Statlig program for forurensningsovervåking

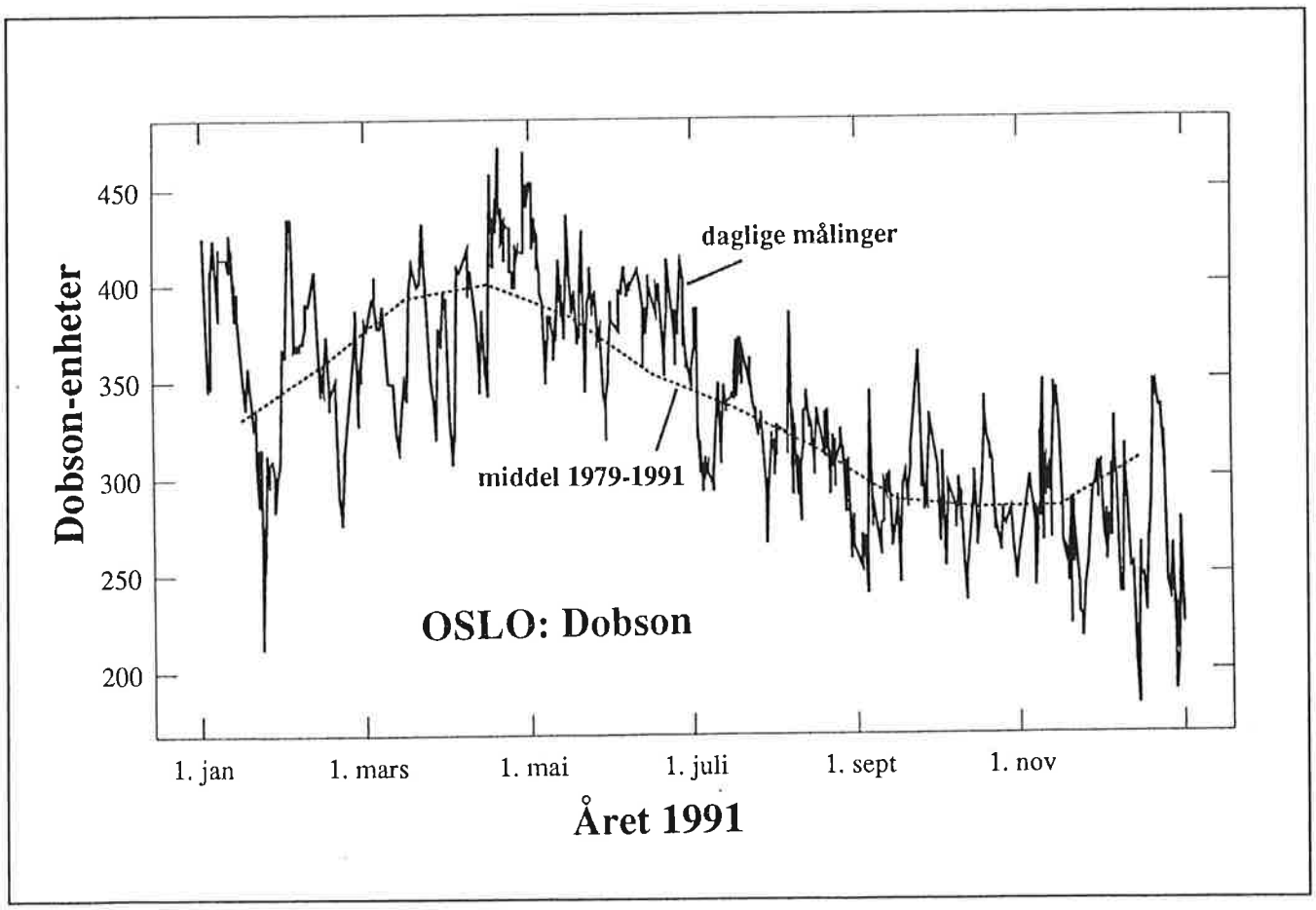
Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn

Rapport nr.: 493/92

Deltakende institusjon: NILU

Overvåking av ozonlaget

Årsrapport 1991



TA - 855/1992

NILU

Norsk institutt for luftforskning

NILU OR : 52/92
REFERANSE: O-8985
DATO : JUNI 1992
ISBN : 82-425-0391-5

OVERVÅKING AV OZONLAGET
ÅRSRAPPORT 1991

A. Dahlback, G.O. Braathen,
B.A. Kåstad og F. Stordal

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 64, N-2001 LILLESTRØM
NORGE

INNHOLD

		Side
	SAMMENDRAG	3
1	MÅLERESULTATER 1991	7
1.1	Dobson-instrumentene	7
1.2	Brewer-instrumentet	11
1.3	Ozonsonder	12
1.4	SAOZ-instrumentet	15
1.5	UV-målinger i Oslo	16
2	MÅLINGER 1979-1991	18
3	ANALYSE AV DOBSON-DATA FOR OSLO, 1978-1991	22
3.1	Innledning	22
3.2	Målemetode for Dobson-instrumentet	23
3.3	Reevaluering av datasett	24
3.4	Nytt datasett sammenlignet med andre måle-metoder	30
3.4.1	Sammenligning mellom Dobson og TOMS	31
3.4.2	Sammenligning mellom Dobson og Brewer	33
3.4.3	Sammenligning mellom Brewer og TOMS	35
4	DRIFT AV INSTRUMENTER OG BEARBEIDELSE AV DATA	35
5	REFERANSER	36

SAMMENDRAG

Analyse av data fra bakkestasjoner og satellitten NIMBUS 7 for perioden 1979-1991 gir noe nedgang i ozonmengden på våre breddegrader. Bakkemålinger i Oslo gir en gjennomsnittlig nedgang på 0,3% pr. år om vinteren mens satellittmålinger gir en nedgang på 0,6%. For sommeren gir bakkemålingene i Oslo ingen nedgang, mens satellitt-dataene gir en nedgang på 0,3% pr. år. Disse resultatene er fremkommet etter at Dobson-dataene er gjennomgått på nytt. Dette har skjedd i et samarbeid mellom Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo og NILU. En rekke stasjoner utenlands viser også mindre nedgang enn satellitt-målingene. En del av denne årsaken er at satellitten ikke kan registrere endringer i ozonmengden i den laveste del av atmosfæren, fra 0-10 km høyde (troposfæren). Målinger med ozonsonder sendt opp med ballong viser at ozonmengden i troposfæren øker med 0,5-2,0% pr. år. Siden bakkeinstrumentene måler endringer i ozonmengden i troposfæren og stratosfæren samlet mens satellitten registrerer endringene vesentlig i stratosfæren, vil en økning i troposfæreozon derfor føre til at bakkeinstrumentene registrerer en mindre nedgang enn satellitten.

Måleseriene fra bakkestasjoner i Tromsø og Longyearbyen er for korte til å utføre en trendanalyse. Begge måleseriene startet i 1984. Analyse av satellittdata fra 1979 til 1991 gir en gjennomsnittlig nedgang om sommeren på 0,4% pr. år for Tromsø og 0,7% pr. år for Longyearbyen. Pga. økningen i troposfæreozonen som satellitten ikke ser vil antagelig den virkelige nedgangen være noe mindre.

Både satellittdata og bakkemålinger viser at det er lokale forskjeller i endringene i ozonlaget, men for Europa sett under ett er nedgangen på 0,4% pr. år både sommer og vinter i perioden 1979-1991. For perioden 1970-1991 er den gjennomsnittlige nedgang for hele året 0,2% pr. år for Europa.

Både Oslo, Tromsø og Longyearbyen er utstyrt med Dobson-instrument. Instrumenter av denne typen er regnet for å være meget pålitelige og stabile.

Våren 1990 ble det plassert ut et nytt instrument (finansiert av SFT) for måling av ozon i Oslo (Brewer-instrumentet). I tillegg til ozon måler Brewer også NO_2, SO_2 og UVB-stråling. Dette instrumentet blir kalibrert én gang hvert år. Vi har derfor to instrumenter på samme sted som kan kontrollere hverandre. Overenstemmelsen mellom disse instrumentene er god. Fordelen med Brewer-instrumentet er bl.a. at det er automatisk og derfor måler hyppigere. Det andre instrumentet, et Dobson-instrument, gir mer pålitelige målinger om vinteren når sola står lavt.

Fra Bjørnøya og fra Gardermoen sendes det jevnlig opp ozonsonder med ballong. Disse når under gode forhold opp til 35 km høyde, dvs. over det aller meste av ozonlaget. Disse gir informasjon om høydefordelingen av ozon og er viktig for å øke forståelsen av de prosesser som forårsaker endringer i atmosfærens ozonmengde. I tillegg er de nyttige for kontroll av målinger med bakkeinstrumenter. Målinger med ozonsonder i Antarktis har vist at nedbrytingen av ozon i perioden september-november hvert år (ozonhullet) skjer i høydeområdet 15-25 km, hvor mesteparten av ozonet befinner seg. Våre ozonsonderinger har ikke vist slike dramatiske endringer i høydefordeling av ozon hos oss.

Ozonsonde-programmet har i 1991, i tillegg til støtte fra SFT, også fått støtte fra NAVF.

SAOZ-instrumentet i Ny-Ålesund (finansiert av NTNF) har vært i drift siden høsten 1990. Dette instrumentet er bygget for å måle bl.a. ozon når sola står lavt på himmelen. Instrumentet utnytter en ny teknikk og er fortsatt under utvikling.

I Oslo måles UVB-stråling med et Robertson-Berger-instrument.

WMO har bestemt at det fra 1.1.92 skal benyttes nye absorpsjonskoeffisienter ved beregning av ozonmengden fra Dobsonmålinger. I alle data for de norske stasjonene som er presentert i denne rapporten er disse blitt benyttet.

I denne rapporten benyttes enheten Dobsonenheter (Dobson Units, forkortet DU) for ozonmengden i atmosfæren. Ozon i atmosfæren er fordelt over et stort høydeområde, mesteparten mellom 15 og 35 km. Hvis ozon var samlet ved bakken ved normalt lufttrykk og temperatur ville tykkelsen av et slikt lag være 2-5 mm. Dette tilsvarer 200-500 DU.

Det vil i månedene som kommer bli arbeidet videre med å gjennomgå Dobson-dataene for Oslo i større detalj.

Måleprogram og rapportering er gjort mulig gjennom det statlige prosjekt for ozonlagsovervåking som finansieres av Statens forurensningstilsyn (SFT).

OVERVÅKING AV OZONLAGET
ÅRSRAPPORT 1991

1 MÅLERESULTATER 1991

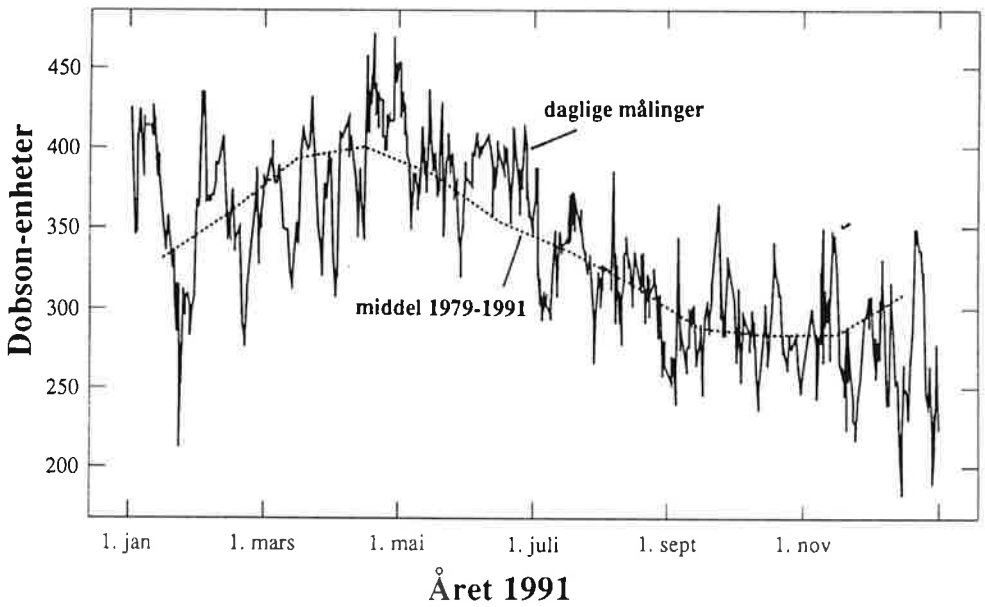
1.1 DOBSON-INSTRUMENTENE

Figur 1,2 og 3 viser totalozon (ozonlagets tykkelse) fra dag til dag i 1991 for Oslo, Tromsø og Longyearbyen. Målingene er tatt både mot direkte sol og senitlys. Som normalt på våre breddegrader er variasjonene fra dag til dag store, spesielt om vinteren. Dette skyldes meteorologiske forhold. De målte variasjoner i ozonmengden ved våre tre stasjoner i 1991, er innenfor det som er normalt.

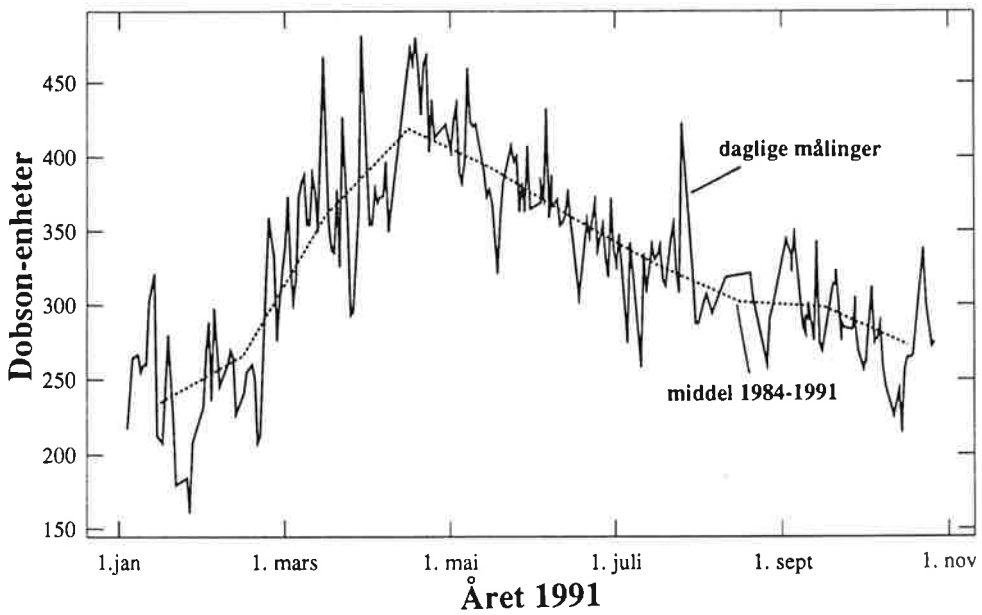
Målingene i Oslo er vist i figur 1. Årets laveste verdi var 182 DU og ble målt den 14. desember. Dette er en svært lav verdi, men likevel ikke den lavest målte. I oktober 1985 ble det målt omkring 170 DU. Det må imidlertid bemerkes at målinger i desember er usikre. Middelet for desember måned 1991 var 15% lavere enn desembernormalen for perioden 1979-1991. Den høyeste verdi var 470 DU og ble målt 19. april. At variasjonene kan være store er overgangen januar/februar et eksempel på. 23. januar ble det målt 211 DU og 10 dager senere den 2. februar ble det målt 428 DU. Den stiplete linjen i figur 1 er månedsmiddelverdiene for årene 1979 til 1991.

Målingene i Tromsø er vist i figur 2. Den største verdien ble her målt til 482 DU den 30/3. Den laveste registrerte ozonmengde, 164 DU, 26/1, er svært usikker pga. vanskelige måleforhold på denne tiden av året. Den stiplete linjen er månedsmiddelverdiene for 1991. Målinger foretatt i november, desember og januar er svært usikre pga. lav sol, bortsett fra i de tilfeller hvor direkte månelys er tilgjengelig.

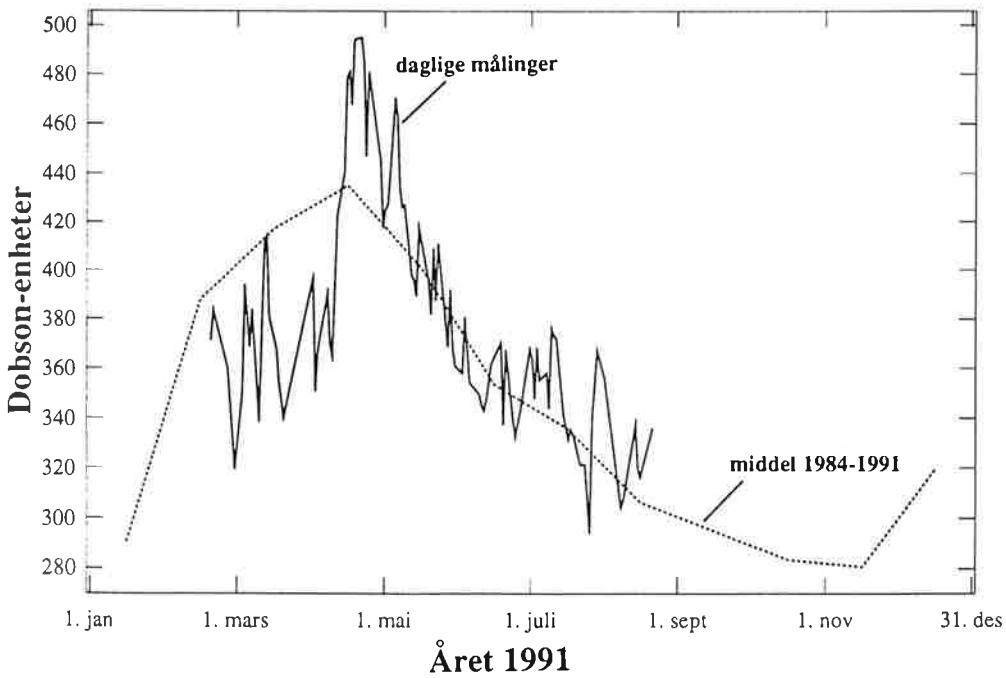
Målingene i Longyearbyen er vist i figur 3. Den kraftige økningen i ozonmengden i april er et fenomen som ikke er uvanlig ved høye breddegrader. Den stiplete linjen er månedsmiddelverdiene for 1991. Instrumentet ble brakt til Universitetet i Oslo i begynnelsen av september måned fordi elektronikken var ustabil. Dette ble rettet på og instrumentet ble flyttet tilbake i mars 1992.



Figur 1: Daglige ozonverdier målt med Dobsons spektrofotometer ved Universitetet i Oslo i 1991. Den stiplete kurven er månedsmidlene fra 1979 til 1991.

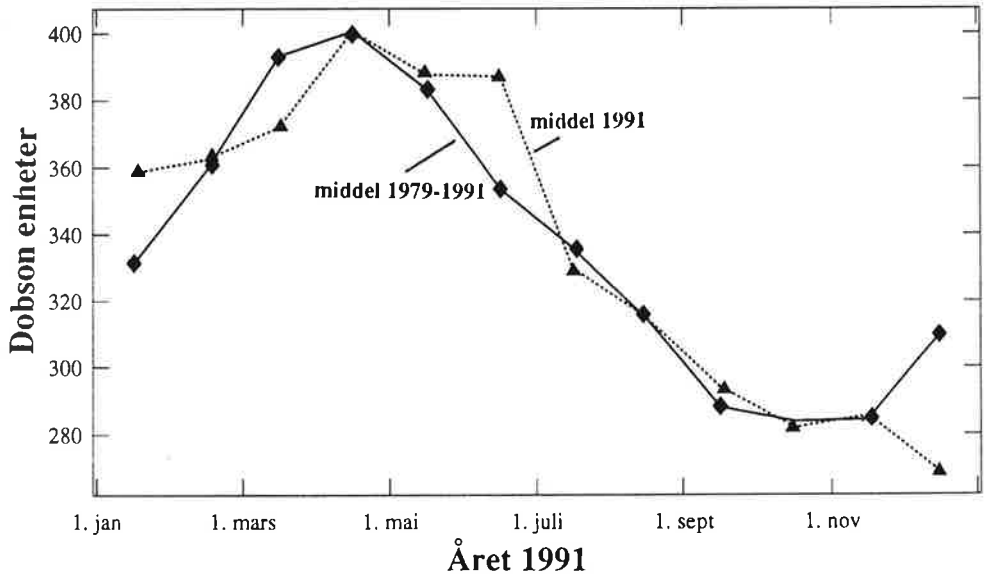


Figur 2: Daglige ozonverdier målt med Dobson-instrumentet ved Nordlysobservatoriet ved Universitetet i Tromsø, 1991. Den stiplete kurven er månedsmidlene fra 1984 til 1991.

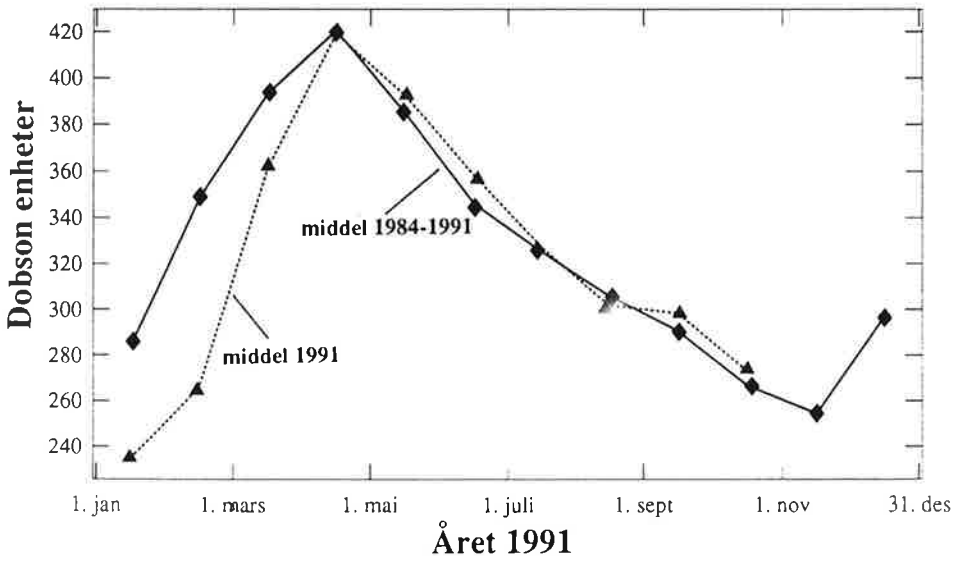


Figur 3: Daglige ozonverdier målt med Dobson-instrumentet i Longyearbyen, Svalbard, 1991. Den stiplete kurven er månedsmidlene fra 1984 til 1991.

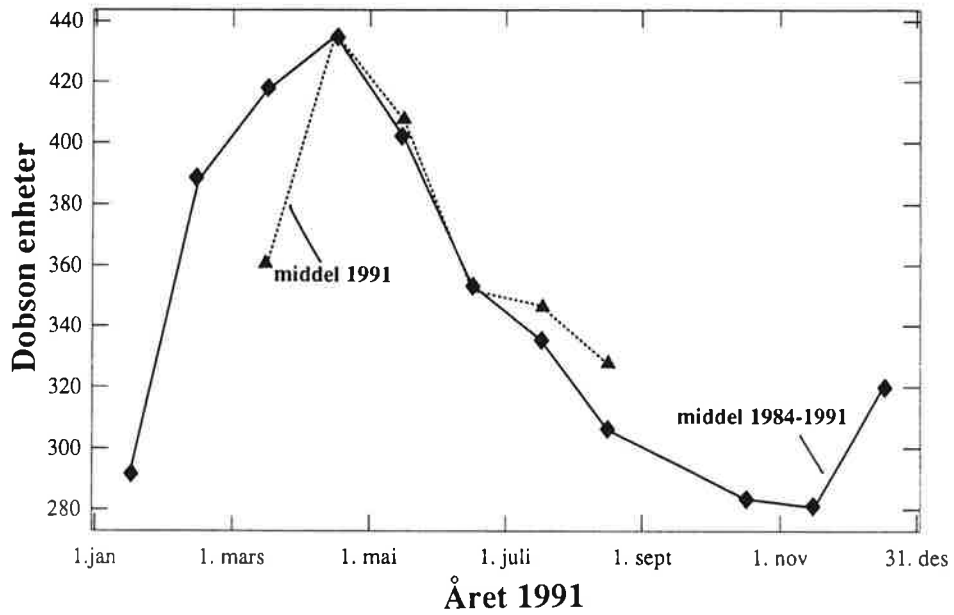
Vi har sammenlignet månedsmiddelverdiene for 1991 med langtidsmånedsmidlene for de 3 stasjonene i henholdsvis figur 4, 5 og 6. For Oslo var mars og desember under "normalen", mens januar og juni var over "normalen". I Tromsø har månedsmidlene for 1991 ligget under "normalen" i første halvdel av året og over "normalen" den siste halvdelen. I Longyearbyen lå marsmiddelet under 1984-1991 "normalen", mens juli og august lå noe over.



Figur 4: Oslo: Månedsmiddelverdiene for 1991 og månedsmiddelverdiene for 1979-1991.



Figur 5: Tromsø: Månedsmiddelverdiene for 1991 og månedsmiddelverdiene for 1984-1991.

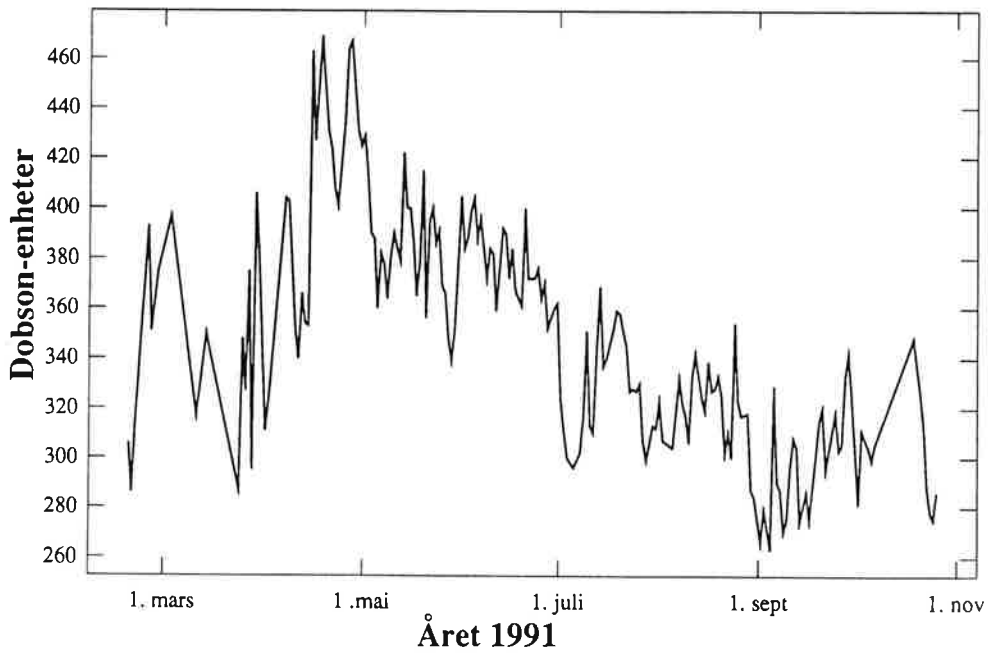


Figur 6: Longyearbyen: Månedsmiddelverdiene for 1991 og månedsmiddelverdiene for 1984-1991.

1.2 BREWER-INSTRUMENTET

Figur 7 viser de daglige målinger i 1991 utført med Brewer-instrumentet i Oslo. Målingene angitt i denne figuren er alle tatt mot direkte sollys. Med instrumentet foretas også senitlysmålinger, men metoden for å beregne ozonmengden fra slike målinger er foreløpig ikke pålitelig. Dette gjelder ikke Oslo-instrumentet spesielt, siden algoritmen er innebygget i programvaren som følger med instrumentet fra produsenten. Alle rådataene er imidlertid lagret slik at når en pålitelig algoritme foreligger kan alle eldre data analyseres.

Brewer-instrumentet er automatisk, og det kan måle mange ganger i løpet av dagen og om natten dersom månelys er tilgjengelig. Overensstemmelsen mellom Brewer- og Dobson-instrumentene er god (se avsnitt 3.4.2).



Figur 7: Daglige ozonverdier målt med Brewer-instrumentet ved Universitetet i Oslo i 1991.

1.3 OZONSONDER

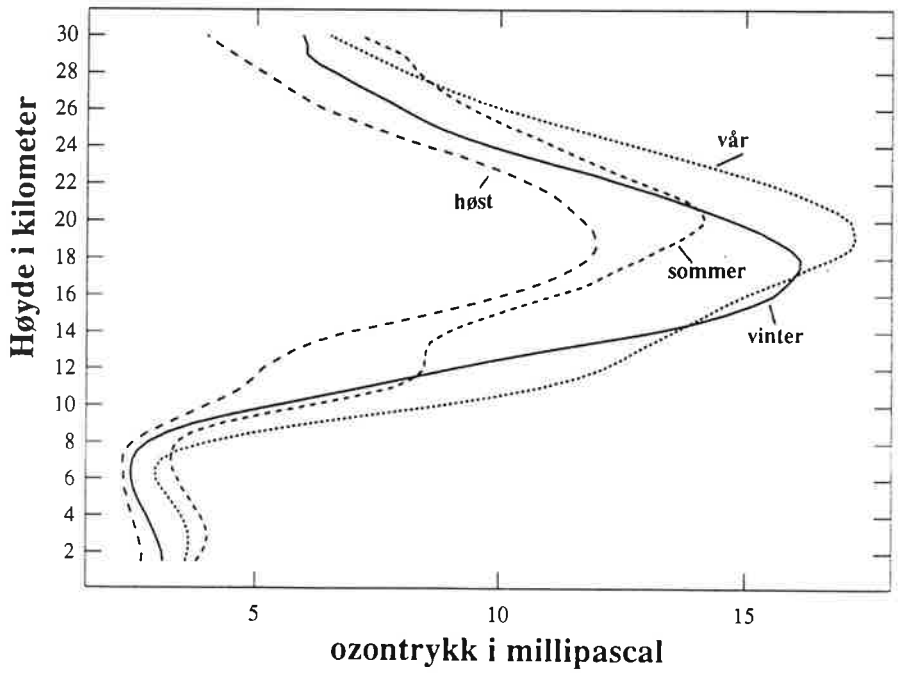
Ozonsonder sendt opp med ballong gir verdifull informasjon om høydefordling av ozon. Under gode forhold stiger ballongen til en høyde av 30-35 km. Siden blandingsforholdet mellom ozon og luft er tilnærmet konstant over denne høyden kan også den totale ozonmengden tilnærmet bestemmes.

Selve vertikalfordelingen av ozon gir informasjon som er nyttig for forståelsen av ozonvariasjoner som skyldes meteorologi og eventuell kjemisk nedbrytning. Målinger med ozonsonder i Antarktis har vist at nedbrytingen av ozon i perioden september-november hvert år (ozonhullet) skjer i høydeområdet 15-25 km hvor mesteparten av ozonet befinner seg. Våre ozonsonderinger i Arktis har ikke vist slike dramatiske endringer i høydefordeling av ozon.

Både høydefordelingen av ozon og totalozon bestemt fra ozonsonder er nyttig for vurdering av totalozon målt med bakkeinstrumenter, spesielt om vinteren under vanskelige måleforhold.

Fra Bjørnøya er det blitt sendt opp ozonsonder siden høsten 1988, vanligvis én gang pr. uke. Vinteren 1991-1992 ble det sendt opp sonder enda hyppigere, i forbindelse med den europeiske ozonkampanjen (EASOE) og likeledes i 1989 i forbindelse med ozonkampanjen AASE. Fra Gardermoen Radiosondestasjon er det blitt sluppet ozonsonder siden desember 1990.

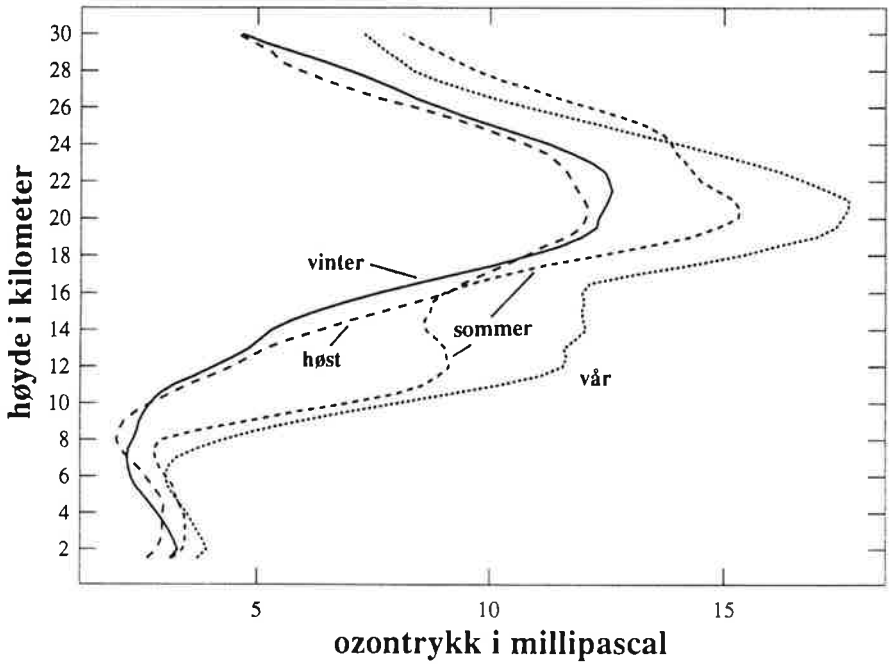
Figur 8 viser midlere høydefordeling av ozon over Bjørnøya for vinter (desember-februar), vår (mars-mai), sommer (juni-august) og høst (september-november). Det er markert forskjell i disse årstidsprofilene med høyest ozonkonsentrasjon i de fleste høyder om våren, og minst om høsten. Maksimalt partialtrykk av ozon finnes i omkring 20 km høyde.



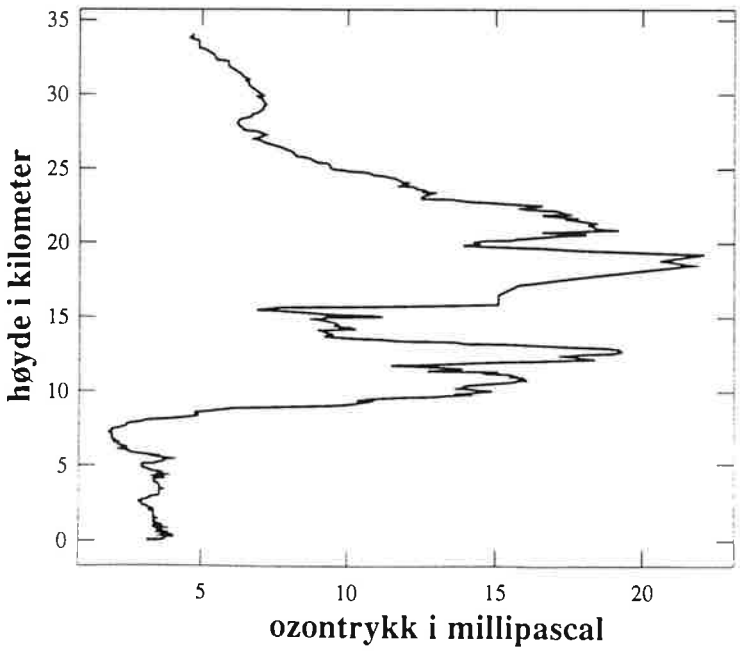
Figur 8: Midlere høydefordeling av ozon over Bjørnøya, 1988-1991, for vinter (desember-februar), vår (mars-mai), sommer (juni-august) og høst (september-november). Målingene er foretatt med ozonsonder sendt opp med ballong.

Figur 9 viser tilsvarende middelprofiler for vinter, vår, sommer og høst over Gardermoen.

Figur 10 viser en enkeltmåling for Bjørnøya 11.4.91 for å illustrere de raske konsentrasjonsvariasjonene med høyden som er midlet bort i de øvrige figurene.



Figur 9: Midlere høydefordeling av ozon over Gardermoen, 1990-1991 for vinter (desember-februar), vår (mars-mai), sommer (juni-august) og høst (september-november). Målingene er foretatt med ozonsonder sendt opp med ballong.

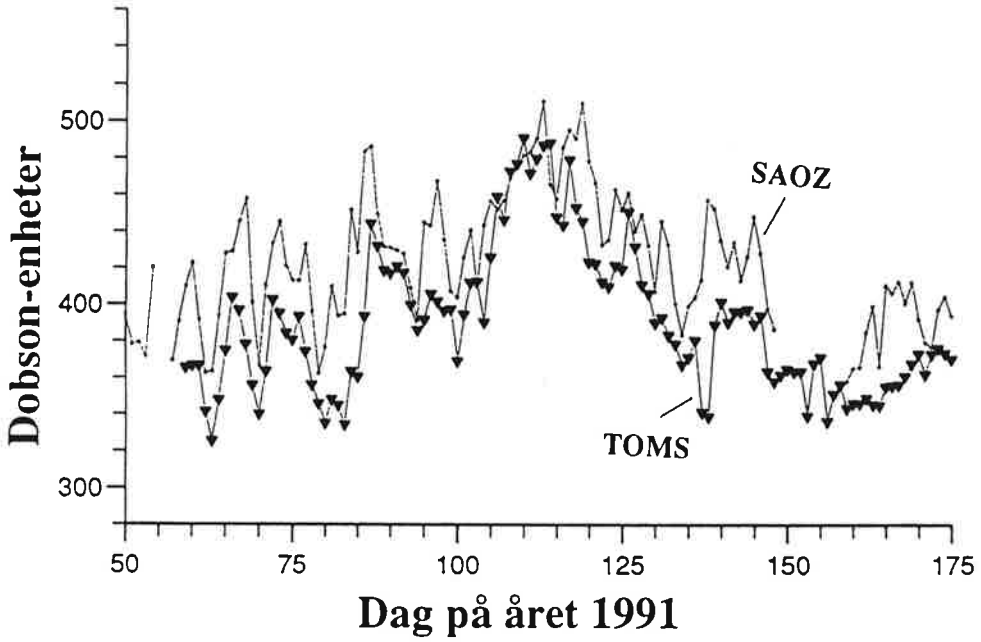


Figur 10: Høydefordeling av ozon over Bjørnøya 11.04.91.

1.4 SAOZ-INSTRUMENTET

SAOZ, som er plassert på Ny-Ålesund, er et instrument som er konstruert for å kunne måle bl.a. ozonmengden i atmosfæren ved lav sol. Instrumenter som Dobson og Brewer gir usikre målinger når sola står lavere enn ca. 10 grader over horisonten. Grunnen til dette er bl.a. at den ultrafiolette solstrålingen som Brewer og Dobson måler på blir for svak ved lav sol. SAOZ derimot benytter det synlige området av solspekteret (510 nm) hvor ozon absorberer mye svakere enn i det ultrafiolette området. Målinger med SAOZ vil derfor gi best resultater ved lav sol, og siden det kan måle selv når sola står 5-6 grader under horisonten gjør at instrumentet er velegnet på høye breddegrader. En annen fordel er at absorpsjonen er uavhengig av temperaturendringer i stratosfæren. Instrumenttypen er imidlertid ny og algoritmen for å beregne ozonmengden fra målingene blir etter hvert forbedret.

Figur 11 viser ozonmengden målt med SAOZ fra februar 1991 til oktober 1991. I samme figur er også vist målinger fra TOMS. SAOZ gir systematisk høyere verdier enn TOMS, ca. 9%. Ca. 2% av dette avviket skyldes at TOMS antar for lite ozon i troposfæren. Siden TOMS ikke registrerer ozon i troposfæren må dette anslås, og målinger med ozonsonder har vist at dette anslåtte troposfærebidraget er for lavt.



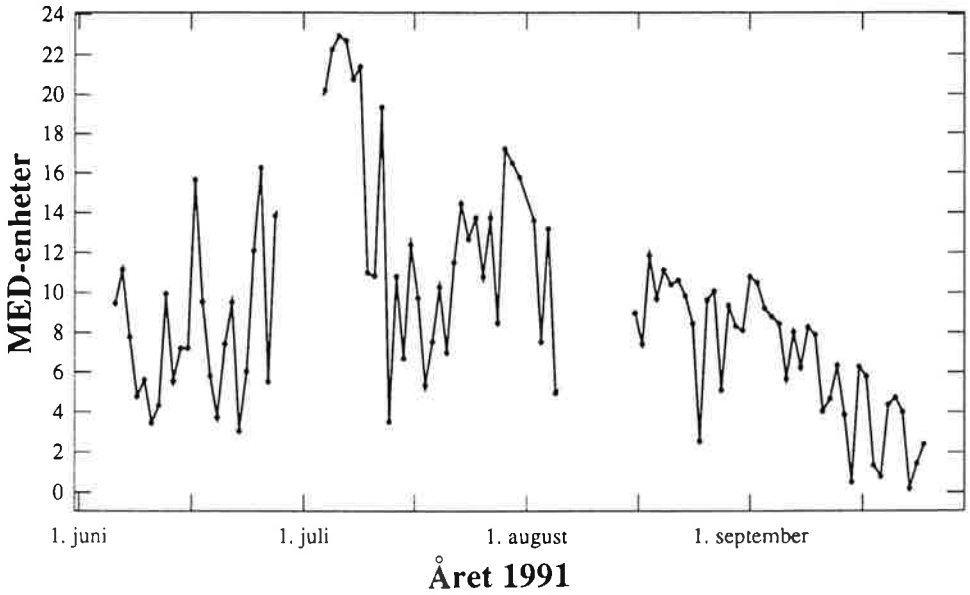
Figur 11: Ozonmålinger fra Ny-Ålesund, februar-oktober 1991 utført med SAOZ-instrumentet. I figuren vises også data fra TOMS.

1.5 UV-MÅLINGER I OSLO

Den biologisk effektive UV-stråledosen har vært målt ved Universitetet i Oslo siden juni 1991. Instrumentet er en Robertson Berger "sunburn"-detektor fra Solar Light Co. Denne typen detektor har en følsomhetskurve som ligner virkningsspekteret for dannelse av hudforbrenning (erythem). Instrumentet angir eksponeringsraten i MED-enheter. MED (minimal erythemal dose) er et mål på den UV-dosen som skal til for å danne en svak rødfarving av huden hos mennesker med en lys, kaukasisk hudtype. De fleste nordmenn har denne hudtypen.

Instrumentet gir eksponeringsraten hver halve time, og i tillegg den totale dagsdosen.

Figur 12 viser målt daglig dose fra juni til oktober 1991. Pga. tekniske problemer ble det ikke målt i november og desember, men målingene ble tatt opp igjen i januar 1992.



Figur 12: Daglige UV-doser målt i Oslo med Robertson Berger-instrument i tiden juni-september 1991.

Eksponeringsraten er først og fremst bestemt av solhøyden, ozonmengden og skydekket. Når sola stiger på himmelen vil UV-strålingen øke fordi gangveien gjennom atmosfæren og ozonlaget blir mindre. Skyer demper UV-strålingen pga. effektiv spredning. Minkende ozonmengde i atmosfæren fører til økt UV-stråling ved bakken.

Målingene i figur 12 viser store daglige variasjoner som skyldes enten varierende skydekke, varierende ozonmengde eller en kombinasjon av begge. Den høyeste dagsdosen, 23 MED, ble registrert 5. juli, da ozonmengden ble målt til ca. 300 DU som er 10% lavere enn den midlere ozonmengde for juli. Den lave dagsdosen på ca. 3,5 MED den 12. juli skyldes først og fremst at

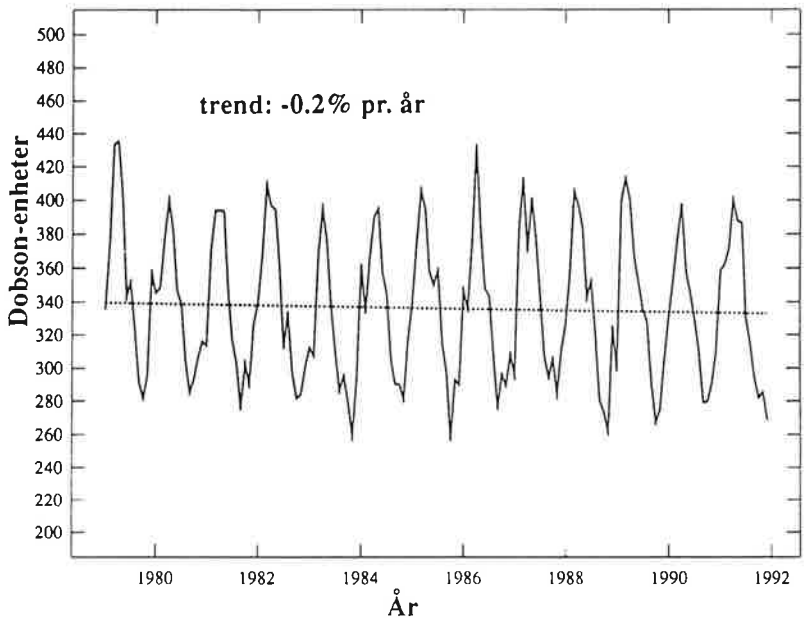
UV-strålingen ble dempet av skyer og i mindre grad at ozonmengden var større (347 DU).

Årstidsvariasjonen går også tydelig frem. Legg merke til at UV-dosen synker raskt i september fordi den maksimale solhøyden avtar raskt.

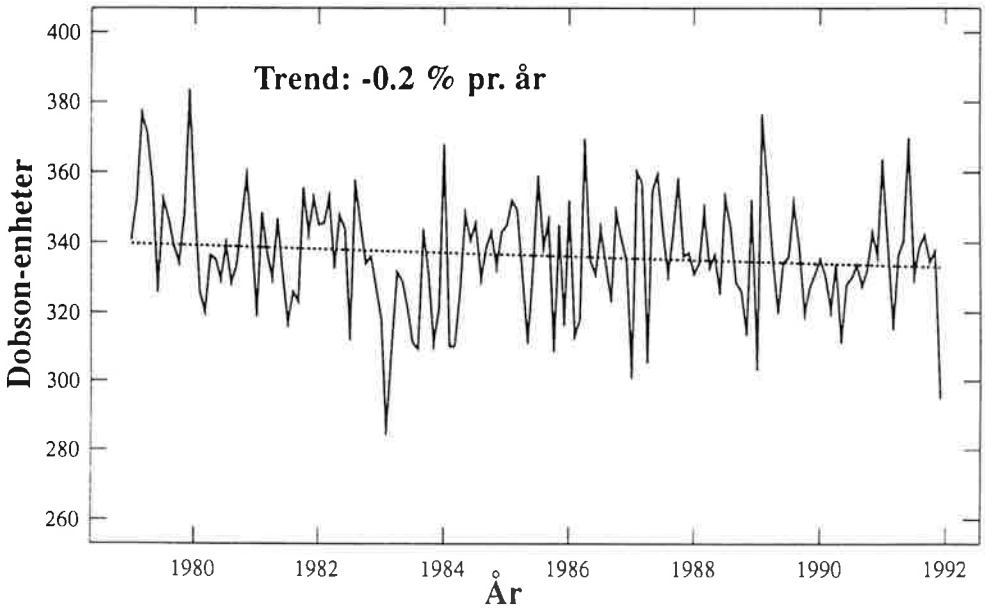
2 MÅLINGER 1979-1991

På de reevaluerte Oslo-målingene som det blir redegjort for i kapittel 3, er det foretatt en trendanalyse. Figur 13 viser hvordan den totale ozonmengden har variert over Oslo i perioden 1.01.79 til 31.12.91. De store årstidsvariasjonene har sammenheng med transport av ozon fra kildeområdene i stratosfæren over ekvator. Denne transporten er størst om vinteren, og gir et maksimum i ozonmengde utpå vårparten. Svakere transport fra ekvator gir minimum i totalmengden utpå høsten. I figuren er det benyttet månedsmiddelverdier slik at årstidsvariasjonene kommer tydelig frem. De hurtige variasjonene fra dag til dag er midlet bort. Den stiplete linjen viser en svak nedgang på 0,15% pr. år. Nedgangen for vintermånedene desember-mars er på 0,27% pr. år, mens for sommermånedene har vi ingen signifikant endring. Analyse av ozonmålinger utført med TOMS-instrumentet ombord i satellitten NIMBUS 7 viser for Oslo i samme tidsperiode en nedgang på 0,52% pr. år på årsbasis. For desember -mars er nedgangen på 0,65% pr. år, og i motsetning til Dobson-målingene gir TOMS-dataene også en nedgang om sommeren, 0,33% pr. år. Som nevnt i 3.4.1 kan dette delvis forklares ved økningen i troposfæreozon som TOMS ikke ser. Figur 14 og 15 illustrerer ozonvariasjonene over Oslo på en annen måte ved at sesongvariasjonene basert på perioden 1979 til 1991 er fjernet. (Sesongvariasjonen i månedsmidlene fjernes ved å trekke fra langtidsmånedsmiddelet og å legge til langtids-årsmiddelet.) På denne måten går det tydligere frem hvordan avviket fra måned til måned varierer gjennom perioden.

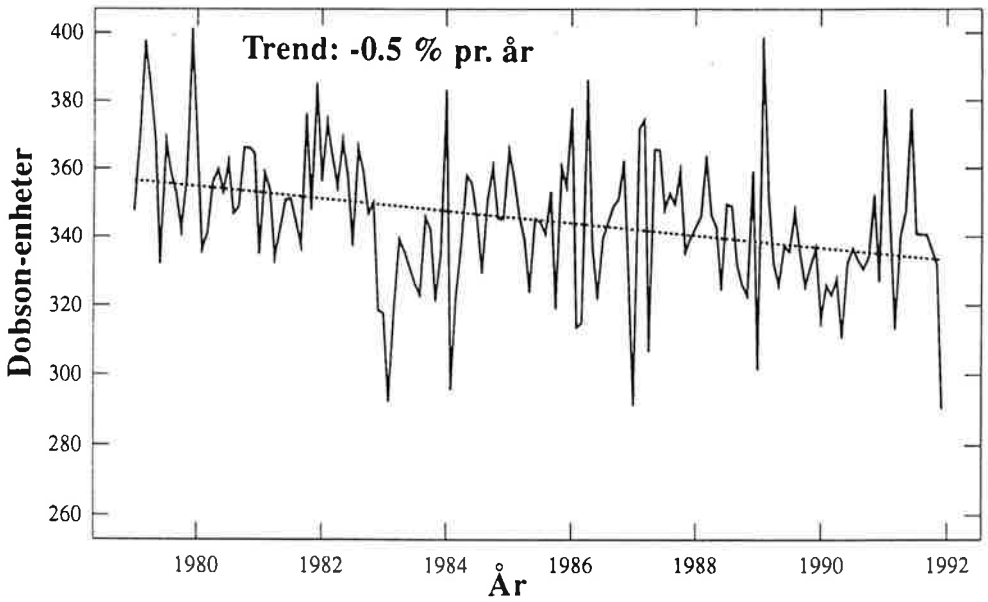
Trendanalysen er basert på lineær regresjon på månedsmiddelverdiene hvor komponenten som skyldes den naturlige årstidsvariasjon er fjernet.



Figur 13: Variasjonen i ozonmengden over Oslo 1979-1991 målt med Dobson-instrumentet basert på månedsmidler. En analyse av dataene gir en svak nedgang på 0,15% pr. år illustrert ved den stiplete linjen.

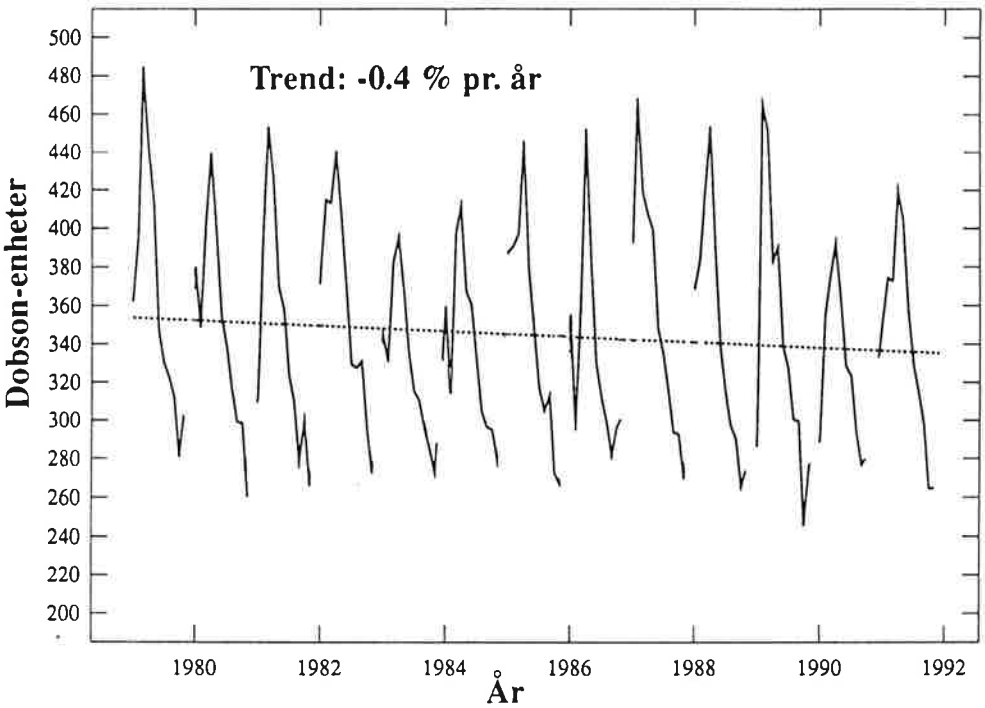


Figur 14: Variasjonen i ozonmengden over Oslo 1979-1991 målt med Dobson-instrumentet som vist i figur 24, men her er sesonvariasjonen fjernet. De månedlige variasjonene kommer derfor tydeligere fram.

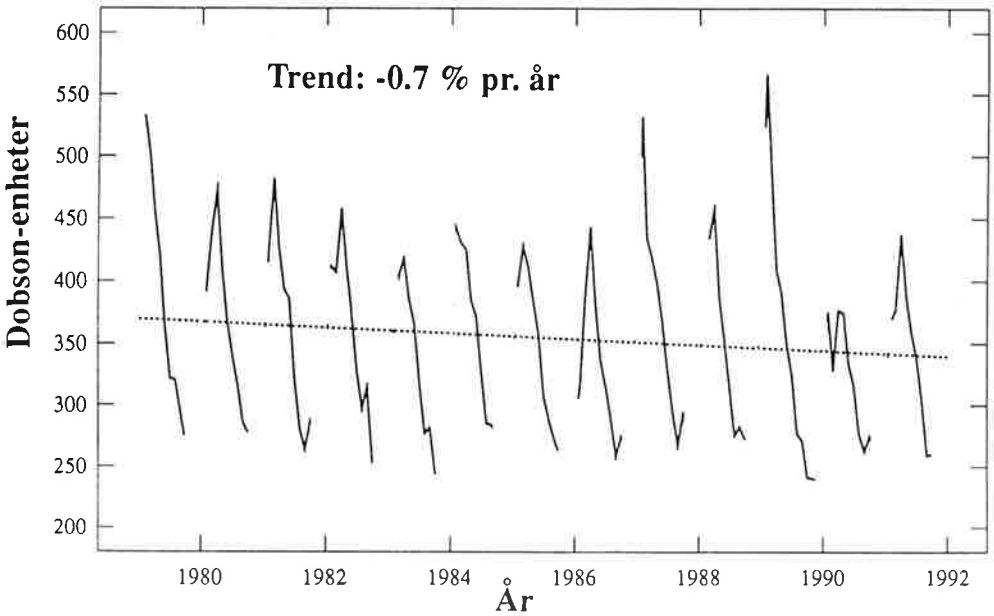


Figur 15: Variasjonen i ozonmengden over Oslo 1979-1991 målt med TOMS. Sesongvariasjonen er fjernet.

For Tromsø og Longyearbyen har vi en samlet serie av Dobson-målinger siden 1984. Perioden er imidlertid for kort for trend-analyse. I stedet har vi benyttet TOMS-data for disse stasjonene, figur 16 og 17. Målinger for en del av vinteren mangler pga. fravær av sollys. (Satellitten benytter svekkingen av tilbakespredt ultrafiolett sollys til å beregne ozonmengden). Nedgangen i sommermånedene mai-august er for Tromsø 0,30% pr år og for Longyearbyen 0,48 % pr. år.



Figur 16: Variasjon i ozonmengden over Tromsø 1979-1991 målt med TOMS-instrument i NIMBUS 7 satellitten. Analyse av dataene gir en nedgang på 0,42% pr. år illustrert ved den stiplete linjen.



Figur 17: Variasjon i ozonmengden over Longyearbyen, Svalbard, 1979-1991 målt med TOMS-instrumentet i NIMBUS 7 satellitten. Analyse av dataene gir en nedgang på 0,68% pr. år.

Resultatet av trendanalysen for våre tre bakkestasjoner er vist i tabell 1. Usikkerheten er angitt ved standardavviket.

Tabell 1: Endring i ozonmengde i prosent pr. år for perioden 1.1.1979 til 31.12.1991. Tallene i parentes angir usikkerheten (1 standardavvik). Pga. mørketid er trenden på årsbasis for Tromsø basert på målinger i tidsrommet primo februar-primo november, og for Longyearbyen ultimo februar-ultimo oktober.

	Oslo		Tromsø	Longyearbyen
	Dobson	TOMS	TOMS	TOMS
des-mar	-0,27 (0,23)	-0,65 (0,29)		
mai-aug	0,05 (0,16)	-0,33 (0,15)	-0,30 (0,12)	-0,48 (0,12)
hele året	-0,15 (0,10)	-0,52 (0,12)	-0,42 (0,16)	-0,68 (0,22)

Stolarski og medarbeidere (1991) har analysert data fra 29 bakkestasjoner på den nordlige og den sydlige halvkule. De aller fleste av disse er Dobson-instrumenter. Det er verdt å merke seg at en del av disse stasjonene viser uoverenstemmelse med TOMS av samme størrelsesorden som uoverensstemmelsen som mellom bakke- og satellittdata for Oslo. Lokalt viser både TOMS- og bakkemålinger for noen av stasjonenes vedkommende en oppgang for perioden 1979-1991. Ser vi imidlertid på et større område under ett viser begge målemetodene en nedgang. For Europas vedkommende er nedgangen både om sommeren og om vinteren 0,4% pr. år for perioden 1979-1991.

3 ANALYSE AV DOBSON DATA FOR OSLO, 1978-1991

3.1 INNLEDNING

Et verdensomspennende nett av Dobson-stasjoner rapporterer ozonmålinger til WMO. Våre tre stasjoner (Oslo, Tromsø og Longyearbyen) er med i dette nettverket. I forbindelse med mulighetene for nedbrytingen av ozon som følge av utslipp av

menneskeskapt KFK og haloner, er en analyse av disse dataene av stor interesse. En slik analyse vil gi informasjon om langtidsendringer i ozonlaget. Måledata rapportert i nyere tid er imidlertid ikke direkte sammenlignbare med eldre data. Grunnen til dette er drift i instrumentene over lang tid og at metoden for å beregne ozonmengden fra rådataene er blitt utviklet etter hvert. Dette må det korrigeres for før man foretar en trendanalyse. I dette kapitlet redegjøres det for reevaluering av Dobson-målingene for Oslo. Overenstemmelsen mellom Dobson og Brewer, og Dobson og TOMS, er nå innenfor det som kan forventes ut fra sammenligning med andre Dobson-stasjoner.

3.2 MÅLEMETODE FOR DOBSON-INSTRUMENTET

Dobson-instrumentet måler et intensitetsforhold ved to forskjellige bølgelengder i det ultrafiolette området. Den ene absorberes sterkt av ozon og den andre svakt. Den sikreste metoden er å måle direkte mot sola. Siden det målte intensitetsforhold er bestemt av bl.a. ozonmengden, kan denne beregnes. Instrumentet kan måle på 5 forskjellige bølgelengdepar: A, B, C, D og C'. Standardmetoden er å benytte en kombinasjon av A- og D-paret, en såkalt AD-måling. Dette minimaliserer påvirkningen av spredning i atmosfæren og dessuten av SO_2-innholdet i atmosfæren. I Oslo har C-paret vært benyttet i stor grad. Grunnen er at AD-målinger krever høyere sol enn C-målinger for å gi pålitelige ozonverdier. Med C-målinger blir derfor målesesongen betydelig utvidet.

Senitlysmålinger benyttes i stor grad på våre breddegrader. Dette skyldes at skyet vær og lav sol om vinteren umuliggjør direkte solmålinger. En senitlysmåling går ut på at man måler på det spredte ultrafiolette sollyset fra senit. Ozonmengden bestemmes ved et kurvekart som viser sammenhengen mellom ozonmengde, solhøyde og det målte intensitetsforhold. Et slikt kurvekart bestemmes ved et stort antall av samtidige solmålinger (som gir ozonmengden direkte) og senitlysmålinger.

Senitlysmålinger er mer usikre enn direkte solmålinger. Dette skyldes at det målte senitlys i tillegg til absorpsjon pga. ozon også påvirkes av høydefordelingen av ozon. Dette gjelder spesielt når sola står lavt på himmelen.

3.3 REEVALUERING AV DATASETT

Målinger med Dobson-instrument nr. 56 i Oslo har pågått sammenhengende siden 1978, bare avbrutt i første halvdel av 1980 da instrument nr. 14 (som nå står i Tromsø) ble benyttet. Begge disse instrumentene ble kalibrert i 1977 i Boulder, Colorado, USA, mot Dobson-instrument nr. 83, som er verdens standardinstrument. Grunnen til at "Tromsø-instrumentet" ble benyttet en periode i 1980, var at under måling ved svært lav sol brøt elektronikken i "Oslo-instrumentet" (nr. 56) sammen og en del måtte skiftes ut. Instrument nr. 56 ble kalibrert på nytt i 1986 i Arosa, Sveits, mot et av verdens sekundære standardinstrumenter, Dobson nr. 65. Dette ga nye kalibreringstabeller for Oslo-instrumentet som tilsvarte at ozonverdiene ble hevet med 1-3%. Sammenligning med totalozon målt med TOMS-instrumentet i NIMBUS 7 viste også dette. Ved rapportering til WMO har man brukt kalibreringstabellene fra 1977 helt fram til den nye kalibreringen som fant sted i 1986. Fra høsten 1986 har man ved rapportering til WMO brukt de nye kalibreringstabellene.

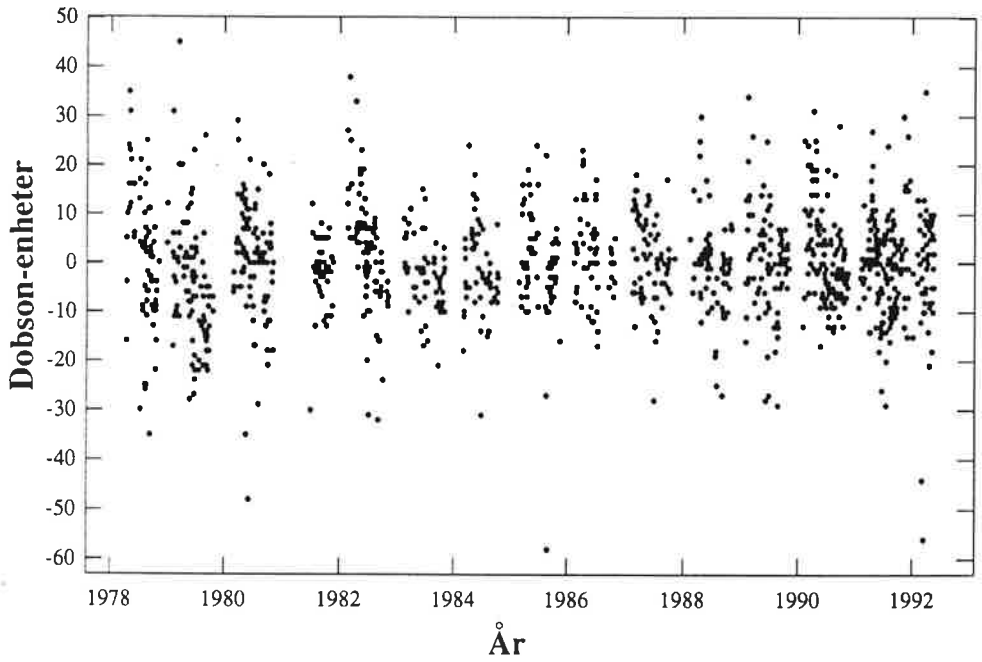
Sammenligning av tidsserier for Dobson i Oslo med TOMS for tidsrommet 1978-1991 viser derfor en nedgang i 1986. Ved beregning av ozontrenden basert på Oslo-målingene har man derfor tidligere konkludert med at det ikke kunne registreres noen nedgang i ozon over Oslo.

Før man kan utføre en trendanalyse på en tidsserie som Oslo-målingene, må dataene gås gjennom omhyggelig. Dette er spesielt viktig for å kunne detektere små endringer. En analyse innebærer at man tar hensyn til begge kalibreringene i tidsserien. I tillegg bør usikre målinger lukes bort (dette kan f.eks være

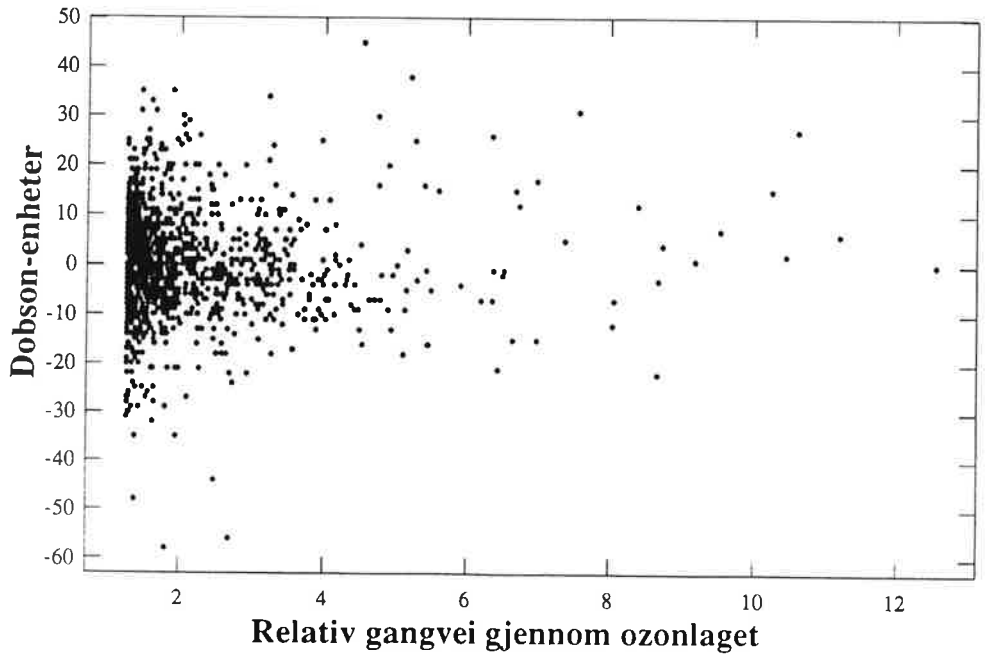
målinger som er utført under svært vanskelige forhold som f.eks. tett skydekke med nedbør eller lav sol).

I analysen har vi antatt at kalibreringene i 1977 og i 1986 var korrekte. Siden kalibreringen i 1986 viste en endring fra de gamle kalibreringstabeller har vi antatt en lineær drift i instrumentet mellom 1977 og 1986. Etter 1986 antar vi ingen drift. Vi skal nærmere redegjøre for denne antagelsen senere.

Vi vil sette følgende krav til senitlysmålingene. Differensen mellom samtidig direkte sol- og senitlysmålinger bør være minst mulig. Denne differensen bør videre være uavhengig av tid, dvs. hvilket år vi betrakter. Dessuten bør differensen være uavhengig av solhøyde. Disse kravene er nå tilfredsstilt etter at nye kurvekart er blitt konstruert. Figur 18 viser differensen som funksjon av tid fra 1979 til 1991. Middelverdien av avviket er for alle år 0 DU. Standardavviket er for alle år 11 DU som tilsvarer ca. 3% av en normal ozonverdi. Figur 19 viser differensen mellom direkte sol og senitlysmålinger som funksjon av solhøyden. Middelverdien av differensen er også her 0 DU og standardavviket er 11 DU (3%).



Figur 18: Differensen mellom samtidig direkte solmålinger og senitlysmålinger for Dobson-instrumentet i Oslo fra 1979 til 1991.

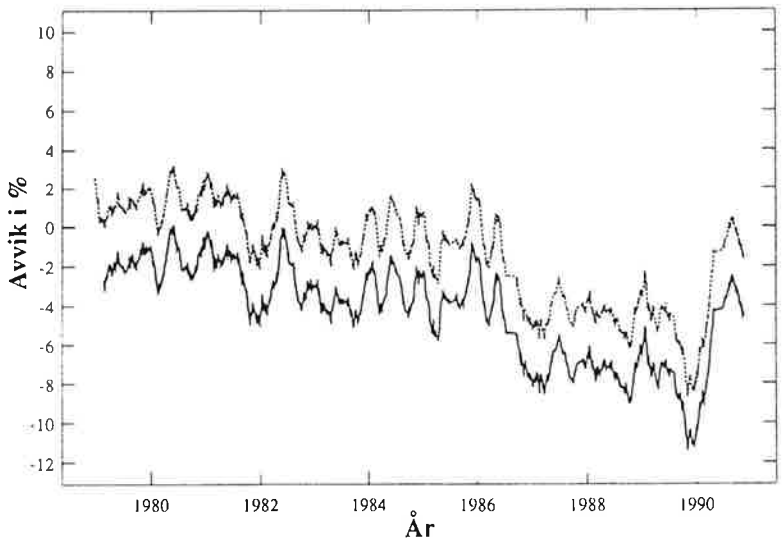


Figur 19: Differensen mellom samtidig direkte solmålinger og senitlysmålinger for Dobson-instrumentet i Oslo fra 1979 til 1991 som funksjon av solhøyden. Solhøyden er angitt ved "airmass faktor", dvs. den relative gangvei gjennom ozonlaget. "Airmass faktor" = 1 tilsvarer loddrett innfallende solstråling. "Airmass faktor"= 2 tilsvarer en senitvinkel på 60 grader.

Under utarbeidelsen av nye kurvekart er det i tillegg til sol- og senitlysmålinger også benyttet en modell som simulerer strålegangen gjennom atmosfæren. I modellberegningen er det benyttet høydefordelinger av ozon som er målt med ozonsonder sendt opp med ballong fra Gardermoen.

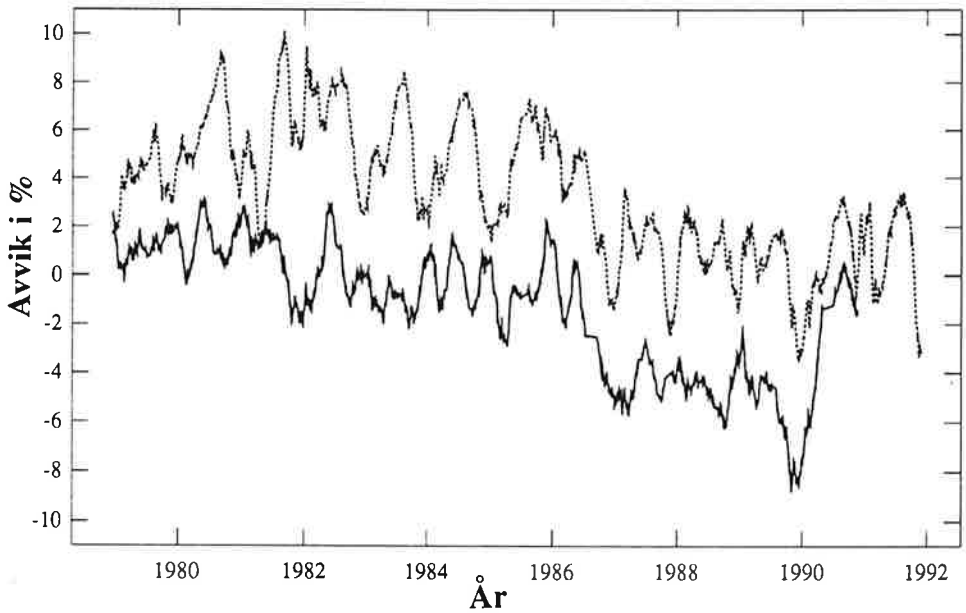
Som nevnt tidligere ble Oslo-instrumentet kalibrert i 1977 og i 1986. De beregnete ozonverdiene blir rapportert til WMO hver annen måned. De rapporterte verdiene er derfor beregnet på grunnlag av de kalibreringstabeller som til enhver tid gjelder. Vi skal vise hvordan antatt drift i instrumentet, nye kurvekart og nye absorpsjonskoeffisienter for ozon virker på hele datasettet fra Oslo-målingene i perioden 1979-1991.

Figur 20 viser differensen mellom TOMS og Dobson i prosent for to tilfeller. Den ene kurven er beregnet på grunnlag av datasettet som ble rapportert til WMO. Spranget i 1986 som skyldes nye kalibreringstabeller går tydelig fram. I den andre kurven har vi benyttet de nye absorpsjonskoeffisienter som nå skal brukes. De gamle koeffisienter er i uoverensstemmelse med de som TOMS benytter, og vi ser at differensen TOMS-Dobson minker når nye koeffisienter benyttes.



Figur 20: Relativ differense TOMS-Dobson, 100(TOMS-Dobson)/Dobson, for Oslo. I den nederste kurven vises differensen med data slik de er rapportert til WMO. I den øverste kurven vises effekten av å innføre nye ozon absorpsjonskoeffisienter. Spranget i 1986 skyldes ny kalibrering.

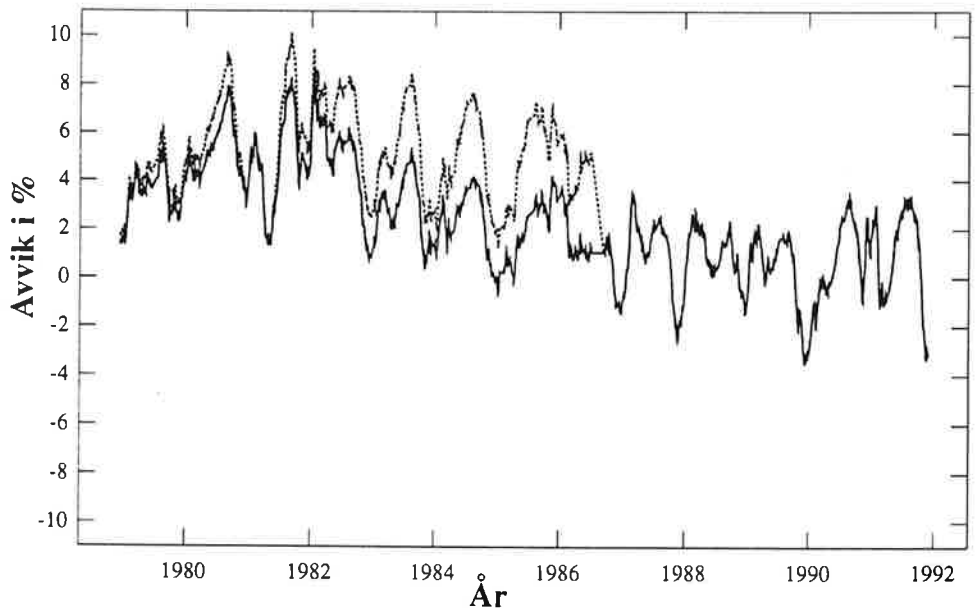
I figur 21 har vi gjort enda en endring ved å kombinere det reevaluerte sett av rådata med det nye senitlyskartet som det tidligere er gjort rede for. Innføring av nytt kurvekart gir bedre overensstemmelse med TOMS.



Figur 21: Relativ differense TOMS-Dobson, 100(TOMS-Dobson)/ Dobson, for Oslo. Figuren viser effekten hvis vi i tillegg til nye absorpsjonskoeffisienter benytter det reevaluerte datasettet med nye kurvekart. Den nederste kurven er med data rapportert til WMO, men med nye absorpsjonskoeffisienter og den øverste med det nye datasettet hvor nye senitlyskast er benyttet.

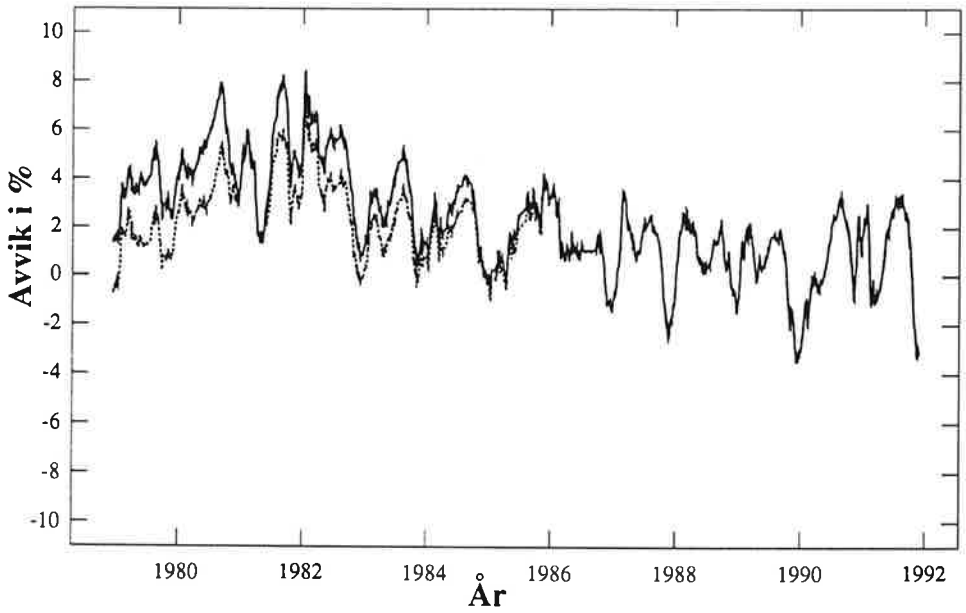
Figur 22 viser effekten av å anta lineær drift i instrumentet mellom 1977 og 1986, og deretter ingen drift. Med denne endringen har vi oppnådd enda bedre overensstemmelse med TOMS. I figur 20-22 har vi altså trinnvis innført nye absorpsjonskoeffisienter, nye kurvekart og antatt lineær drift i instrumentet fra 1977 til 1986 og ingen drift etter 1986. Med disse endringene er overensstemmelsen mellom Dobson og TOMS av til-

svarende kvalitet som mellom Dobson-instrumentet i Arosa og TOMS. Dette blir det også redegjort for senere, se figur 24.



Figur 22: Relativ differense TOMS-Dobson, 100(TOMS-Dobson)/ Dobson, for Oslo. Figuren viser effekten av i tillegg til nye absorpsjonskoeffisienter, reevaluert datasett og nye kurvekart også å anta en lineær drift i instrumentet mellom 1977 og 1986, og ingen drift etter 1986. Endringen etter 1986 er null og kurvene er derfor sammenfallende. Det er dette datasettet vi anser som det beste og som vi har benyttet ved trendanalysen i kapittel 2. I stiplet kurve er det antatt ingen drift og i heltrukken kurve lineær drift mellom 1979 og 1986.

En annen drift i instrumentet kan også være mulig. I figur 23 vises effekten av å anta 1986-kalibreringen på hele datasettet fra 1977-1991. Selv om dette gir enda bedre overenstemmelse med TOMS har vi ikke benyttet denne antagelsen i den videre analysen, siden vi har antatt at de første målingene i 1978 var i overensstemmelse med kalibreringen i Colorado, USA, i 1977.



Figur 23: Relativ differense TOMS-Dobson, 100(TOMS-Dobson)/ Dobson, for Oslo. Heltrukken kurve viser effekten av antatt lineær drift mellom 1977 og 1986 og deretter ingen drift. I den stiplete kurven (som er sammenfallende med den heltrukne etter 1986), har vi benyttet 1986-kalibreringen på hele settet.

En annen mulighet er å anta lineær drift i instrumentet også etter 1986. Effekten av dette er imidlertid liten, og en slik antagelse kan bare sannsynliggjøres ved en ny kalibrering.

3.4 NYTT DATASETT SAMMENLIGNET MED ANDRE MÅLEMETODER

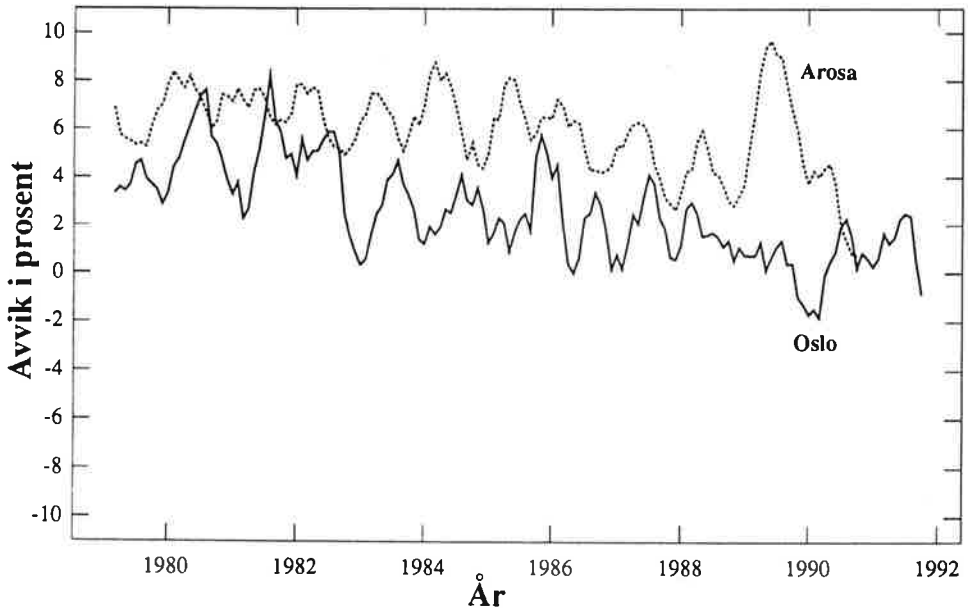
En måte å undersøke kvaliteten på målingene er å sammenligne med data fra andre instrumenter. For hele tidsserien har vi data fra TOMS-instrumentet i NIMBUS 7 satellitten, og fra våren 1990 har vi data fra Brewer-instrumentet som står på samme sted som Dobson-instrumentet.

3.4.1 Sammenligning mellom Dobson og TOMS

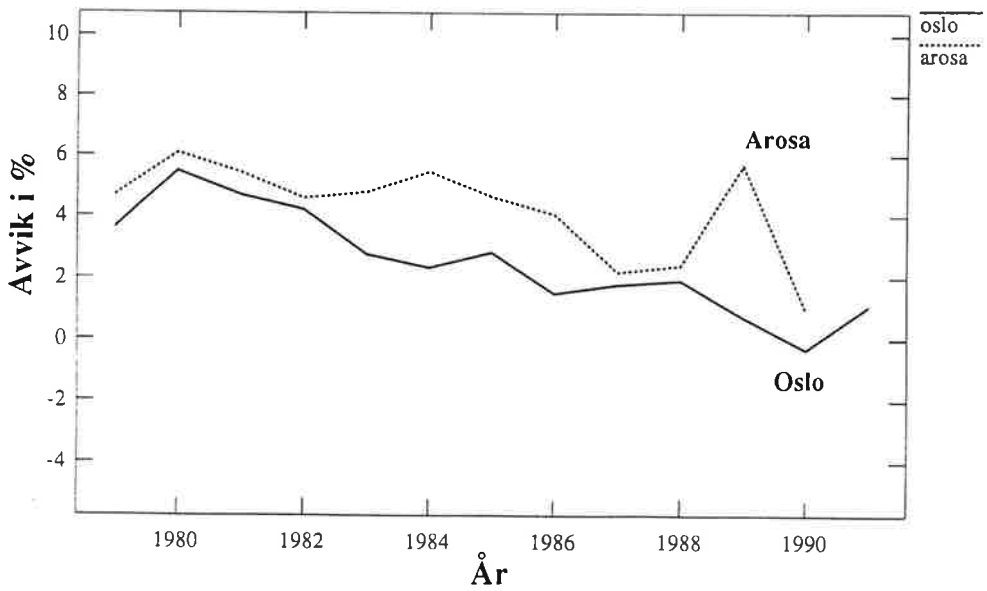
Figur 24 viser avviket mellom månedsmiddelet for TOMS og månedsmiddelet for Dobson. I samme figur vises også avviket mellom Dobson-instrumentet i Arosa, Sveits, og TOMS. Månedsmiddelavviket er ikke konstant hverken for Oslo-instrumentet eller for Arosainstrumentet. De største avvikene for Oslo-instrumentets vedkommende er sommeren 1980 og sommeren 1981. Arosa-målingene er kun basert på AD-målinger. Årsaken til at Dobson-instrumentet i Arosa viser lavere verdi sammenlignet med TOMS er en kombinasjon av at Arosa-målingene er basert på de gamle absorpsjonskoeffisienter og at denne stasjonen ligger på ca. 1 600 meters høyde (TOMS-målingene for Arosa antar at stasjonen ligger ved havnivået). Et gjennomgående trekk er sesongvariasjonen i differensen. For Oslos vedkommende er differensen størst om sommeren og minst om vinteren. Dette er et gjennomgående trekk for Oslo bortsett fra 1988 og 1989. For Arosa er det tilsvarende sesongvariasjoner i differensen men den er her størst om vinteren og minst om sommeren. Figur 25 viser årsmiddelavviket mellom Dobson og TOMS, både for Arosa og Oslo. Her går det tydelig fram at absoluttverdien av avviket avtar gjennom perioden.

Målinger med ozonsonder viser at troposfærens ozoninnhold øker med 0,5-2% pr. år. I tillegg varierer ozonmengden i troposfæren med opptil 50% (30-60 DU som tilsvarer 10-20% av totalmengen). Siden TOMS er lite følsom for troposfæreozon antar man i TOMS-algoritmen en fast ozonmengde i troposfæren. Varierende troposfæreozon vil derfor TOMS ikke registrere. Dette kan være forklaringen på både sesongvariasjonene i differensen Dobson-TOMS og at denne differensen minker over perioden 1979 til 1991.

I vintermånedene er både TOMS- og Dobson-instrumentene usikre på høye breddegrader. En annen drift i Oslo-instrumentet enn det som er antatt kan heller ikke utelukkes, men en eventuell drift kan neppe forklare at differensen varierer fra måned til måned og fra vinter til sommer.



Figur 24: Differensen mellom månedsmiddelet for TOMS og månedsmiddelet for Dobson for Oslo og Arosa, Sveits, fra 1979-1991. (100(TOMS-Dobson)/Dobson).



Figur 25: Differensen mellom årsmiddel for TOMS og Dobson i prosent (100(TOMS-Dobson)/Dobson).

3.4.2 Sammenligning mellom Dobson og Brewer

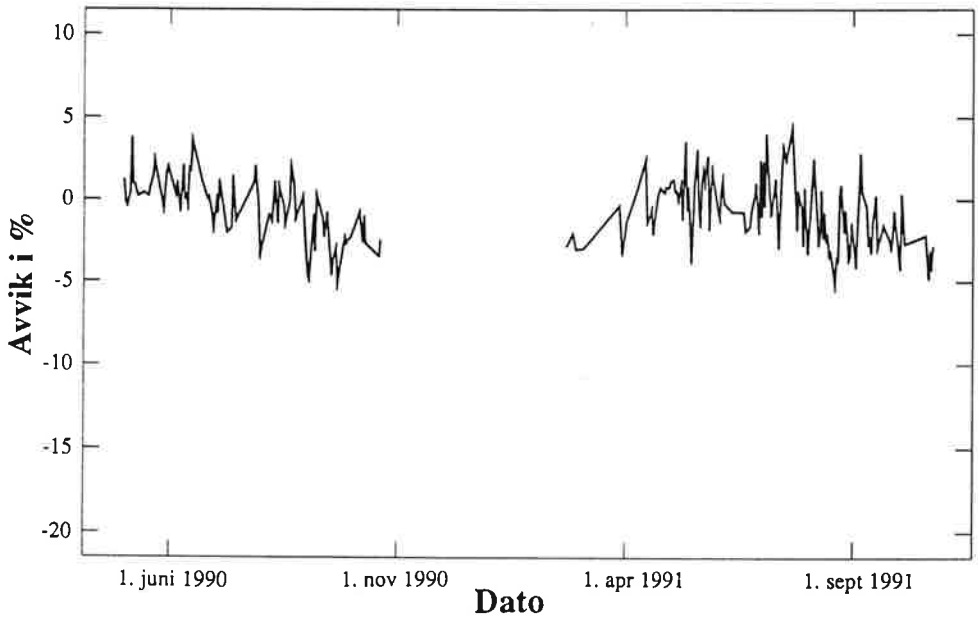
Siden 1990 benyttes både AD-paret og C-paret ved Dobsonmålinger i Oslo når dette er mulig. AD-målinger kan bare benyttes når solas senitvinkel er mindre enn ca. 70 grader (dvs. at sola står mer enn 20 grader over horisonten). I figur 26 vises differensen mellom AD-målinger og Brewer-målinger i prosent for 1990-1991. For hele perioden er avviket (Dobson AD minus Brewer) -0,8% med standardavvik 2,4%. Avviket er minst om våren og om sommeren.

Figur 27 sammenligner Dobson C-målinger med Brewer. Om sommeren (juli og august) gir C-paret ca. 0,5 % lavere verdier enn Brewer. Om vinteren er Dobson C-målinger av høyere kvalitet enn Dobson AD og Brewer pga. lav sol.

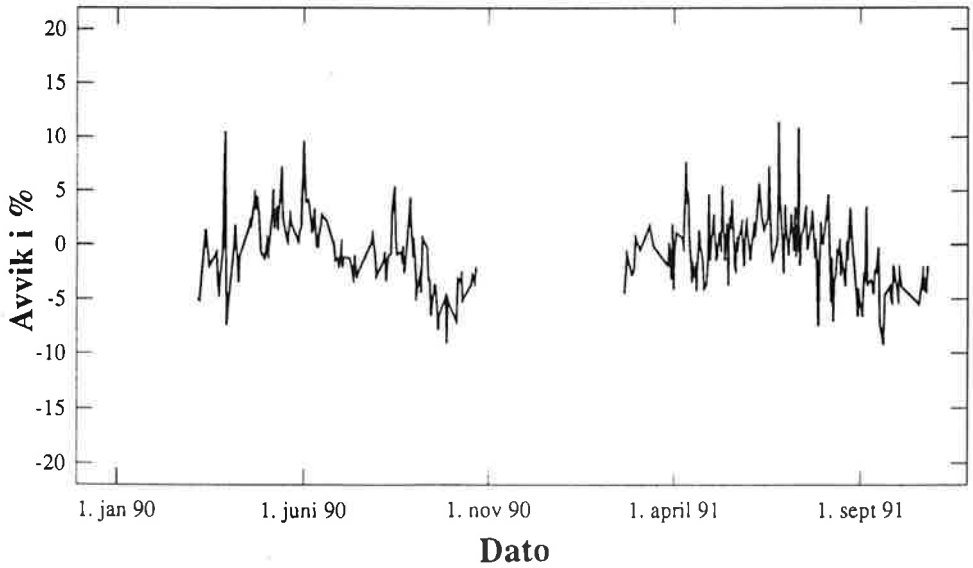
I tabell 2 vises differensen mellom Dobson og Brewer i prosent for 1990 og 1991.

Tabell 2: Differensen mellom Dobson AD og Brewer, og Dobson C og Brewer (100(Dobson-Brewer)/Dobson).

	Dobson AD vs. Brewer	Dobson C vs. Brewer
Mai-juni	0,5	1,6
Juli-aug.	-0,5	-0,4
Sept.-okt.	-2,2	-3,8



Figur 26: Sammenligning av målinger med Brewer-instrumentet og Dobson AD-målinger for 1990 og 1991. Figuren viser avviket i prosent (100(Dobson-Brewer)/Dobson).

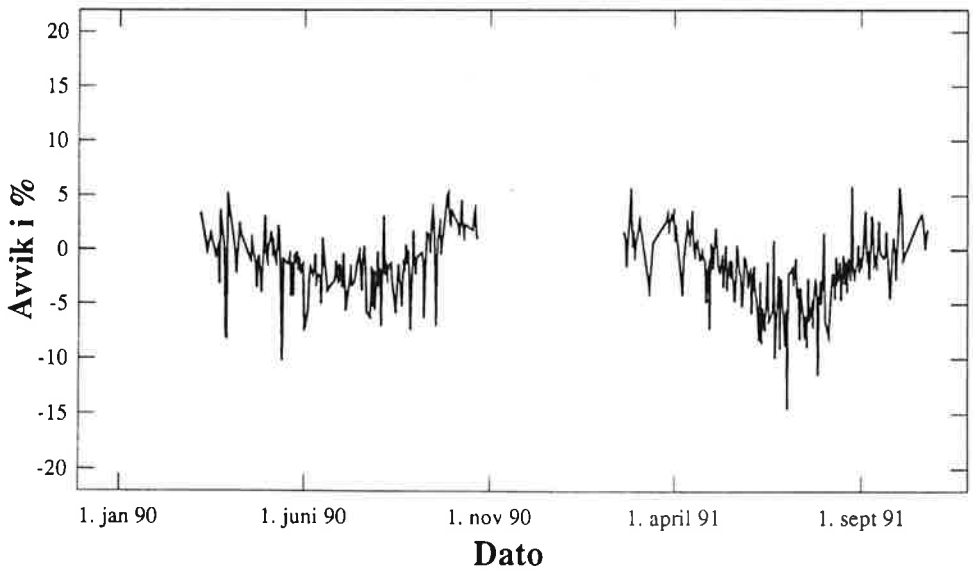


Figur 27: Sammenligning av målinger med Brewer og Dobson C-målinger for 1990-1991. Figuren viser avviket i prosent (100(Dobson-Brewer)/Dobson).

3.4.3 Sammenligning mellom Brewer og TOMS

For 1990 og 1991 viser TOMS på årsbasis 1,5% høyere verdi enn Brewer (standardavvik 2,9 %). Et fremtredende trekk er at avviket er årstidsavhengig med størst avvik om sommeren. Det er verdt å merke seg at det er god overensstemmelse mellom Brewer og Dobson om sommeren.

Figur 28 viser avviket mellom Brewer og TOMS i % for 1990 og 1991.



Figur 28: Sammenligning av Brewer og TOMS for 1990-1991. Figuren viser avviket i prosent (100(Brewer-TOMS)/ Brewer).

4 DRIFT AV INSTRUMENTER OG BEARBEIDELSE AV DATA

Ansvarlig for ozonmålinger ved Universitetet i Oslo er Søren H. H. Larsen og Finn Tønnessen. Søren H.H. Larsen er også ansvarlig for Dobson-instrumentet i Longyearbyen. Kjell Henriksen er

ansvarlig for Dobson målingene ved Nordlysobservatoriet, Universitetet i Tromsø. Ansvarlig for ozonsonder fra Bjørnøya og Gardermoen er Geir Braathen, NILU, som også er ansvarlig for målingene med SAOZ-instrumentet på Ny-Ålesund.

Analysen av Dobsondataene for Oslo, 1979-1991, er et samarbeid mellom NILU ved Arne Dahlback, Geir O. Braathen, Frode Stordal, Britt Ann Kåstad og Universitet i Oslo ved Søren H.H. Larsen og Tove Svendby.

UV-målingene med Robertson Berger-instrumentet ved Universitetet i Oslo er utført av Bjørn Johnsen, Statens institutt for strålehygiene.

5 REFERANSER

Dahlback, A. and Stamnes, K. (1991) A New Spherical Model for Computing the Radiation Field Available for Photolysis and Heating at Twilight. Planet. Space. Sci., 39, 671-683.

Heese, B., Barthel, K. and Hov, Ø. (1992) A Comparison of Total Ozone Data from Satellite and Ground-Based Observations at Northern Latitudes. J. Geophys. Res., 97, D4, 3825-3830.

Stolarski, R., Bloomfield, P., McPeters, R.D. and Herman, J.R. (1991) Total Ozone Trends Deduced from NIMBUS 7 TOMS Data. Geophys. Res. Lett., 18, 1015-1018.

Stolarski, R., Bojkov, R., Bishop, L., Zerefos, C., Staehelin, J. and Zawodny, J. (1992) Measured Trends in Stratospheric Ozone. Science, 256, 342-349.

UNEP/WMO (1988) Report of the International Ozone Trends Panel. Nairobi, United Nations Environmental Program (WMO Global Ozone Research and Monitoring Project. Report no. 18).

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING (NILU)
NORWEGIAN INSTITUTE FOR AIR RESEARCH
POSTBOKS 64, N-2001 LILLESTRØM

RAPPORTTYPE OPPDRAGSRAPPORT	RAPPORTNR. OR 52/92	ISBN-82-425-0391-5	
DATO 24/7-92	ANSV. SIGN. P. Berg	ANT. SIDER 36	PRIS NOK 60,-
TITTEL Overvåking av ozonlaget. Årsrapport 1991.		PROSJEKTLEDER G.O. Braathen	
		NILU PROSJEKT NR. O-8985	
FORFATTER(E) A. Dahlback G.O. Braathen B.A. Kåstad F. Stordal		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAGSGIVERS REF.	
OPPDRAGSGIVER (NAVN OG ADRESSE) SFT Postboks 8100, Dep. 0032 OSLO			
STIKKORD Ozon	Måledata	Tidsvariasjon	

REFERAT
Rapporten presenterer måledata fra norske bakkestasjoner i 1991. Ozondata fra Dobson-instrumentet i Oslo for 1979-1991 er reanalysert.

TITLE
Monitoring of the Ozonlayer. Annual Report 1991.

ABSTRACT
Data for 1991 from the Norwegian Ozone Monitoring Programme are presented. Total ozone data obtained with the Dobson instrument in Oslo for the period 1979-1991 have been reanalyzed.

* Kategorier:	Åpen - kan bestilles fra NILU	A
	Må bestilles gjennom oppdragsgiver	B
	Kan ikke utleveres	C