



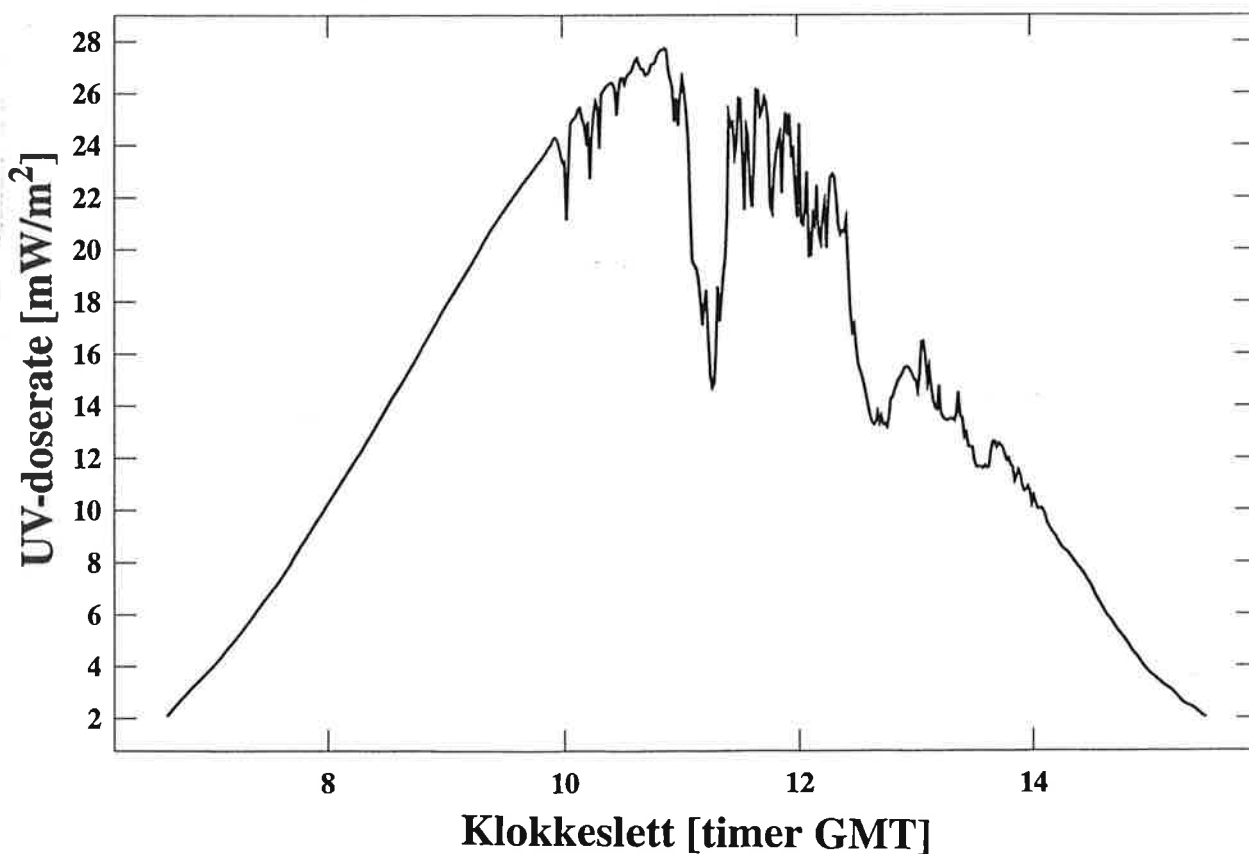
Statlig program for forurensningsovervåking

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn

Deltakende institusjon: NILU

Rapport nr.: 527/93

Overvåking av ozonlaget Årsrapport 1992



TA 971/1993



Norsk institutt for luftforskning

NILU : OR 25/93
REFERANSE : O-8985.PR
DATO : JUNI 1993
ISBN : 82-425-0480-6

Overvåking av ozonlaget

Årsrapport 1992

**Arne Dahlback, Geir O. Braathen,
Britt Ann Kåstad og Frode Stordal**

Innhold

	Side
Sammendrag.....	3
1. Måleresultater.....	5
1.1. Dobson-instrumentene	5
1.2. Brewer-instrumentene	10
1.3. Ozonsonder	11
1.4. SAOZ-instrumentet.....	13
1.5. UV-målinger i Oslo.....	14
1.6. UV-, ozon- og skymålinger ved NILU	15
2. Ozonmålinger 1979-1992	20
3. Måling med Dobson, Brewer og TOMS	25
3.1. Målemetoder	25
3.2. Sammenligning av målinger med Dobson- , Brewer- og TOMS-instrumentene.....	25
4. UV-stråling.....	29
4.1. Biologisk effektiv UV-stråling.....	29
4.2. UV-stråling 1979-1992.	31
5. Drift av instrumenter	35
6. Referanser	35

Sammendrag

Målinger utført ved Universitetet i Oslo viser lav totalozon i atmosfæren i 1. halvår av 1992. Dette er i samsvar med målinger utført med TOMS-instrumentet (Total Ozone Mapping Spectrometer) i NIMBUS 7-satellitten. Spesielt lavt var det i januar og februar med henholdsvis 25% og 12% under middelverdien for 1979-1989. I 1. halvår av 1992 lå den meteorologiske situasjonen til rette for lave ozonverdier spesielt i Syd-Norge. Sydvestlige vinder med påfølgende vertikaltransport ga seg utslag i lave ozonmengder. Bakkestasjonene i Tromsø og Longyearbyen viste ikke så store avvik fra middelverdien.

Basert på data fra satellitt- og bakkemålinger er det utført en trendanalyse for perioden 1979-1992. Bakkemålinger i Oslo gir en gjennomsnittlig nedgang på 0,53% pr. år om vinteren, mens satellittmålinger gir en nedgang på 1,0% . For sommeren gir målinger fra bakken i Oslo en nedgang på 0,17% pr. år mens satellittdataene gir en nedgang på 0,46% pr. år. Den nedadgående trenden har ikke vært jevn i perioden 1979 til 1992. De lave ozonverdiene som er registrert i 1. halvår av 1992 bidrar sterkt til den beregnede gjennomsnittlige trenden. Uoverenstemmelsen i beregnet trend fra bakkemålinger og satellittmålinger kan ha flere årsaker. Mens bakkeinstrumenter registrerer ozonendringer i både troposfæren og stratosfæren, registrerer satellitten endringer vesentlig i stratosfæren (over ca. 10 km høyde). Siden ozonmengden i troposfæren øker, vil bakkeinstrumenter registrere en mindre nedgang enn satellitten. En annen årsak kan være en kraftig økning i konsentrasjonen av aerosoler (partikler) i stratosfæren som stammer fra vulkanutbruddet fra Pinatubo på Filippinene juni 1991. Aerosoler i stratosfæren påvirker målinger på en slik måte at den registrerte ozonmengden er lavere enn i virkeligheten. Denne effekten vil være størst om vinteren når solen står lavt. Modellberegninger tyder på at "aerosol-effekten" er størst for satellittmålinger.

Analyse av satellitt-data for Tromsø og Longyearbyen i perioden fra 1979 til 1992 gir en gjennomsnittlig nedgang om sommeren på 0,37% pr. år for Tromsø og 0,47% pr. år for Longyearbyen. Måleseriene fra bakkestasjonene i Tromsø og Longyearbyen er noe for korte til å utføre en trendanalyse. Begge måleseriene startet i 1984.

Ved Universitetet i Oslo benyttes det to instrumenter for ozonlagsmåling, et Dobson-instrument og et Brewer-instrument. Overensstemmelsen mellom disse instrumentene er god.

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 viktige 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 nedbrytning av ozon i perioden september-november hvert år skjer i høydeområdet 14-25 km, hvor mesteparten av ozonet befinner seg. Våre sonderinger har ikke vist slike dramatiske endringer i høydefordeling av ozon hos oss.

SAOZ-instrumentet (System for Analysis of Observations at Zenith) i Ny-Ålesund, finansiert av NTNF, har vært i drift siden høsten 1990. Dette instrumentet er bygget for å måle bl.a. ozon ved lav sol. Instrumentet utnytter en ny teknikk og er fortsatt under utvikling.

Ved Universitetet i Oslo måles UV-B-stråling med et Robertson-Berger-instrument og et Brewer-instrument. UV-B-stråling er den kortbølgede delen av den ultrafiolette solstrålingen som for en stor del filtreres bort av ozonlaget. Disse målingene startet i 1990/91 og måleseriene er derfor for korte til å kunne si noe om den ultrafiolette stråledosen har endret seg.

I forbindelse med at NILU har fått i oppdrag fra Miljøverndepartementet å bygge opp et nettverk av instrumenter for måling av UV-stråling i Chile, har NILU hatt til uttesting et nytt instrument. Måledata fra dette instrumentet sammen med en ny analysemetode gjør det mulig å bestemme ozonmengden i atmosfæren, stråledosen og skymengden kontinuerlig hvert minutt. Instrumentet er fullstendig automatisk, rimelig og enkelt å kalibrere, og det egner seg derfor godt i et nettverk.

Det finnes ikke lengre måleserier av ultrafiolett solstråling i Norge. Modellberegning basert på målte ozonverdier (TOMS) viser en mindre økning i den årlige stråledosen i perioden fra 1979 til 1992. I denne perioden er den gjennomsnittlige økningen i den årlige stråledosen for Oslo 0,5% pr. år, for Tromsø 0,4% pr. år og for Longyearbyen 0,5% pr. år. Den beregnede trenden i UV er antagelig for høy siden trenden i totalozon fra TOMS-målingene er noe for stor. I modellberegningene er det ikke tatt hensyn til skyer, som også bidrar til å svekke UV-strålingen. Den virkelige trenden vil kunne bestemmes mer nøyaktig hvis skyeffekten inkluderes i modellen.

Ozonsonde-programmet har i 1992, i tillegg fra støtte fra SFT, også fått støtte fra NAVF. Måleprogrammet og rapportering er gjort mulig gjennom det statlige prosjekt for ozonlagsovervåking.

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

Overvåking av ozonlaget

Årsrapport 1992

1. Måleresultater

1.1. Dobson-instrumentene

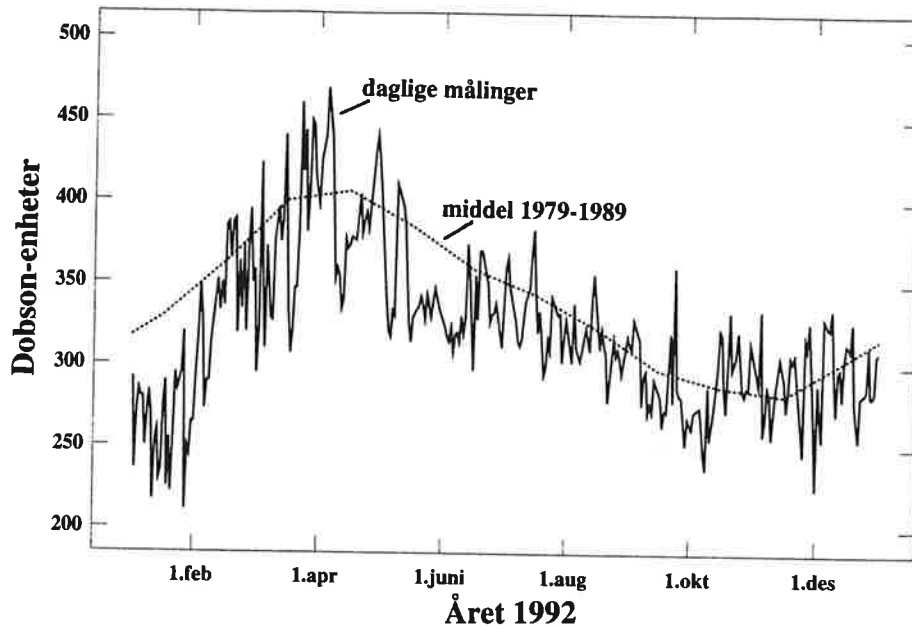
Figur 1, 2 og 3 viser totalozon (ozonlagets tykkelse) fra dag til dag i 1992 for Oslo, Tromsø og Longyearbyen. Målingene er utført med Dobson-instrumenter. Som vanlig på våre breddegrader er variasjonene fra dag til dag store, spesielt om vinteren. Dette skyldes meteorologiske variasjoner.

Målingene i Oslo er vist i figur 1. Den stiplede kurven er månedsmiddelverdien for årene 1979-1989. Målingene viser lave verdier for hele første halvår med spesielt lave verdier i januar og februar. Middelet for januar var 25% lavere enn januarnormalen for perioden 1979-1989. Februar var 12% lavere enn 1979-1989 normalen. Den meteorologiske situasjonen i første halvdel av 1992 var spesiell med usedvanlig kraftig høytrykk over Sentral-Europa. Dette førte til sydvestlige vinder med påfølgende vertikaltransport som ga lave ozonmengder over Nord-Europa (Rabbe og Larsen, 1993). Atmosfærekjemiske modellstudier utført ved NILU viser imidlertid at det sannsynligvis også har funnet sted en del kjemisk nedbrytning av ozon pga. klor som er blitt aktivert på Pinatubo-aerosoler. Årets lavest målte verdi var 210 DU (Dobson-enheter) og ble registrert 27. januar. Årets høyest verdi, 470 DU, ble målt 5. april.

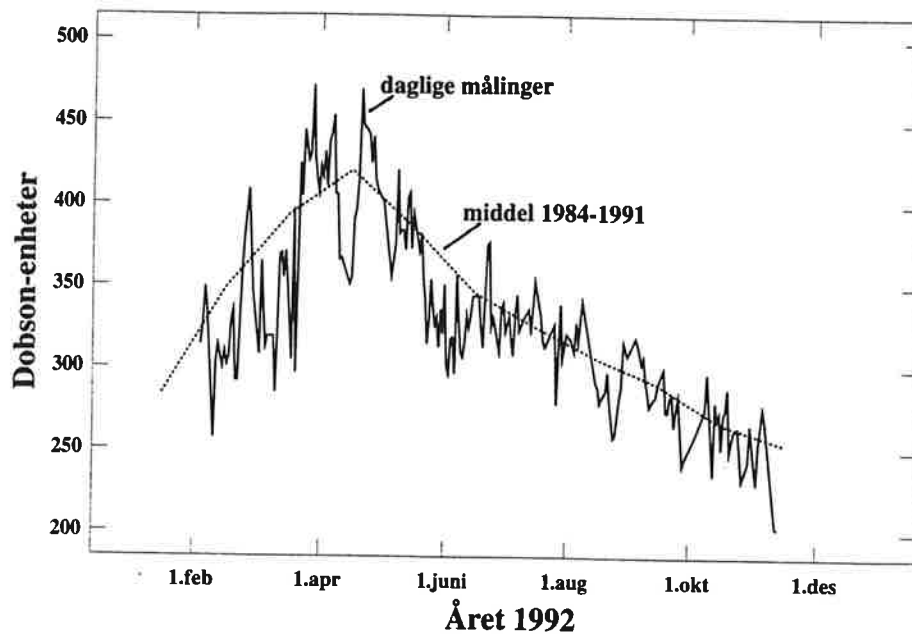
Perioden fra 1979 til 1989 er valgt for beregning av langtidsmiddel siden det er en mulig sammenheng mellom solfleckaktiviteten og totalozon, og denne perioden dekker en hel solfleck-syklus. Imidlertid viser det seg at dette valget ikke er avgjørende, siden beregnet langtidsmiddel endrer seg svært lite hvis perioden økes til f.eks 1979-1991 (månedsmidlene vil endre seg med mindre enn 4 DU).

Målingene i Tromsø er vist i figur 2. Årets høyest målte verdi var 470 DU og ble målt 27. mars. Den laveste måling, 230 DU, ble registrert i begynnelsen av november. Solen står imidlertid på denne tiden lavt på himmelen og målingen er derfor noe usikker. Den stiplede kurven i figur 2 er her månedsmiddelverdiene for 1984-1991.

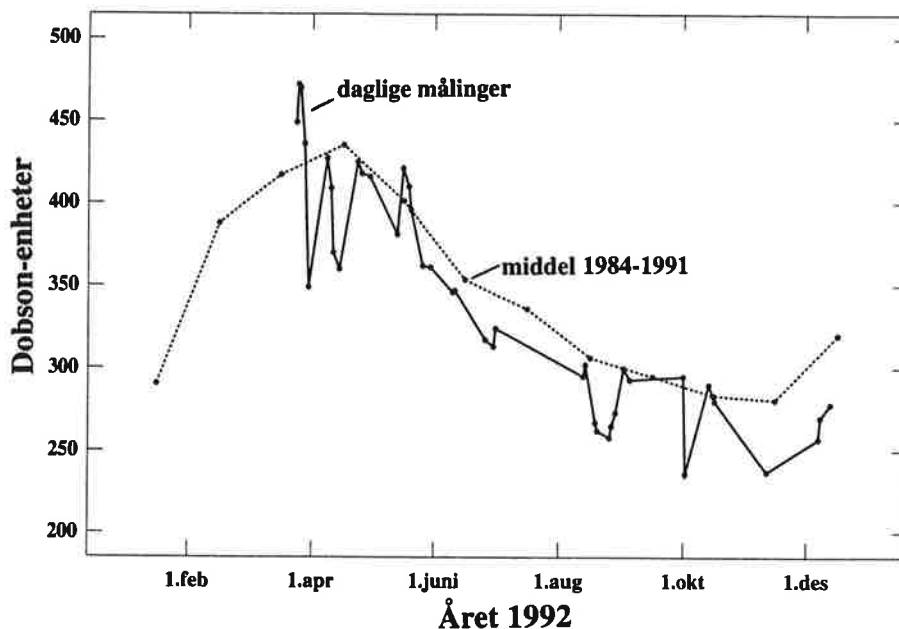
Målingene i Longyearbyen er vist i figur 3. Blant annet pga. vanskelige måleforhold er det foretatt betydelig færre målinger her enn i Oslo og Tromsø. Den stiplede kurven i figur 3 viser månedsmidlene for perioden 1984-1991.



Figur 1: Daglige ozonverdier målt med Dobsons spektrofotometer ved Universitetet i Oslo i 1992. Den stiplede kurven er månedsmidlene fra 1979 til 1989.



Figur 2: Daglige ozonverdier målt med Dobsons spektrofotometer ved Universitetet i Tromsø, 1992. Den stiplede kurven er månedsmidlene fra 1984 til 1991.



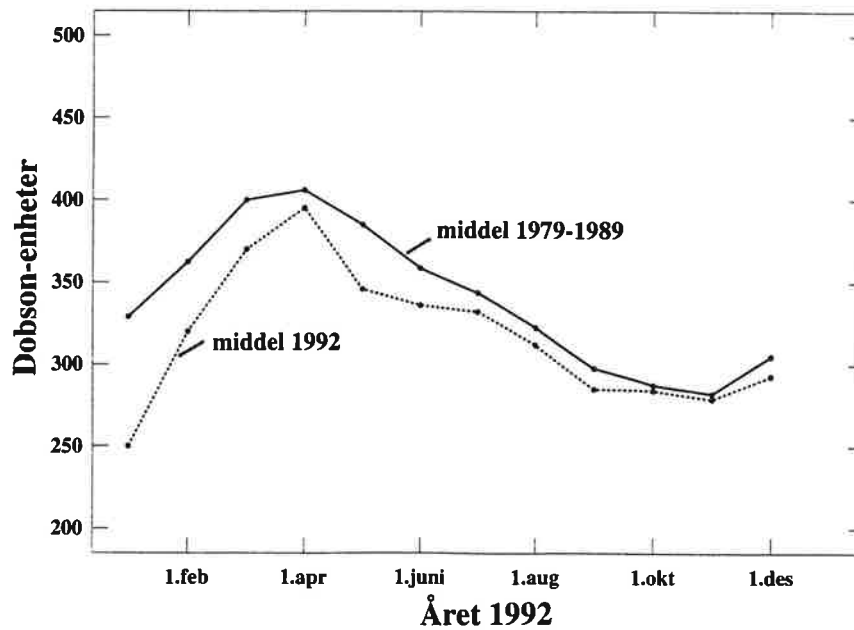
Figur 3: Daglige ozonverdier målt med Dobsons spektrofotometer i Longyearbyen, Spitsbergen, 1992. Den stiplete kurven er månedsmidlene fra 1984 til 1991.

En har sammenlignet månedsmiddelverdiene for 1992 med langtids-månedsmidlene for de tre stasjonene i figur 4, 5 og 6. Her igjen går det tydelig frem at ozonverdiene for Oslo var lave i 1. halvår av 1992, med spesielt lave verdier i januar og februar. Ozonverdiene for Tromsø og Longyearbyen viser også lavere verdier enn gjennomsnittlig, men avvikene er her mindre.

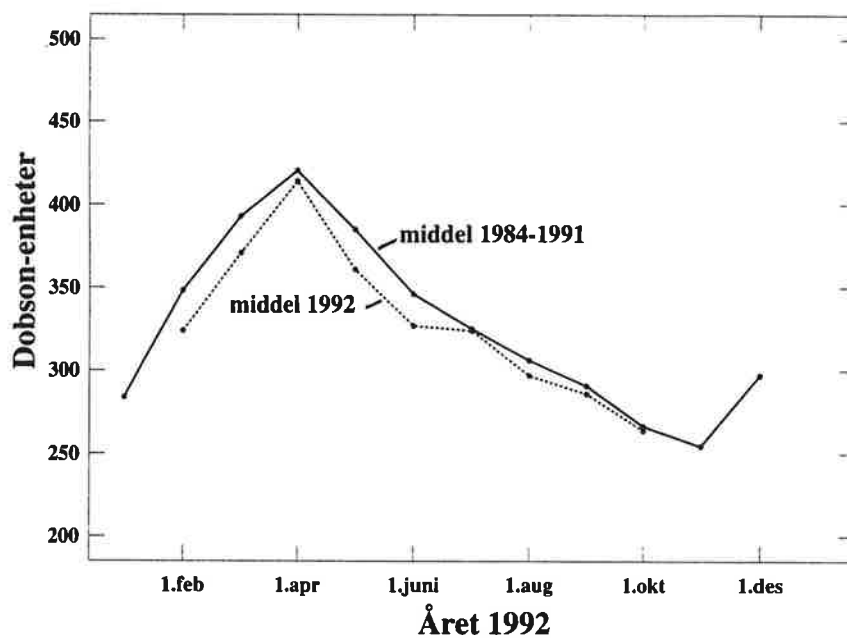
I tabell 1 vises maksimal og minimal ozonverdi for hver måned i Oslo basert på målinger med Dobson-instrumentet i perioden 1979-1992. Den lavest målte verdi, 188 DU, ble registret 30. oktober 1985 og den høyeste, 533 DU, ble registrert 5. februar 1990.

Tabell 1: Ekstremalverdier av ozon målt med Dobson-instrumentet i Oslo 1979-1992.

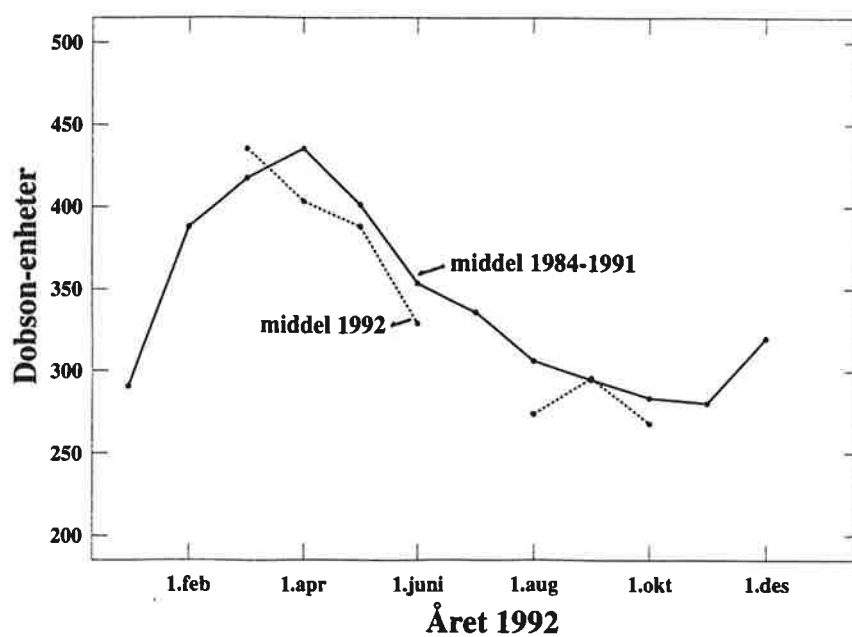
Måned	Min [DU]	Dato	Max [DU]	Dato	Middel 1979-89
Januar	193	31.1.89	452	31.1.83	327
Februar	220	5.2.90	533	24.2.89	363
Mars	278	3.3.83	521	15.3.79	404
April	278	1.4.82	512	4.4.84	406
Mai	262	27.5.79	498	6.3.82	387
Juni	289	20.6.83	429	9.6.81	357
Juli	269	20.7.92	398	11.7.88	345
August	257	27.8.90	408	4.8.89	322
September	220	21.9.88	372	23.9.91	298
Oktober	188	30.10.85	373	10.10.80	288
November	209	9.11.92	388	27.11.80	282
Desember	205	28.12.91	408	29.12.90	309



Figur 4: Månedsmiddelverdiene for 1992 og månedsmiddelverdiene for 1979-1989 i Oslo.



Figur 5: Månedsmiddelverdiene for 1992 og månedsmiddelverdiene for 1984-1991 i Tromsø.



Figur 6: Månedsmiddelverdiene for 1992 og månedsmiddelverdiene for 1984-1991 i Longyearbyen.

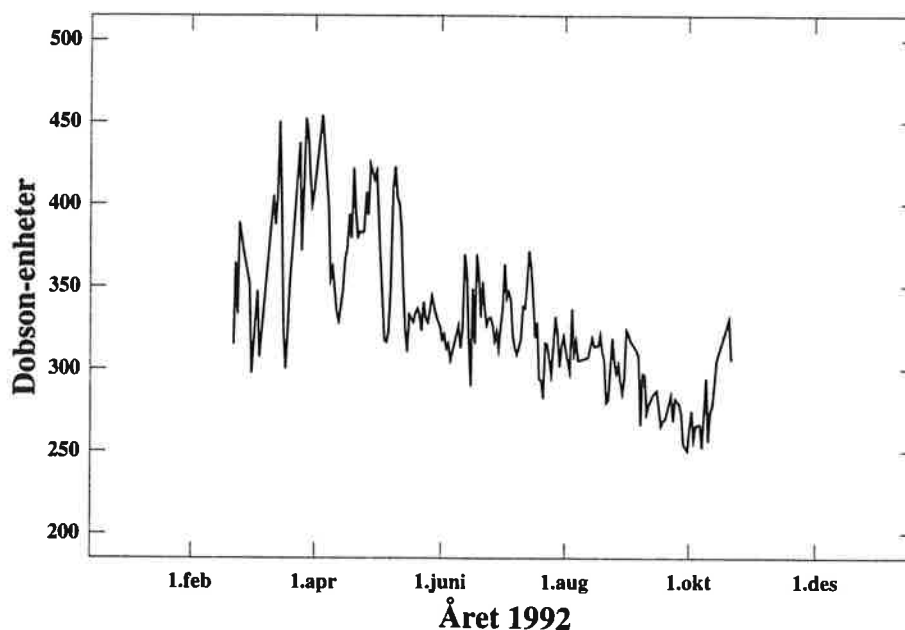
Ved Universitetet i Oslo er det tatt i bruk en ny metode for å bestemme ozonmengden ved lav sol. Når det måles på direkte sollys, antas det vanligvis at instrumentet bare mottar direkte sollys. Imidlertid mottar instrumentet også noe spredt lys fra atmosfæren. Dette bidraget er imidlertid lite ved høy sol. Ved lav sol er dette bidraget stort, og direkte solmålinger er derfor usikre ved lav sol. I den nye metoden foretas det to målinger, en litt ved siden av solen og en direkte mot solen. Den første målingen gir tilnærmet det spredte bidraget som det kan korrigeres for i den andre målingen. Ved svært klar atmosfære gir dette pålitelige resultater for solhøyder ned mot 5° over horisonten.

1.2. Brewer-instrumentene

Figur 7 viser de daglige målinger i 1992 utført med Brewer-instrumentet ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo. Alle målingene som vises her, er tatt mot direkte sollys. Som med Dobson-instrumentet foretas det også målinger på senitlyset. Det har vist seg at metoden for å beregne ozonmengden fra senitlysmålinger ikke gir pålitelige resultater. Dette skyldes at metoden er utviklet av produsenten og basert på data fra produksjonsstedet. I løpet av 1992 er det laget et senitlyskart ved Universitetet i Oslo basert på målinger fra 1990, da instrumentet ble installert, og frem til idag. Dette kartet har gitt gode resultater når solen står høyere enn ca 20° over horisonten. Senitlysmålingene kan imidlertid ikke benyttes i vintermånedene fordi solen står for lavt på himmelen.

En ny metode for måling på det direkte sollyset ved lav sol er også tatt i bruk med Brewer-instrumentet. Prinsippet er det samme som den nye metode for måling ved lav sol med Dobson-instrumentet beskrevet ovenfor. Ved svært klar atmosfære gir dette gode resultater for solhøyder ned mot ca. 5° .

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-instrumentet er god. Begge instrument-typer er godkjent av World Meteorological Organization (WMO) som standard-instrument for måling av totalozon.



Figur 7: Daglige ozonverdier målt med Brewer-instrumentet ved Universitetet i Oslo i 1992.

1.3. Ozonsonder

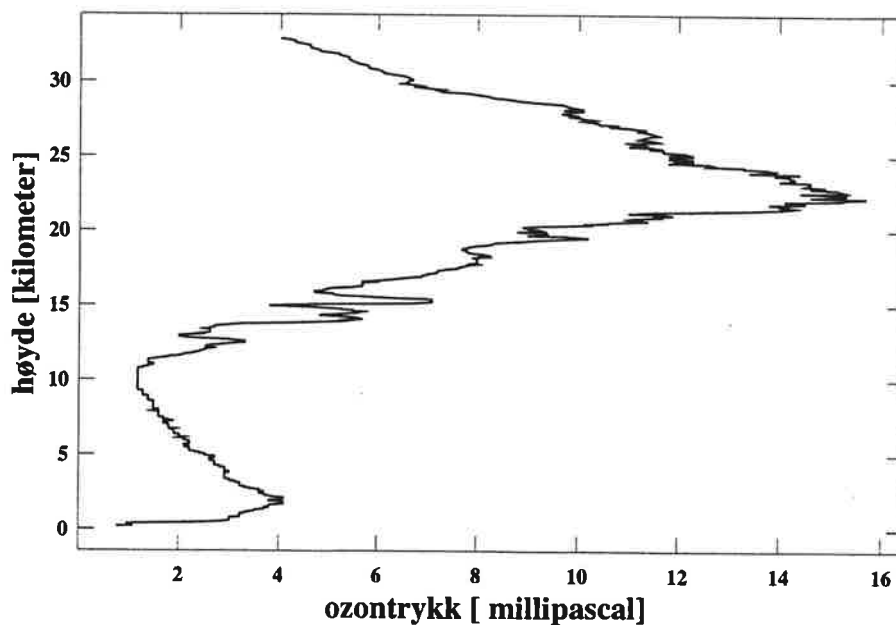
Ozonsonder sendt opp med ballong gir verdifull informasjon om høydefordelingen av ozon. Under gode forhold stiger ballongen til en høyde av 35 km. Siden blandingsforholdet mellom ozon og luft er tilnærmet konstant over ca. 25 km, kan også den totale ozonmengden bestemmes.

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 nedbrytningen av ozon i perioden september-november hvert år (ozonhullet) skjer i høydeområdet 15-25 km, hvor mesteparten av ozonet befinner seg. Ozonsonderinger i Arktis derimot har ikke vist slike dramatiske endringer i høydefordeling av ozon. Både høydefordeling av ozon og totalozon bestemt fra ozonsonder er nyttig for vurdering av totalozon målt med bakkeinstrumenter, spesielt om vinteren under vanskelige måleforhold.

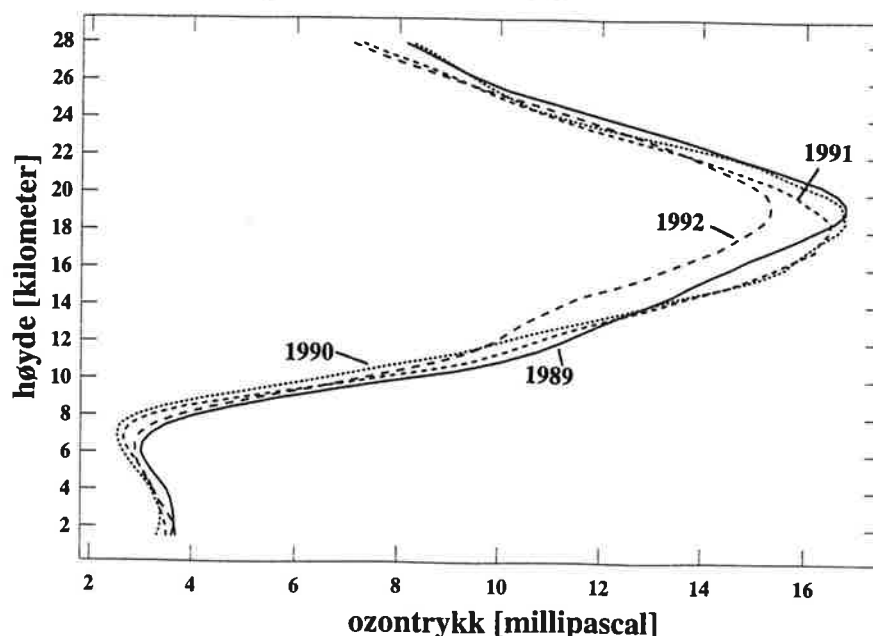
Fra Bjørnøya er det blitt sendt opp ozonsonder siden høsten 1988, vanligvis én gang pr. uke. Vinteren 1991-1992 ble det sendt opp sonder enda hyppigere, i forbindelse med den europeiske ozonkampanjen (EASOE) og likeledes i 1989 i forbindelse med den amerikanske ozonkampanjen AASE. I forbindelse med EASOE har det også blitt sendt opp ozonsonder fra værskipet Polarfront i Norskehavet. Fra Gardermoen Radiosonde-stasjon er det blitt sluppet ozonsonder siden desember 1990.

I figur 8 vises en typisk ozonprofil (Gardermoen 23. desember 1992). Ca. 10% av den total ozonmengden befinner seg under ca. 10 km høyde (troposfæren), mens mesteparten befinner seg i høydeområdet mellom 15 og 25 km. Denne ozonprofilen gir en estimert totalmengde på 290 DU. Ozonmengden målt med Dobsoninstrumentet ved Universitetet i Oslo ga 280-290 DU denne dagen, dvs. i god overensstemmelse med sondeoppstigningen.

Figur 9 viser midlere høydefordeling av ozon fra januar til juni over Bjørnøya for 1989-1992. 1992 utpreger seg med lav konsentrasjon av ozon mellom 12 og 20 km høyde. Maksimal ozonkonsentrasjon lå i ca. 20 km høyde for alle fire år.



Figur 8: Høydefordeling av ozon over Gardermoen 23. desember 1992 målt med ozonsonde sendt opp med ballong.



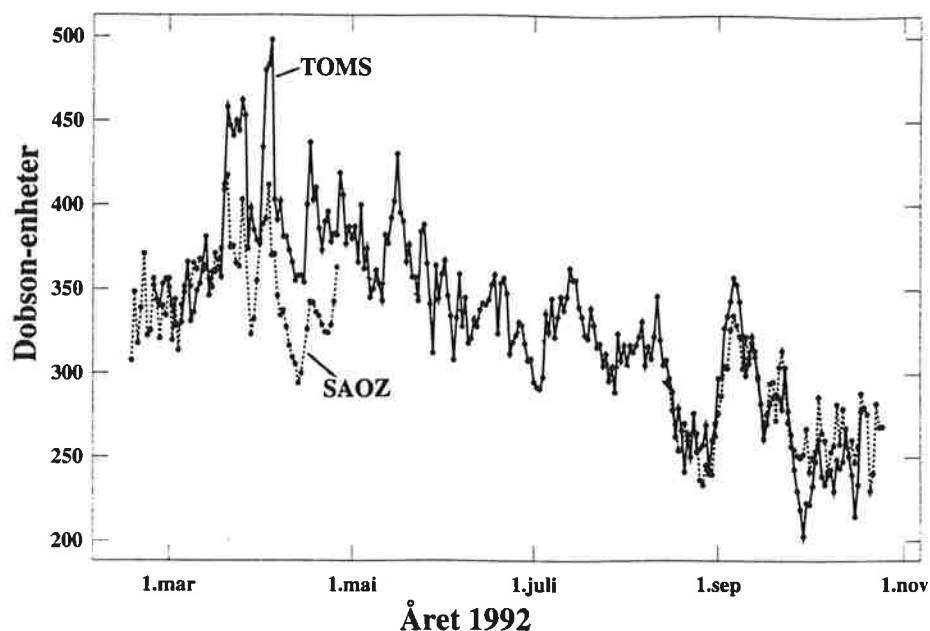
Figur 9: Årlig midlere høydefordeling av ozon over Bjørnøya for 1989-1992.

1.4. SAOZ-instrumentet.

SAOZ (System for Analysis of Observation at Zenith), som er plassert i Ny-Ålesund, er et instrument som er konstruert for å kunne måle bl.a. ozonmengden i atmosfæren ved lav sol. Dobson- og Brewer-instrumentene gir vanligvis usikre målinger når solen står lavere enn ca. 5-10 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 absorpsjonsbånd rundt 510 nm, dvs. i den synlige delen av spekteret hvor ozon absorberer mye svakere enn i det ultrafiolette området. Målinger med SAOZ vil derfor gi best resultater ved lav sol, og siden instrumentet kan måle selv når solen står 2-4 grader under horisonten, er instrumentet velegnet på høye breddegrader. En annen fordel er at absorpsjonen er uavhengig av temperaturvariasjoner i stratosfæren. Instrumenttypen er imidlertid ny og metoden for å beregne ozonmengden fra målingene er under utvikling.

Figur 10 viser ozonmengden målt med SAOZ i Ny-Ålesund i 1992. I samme figur vises også ozonmengden målt med TOMS-instrumentet (Total Ozone Mapping Spectrometer) i NIMBUS 7-satellitten. Vi ser at det er store avvik mellom SAOZ og TOMS våren 1992 (særlig april). Årsaken til dette store avviket er høyst sannsynlig partikler i stratosfæren som stammer fra utbruddet av vulkanen Pinatubo på Filippinene juni 1991 (Dahlback et al., 1993, Kåstad et al., 1993). Det har vist seg at instrumenter som baserer målinger på senitlys, er påvirket av partikler i stratosfæren. De lave ozonverdiene som ble registrert i denne perioden, var en optisk effekt. Denne effekten øker dess lavere solen står på himmelen. Den

bedre overensstemmelsen mellom TOMS og SAOZ mot slutten av året 1992 skyldes lavere partikkelkonsentrasjon i stratosfæren og at disse ligger lavere i stratosfæren.



Figur 10: Ozonmengden målt med SAOZ og TOMS i Ny-Ålesund i 1992.

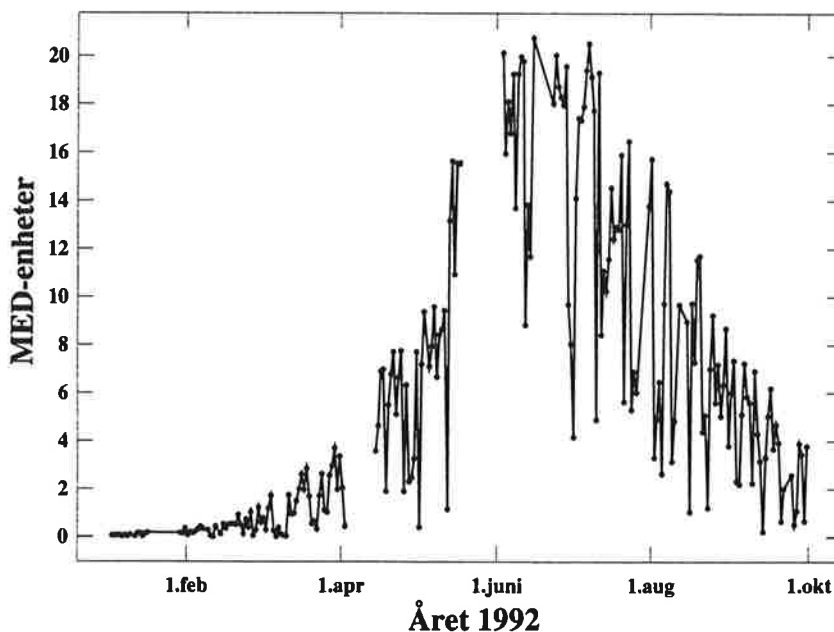
1.5. UV-målinger i Oslo

Den biologisk effektive UV-stråledosen har vært målt ved Universitetet i Oslo siden juni 1991. Instrumentet er en Robertson-Berger-detektor fra Solar Light. Co. Denne typen instrument har en følsomhetskurve som ligner virkningsspekteret for dannelse av solbrenthet (erythem) hos mennesker. Instrumentet angir eksponeringsraten i MED-enheter. MED (Minimal Erythemal Dose) er et mål for 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 11 viser målt daglig dose i 1992. Den daglige UV-dosen er først og fremst bestemt av solhøyden, skydekket og ozonmengden i atmosfæren. Når solen stiger på himmelen vil UV-strålingen øke fordi veien gjennom atmosfæren og ozonlaget blir kortere. Skyer demper UV-strålingen pga. effektiv spredning. Minkende ozonmengde i atmosfæren gir økt UV-stråling ved bakken.

Målingene i figur 11 viser store daglige variasjoner og en utpreget årstidsvariasjon. Årstidsvariasjonen skyldes hovedsakelig solhøyden, mens de daglige variasjonene skyldes variasjoner i skydekket eller variasjon i ozonmengden eller en kombinasjon av begge. Den høyeste dagsdose, 20 MED, ble registrert 24. juni. Ozonmengden denne dagen var 330 DU som er nær det normale for denne årstiden. Lave dose-verdier registrert om sommeren, f.eks. 4 MED den 4. juli, skyldes skyer.



Figur 11: Daglige UV-doser målt i Oslo med Robertson-Berger-instrument i 1992.

1.6. UV-, ozon- og skymålinger ved NILU

NILU har fått i oppdrag av Miljøverndepartementet å etablere et nettverk av instrumenter for måling av UV-stråling i Chile. I første omgang prøves et instrument, type GUV511 fra Biospherical Instruments Inc. Dette instrumentet er laget først og fremst for å måle UV-stråling, men en ny analysemetode utviklet ved NILU gjør det mulig å bestemme både UV-dosen, totalozon og optisk tykkelse av skyer.

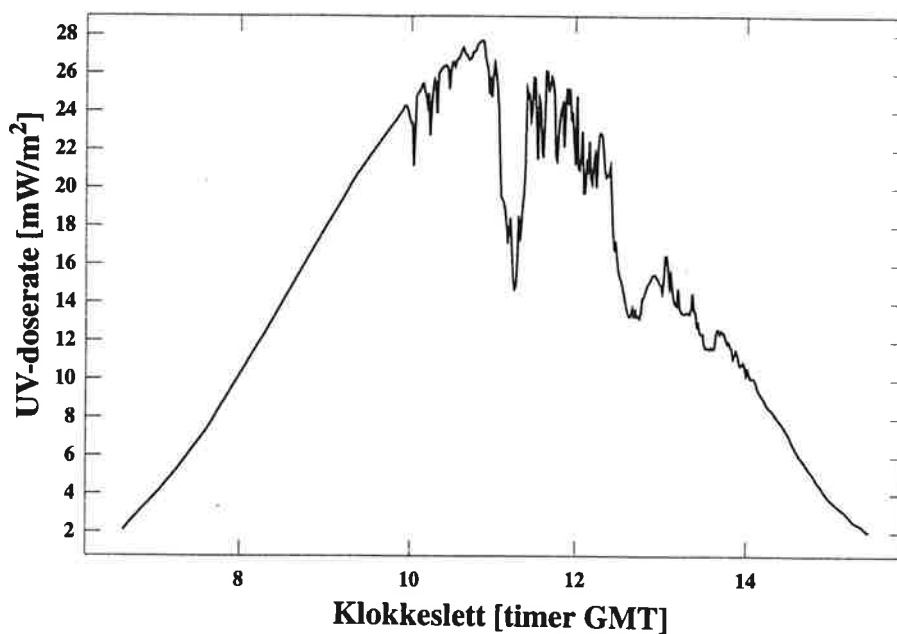
Instrumentet måler irradiansen (strålingen som faller på en horisontal flate) ved fire bølgelengde-bånd i UV-området: 308 nm, 320 nm, 340 nm og 380 nm, med båndbredde ca. 10 nm. Irradiansen ved 308 nm (i UV-B området) avhenger i stor grad av ozonmengden i atmosfæren. Båndene ved 340 nm og 380 nm (i UV-A-området) er derimot ikke påvirket av ozon. Alle fire bølgelengde-bånd påvirkes av skyer i atmosfæren. Forholdet mellom irradiansen ved 308 nm og f.eks. 340 nm

vil variere med ozonmengden. Selv om skyer påvirker hvert av båndene i stor grad, vil skyeffekten på forholdet være svært liten fordi spredning av lys i skyer er lite bølgelengdeavhengig. Dette forholdet kan dermed benyttes til å bestemme ozonmengden i atmosfæren selv i skyet vær. Ozonmengden bestemmes ved å sammenligne det målte forhold med modellberegninger av dette forhold ved varierende ozonmengder. Den optiske tykkelsen av skydekket bestemmes ved å sammenligne den målte irradiansen ved 340 nm med modellberegninger av irradiansen ved 340 nm med varierende skyforhold. Denne metoden er benyttet på målte spektre med høy bølgelengdeoppløsning (Stamnes et al., 1991). Metoden er modifisert for måling på bredere bølgelengdebånd, som med GUV511. En har ved NILU utviklet en modell for å bestemme UV-dosen (300-400 nm) ved å benytte modellberegninger kombinert med de fire målte bølgelengdebånd.

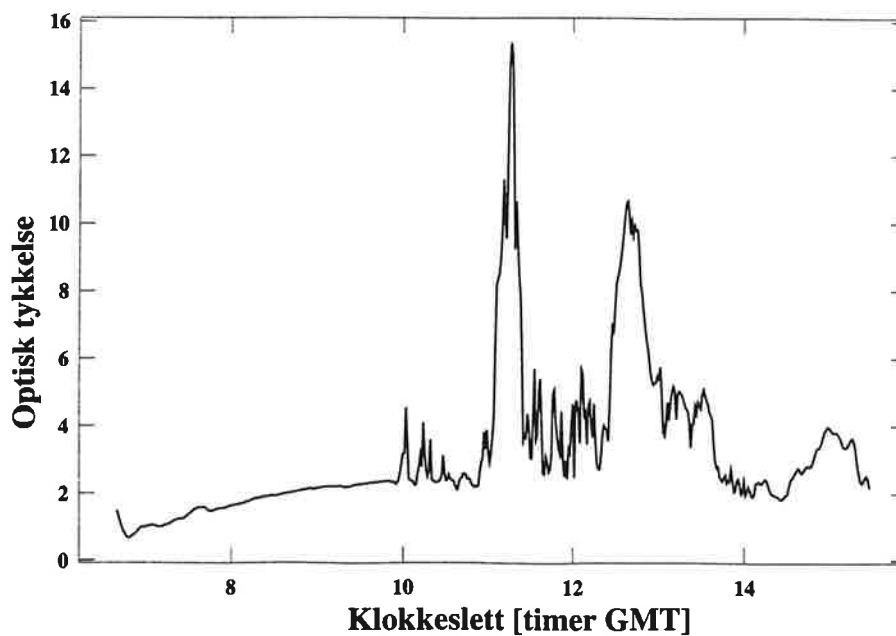
Ozonmengden bestemt fra målinger med GUV511 viser godt samsvar med Dobson- og Brewer-instrumentene. For perioden fra 18. september til 1. november er avviket for GUV511 i forhold til Brewer -0,4% med standardavvik 1,9%. For den samme perioden er avviket for GUV511 i forhold til Dobson 2,3% med standardavvik 2,7%.

GUV511 er produsert av Biospherical Instruments, Inc. , San Diego, USA. Dette firmaet produserer også et spektrometer, SUV-100A, med høy oppløsning, lik 0,7 nm. Spektralområdet for dette instrumentet er 280-620 nm. Det har blitt etablert et nettverk av SUV-100A i Antarktis og Arktis finansiert av National Science Foundation i USA. Siden GUV511 blir kalibrert mot et av disse instrumentene, vil GUV511-data kunne sammenlignes med data fra dette nettverket.

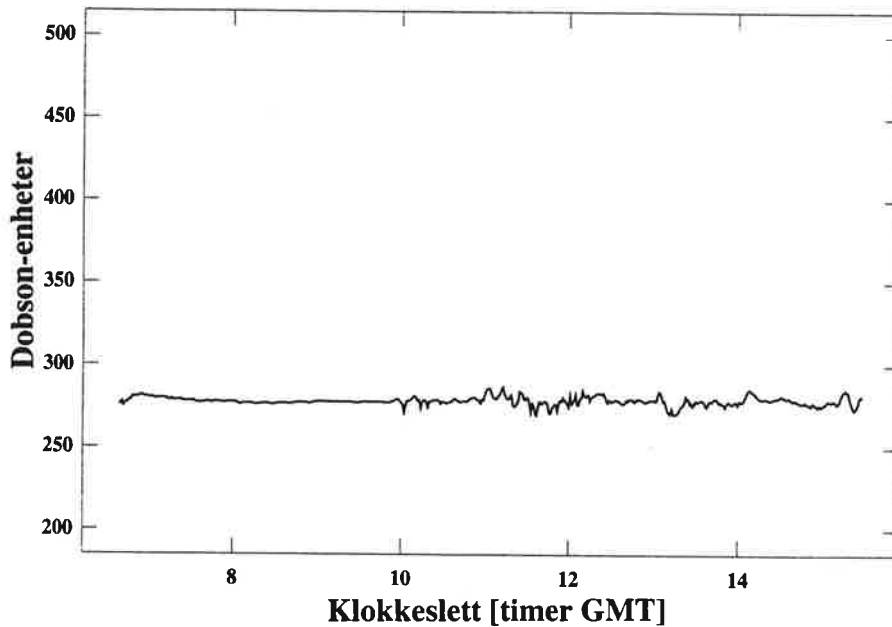
Figur 12, 13 og 14 viser hvordan UV-dosen, skydekket og ozonmengden varierer i løpet av en dag (11. oktober 1992) målt med GUV511 ved NILU. Ved å sammenligne tidsforløpet av UV-dosen og den optiske tykkelsen av skydekket er det tydelig at skyer har stor innvirkning på UV-dosen. Som det går frem av figur 14 holdt ozonmengden seg tilnærmet konstant gjennom hele dagen.



Figur 12: UV-dosen (doseraten) målt med GUV511 11. oktober 1992. Bare målinger hvor solen står høyere enn 5 grader over horisonten er tatt med.



Figur 13: Den optiske tykkelsen av skydekket målt med GUV511 11. oktober 1992. Bare målinger hvor solen står høyere enn 5 grader over horisonten er tatt med.



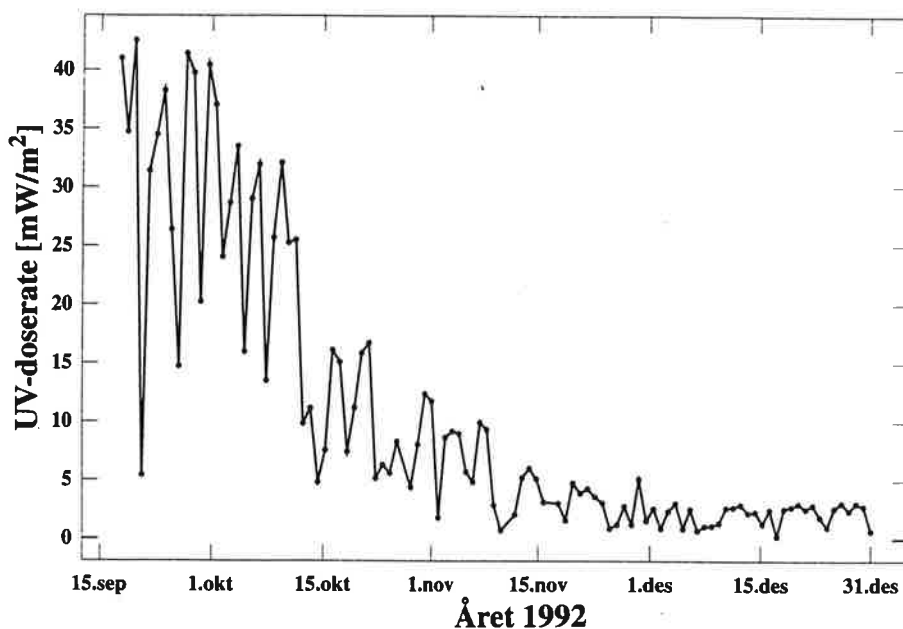
Figur 14: Ozonmengden målt med GUV511 11. oktober 1992. Bare målinger hvor solen står høyere enn 5 grader over horisonten er tatt med.

Målingene med GUV511 startet 18. september 1992. Figur 15 viser dose-raten av UV-strålingen ved lokal middag fra 18. september til 31. desember 1992. Som nevnt i forrige avsnitt skyldes variasjonene i UV-dosen fra dag til dag variasjon i skydekket, variasjon i ozonmengden eller en kombinasjon av begge. I figur 16 vises den optiske tykkelse av skydekket ved lokal middag i den samme perioden. Den optiske tykkelsen er et mål for skydekkets evne til å svekke lys. I figur 17 vises den daglige ozonmengden i den samme tidsperioden målt med dette instrumentet. Siden instrumentet måler både UV-dosen, ozonmengden og skydekket samtidig, er det mulig å forklare hvorfor UV-strålingen varierer. Robertson-Berger-instrumentet nevnt i forrige avsnitt er ikke istand til å måle dette.

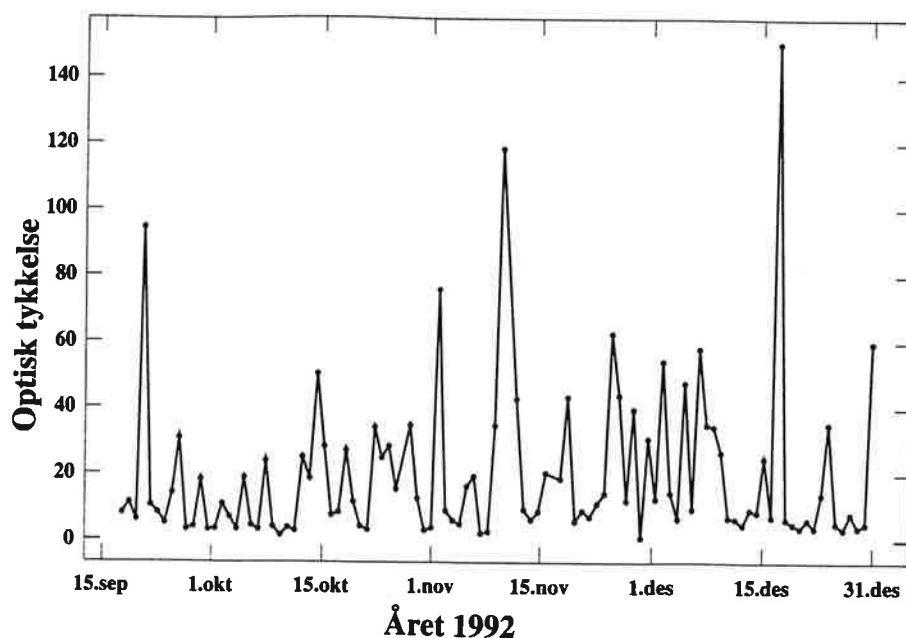
Instrumentet er fullstendig automatisk og foretar måling hvert minutt kontinuerlig. Siden instrumentet har en relativt lav pris og er enkelt å kalibrere, er instrumenter av denne typen velegnet i UV-nettverk.

En annen fordel med flerbåndsinstrumenter er at man kan velge ulike aksjonsspektre. Flere typer skade-effekter kan dermed studeres. Et aksjonsspekter beskriver hvordan den biologiske virkningen av strålingene avhenger av bølgelengden (se avsnitt 4.1). Avhengig av typen biologisk effekt man vil studere, er det ønskelig å kunne variere aksjonsspekteret. Dette er ikke mulig med instrumenter som kun måler på ett bånd, f.eks. Robertson-Berger-instrument.

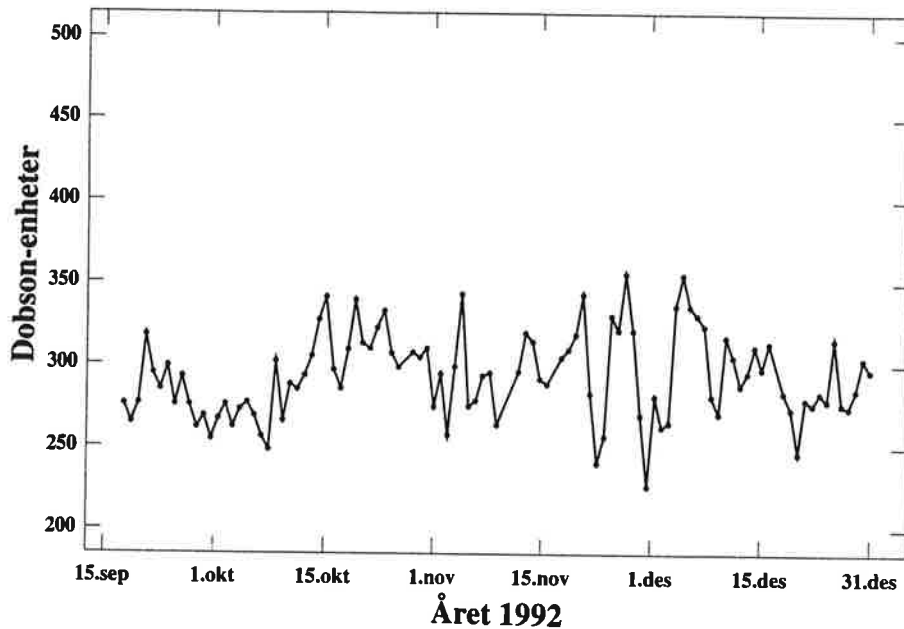
Ved NILU utvikles det et instrument med samme prinsipp som GUV511, men med ett bølgelengdebånd i tillegg. Dette instrumentet skal testes i annen halvdel av 1993.



Figur 15: Dose-raten midt på dagen fra 18. september 1992 til 31. desember 1992 ved NILU målt med GUV511.



Figur 16: Optisk tykkelse av skydekket midt på dagen over NILU fra 18. september 1992 til 31. desember 1992 målt med GUV511.



Figur 17: Ozonmengden midt på dagen over NILU fra 18. september 1992 til 31. desember 1992 målt med GUV511.

2. Ozonmålinger 1979-1992

Figur 18 viser hvordan den total ozonmengden målt med Dobson-instrumentet har variert over Oslo i perioden 1. januar 1979 til 31. desember 1992. Den store årstidsvariasjonen, som er typisk for stasjoner på høye breddegrader, har sammenheng med transport av ozon fra kildeområdene i stratosfæren over ekvator. Denne transporten er størst om vinteren, og gir et maksimum i ozonmengden utpå vårparten. Svakere transport fra ekvator gir et minimum i totalmengden utpå høsten. I figuren er det benyttet månedsmiddelverdier slik at årstidsvariasjonene kommer tydeligere frem. De hurtige variasjonene fra dag til dag er midlet bort.

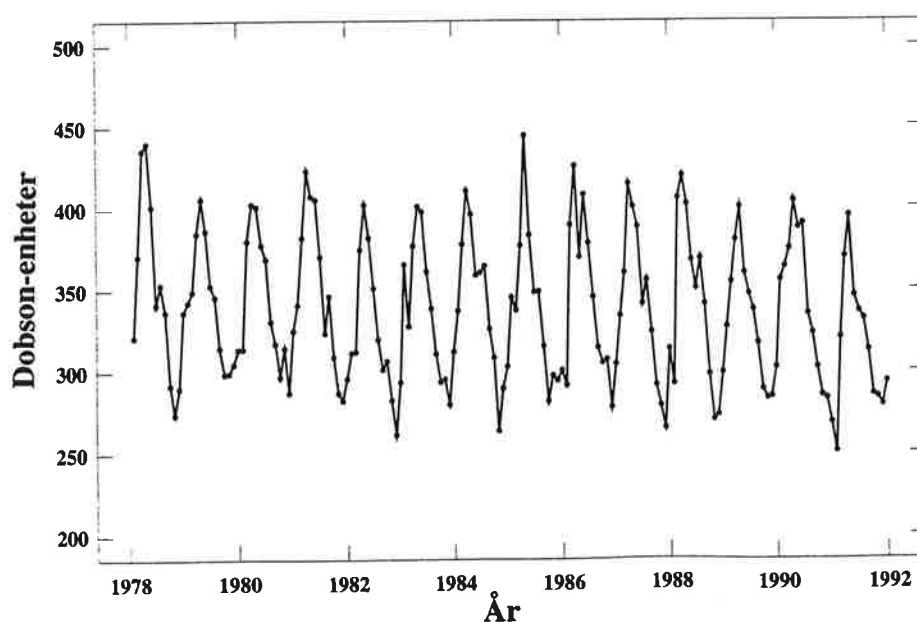
Figur 19 viser ozonvariasjonene på en annen måte ved at sesongvariasjonene i perioden fra 1979 til 1991 er fjernet. (Sesongvariasjonen i månedsmidlene fjernes ved å trekke fra langtids-månedsmiddelet og å legge til langtids-årsmiddelet.) På denne måten går det tydeligere frem hvordan avviket fra måned til måned varierer gjennom perioden. En trendanalyse på dette datasettet gir en nedgang på 0,33% pr. år. Nedgangen for vintermånedene desember-mars er 0,53% pr. år, mens for sommermånedene mai-august er nedgangen 0,17% pr. år.

Figur 20 viser ozonvariasjonene over Oslo fra 1979 til 1992 målt med TOMS-instrumentet ombord i NIMBUS 7-satellitten. Sesongvariasjonene er fjernet på tilsvarende måte som i forrige figur. En trendanalyse med dette datasettet gir en sterkere nedgang en Dobson-målingene. På årsbasis er nedgangen 0,68% pr. år.

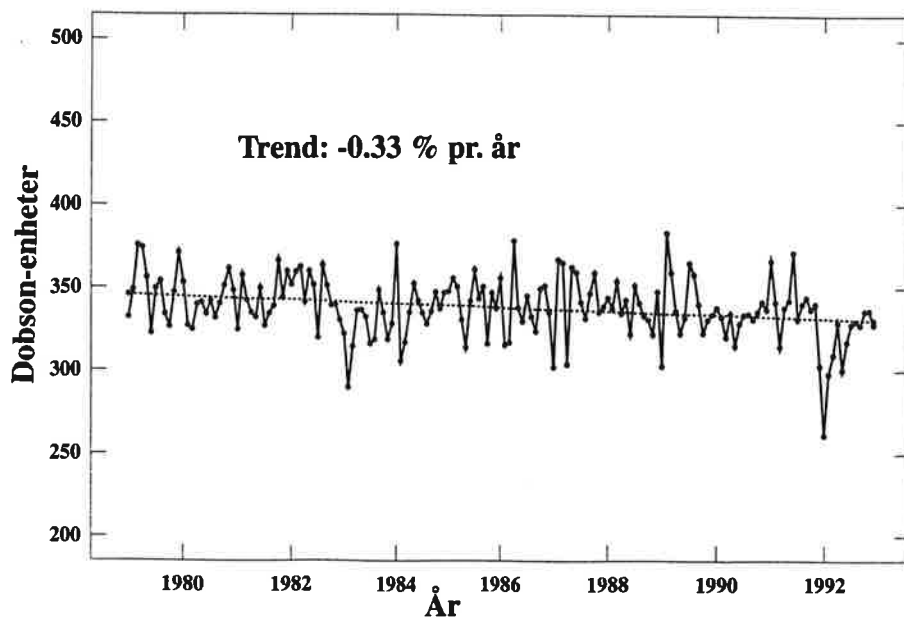
For vintermånedene desember - mars gir TOMS en nedgang på 1,0 % pr. år, mens nedgangen for sommermånedene mai - august er 0,46%.

Som det fremgår av figur 19 og 20 bidrar de spesielt lave ozonverdier i 1. halvår 1992 sterkt til den beregnede trenden for perioden 1979 til 1992.

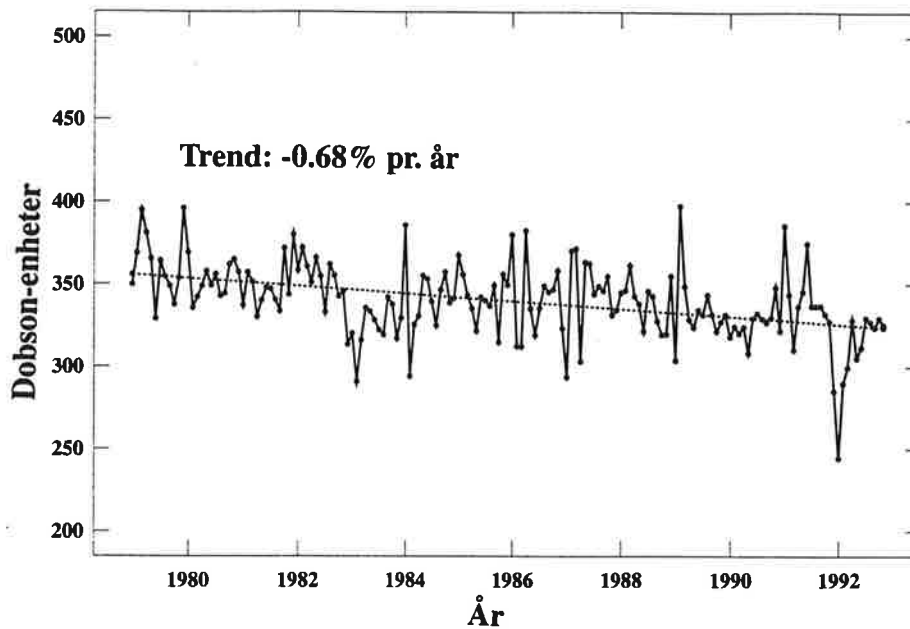
Uoverenstemmelsen i trendanalysen for TOMS og Dobson kan ha flere årsaker. Endringer i troposfæreozon registreres i svært liten grad av TOMS. Dobson-instrumentet registrer endringen både i stratosfæren og troposfæren. Siden konsentrasjonen av ozon i troposfæren øker med 1-2% pr. år vil dette forklare en del av uoverenstemmelsen. I 1992 var partikkel-konsentrasjonen i stratosfæren betydeligere høyere enn normalt som følge av vulkanutbruddet fra Pinatubo på Filipinene i juni 1991. Partikler i stratosfæren kan påvirke optiske målinger og spesielt de instrumenter som benytter seg av målinger på spredt lys. Dette gjelder i stor grad TOMS. Effekten av dette vil være størst ved lav sol, dvs. i vintermånedene. Noe av uoverensstemmelsen i trendanalysen for TOMS og Dobson kan derfor skyldes vulkan-utbruddet fra Pinatubo.



Figur 18: Variasjon i ozonmengden over Oslo 1979-1992 målt med Dobson-instrumentet basert på månedsmidler.

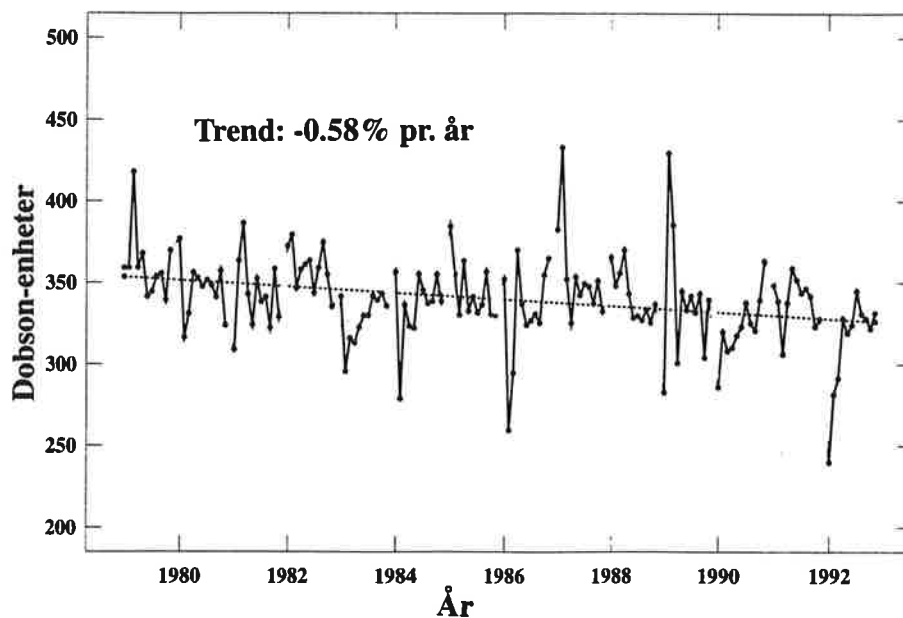


Figur 19 : Variasjon i ozonmengden over Oslo 1979-1992 målt med Dobson-instrumentet som vist i figur 18, men her er sesongvariasjonene fjernet. De månedlige variasjonene kommer derfor tydeligere frem.

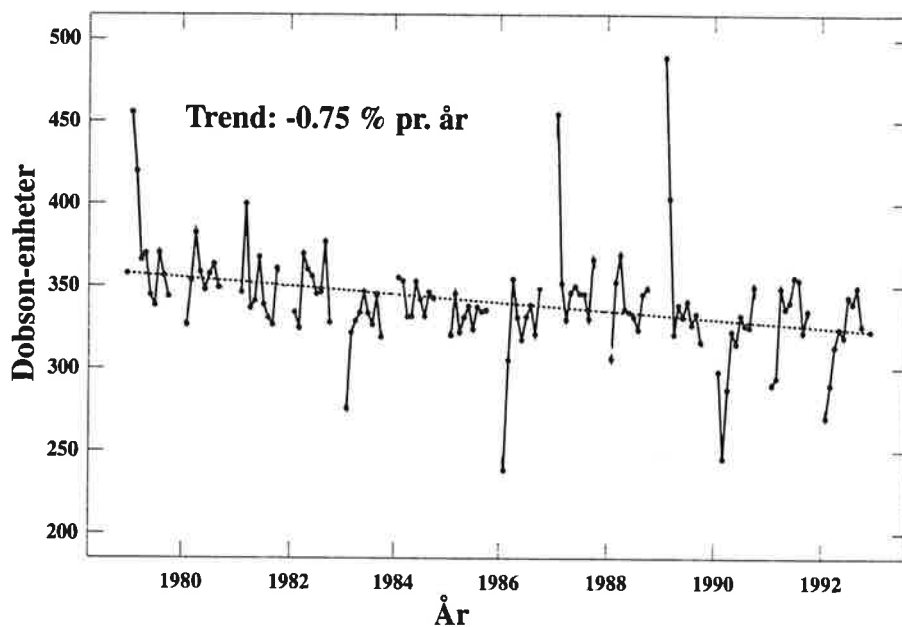


Figur 20 : Variasjon i ozonmengden over Oslo 1979-1992 målt med TOMS. Sesongvariasjonene er fjernet.

Figur 21 og 22 viser variasjon i ozonmengden over henholdsvis Tromsø og Longyearbyen 1979-1992 målt med TOMS. Nedgangen i ozonmengden for sommermånedene mai-august er 0,33% pr. år for Tromsø og 0,47% for Longyearbyen. Pga. mørketid er det ikke mulig å beregne en vinter-trend som for Oslo. På årsbasis er nedgangen for Tromsø 0,58% og for Longyearbyen 0,75%. For Tromsø er trenden basert på målinger i tidsrommet primo februar - primo november, og for Longyearbyen ultimo februar - ultimo oktober.



Figur 21: Variasjon i ozonmengden over Tromsø 1979-1992 målt med TOMS. Sesongvariasjonene er fjernet.



Figur 22: Variasjon i ozonmengden over Longyearbyen 1979-1992 målt med TOMS. Sesongvariasjonene er fjernet.

Resultatet av trendanalysene for de tre norske stasjoner er vist i tabell 2. Usikkerheten i trendene er angitt ved standardavviket.

Tabell 2: Endring i ozonmengde i prosent pr. år for perioden 1.1.1979 til 31.12.1992. 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		Longearbyen	
	Dobson	TOMS	TOMS	TOMS	TOMS	TOMS
des-mar	-0,53 (0,23)	-1,0 (0,23)				
mai-aug	-0,17 (0,15)	-0,46 (0,14)	-0,37 (0,11)		-0,47 (0,11)	
hele året	-0,33 (0,10)	-0,68 (0,12)	-0,58 (0,15)		-0,75 (0,20)	

3. Måling med Dobson, Brewer og TOMS

3.1. Målemetoder

Dobson-instrumentet (Komhyr, 1990) 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 solen. Siden det målte intensitetsforhold er bestemt av bl.a. ozonmengden, kan denne beregnes. Instrumentet kan måle på fem 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 SO₂-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 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 solen står lavt på himmelen.

I første rekke skiller Brewer-instrumentet seg fra Dobson-instrumentet ved at det er automatisk slik at en kan registrere etter et oppsatt program (Brewer-manual, 1990). Fordelen med Brewer-instrumentet er at man kan foreta et mye større antall målinger enn hva som er praktisk mulig med Dobson-instrumentet. Mens Dobson-instrumentet benytter to eller fire bølgelengder i UV-området til ozonmåling, benytter Brewer-instrumentet fem. Ozonmengden kan bestemmes ved å måle på direkte sollys, direkte månelys eller spredt lys fra senit. Brewer-instrumentet muliggjør også måling av NO₂ og SO₂ i tillegg til ozon. Videre er det en egen enhet som gjør det mulig å måle UV-B strålingen fra solen som når bakken.

Satellitten NIMBUS 7 benytter et ozonmåleinstrument, TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer). Ultrafiolett stråling fra solen trenger ned i atmosfæren, passerer ozonlaget hvor noe absorberes, deretter reflekteres den gjenværende ultrafiolette strålingen fra bakken og skyene i troposfæren, og passerer ozonlaget en gang til med ytterligere absorpsjon. Strålingsintensiteten registreres av satellitten. Ved å måle svekkingsgraden kan man ut fra slike målinger beregne hvor mye ozon lyset har passert. Ved målingene benyttes flere bølgelengder. Denne teknikken har mye til felles med senitlysteknikken som benyttes med Dobson-instrumentet.

3.2. Sammenligning av målinger med Dobson-, Brewer- og TOMS-instrumentene.

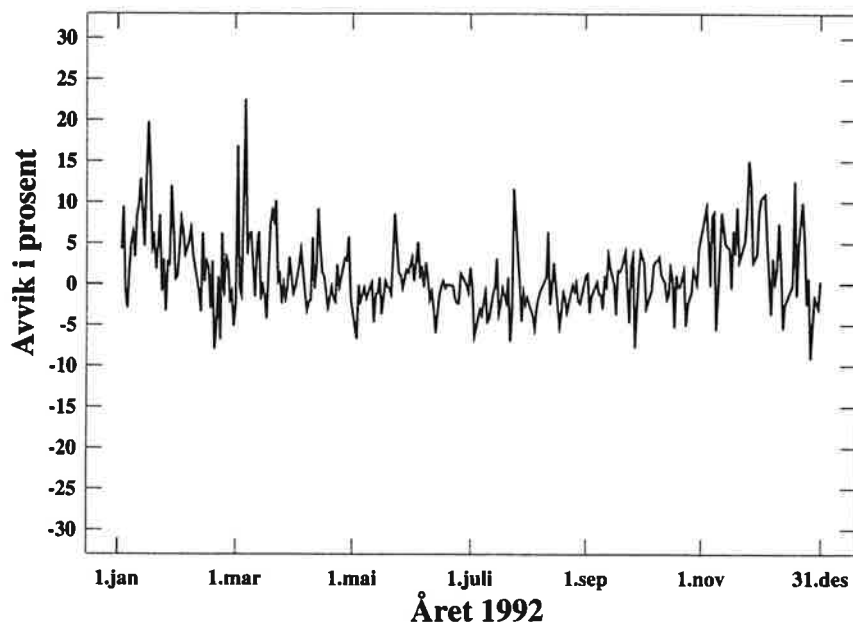
Både Dobson-, Brewer- og TOMS-instrumentene benytter seg av en optisk metode for bestemmelse av ozonmengden i atmosfæren. Felles for alle er at de

registrerer svekkingen av ultrafiolett sollyys ved flere smale bølgelengdebånd. Bølgelengdene som det måles på er imidlertid forskjellig for instrumentene. Dobson og Brewer måler både det direkte sollyset og på senitlyset som når bakken. TOMS-instrumentet i NIMBUS 7-satellitten, derimot, måler det tilbakespredte ultrafiolette sollyset, dvs. at metoden har mange fellestrekk med senitlysmetoden benyttet med Dobson og Brewer bortsett fra at det sollyset som TOMS registrerer har passert gjennom atmosfæren to ganger. Lyset som måles av de forskjellige instrumentene har ikke passert gjennom nøyaktig samme del av atmosfæren. I tillegg måles det ikke alltid på samme tidspunkt. Alle disse momentene bidrar til at instrumentene ikke gir eksakt samme resultat.

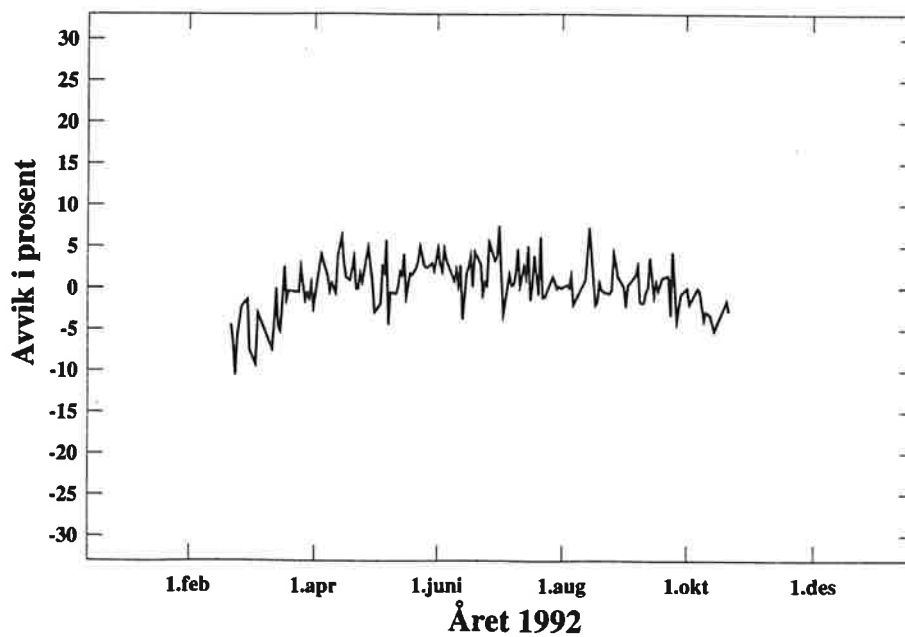
Figur 23 viser prosentvis avvik for Dobson i forhold til TOMS for Oslo i 1992. På årsbasis er dette avviket 1,3%. Om vinteren viser TOMS noe lavere verdier enn Dobson. Sammenligning mellom Dobson og Brewer i Oslo er vist i figur 24. På årsbasis er avviket 0,4%. For Tromsø er avviket mellom Dobson og TOMS på årsbasis -0,2% og for Longyearbyen 1,4% (figur 25 og 26). Som nevnt tidligere kan partikler i stratosfæren som stammer fra vulkanutbruddet på Fillippinene i 1991 påvirke de optiske målingene i varierende grad. Dette vil være av størst betydning om vinteren når solen står lavt på himmelen. I tabell 3 vises avviket mellom de forskjellige instrumenter på årsbasis i 1992.

Tabell 3: Avviket i prosent mellom Dobson, Brewer og TOMS for 1992. Tallene i parentes angir standardavviket.

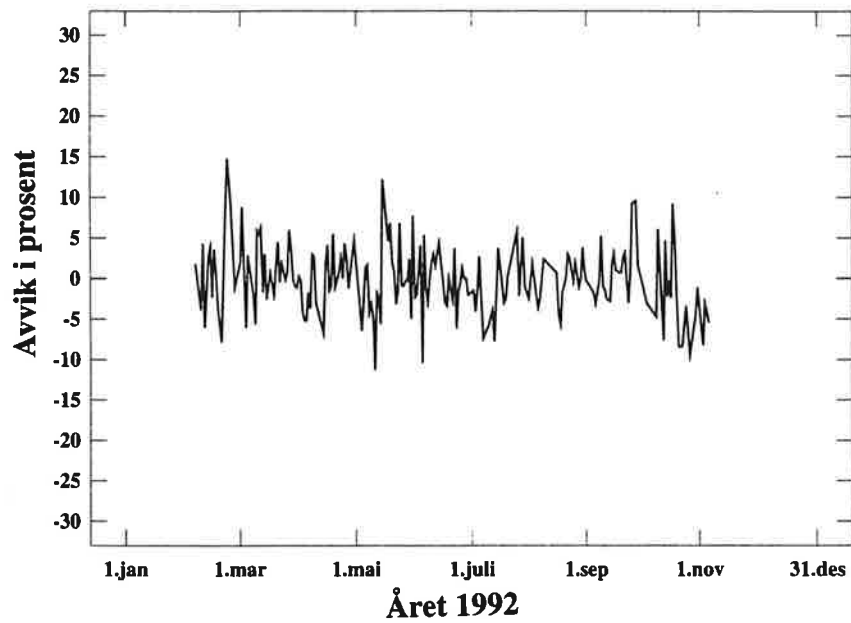
Stasjon	(Dobson-TOMS)/Dobson		(Dobson-Brewer)/Dobson	
Oslo	1,3	(4,5)	0,35	(3,0)
Tromsø	-0,2	(5,1)		
Longyearbyen	1,4	(6,6)		



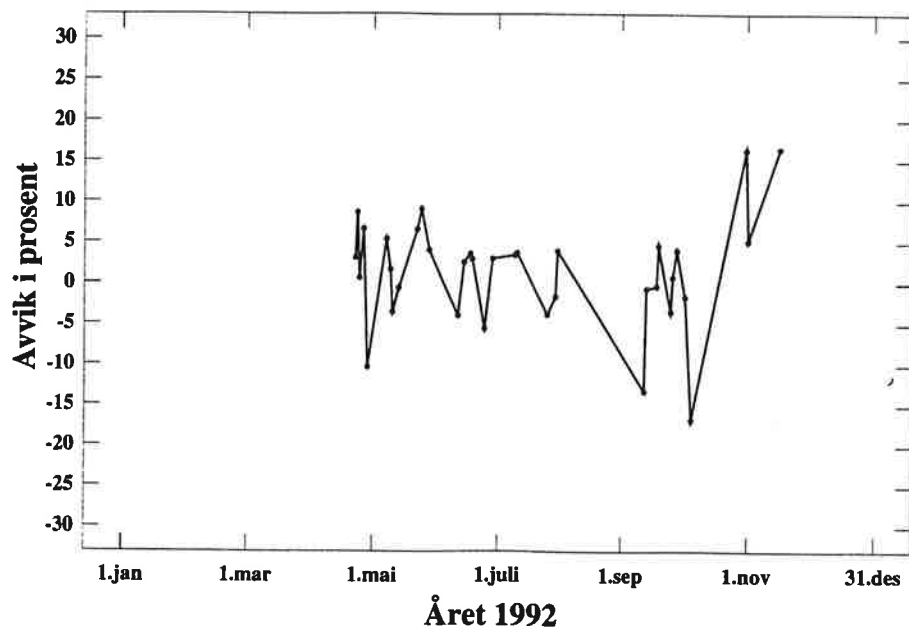
Figur 23: Sammenligning mellom målinger utført med Dobson og Toms for Oslo i 1992, $100 \cdot (\text{Dobson} - \text{TOMS}) / \text{Dobson}$.



Figur 24: Sammenligning mellom målinger utført med Dobson og Brewer for Oslo i 1992, $100 \cdot (\text{Dobson} - \text{Brewer}) / \text{Dobson}$.



Figur 25: Sammenligning mellom målinger utført med Dobson og TOMS for Tromsø i 1992, $100 \cdot (\text{Dobson} - \text{TOMS}) / \text{Dobson}$.



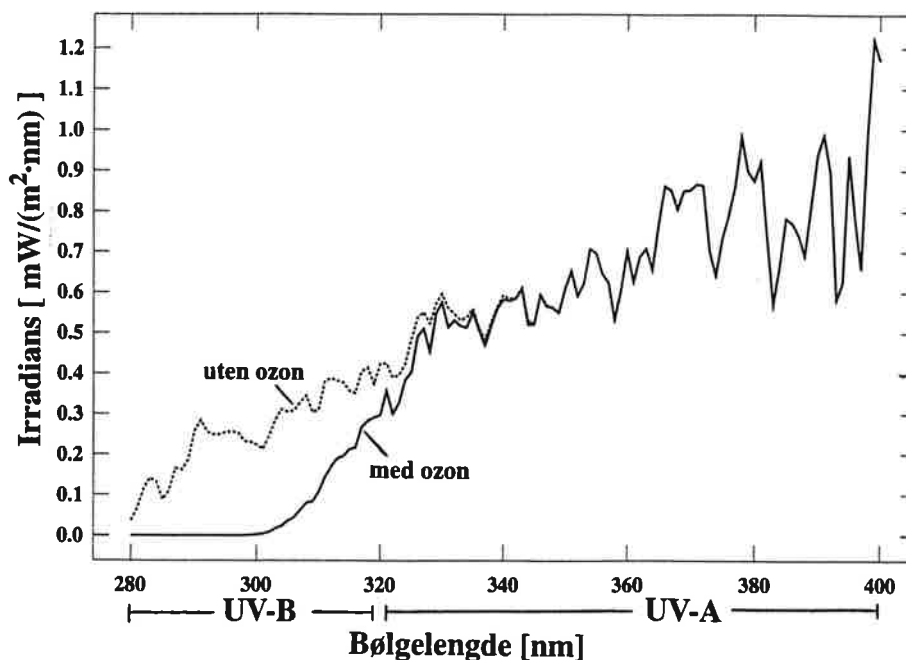
Figur 26: Sammenligning mellom målinger utført med Dobson og TOMS for Longyearbyen i 1992, $100 \cdot (\text{Dobson} - \text{TOMS}) / \text{Dobson}$.

4. UV-stråling

4.1. Biologisk effektiv UV-stråling

Ozonet i atmosfæren er av avgjørende betydning for livet på jorda. Absorpsjon i ozonlaget sørger for at bare en liten del av den ultrafiolette solstrålingen når jordens overflate. Uten ozon i atmosfæren ville den biologisk effektive stråledosen ved bakken være 60-70 ganger så stor som under normale forhold. Luftmolekylene i atmosfæren demper også strålingen noe ved spredning. Skymengden er også av avgjørende betydning for hvor mye UV-stråling som når jordens overflate. Skyer demper UV-strålingen pga. effektiv spredning, men svekkingsgraden avhenger av skytypen. Ved helt overskyet vær kan svekkingen være opp til 90%, mens svekkingen ved tynne skyer er liten. Refleksjon fra bakken er også av stor betydning for strålenivået ved jordoverflaten. Mens bar mark og vannflater reflekterer UV-stråling svært lite, kan nysnø reflektere 90% av UV-strålingen. UV-strålingen ved bakken varierer svært mye med solhøyden. Dette skyldes at veien for solstrålingen gjennom ozonlaget er mye lengre for lav sol enn for høy sol.

Det er vanlig å dele den ultrafiolette strålingen inn i tre grupper: UV-A, UV-B og UV-C. Den langbølgete UV-A strålingen (320-400 nm) absorberes praktisk talt ikke av ozon. UV-B (280-320 nm) absorberes delvis av ozon slik at ozonmengden i atmosfæren er av stor betydning for hvor mye UV-B stråling som når jordens overflate. Den kortbølgete UV-C strålingen (200-280 nm) absorberes svært effektivt av ozon (O_3) og oksygen (O_2) slik at ingenting når jordens overflate. Det skal lite ozon til for å absorbere all stråling i UV-C området. I figur 27 vises beregnet solspekter ved bakken både for UV-B og UV-A. Beregningene gjelder for klarvær for $60^\circ N$ 21. juni. For å illustrere hvordan ozonlaget absorberer UV-strålingen, er det utført en beregning for normalt ozonlag (340 DU) og en uten ozon.

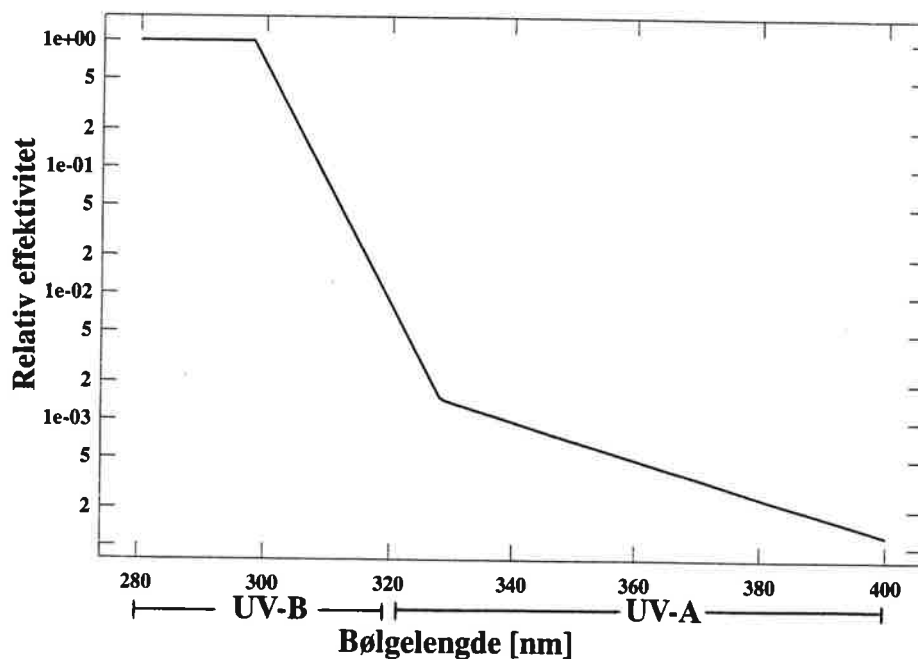


Figur 27: Beregnet solspekter ved bakken (bar mark) for $60^\circ N$ 21. juni. Både direkte og diffus stråling er tatt med. For å illustrere effekten av absorpsjon i ozonlaget vises både spekter med normal ozonmengde (340 DU) og uten.

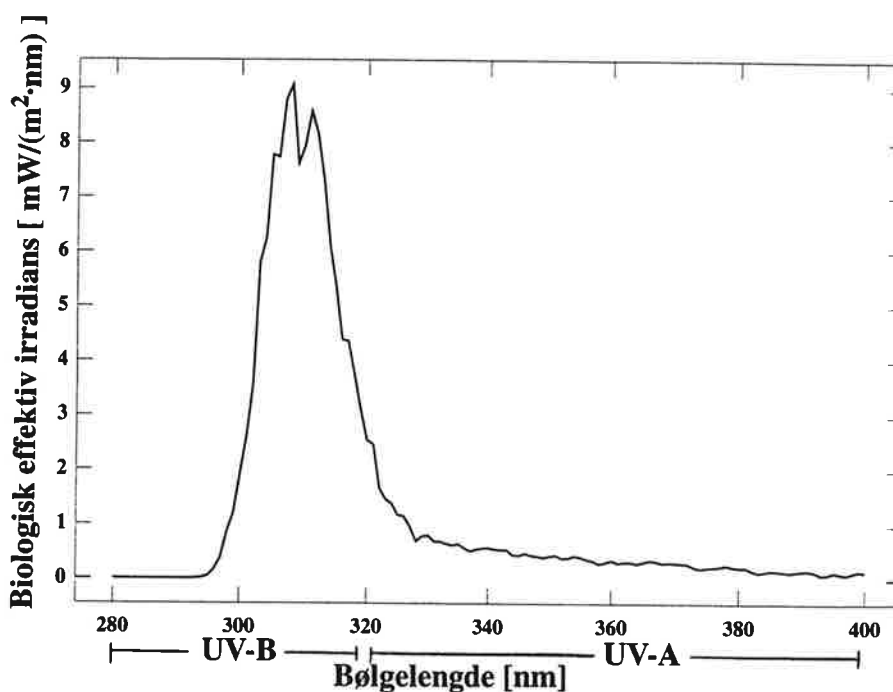
Den biologiske effekten av UV-B-strålingen er mye større enn UV-A strålingen, men siden intensiteten av UV-A-strålingen er mye større enn UV-B strålingen, er begge av betydning for planter, dyr og mennesker. UV-dosen består av både UV-B og UV-A hvor man tar hensyn til at den biologiske effekten er bølgelengde-avhengig (virkningsspektrum eller aksjonsspektrum). Det betyr at UV-B tillegges mye større vekt enn UV-A. Om sommeren utgjør UV-A 20-30% av den total stråledosen. De fleste biologiske virkningsspektre er svært like. I beregningene i denne rapporten er det benyttet et idealisert virkningsspektrum som dekker de fleste biologiske effekter. Dette virkningsspekteret er CIE-spekteret (figur 28) og er anbefalt av Commission Internationale de l'Éclairage (McKinley og Diffey, 1987).

Det biologisk effektive solspekter som vist i figur 29 fremkommer ved produktet av solspekteret og virkningsspekteret. Som man ser av figur 29 er den biologiske effekten størst omkring 310 nm. Ved synkende sol vil maksimalpunktet forskyve seg mot lengre bølgelengder (Moan et al., 1989). Dessuten vil UV-B-komponenten minke raskere enn UV-A-komponenten. Dette betyr at UV-A-komponenten ved lav sol er større enn UV-B-komponenten.

Mens doseraten er den biologisk effektive UV-stråling ved et gitt tidspunkt er UV-dosen den samlede dosen over et bestemt tidsrom. Det er vanlig internasjonalt å bruke enheten W/m^2 for doserate og J/m^2 for UV-dose. Dette er imidlertid ikke helt korrekt, siden de forskjellige bølgelengdene er tillagt forskjellig vekt pga. virkningsspekteret. En har imidlertid valgt å benytte de samme enheter slik at de er sammenlignbare med verdier i annen litteratur.



Figur 28: Idealisert virkningsspektrum (CIE). Et virkningsspekter viser hvordan den biologiske effekten ville ha vært hvis solspekteret var spektralt flatt.



Figur 29: Biologisk effektivt solspekter. Her er det tatt hensyn til at den biologiske effekten er bølgelengdeavhengig. Det biologisk effektive solspekter er bestemt av produktet av det virkelige solspekter (som i figur 27) og virkningspekteret i figur 28.

Den UV-stråling som når bakken, består både av direkte stråling og diffus stråling (som skyldes spredning). I klarvær om sommeren er den diffuse strålingen omtrent like stor som den direkte. Ved skyet vær er all stråling diffus.

4.2. UV-stråling 1979-1992.

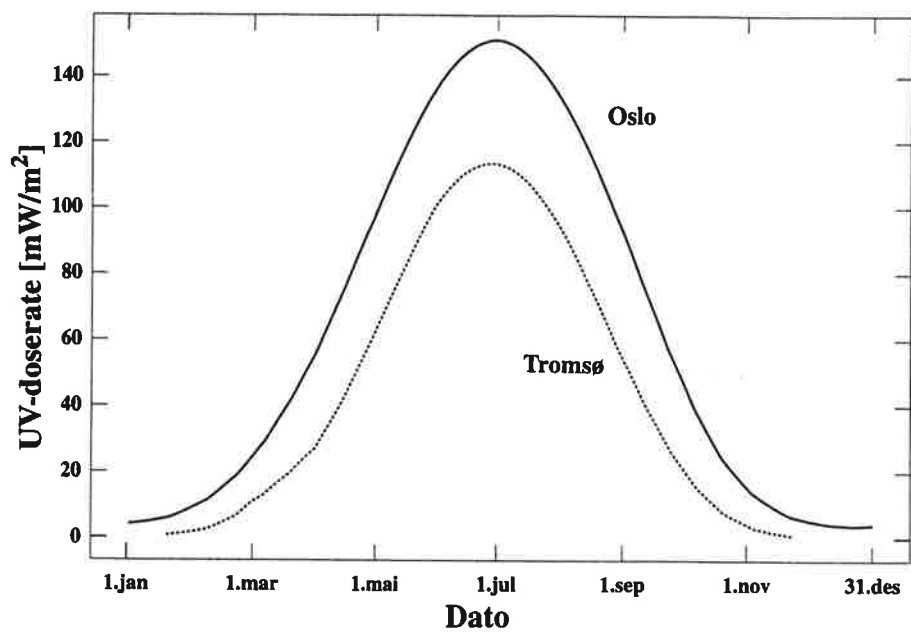
Siden det finnes svært få data for UV-stråling i Norge er det av interesse å benytte modellberegninger for å se hvordan strålingsnivået har variert over et lengre tidsrom. Beregningene som her er utført er basert på målte mengder av totalozon med TOMS-instrumentet i NIMBUS 7-satellitten. Bakkemålinger av totalozon er ikke benyttet fordi måleseriene i Tromsø og i Longyearbyen startet først i 1984, mens satellittmålingene startet høsten 1978. Det er videre antatt at det er klarvær og at det er bar mark. Beregningene inkluderer både den direkte og den diffuse strålingen.

I figur 30 vises hvordan UV-dosen midt på dagen (doseraten) varierer i løpet av et år i Tromsø og i Oslo. I beregningene er det benyttet normalverdien av ozon for hver dag gjennom året både for Oslo og Tromsø. UV-dosen er størst omkring sommerverv fordi solhøyden er maksimal på denne tiden av året. Forskjellen mellom Oslo og Tromsø skyldes vesentlig at solen står ca. 10° høyere på himmelen midt på dagen i Oslo enn i Tromsø.

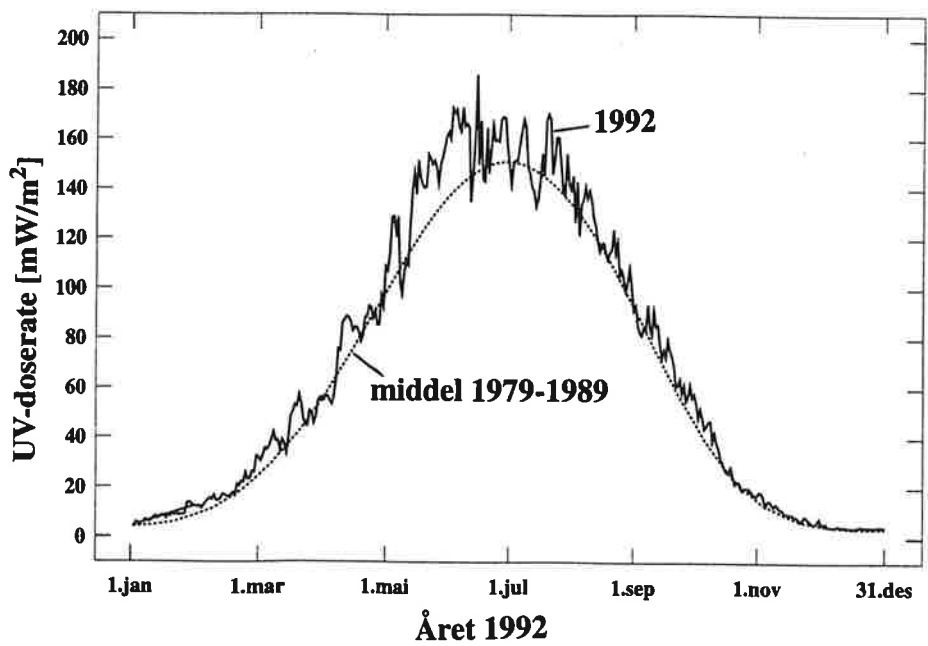
I figur 31 vises UV-strålingen i Oslo for 1992 sammenlignet med middelveien for 1979-1989. Selv om det ble registrert lite ozon spesielt i januar og februar, har dette liten betydning for den absolutte UV-dosen fordi solen på denne tiden av året står lavt på himmelen. Derimot vil lite ozon om sommeren (juni) ha mye større innvirkning på UV-dosen. I figur 32 vises tilsvarende for Tromsø.

Siden mange benytter påsken til intens soling, er det av interesse å studere hvordan UV-dosen har variert ved påsketider fra 1979 til 1992. Siden påsken ikke faller på samme tid hvert år, vil en sen påske (høy sol) gi en mye høyere UV-dose enn en tidlig påske (lav sol). Med en senest mulig påske vil UV-dosen være dobbelt så stor som ved en tidligst mulig påske hvis alle andre faktorer som ozonmengde, skydekke og bakkens refleksjonsevne holdes konstant. I figur 33 vises UV-dosen midt på dagen 1. påskedag i tidsrommet 1979-1992 for 60° bredde (heltrukket kurve). Det er brukt ozondata fra TOMS for de aktuelle tidspunktene. Den stiplede kurven viser hvordan UV-dosen ville være hvis ozonmengden var den samme (400 DU) hvert år. UV-dosen vil dempes i skyet vær, men hvor stor dempningen er avhenger av skytypen. Refleksjonen fra bakken bestemmer også UV-dosen. Med nysnø vil UV-dosen kunne være mer enn dobbelt så stor som for bar mark. I tillegg vil UV-stråledosen øke med høyden, dvs. UV-strålingen til fjells er høyere enn i lavlandet på samme breddegrad.

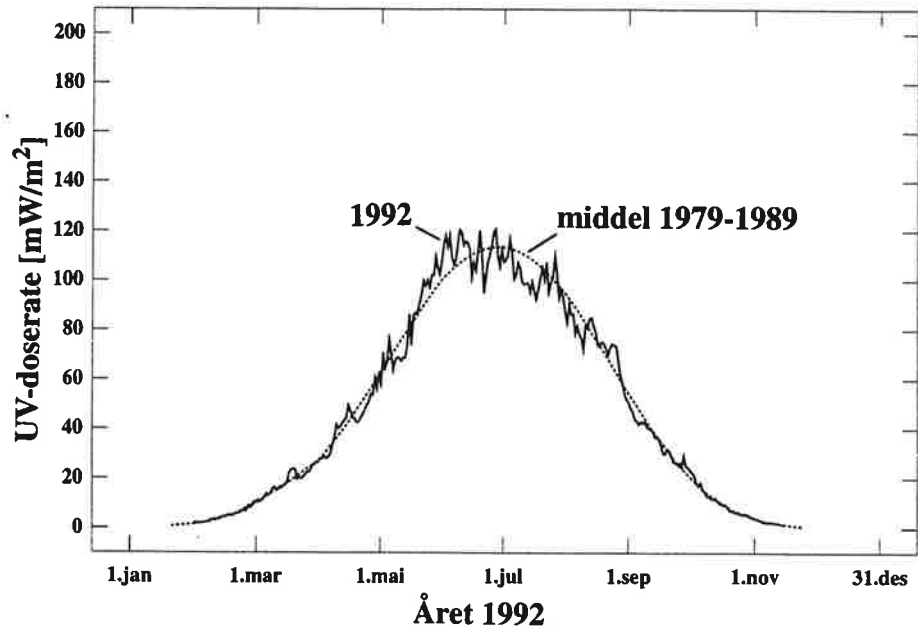
En måte å beskrive hvordan UV-dosen varierer fra år til år, er å angi årsdosen av UV-strålingen. I figur 34 vises beregnet årsdose for Oslo, Tromsø og Longyearbyen for 1979-1992. Av figuren går det tydelig frem at årsdosen avhenger av breddegraden. Siden UV-strålingen øker med solhøyden, vil UV-strålingen om sommeren bidra mest til årsdosen. Basert på disse beregningene er den gjennomsnittlige økning i årsdosen i perioden 1979 til 1992 0,5% pr. år for Oslo, 0,4% pr. år for Tromsø og 0,5% pr. år for Longyearbyen. Siden trenden i totalozon fra TOMS-målingene antakelig er noe for høy, er den beregnede trend i UV også noe for stor. Siden det ikke er tatt hensyn til varierende skydekke, vil den virkelige trenden kunne være annerledes.



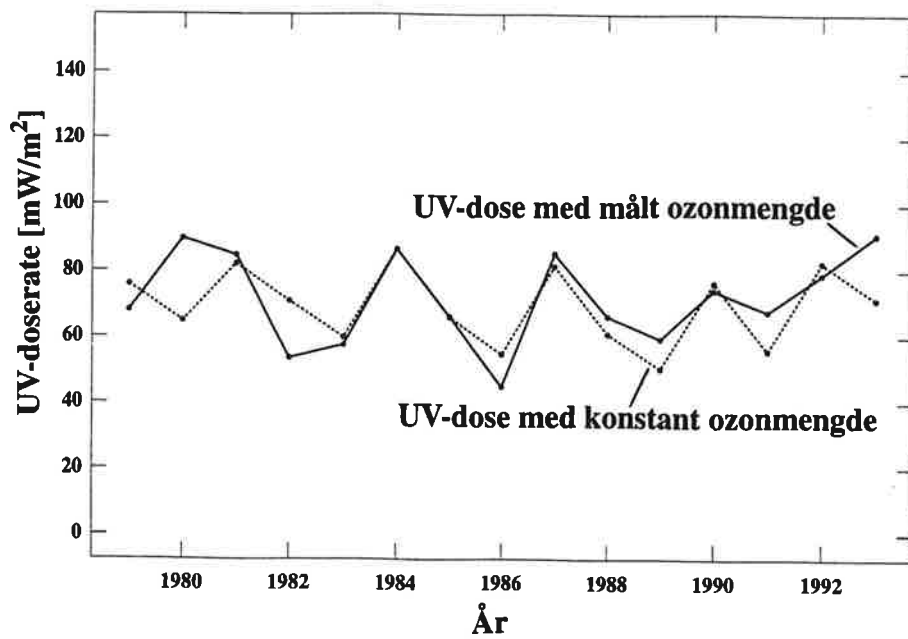
Figur 30: Normal UV-dose midt på dagen i et normalår for Oslo og Tromsø.



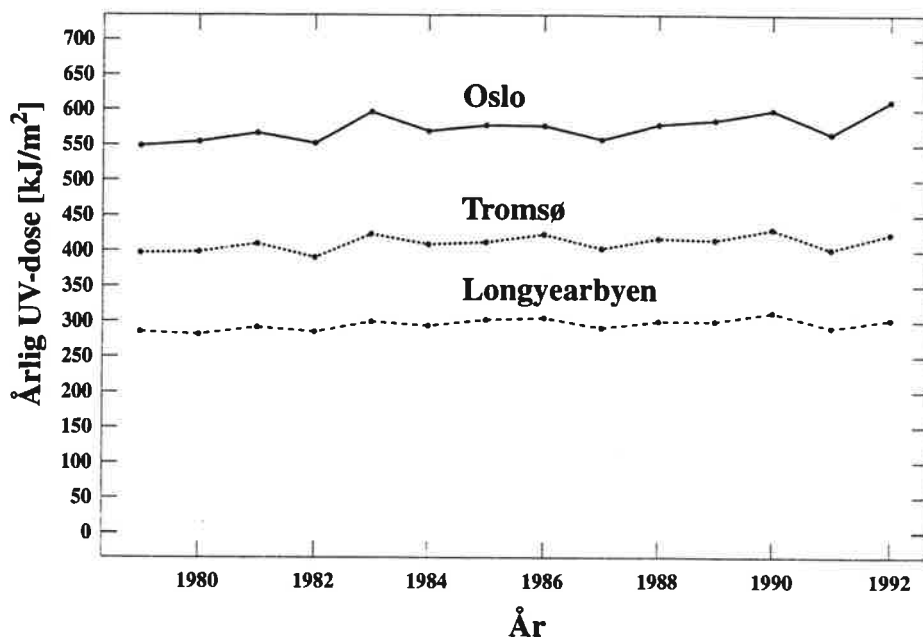
Figur 31: UV-dosen midt på dagen i 1992 for Oslo (heltrukket kurve), og middelverdien (stiplet kurve).



Figur 32: UV-dosen midt på dagen i 1992 for Tromsø (heltrukket kurve), og middelverdien (stiplet kurve).



Figur 33: UV-dosen midt på dagen 1. påskedag 1979-1992 (heltrukket kurve). Den stiplete kurven viser hvordan UV-dosen ville vært i det samme tidsrommet hvis ozonmengden hadde vært den samme hvert år.



Figur 34: Årsdosen av UV-stråling fra 1979-1992 for Oslo, Tromsø og Longyearbyen.

5. Drift av instrumenter

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

Ansvarlig for UV-målingene med Robertson-Berger-instrumentet ved Universitetet i Oslo er Bjørn Johnsen, Statens Strålevern.

6. Referanser

Brewer MKIV Spectrophotometer (1990) Operations Manual. OM-BA-CO1/B, May 1, 1990.

Dahlback, A., Rairoux, P., Stein, B., Del Guasta, M., Stefanutti, L., Larsen, N. and Braathen, G. (1993) Effects of stratospheric aerosols from the Mt. Pinatubo eruption on ozone measurements at Sodankylä, Finland in 1991/92. Sendt til *Geophys. Res. Lett.*

- Komhyr, W.D., (1990) Operations handbook - Ozone observations with a Dobson spectrophotometer. (WMO Global research and Monitoring Project, Report no. 6).
- McKinlay, A.F., Diffey, B.L. (1987) A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema on human skin. *CIE J.*, 6, 17-22.
- Kåstad, B.A., Braathen, G.O., Dahlback, A., Neuber, R., Larsen, N., Fabian, R., Larsen, S. (1993) Improved airmass factors as obtained from aerosol lidar measurements. Sendt til *Geophys. Res. Lett.*
- Moan, J., Dahlback, A., Larsen, S., Henriksen, T., Stamnes, K. (1989) Ozone depletion and its consequences for the fluence of carcinogenic sunlight. *Cancer. Res.*, 49, 4247-4250.
- Rabbe, Å., Larsen, S.H.H. (1993) On the low ozone values over Scandinavia during winter 1991-1992. Sendt til *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*.
- Stamnes, K., Slusser, J., and Bowen, M. (1991) Derivation of total ozone abundance and cloud effects from spectral irradiance measurements. *Appl. Optics*, 30, 4418-4426.



Norsk institutt for luftforskning (NILU)
Norwegian Institute for Air Research
Postboks 64, N-2001 Lillestrøm

RAPPORTTYPE OPPDRAKS RAPPORT	RAPPORT NR. OR 25/93	ISBN-82-425-0480-6	
DATO 30.6.1993	ANSV. SIGN. <i>Storland</i>	ANT. SIDER 36	PRIS NOK 60,-
TITTEL Overvåking av ozonlaget Årsrapport 1992		PROSJEKTLEDER Geir O. Braathen	
		NILU PROSJEKT NR. O-8985.PR	
FORFATTER(E) Arne Dahlback, Geir O. Braathen, Britt Ann Kåstad og Frode Stordal		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF.	
OPPDRAKSGIVER SFT Postboks 8100, Dep. 0032 OSLO			
STIKKORD Stratosfære-ozon	UV-stråling	Måledata	
REFERAT Rapporten presenterer måledata fra norske bakkestasjoner i 1992.			
TITLE Monitoring of the Ozonelayer. Annual Report 1992.			
ABSTRACT Data for 1992 from the Norwegian Ozone Monitoring Programme are presented.			

* Kategorier: A Åpen - kan bestilles fra NILU
B Begrenset distribusjon
C Kan ikke utleveres