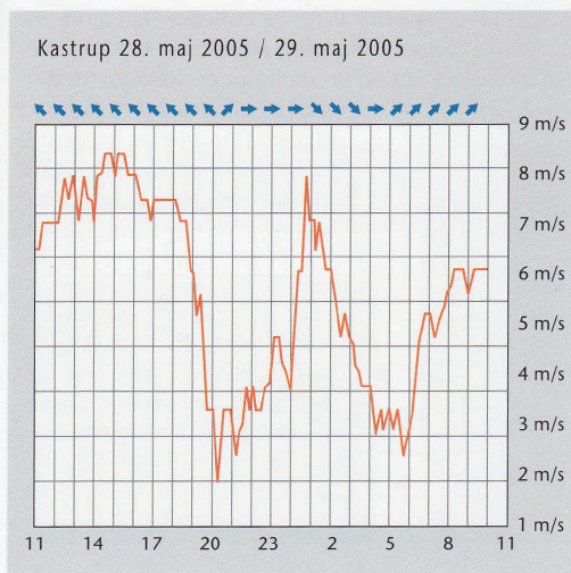
33 VINDMÅLING

Registrering af vindhastighed, eventuelle vindstød samt vindretning indgår i almindelige vejrobservationer. Ideelt set foretages vindmåling i 10 meters højde og er en gennemsnitsmåling for vindhastigheden og retningen gennem 10 minutter. Som ved temperaturmåling er det også ved vindmåling vigtigt at komme væk fra jordoverfladens, bygningers eller træers indflydelse på vindmålingen. Derfor de 10 meter over jorden.

Vindmåling foretages fx med et såkaldt anemometer (se side 18), hvor man omsætter et antal omdrejninger til vindens hastighed pr. sekund.

Vindretningen afgives med kompasretningen, hvorfra vinden kommer (ikke hvor den bevæger sig hen). En vestenvind kommer fra vest og blæser mod øst. Omvendt er det med havstrømme. De angives med, hvor de bevæger sig hen, fx en østgående strøm.

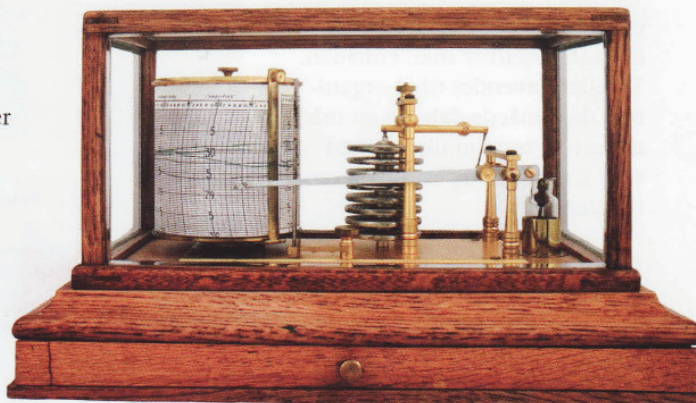
Vindmålinger indtegnes på en kurve, men man kan tegne et kombineret diagram: en vindrose, som angiver både hyppigheden af vindretningen og vindhastigheden.



Her ses et eksempel på en vindmåling fra Kastrup Lufthavn fra den 28./29. maj 2005. Øverst med små pile er indtegnet vindretningen. Kurven viser vindstyrken. Målinger er foretaget hvert 10. minut.

34 TRYKMÅLING

Både i laboratoriet og i felten kan kendskab til lufttrykket have stor betydning. Måling af luftens tryk foretages med et barometer. Et barometer måler luftens tryk enten på en kviksølv søjle, ved måling af ændringer på lufttomme dåser (aneroidbarometer) eller elektronisk. Aneroidbarometret kobles ofte med en skriveenhed, hvorved man let kan aflæse ændringer i lufttrykket. Tryktendensen bruges i forbindelse med vejrforudsigelse.



Trykket aflæses i hPa, hvilket er lig den gamle måleenhed millibar. 1013,2 hPa svarer til 760 mm Hg som igen svarer til 1 atmosfæres tryk. Du kan således lave din egen opregningstabel, hvis du arbejder med et gammelt barometer.

Byklima

Byernes menneskeskabte miljø adskiller sig på mange måder fra det naturlige. I byerne er landdistrikternes vegetationsdækkede jordoverflade afløst af asfalt, glas og beton, og Solens strålingsenergi suppleres med samfundets energiforbrug. Klimaforholdene i byerne er derfor anderledes end i det omgivende land.

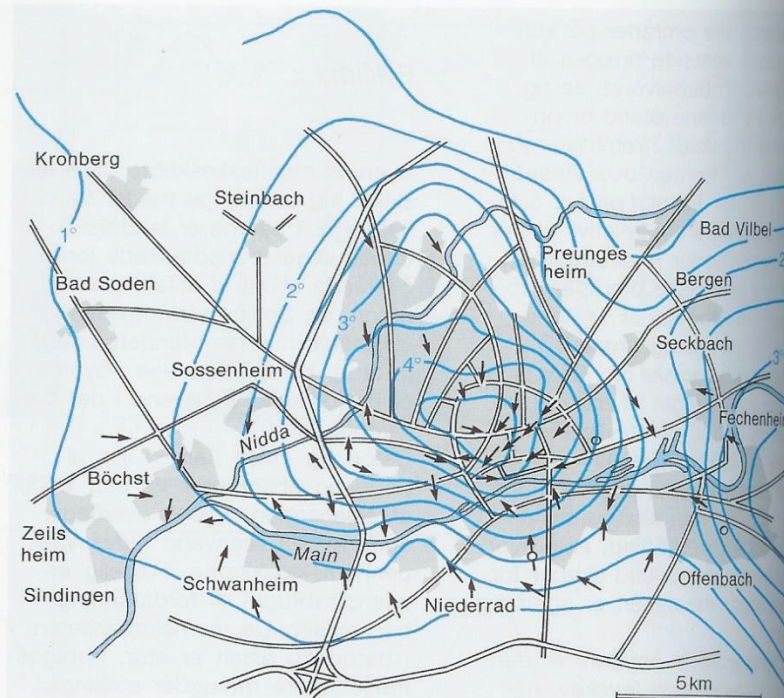
Beton og asfalt har en lille albedo og absorberer en stor andel af solenergien. Byens overflader er tørre, da regnvand ledes væk gennem kloakkerne. Følgelig er energiforbruget til fordampning begrænset. Da varmekapaciteten i beton og asfalt er stor, optages meget store mængder strålingsenergi i løbet af dagen. Denne varme frigives til luften i løbet af natten. Glasruder tillader Solens kortbølgede indstråling at trænge ind men hindrer den infrarøde udstråling i at slippe ud. Derved opsamles solenergi i bygningerne. Strålingsbalancen, se fig. 5.5, er altså forrykket således, at bymiljøets gennemsnitstemperatur er højere end omgivelserne. Hertil kommer, at byens energiforbrug er stort, og biler, opvarmede bygninger mv. afgiver meget varme til luften over byen. Man taler om, at der er dannet en *heat-island* over byen, se fig. 5.32.

Temperaturforskellen mellem by og land kan især om natten og om vinteren udgøre flere grader.

I store byer kan varmen give anledning til, at der dannes et termisk lavtryk med opstigende luft midt i byen. Luft fra omgivelserne blæser ind mod dette lavtryk som en *urban vind*, der opvarmes og stiger til vejrs, se fig. 5.32. Også i mindre byer kan fænomenet måles, hvis den generelle vindstyrke er under en kritisk grænse og således for svag til at forstyrre den urbane vind.

Den forurenede luft over byen indeholder mange småpartikler. De virker som kondensationskerner for vanddampen, som fortættes på

5.32 Vindretninger og isotermer i Frankfurt om natten i ellers stille vejr. Fra byens udkant strømmer luft ind mod centrum (urban vind), hvor lufttrykket er lavt på grund af opstigning af varm luft.



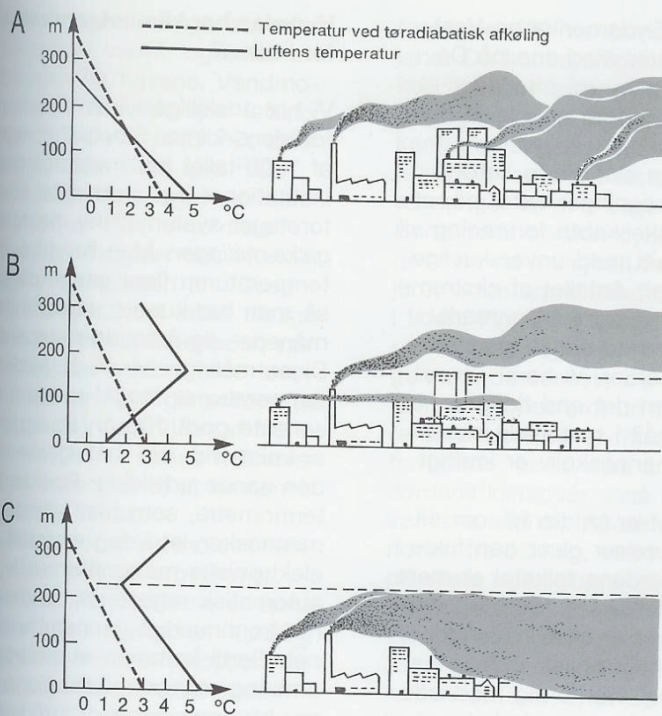
partiklernes overflade. Nedbørsmængden er derfor større i storbyerne end i det omgivende land. Medvirkende hertil er også, at den urbane vind bringer fugtig luft ind fra byens opland. Men den relative luftfugtighed er formindsket i midtbyen, fordi nedbøren forsvinder ned i kloakkerne, og fordampningen fra byens overflader som nævnt er lille.

I vejr-situationer med svage vinde kan der opstå en *temperaturinversion* i luften over større byer. Dvs. at det normale temperaturprofil er vendt om, så temperaturen stiger med højden, se fig. 5.33. Inversionen kan være en følge af den forurenede lufts optagelse af ultraviolet stråling fra Solen, men især i situationer med snedække og skyfrit vejr kan den også skyldes kraftig udstråling fra Jorden og deraf følgende kold luft ved jordoverfladen. Tilstrømning af varm luft i højden kan også give anledning til inversion.

Inversionslaget hindrer den varme luft i at stige op fra byen. Temperaturen i inversionslaget stiger jo med højden, mens den opstigende luft afkøles adiabatisk, se fig. 5.33. I denne situation,

som altså er "superstabil", hæmmes luftudskiftningen i byen. Det medfører en ophobning af forurenende stoffer i luften, hvilket igen fremmer vanddampens kondensering til smådråber, så der dannes tåge. Kombinationen af tåge og forurening, som kaldes *smog* (sammenrækning af smoke og fog), udgør et stort problem for folkesundheden, især for ældre mennesker og folk med åndedrætssygdomme. I flere europæiske storbyer har man derfor indført et smogberedskab, så der udløses smog-alarm, når forureningen overstiger bestemte kritiske grænser. Afhængigt af forureningsgraden kan der fx meddeles midlertidige begrænsninger i retten til at køre bil.

I de senere år har byklimaet fået særlig aktualitet. Det skyldes, at teorien om den globale opvarmning især er baseret på temperaturmålinger, der er foretaget på land og især i den vestlige verden. Her blev målestationerne oprindeligt opstillet i det åbne land. Men på grund af byernes kraftige vækst i det 20. århundrede er mange målestationer nu helt omgivet af bygningsmasse. Et stigende



5.33 Risikoen for smog i storbyer afhænger af atmosfærens temperaturprofil:

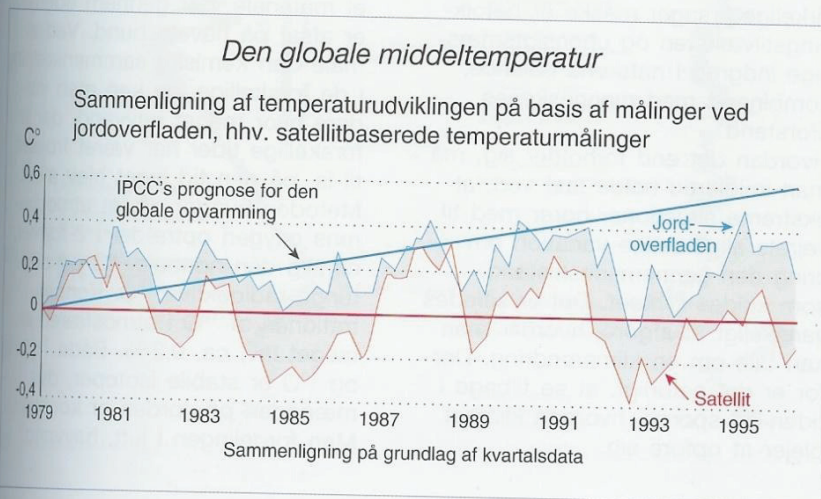
A. Når luften er ustabil, kan en "luftboble", fx røg, bevæge sig op eller ned. Derved udluftes luftrummet over byen. Forureningen fortyndes med afstanden fra forureningskilden.
 B. Afkøling ved jordoverfladen har skabt et inversionslag, som strækker sig fra jordoverfladen til 170 m's højde. Luften i dette lag er stabil og udluftes derfor ikke. Forureningen kan ophobes.
 C. Et inversionslag fra 225 m og op efter "lægger låg" på byens luftrum. Forurenede luft fra fx byens skorstene synker ned i forbindelse med adiabatisk opvarmning. Smog-risikoen er stor.

antal klimaforskere gør derfor opmærksom på, at den registrerede temperaturstigning måske ikke viser det sande billede. Der mangler simpelt hen måledata fra det åbne land. Satellitbaserede temperaturmålinger viser desuden, at temperaturen i den lave atmosfære (troposfæren) næsten ikke har ændret sig gennem de seneste årtier, se fig. 5.34. Der er således god grund til at overveje, om debatten om den globale opvarmning foregår på det rette grundlag.

Ændringer i Jordens klima i fortid og nutid

En række ekstreme vejrforhold i de senere år har rejst spørgsmålet, om vi er på vej mod en menneskeskabt klimaændring. Omfattende tørke- og sultproblemer i Sahelområdet i Afrika, tørke og misvækst i nordamerikansk landbrug, oversvømmelser i Bangla-

5.34. Ændringer i den globale middeltemperatur siden 1979. Som det fremgår af figuren viser temperaturmålinger ved jordoverfladen (IPCC) og satellitbaserede målinger (NASA) af temperaturen i den lave atmosfære (troposfæren) forskellig tendens. For at kunne sammenligne udviklingen er der anvendt samme nulpunkt. Skalaen til venstre viser altså ændringstendensen i grader celsius. (Kilde: National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), U.S. Department of Commerce, February 10, 2005. <http://www.climate-science.gov/Library/sap/sap1-1/sap1-1prospectus-comments.htm>, <http://www.noaa.com/eos.html>).



Grønne områder og byplanlægning - Værn mod varmere klima

Grønne områder kan være med til at mindske generne ved et ændret klima. Varme, tørre somre og øget nedbør om vinteren stiller nye krav til byerne og til karakteren af parker og grønne områder.

Af Sanne Lund

Fotos: Jakob Helbig, Det Biovidenskabelige Fakultet for Fødevarer, Veterinærmedicin og Naturressourcer

Denne artikel er publiceret på www.kvl.dk i november 2004

Vi håber ofte på varmere somre i Danmark, men varme somre er ikke lutter is og beachvolley. I byerne kan hed sommervarme være et stort problem for svagelige grupper som for eksempel syge og ældre, og i Syd- og Centraleuropa dør mange mennesker i forbindelse med hedebløgere.

På grund af klimaforandringer kan vi også i de nordlige egne af Europa regne med temperaturstigninger, og her kan grønne områder i byerne være med til at holde sommertemperaturen nede og imødegå andre effekter af et ændret klima. Det fortæller Stephan Pauleit, der er nyansat professor i landskabsplanlægning på Skov & Landskab på Det Biovidenskabelige Fakultet for Fødevarer, Veterinærmedicin og Naturressourcer.

En vigtig og billig løsning

Stephan Pauleit har i sin hidtidige karriere i Tyskland og England arbejdet med flere projekter, der handler om, hvordan byerne kan tilpasse sig et ændret klima.

"Selvfølgelig skal man arbejde for at mindske CO₂-udslippet i atmosfæren, men baseret på min forskning mener jeg, at bevaring og nyplantning af grønne områder i byerne er en meget vigtig og billig del af løsningen", siger Stephan Pauleit.

I et forskningsprojekt i München, som Stephan Pauleit var med i, blev byen skannet fra luften. Et fly udstyret med specialudstyr fløj over byen og indsamlede datamateriale, der blev bearbejdet og blandt andet blev til et kort over byen, der tydeligt viste, at boligområder, erhverv og færdselsårer udstrålede meget varme, mens grønne områder var kølige.

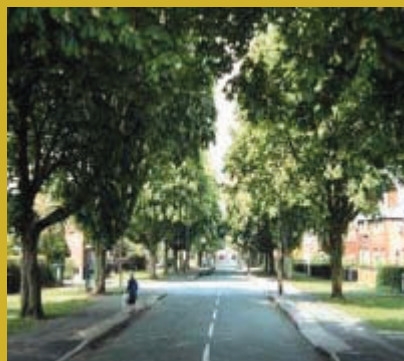
Denne viden kan man bruge i byplanlægningen, hvis man vil prøve at tage højde for klimaforandringerne og de højere temperaturer, der er i vente, siger Stephan Pauleit.

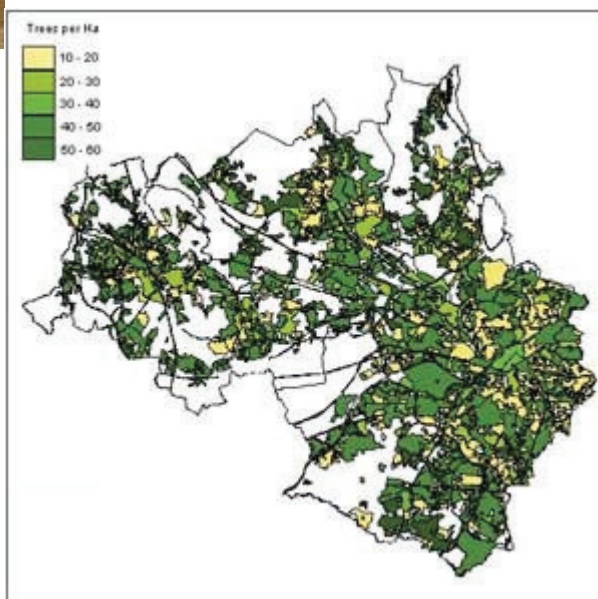
Grøn korridor til byen

I stedet for at opfatte byens parker som enkelte enheder, er der en god fornuft i at planlægge dem som en helhed, der hænger sammen. For eksempel vil det være en fordel, at der er grønne forløb fra udkanten af byen ind mod centrum. Grønne korridorer kan virke som en luftdyse og bringe frisk luft ind i byen fra de mere landlige områder, der ligger omkring en by. Det kan give øget velbefindende i en varm sommer, hvor luften ellers risikerer at blive ubehagelig.

Sunde træer i sunde parker

Grønne områder kan hjælpe til med at tilpasse bymiljøet til et varmere klima, men kun sunde træer i sunde parker vil have den ønskede effekt. Derfor er det også vigtigt at se på, hvilken beplantning og hvilke træer, der vil klare sig bedst under de ændrede klimaforhold. Måske skal man vælge at plante træer, der kan klare sig godt i tørkeperioder, især hvis de skal plantes langs veje eller andre steder, hvor rodforholdene ikke er særlig gode.





Mere nedbør i fremtiden

Ud over at have en kølende og forfriskende virkning i byen om sommeren, kan grønne parker formodentlig også være med til at forhindre de oversvømmelser, som klimaforandringerne forventes at føre med sig i vinterperioden.

I byerne, hvor huse, asfalt og andre belægninger dækker jorden, vil en stigende nedbørsmængde øge presset på kloaksystemet. Et velplanlagt net af grønne områder med mange træer vil kunne give mulighed for lokal nedsivning og optage

noget af vandet og dermed aflaste kloakkerne.

Plan for hver kvarterstype

Stephan Pauleit deltager også i et projekt i Manchester, hvor man har som mål at skabe en strategi for byernes tilpasning til de nye klimaforhold med fokus på de grønne områder.

Projektet, der hedder ASCCUE (Adaptation Strategies to Climate Change in the Urban Environment), har med Manchester som model analyseret, hvor meget grønt der er i forskellige kvarterstyper som for eksempel boligområder, erhvervs- og industriområder, legepladser og egentlige parker. Efterfølgende har man udviklet modeller, som kan udregne, hvilken evne de grønne områder i de forskellige kvarterer har til både at holde lufttemperaturen nede og til at lede regnvand væk.

”ASCCUE har England som model, men også i Danmark er det vigtigt at overveje, hvordan klimaforandringerne påvirker byerne. En inddeling af byerne i forskellige kvarterstyper, giver mulighed for at finde de gode grønne løsninger, der er i hver kvarterstype og ”eksportere” dem til kvarterer af samme type. Det giver nogle helt konkrete redskaber, der er nemme for byplanlæggere at arbejde med”, siger Stephan Pauleit.

Træer må ofte vige for byggeri

Der er stor konkurrence om arealet i de store europæiske byer, og der er tendens til, at eksisterende grunde udnyttes til for eksempel at bygge endnu et hus. Og ønsket om mere plads til byggeri æder sig ind på det grønne og ikke mindst på træerne, siger Stephan Pauleit.

Og det er en skam, for det er ikke kun de offentlige parker, der tæller, når det gælder grønt i byerne. Også de træer, der vokser i haver og mellem boligblokke, kan være med til at køle og forebygge oversvømmelser.

Martin Sandgaard, mje@life.ku.dk - siden er sidst opdateret d.25. marts 2008

Vores beregninger viser, at man ved at øge andelen af grønt i boligområderne kan være med til at forhindre, at byen opvarmes, fordi grønne områder og især træer har en imponerende evne til at sænke temperaturen. 10 % mere grønt kan sænke temperaturen med 1,2 °C i parcelhuskvarterer og 3,7 °C i byens centrum. Det svarer nogenlunde til den temperaturstigning, man forventer frem til år 2080 - når man ser bort fra det mest ekstreme scenarie for klimaet,« siger Stephan Pauleit.

- Man kan sige, at træer og de grønne områder kompenserer for de uundgåelige temperaturstigninger, fortsætter han og forklarer, at modelberegninger over et klimascenarie i Manchester viser, at mens overfladetemperaturen i byens centrum i gennemsnit var 32,1 °C, var temperaturen i en større park kun 18,4 °C.

Kilde: Bydesign mod klimaforandringer - 15.02.2008 – Stephan Pauleit life.ku