

# Danmarks Klimacenter

DMI, Trafikministeriet

## Ozonlaget over Danmark 1979-2002



**Paul Eriksen**  
**Rapport 03-03**

**Ozonlaget over Danmark 1979-2002**

Paul Eriksen

**Danmarks Klimacenter, Rapport nr. 03-03.**

ISBN: 87-7478- 485-4

ISSN: 1398-490-x (Print)

ISSN: 1399-1957 (Online)

© Danmarks Meteorologiske Institut, 2003

Danmarks Meteorologiske Institut

Lyngbyvej 100

2100 København Ø

Telefon: 39 15 75 00

Fax: 39 27 10 80

[www.dmi.dk](http://www.dmi.dk)

Omslag: DMI måler ozonlagets tykkelse over København med et Brewer ozonspektrofotometer

## INDHOLDSFORTEGNELSE

Baggrund	1
Tidsserieanalyse af serie med trend	2
Trend og signifikans af trend	3
Ozonserien for København	5
Tidsserieanalyse af serie med ændring af trend	9
Er der en signifikant ændring af trend for København omkring 1992?	10
Referencer	12
Danmarks Klimacenter	13
Tidligere publikationer fra Danmarks Klimacenter	13

## 1. OZONLAGET OVER DANMARK 1979-2002.

### Baggrund.

Det er velkendt, at ozonlaget er blevet udtyndet gennem 1980'erne og første del af 1990'erne. Ser man isoleret på målinger af ozonlagets tykkelse gennem de seneste 10 år kan det imidlertid se ud som om den nedadgående tendens ikke er fortsat. Derfor har der på det seneste været stor interesse for, hvorvidt tendensen i ozonlagets tykkelse over Danmark eventuelt har ændret sig gennem de seneste år. Ud fra den kendsgerning, at stratosfærens klorindhold har toppet omkring eller lige før år 2000, og herefter forventes at falde på grund af Montrealprotokollens virkninger, er det derfor naturligt at stille spørgsmål om, hvornår man kan forvente at se en effekt heraf i målingerne, eller om den måske allerede er der. Interessen for dette spørgsmål afspejles tydeligt i litteraturen, senest i en række artikler af Weatherhead, Reinsel og andre [1-4]. Baggrunden for analysemetoden i disse fire artikler stammer fra en artikel af Tiao [5], der også er medforfatter til de fire førstnævnte artikler.

Det fremgår af analysen i de nævnte artikler, at chancen for at detektere 'recovery' af ozonlaget er størst omkring 30-35 graders sydlig bredde. Årsagen hertil er samspillet, eller modsætningerne, mellem autokorrelation og naturlig variabilitet i ozonlagets tykkelse. Tæt ved polerne er den naturlige variabilitet stor og autokorrelationen forholdsvis lille, mens forholdene er lige modsat tæt ved ækvator: her er autokorrelationen stor og den naturlige variabilitet meget lille.

De fleste tidsserier med geofysiske data udviser autokorrelation. Det gælder også for tidsserier med månedlige middelværdier af ozonlagets tykkelse. Autokorrelation betyder, at en bestemt måneds middelværdi i en vis udstrækning afhænger af den foregående måneds middelværdi, eller af flere forudgående måneders middelværdier. Når en tidsserie indeholder autokorrelation påvirker det usikkerheden på flere statistiske størrelser, f.eks. variansen [6,7]. Det kan også udtrykkes på den måde, at det effektive antal *uafhængige* observationer er mindre end det faktiske antal [8,9].

Som illustration af betydningen af autokorrelation og naturlig variabilitet viser Weatherhead et al. [2], at der for forhold, der svarer til forholdene for København, hvor den månedlige variabilitet i ozonlagets tykkelse er således, at standardafvigelsen er ca. 16 DU og autokorrelationen er ca. 0,3, kræves ca. 14 års månedlige middelværdier af ozonlagets tykkelse for med et 95 % konfidensniveau at kunne detektere en trend på 1 DU/år. Det viser, at DMI's egne målinger, der for København strækker sig fra juni 1992 og fremefter, ikke giver en tilstrækkelig lang tidsserie til med et 95 % konfidensniveau at detektere en trend af den størrelse som tidsserien for København viser for hele perioden 1979-2002, der numerisk er  $-1.2$  DU/år.

### Tidsserieanalyse af serie med trend.

Tidsserieanalyse er ikke altid simpel og derfor skal sådanne analyser altid fortolkes med forsigtighed: man skal nøje overveje hvilke spørgsmål man ønsker besvaret af en analyse, opstille en model der kan besvare de stillede spørgsmål, og tolke analysens resultat(er) herefter. I det følgende anvendes notationen fra reference 1-4.

Den traditionelle analyse af ozonlagets udtynding bygger på en model, hvor den månedlige middelværdi af ozonlagets tykkelse,  $Y_t$ , i den periode man undersøger, antages [2] at kunne beskrives med modellen

$$Y_t = \mu + S_t + \omega X_t + \beta Sol_t + \gamma QBO_t + N_t$$

hvor  $t$  er tidsstep (måned,  $= 1, 2, 3, \dots, T$ ),  $\mu$  er middelværdi,  $S_t$  beskriver sæsonvariationen,  $\omega X_t$  er den lineære trend med størrelse  $\omega$  (DU/år) og  $X_t = t/12$ .  $\beta$  beskriver indflydelse af solcyklus og  $\gamma$  beskriver indflydelse af QBO. Der medtages så mange led som naturligt kunne tænkes at have indflydelse på ozonen, eller som man ønsker at analysere indflydelsen af.  $N_t$  (N for noise) er et støjled, der i lighed med andre geofysiske og meteorologiske parametre antages autoregressiv af orden 1, AR(1), dvs.  $N_t = \phi N_{t-1} + \varepsilon_t$ , hvor  $\varepsilon_t$  er uafhængige tilfældige variable ('hvid' støj) med middelværdi 0 og varians  $\sigma_\varepsilon^2$ . Endvidere antages  $|\phi| < 1$  således at støj-processen  $\{N_t\}$  er stationær. 'Støjen' er autokorreleret med  $\phi = Corr(N_t, N_{t-1})$  og variansen af støjen  $\sigma_N^2$  er relateret til variansen af den 'hvide' støj  $\sigma_\varepsilon^2$  ved  $Var(N_t) = \sigma_N^2 = \sigma_\varepsilon^2 / (1 - \phi^2)$  [2,5,6].

Allerede her skal man være opmærksom på, at man her på forhånd har valgt en bestemt model til at beskrive tidsserien. I litteraturen ses oftest modeller som ovenstående<sup>1</sup>. Modellen er relevant, fordi vi ved, at ozonlaget har en (markant) sæsonvariation og vi ved at det påvirkes af solcyklus og QBO. Der kunne være andre interessante parametre at inkludere, f.eks. NAO og/eller AO.

For tidsserier der indeholder trend og (seriel) autokorrelation gælder, at signifikans af trend afhænger af støjens varians og autokorrelation [1-5]. En simpel analyse, i form af en (normal) lineær regression efter mindste kvadraters metode, kan anvendes i en første fase til at få en ide om seriens trend, men en sådan analyses signifikansniveau bliver ikke korrekt når tidsserien er autokorreleret.

For en ozontidsserie vil varians og autokorrelation være afgørende for, hvornår man et givet sted på kloden er i stand til at detektere 'recovery' af ozonlaget. I polarområderne er variabiliteten som nævnt stor men autokorrelationen lille, mens det modsatte er tilfældet i ækvatorområder. Derfor forventes det, at 'recovery' først vil kunne detekteres på mellembreddegrader, og en nøjere analyse [2] viser, at der er størst chance for at detektere 'recovery' på lave mellembreddegrader på den sydlige halvkugle.

### **Trend og signifikans af trend.**

Hvis  $\hat{\omega}$  er least squares estimatet af den lineære trend, og  $\sigma_{\hat{\omega}}$  den tilsvarende standardafvigelse af  $\hat{\omega}$ , kan det vises, at der, såfremt autokorrelationen ( $\phi$ ) ikke er for stor, med god tilnærmelse gælder [2], at

$$\sigma_{\hat{\omega}} \approx \frac{\sigma_{\varepsilon}}{(1-\phi)} \frac{1}{n^{3/2}} = \frac{\sigma_N}{n^{3/2}} \sqrt{\frac{1+\phi}{1-\phi}}$$

---

<sup>1</sup> En anden metode er at analysere en tidsserie vha. wavelets, hvor der ikke på forhånd opstilles en model, men hvor analysen viser forskellige komponenter, der hver især fortæller noget om tidsseriens indhold af bidrag med forskellig tidsskala. F.eks. kan trend opfattes som den afledede af den tidsseriekomponent med den længste tidsskala, og den kan naturligt ændres med tiden.

hvor  $n = T/12$  er antal år (af månedlige middelværdier). Heraf ses hvorledes autokorrelation og varians har indflydelse på signifikans af trendestimat. For København har vi  $n=24$ ,  $\phi=0,31$  og  $\sigma_N = 17$  DU, hvilket giver  $\sigma_{\hat{\omega}} = 0,20$  DU/år, mens standardafvigelsen bestemt ved en normal lineær regression (Generalized Least Squares, i det følgende forkortet GLS), der er vist øverst i figur 3, kun er 0,14.

En anden måde at vurdere variansen af en serie, der indeholder autokorrelation, er ifølge Wilks [8] og Quenouille [9], at approximere seriens "effektive" antal uafhængige målepunkter til  $n' = n(1 - \phi)/(1 + \phi)$ , hvor  $\phi$  er autokorrelationen og  $n$  er seriens oprindelige antal målepunkter. Dermed bliver standardafvigelsen for trendestimat  $\hat{\omega}$  i den autokorrelerede serie,  $\sigma_{\hat{\omega}}$ , relateret til standardafvigelsen for trendestimat bestemt ved en normal lineær regression,  $\sigma_{\hat{\omega}, GLS}$ , ved  $\sigma_{\hat{\omega}} = \sigma_{\hat{\omega}, GLS} (n - 1)/(n' - 1)$ . Med data for serien for København fås med denne approximation også  $\sigma_{\hat{\omega}} = 0,20$  DU/år, altså samme værdi som med analysen ovenfor.

Hvis vi anvender den almindeligste detektionsregel, nemlig at en trend er reel, med 5 % signifikansniveau eller 95 % konfidensniveau, når  $|\hat{\omega} / \sigma_{\hat{\omega}}| > 2$ , følger det, at antallet af år,  $n^*$ , der er nødvendige for at detektere en trend af størrelse  $|\omega| = |\omega_0|$ , med en sandsynlighed på mindst  $1 - \beta$ , er

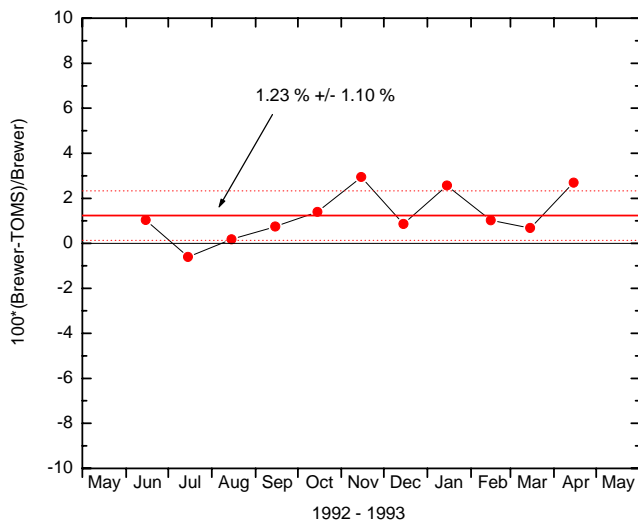
$$n^* \approx \left[ \frac{(2 + z_\beta) \sigma_\varepsilon}{|\omega_0| (1 - \phi)} \right]^{2/3} = \left[ \frac{(2 + z_\beta) \sigma_N \sqrt{1 + \phi}}{|\omega_0| \sqrt{1 - \phi}} \right]^{2/3}$$

hvor  $z_\beta$  betegner den øvre  $\beta$ -percentil af en standard normalfordeling  $Z$ , således, at  $P(Z > z_\beta) = \beta$  (f.eks. er  $z_{0.10} \approx 1.29$ ,  $z_{0.05} \approx 1.65$ ,  $z_{0.01} \approx 2.33$ ).

For København betyder det, at der kræves 19 hhv. 15 års data for at detektere en trend på 1.0 hhv. 1.5 DU/år med et 95 % konfidensniveau, idet vi for København har en autokorrelationen på 0.31 og en varians på 16.7 DU.

### Ozonserien for København.

Tidsserien for ozonlagets månedlige middeltykkelse over København er vist i figur 2. Serien er i realiteten sammensat af to serier, dels satellitmålinger fra Nimbus7-TOMS (NASA) fra januar 1979 til maj 1992, dels af DMI's Brewer-målinger herefter. Da det er en sammensat tidsserie, med målinger fra forskellige instrumenter, er det naturligvis vigtigt, at der ikke er et niveauskift ved overgangen fra det ene til det andet instrument [10]. Idet TOMS på Nimbus7 stoppede målingerne i maj 1993 har vi kun ca. et års overlappende data. Som vist i figur 1 stemmer målingerne fra de to instrumenter overens inden for instrumenternes måleusikkerheder (standardafvigelse 1-2 % eller 4-7 DU). Derfor anser vi den sammensatte tidsserie som værende uden niveauskift.

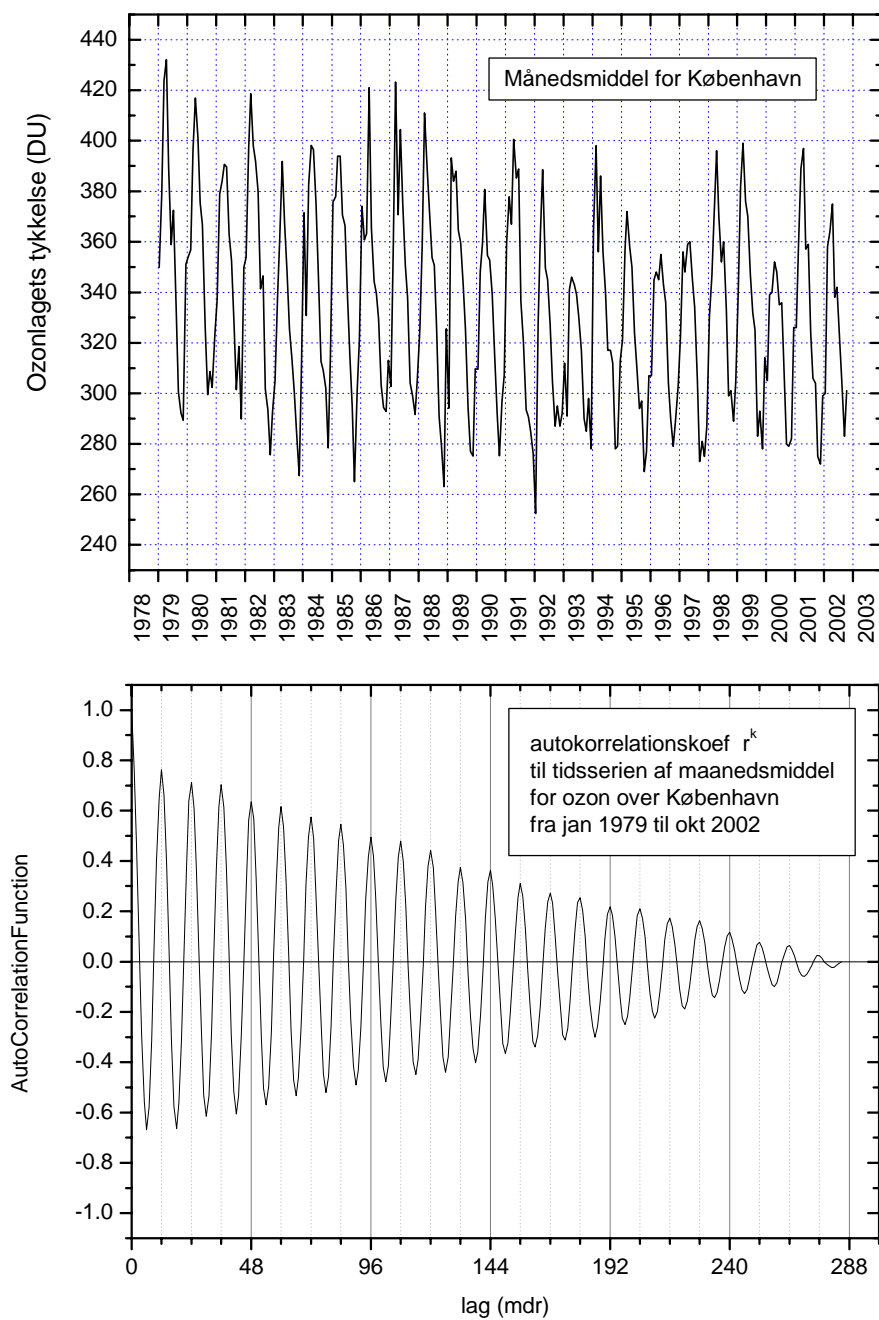


**Figur 1.** Den procentvise afvigelse af TOMS-Nimbus7 målinger fra Brewer-målinger over København for den periode hvor der er overlap. Middelværdi af forskel er markeret med rød linie og én standard-afvigelse herfra med stiplede rød linie. En bias på 1.23 % giver ikke anledning til at konkludere, de to instrumenter måler forskelligt.

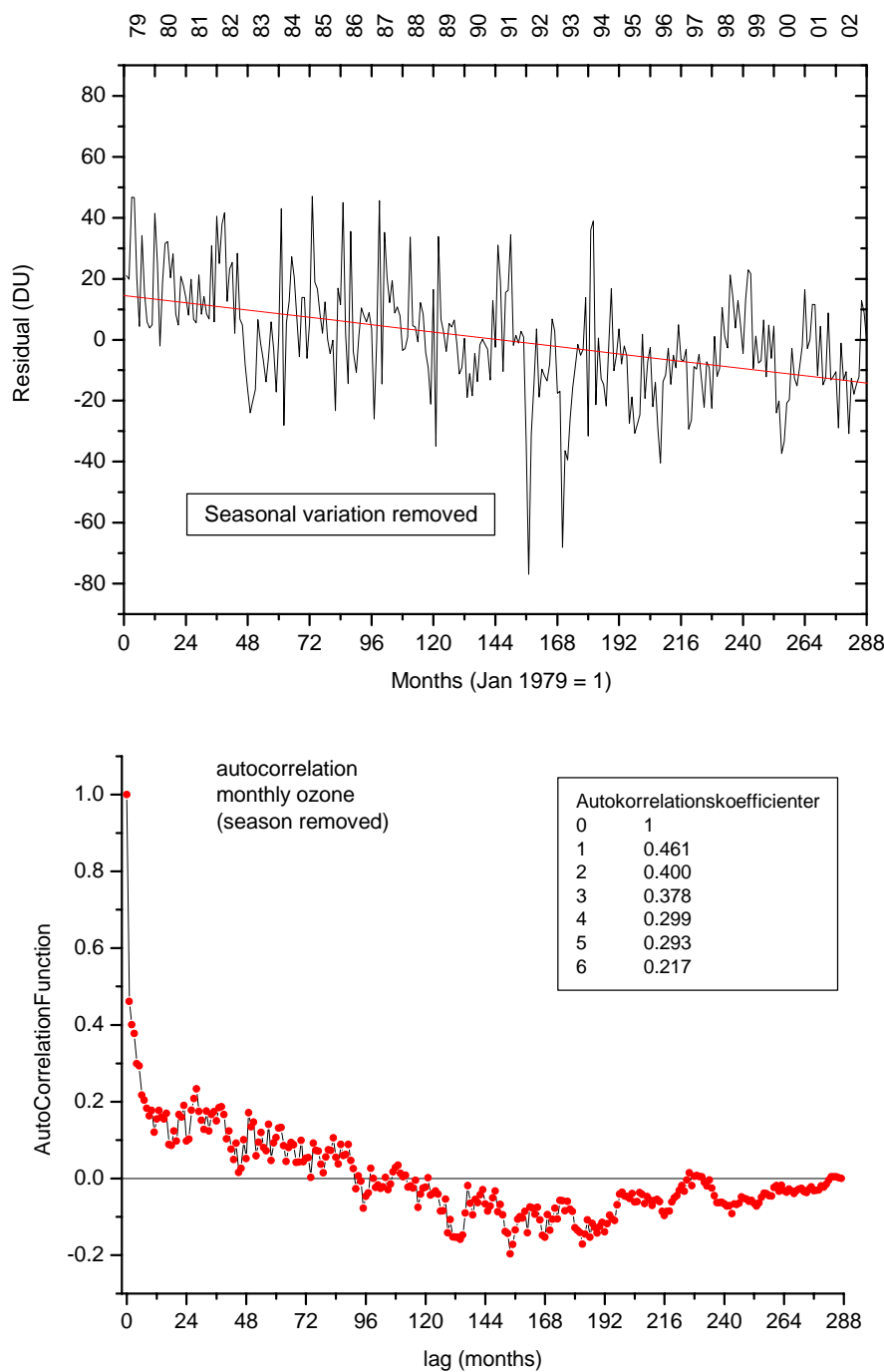
Af figur 2 fremgår den årlige variation tydeligt, også i autokorrelationens oscillerende natur med en periode på 12 måneder.

Hvis vi trækker den årlige middelværdi ud af tidsserien (dvs. fra alle januarværdier fratrækker middel af alle januar osv.), ser serien ud som vist i figur 3. Hvis der til denne serie adderes den samlede series middelværdi over hele perioden, fås den såkaldt sæsonkorrigerede serie. Autokorrelationen viser tydeligt, at serien indeholder trend, idet koefficienterne aftager langsomt mod nul [6,7].





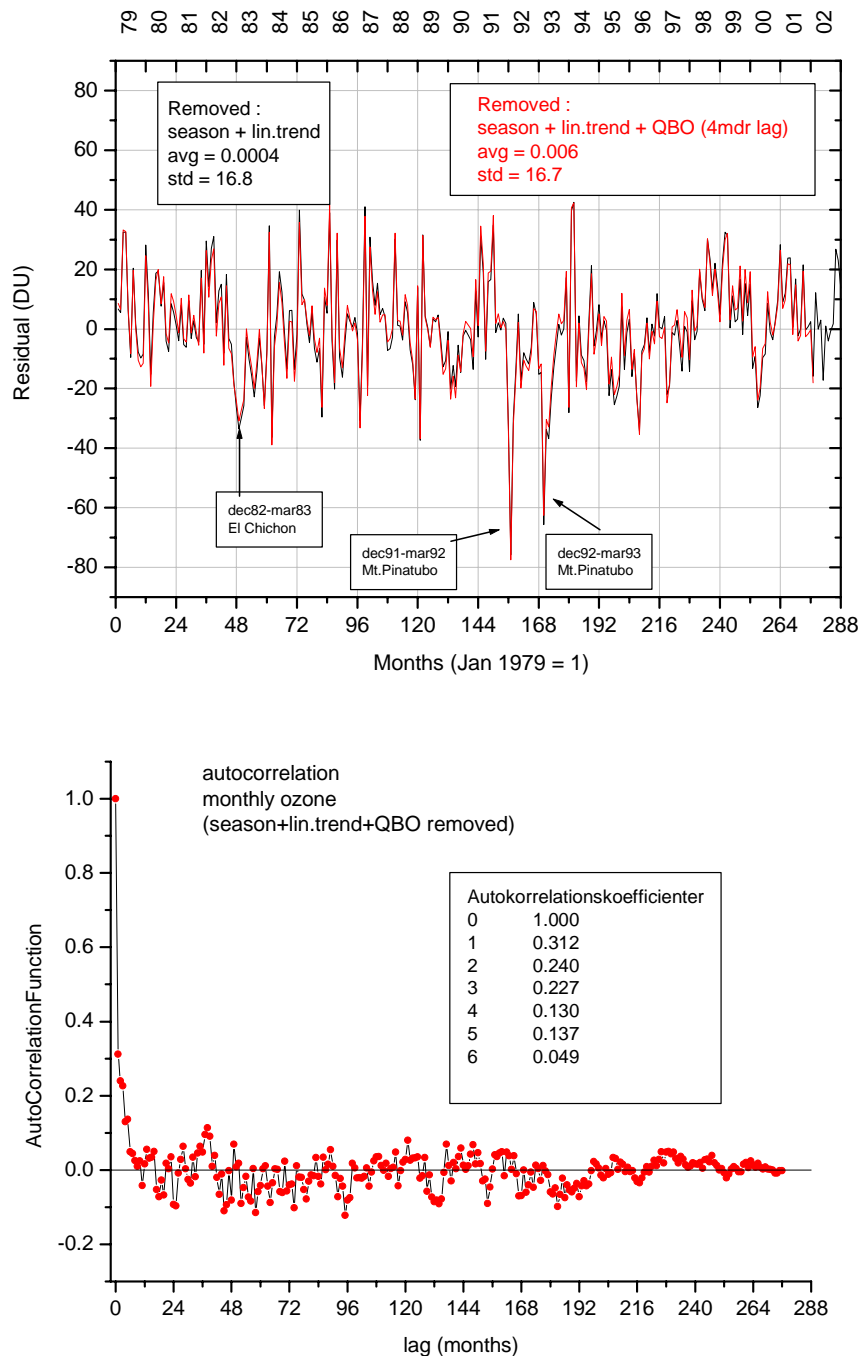
**Figur 2.** Månedsmiddel for ozonlagets tykkelse over København (jan. 1979 – okt. 2002), øverst, samt seriens autokorrelationsfunktion, nederst.



**Figur 3.** Afvigelse fra månedsmiddel, øverst, samt denne series autokorrelationsfunktion, nederst. I den øverste figur er indlagt en linie, der angiver den lineære trend, der med en normal lineær regression (generalized least squares) bestemmes til 1,2 DU/år med en standardafvigelse på 0,144 DU/år. I nederste figur bemærkes store værdier for de første koefficienter, hvilket er typisk for en serie med trend.

Hvis vi fra serien vist øverst i figur 3, vha. normal lineær regression, bestemmer den bedste linie gennem punkterne (vist figur 3 øverst), altså den lineære trend, og trækker denne trend fra serien,

fås en 'de-trended' serie som vist øverst i figur 4 med sort. Dens autokorrelationsfunktion er vist nederst i figur 4.



**Figur 4.** I øverste figur er der med sort vist ozonserien når både sæson og lineær trend er trukket ud. Med rødt er vist serien hvis der herfra yderligere fratrækkes bidrag fra QBO. Det ses, at QBO stort set ingen indflydelse har i Danmark. Bemærk, at middelværdien (stort set) er 0 og at seriens varians er  $(16.8)^2$  – eller  $(16.7)^2$  når også QBO-indflydelsen er trukket ud. I nederste figur er vist autokorrelationsfunktionen. Bemærk specielt  $r^1 = 0.312$ .

Af figur 4 fremgår, at indflydelse af QBO'en over Danmark er ubetydelig, ligesom det også kan vises, at indflydelsen af solcyklus for København er ubetydelig. Solcyklus og QBO har varierende indflydelse afhængig af geografisk placering.

Indflydelse af vulkanudbrud viser sig til gengæld meget tydeligt i perioderne efter hhv. El Chichon (1982) og Mt. Pinatubo (1991), se f.eks. øverst i figur 4. Da vi ikke har noget fornuftigt led at indsætte i modellen til beskrivelse af effekten af vulkanudbrud, er det normalt at sætte ozonværdierne til middelværdier i de påvirkede perioder. Det gælder f.eks. perioden december 1991- marts 1993 efter Pinatubo.

### Tidsserieanalyse af serie med ændring af trend.

Vi udvider nu undersøgelsen af ozontidsserien til at omfatte muligheden af en ændring af trend i perioden. Da solcyklus og QBO har neglige effekter på ozonlaget over Danmark ser vi bort fra disse. Tidsserien antages fra start at have trend  $\omega_1$  DU/år frem til  $t = T_0$  hvorefter den ændres til  $\omega_1 + \omega_2$ . Ved  $t = T_0$  er ændringen i trend derfor  $\omega_2$ . Modellen ser nu således ud [3]:

$$Y_t = \mu + S_t + \omega_1 X_{1t} + \omega_2 X_{2t} + N_t$$

hvor  $X_{1t} = t/12$ , for  $0 < t \leq T$  og hvor

$$X_{2t} = \begin{cases} 0 & \text{for } 0 < t \leq T_0 \\ (t - T_0)/12 & \text{for } T_0 < t \leq T \end{cases}$$

og modellen antager, at overgangen er kontinuert i  $T_0$  – altså at de to trends mødes til tiden  $T_0$ . Idet  $n_0$  betegner antallet af år frem til  $T_0$ ,  $n_1$  betegner antallet af år fra  $T_0$  til  $T$ , og idet  $n = n_0 + n_1$ , kan det vises [3], at standardafvigelsen på GLS-estimatet af  $\hat{\omega}_2$  er givet ved

$$\sigma_{\hat{\omega}_2} \approx \frac{\sigma_\varepsilon}{(1-\phi)} \frac{1}{2} \left( \frac{n}{n_0 n_1} \right)^{3/2}$$

Det er klart, at  $\omega_2 > 0$  er en nødvendig, men ikke tilstrækkelig, betingelse for 'recovery', hvilket indebærer kravet, at  $\omega \equiv \omega_1 + \omega_2 > 0$ . Man kan sige, at  $\omega_2 > 0$  kan fortolkes som en nødvendig for-

løber og 'tidlig signal' for detektion af 'recovery'. Det kan vises [3], at standardafvigelsen på estimatet af trend  $\omega \equiv \omega_1 + \omega_2$  efter  $T_0$  er givet ved

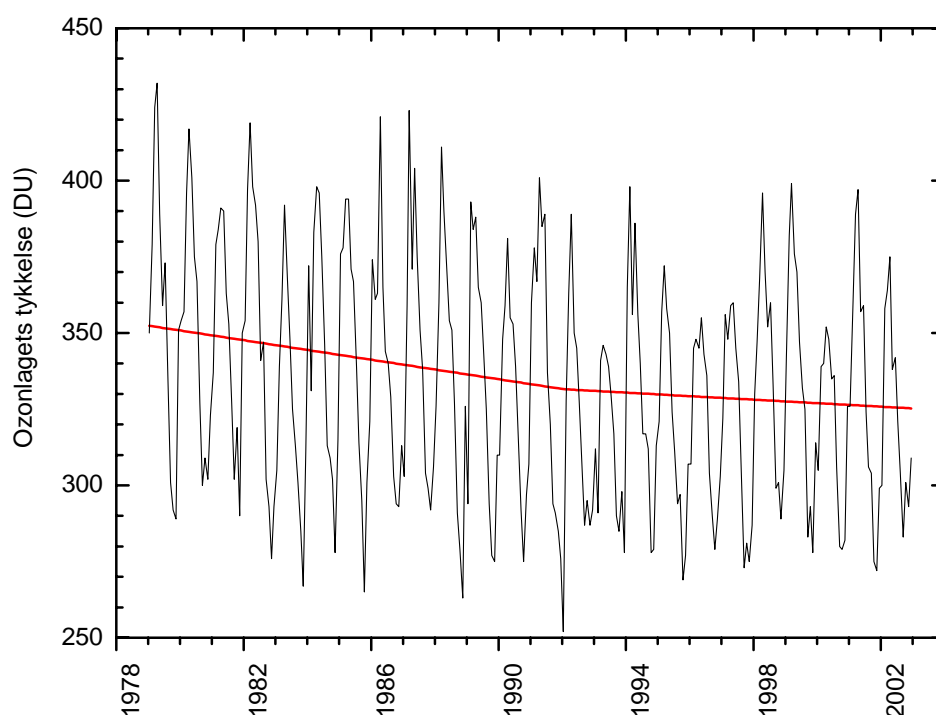
$$\sigma_{\hat{\omega}} \approx \frac{\sigma_{\varepsilon}}{(1-\phi)} \frac{1}{n_1^{3/2}} \left( \frac{n_0 + 4n_1}{4n} \right)^{1/2}$$

### Er der en signifikant ændring af trend for København omkring 1992?

Betragtes sæsondata fra København for foråret, kan det se ud som om der sker en ændring omkring 1992. Man skal imidlertid huske, at netop 1992 og 1993 var år efter et kraftigt vulkanudbrud, der havde en yderst mærkbar indflydelse på ozonlaget. Sammenlignet med de omkringliggende år var ozonlaget derfor meget tyndt i disse år. Da der yderligere var to år omkring år 2000, hvor stratosfæren var forholdsvis varm, med et forholdsvis tykt ozonlag til følge, kan disse naturlige variationer let give indtrykket af et ozonlag, der tiltager i tykkelse mellem sådanne episoder, der er adskilt af ganske få år. Endelig var stratosfærens klorindhold stigende i perioden 1992-2002, eller i det mindste ikke faldende. Derfor savnes en god årsag til, at ozonlagets tykkelse eventuelt skulle være tiltaget i perioden 1992-2002.

For serien af månedlige middelværdier af ozonlagets tykkelse over København har vi i det ovenstående det grundlæggende værktøj til at undersøge, om der er sket en ændring af trend omkring 1992. Vi antager derfor, at serien har trend  $\omega_1$  for perioden 1979-1991 og trend  $\omega_2$  for perioden 1992-2002, og tester, hvorvidt der er sket en ændring i trend, dvs. om  $\omega_2$  er statistisk forskellig fra 0. Samtidig tester vi, hvorvidt trend efter 1992,  $\omega \equiv \omega_1 + \omega_2$ , er statistisk forskellig fra trend før 1992. Ozonværdierne i perioden fra december 1991 til maj 1992 (efter Pinatubo) sættes lig med gennemsnitsværdier.

Det viser sig, at trend for perioden 1979-1991 er  $-1,6$  DU/år med et 95 % konfidensniveau ( $2\hat{\omega}_1$ ) på 1,0 DU/år: altså  $\omega_1 = -1,6 \pm 1,0$  DU/år. For perioden 1992-2002 finder man, at trend er  $-0,6$  DU/år med et 95 % konfidensniveau på 1,0 DU/år: altså  $\omega = -0,6 \pm 1,0$  DU/år. Vi kan dermed *ikke* konkludere, at trend efter 1992 er statistisk forskellig fra trend før 1992 og der er ikke tegn på 'recovery'. Ved 'knæpunktet' i januar 1992 er ændringen i trend 1,0 DU/år med et 95 % konfidensniveau på 1,7 DU/år, altså, at  $\omega_2 = 1,0 \pm 1,7$  DU/år. Se plot heraf i figur 5.



**Figur 5.** Månedsmiddel for ozonlagets tykkelse over København (jan. 1979 – dec. 2002), samt lineær trend hhv. før og efter januar 1992 på hhv. -1,6 og -0,6 DU/år. Ændringen er dog ikke signifikant.

Da stratosfærens klorindhold først var aftagende i slutningen af sidste århundrede er et knæpunkt i januar 1992 måske ikke det mest oplagte. Det er måske vigtigere at undersøge, om en flytning af knæpunktet til senere tidspunkter giver andre resultater. Hvis knæpunktet flyttes til hhv. januar 1993, januar 1994, januar 1995 og januar 1996 fås resultaterne vist i tabel 1.

perioder	$\omega_1$	$2\sigma_{\omega_1}$	$\omega_2$	$2\sigma_{\omega_2}$	$\omega$	$2\sigma_{\omega}$
79-91, 92-02	-1,60	0,98	1,02	1,69	-0,58	1,02
79-92, 93-02	-1,59	0,88	1,18	1,75	-0,41	1,15
79-93, 94-02	-1,59	0,79	1,18	1,85	-0,41	1,31
79-94, 95-02	-1,57	0,72	1,64	2,00	0,07	1,51
79-95, 96-02	-1,55	0,66	1,96	2,23	0,41	1,79

**Tabel 1.** Resultat af analyse hvis knæpunkt flyttes til januar 1993, 1994, 1995 og 1996.

Som det fremgår af tabel 1, ændrer flytning af knæpunktet ikke ved konklusionen: trend efter knæpunkt er ikke statistisk forskellig fra trend før knæpunkt, og der er ikke tegn på 'recovery'.

**Referencer:**

1. Weatherhead, E.C. et al. Factors affecting the detection of trends: Statistical considerations and application to environmental data. *J. Geophys. Res.*, 103, 17149-17161, 1998.
2. Weatherhead, E.C. et al. Detecting the recovery of total column ozone. *J. Geophys. Res.*, 105, 22201-22210, 2000.
3. Reinsel, G.C. et al. On the detection of turnaround and recovery in trend for ozone. *J. Geophys. Res.*, 107 (D10), 2002.
4. Reinsel, G.C. Trend analysis of upper stratospheric Umkehr ozone data for evidence of turnaround. *Geophys. Res. Lett.* 29, 91-1-91-4, 2002.
5. Tiao, G.C. et al. Effects of autocorrelation and temporal sampling schemes on estimates of trend and spatial correlation. *J. Geophys. Res.*, 95, 20507-20517, 1990.
6. Chatfield, C. *The Analysis of Time Series*. Chapman and Hall, London, 1980.
7. Kendall, M., Kieth Ord, J. *Time Series*. 3<sup>rd</sup> ed. Edward Arnold, 1990.
8. Wilks, D.S. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Academic Press, San Diego, 1995.
9. Quenouille, M.H. *Associated measurements*. Butterworths, London, 1952.
10. Fioletov, V.E. et al. Global and zonal total ozone variations estimated from ground-based and satellite measurements: 1964-2000. *J. Geophys. Res.* 107 (D22), ACH 21-1-21-14, 2002.

## DANMARKS KLIMACENTER

Danmarks Klimacenter blev oprettet ved Danmarks Meteorologiske Institut i 1998. Centrets hovedformål er at kortlægge den sandsynlige klimaudvikling i det 21. århundrede - globalt og i Danmark - herunder fremtidige klimaændringers indflydelse på de danske, grønlandske og færøske samfund.

Klimacentrets aktiviteter omfatter udvikling af nye og forbedrede metoder til satellitbaseret klimaovervågning, studier af klimaprocesser (inklusive sol-klima relationer, drivhuseffekt, ozonens rolle og luft/hav/havis vekselvirkning), udvikling af globale og regionale klimamodeller, sæsonprognoser samt udarbejdelse af globale og regionale klimascenarier til effektstudier.

Klimacentret er organiseret med et sekretariat i DMI's Forsknings- og udviklingsafdeling og koordineres af forskningschefen.

Klimacentret har etableret Dansk Klimaforum, som er et forum til udveksling af resultater og viden og til drøftelse af klimaspørgsmål. I Klimaforum afholdes temadage og workshops med deltagelse af klimaforskere og andre, der har interesse i centrets aktiviteter. I 2000 blev Klimaforum udvidet i overensstemmelse med den danske handlingsplan "Klima 2012", og arrangementerne omfatter nu også policyemner. Der er etableret en styregruppe med deltagere fra Energistyrelsen (sekretariat), DMI, Dansk Industri og 92-gruppen. Centret udgiver et populært nyhedsbrev, KlimaNyt, som udkommer 2 gange årligt. KlimaNyt kan også ses på [www.dmi.dk](http://www.dmi.dk).

DMI har udført klimaovervågning og -forskning siden oprettelsen i 1872 - og oprettelsen af Danmarks Klimacenter har styrket både klimaforskningen på DMI og samarbejdet med forskningsinstitutioner i Danmark og det øvrige Europa.

### Tidligere publikationer fra Danmarks Klimacenter:

- Rapport 98-1** Dansk Klimaforum 29. - 30. april 1998. (Åbning af Danmarks Klimacenter, Referater fra workshop, Resumé af præsentationer).
- Rapport 99-1** Danish Climate Day 1999.
- Rapport 99-2** Dansk Klimaforum 12. april 1999. Workshop: Klimatisk variabilitet i Nordatlanten på tidsskalaer fra årtier til århundreder.
- Rapport 99-3** Luftfart og den globale atmosfære, Danmarks Meteorologiske Instituts oversættelse af IPCC's særrapport "Aviation and the Global Atmosphere, Summary for Policymakers".
- Rapport 00-1** Forskning og Samarbejde 1998-1999.
- Rapport 00-2** Drivhuseffekten og regionale klimaændringer.
- Rapport 00-3** Emissionsscenarier, Danmarks Meteorologiske Instituts oversættelse af IPCC's særrapport "Emission Scenarios, Summary for Policymakers".
- Rapport 00-4** Metoder mødes: Geofysik og emner af samfundsmæssig interesse, Dansk Klimaforums Workshop 15.-16. maj 2000.
- Rapport 00-5** A time-slice experiment with the ECHAM4 A-GCM at high resolution: The simulation of tropical storms for the present-day and of their change in the future climate. Wilhelm May.
- Rapport 00-6** The climate of the 21st century: Transient simulations with coupled atmosphere-ocean general circulation model. Martin Stendel, Torben Schmith, Erich Roeckner and Ulrich Cubasch. (revideret version; se rapport nr. 02-1).
- Bog** Climate Change Research – Danish Contributions. Redigeret af Anne Mette K. Jørgensen, Jes Fenger og Kirsten Halsnæs. DMI/Danmarks Klimacenter, 2001. 408 sider. Distribueres af Gads Forlag.
- Rapport 01-1** Changes in the storm climate in the North Atlantic/European region as simulated by GCM time-slice experiments at high resolution. Uffe J. Andersen, Eigil Kaas and Wilhelm May.



- Rapport 01-2** Klimadag den 26. april 2001; Klimaændringer og deres virkninger - Præsentation af tværfaglig bog om danske bidrag til klimaforskningen.
- Rapport 01-3** Synthesis of the STOWASUS-2100 project: Regional storm, wave and surge scenarios for the 2100 century. Eigil Kaas, et.al.
- Rapport 01-4** Danmark, Færøernes og Grønlands Klima. DMI's afrapportering til FN's Klimakonvention UNFCCC.
- Rapport 01-5** Danmarks vejr og klima i det 20. århundrede. John Cappelen og Niels Woetmann Nielsen.
- Rapport 01-6** Using the nudging technique to estimate climate model forcing residuals. A contribution to the ACE Scientific Support Study. Eigil Kaas and Annette Guldborg.
- Rapport 01-7** Detection of the Pinatubo volcanic heating signal in the lower stratosphere based on nudging assimilation and analysis increments. A contribution to the ACE Scientific Support Study. Eigil Kaas, Annette Guldborg and Ingo Kirchner.
- Rapport 01-8** PRUDENCE kick-off meeting, Snekkersten, December 3-5, 2001. Jens Hesselbjerg Christensen.
- Rapport 01-9** Klimaændringer 2001, Den videnskabelige baggrund. En rapport fra IPCC's arbejdsgruppe I, Resume for beslutningstagere: Danmarks Meteorologiske Instituts oversættelse af: Climate Change 2001 – The Scientific Basis, A report from Working Group I of the International Panel on Climate Change, Summary for Policymakers.
- Rapport 02-1** The climate of the 21st century: Transient simulations with coupled atmosphere-ocean general circulation model. Revised version. Martin Stendel, Torben Schmith, Erich Roeckner and Ulrich Cubasch.
- Rapport 03-01** Grønlands klima. Temadag, mandag den 16. december 2002, DMI, Redigeret af Jens Hesselbjerg Christensen.