



Statlig program for forurensningsovervåking

Rapport nr.: 741/98

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn
Deltakende institusjon: NILU

Overvåking av ozonlaget

Årsrapport 1997



TA-1580/1998



Norsk institutt for luftforskning



Statlig program for forurensningsovervåking

Det statlige programmet omfatter overvåking av forurensningsforholdene i

- luft og nedbør
- grunnvann
- vassdrag og fjorder
- havområder
- skog

Overvåkingen består i langsiktige undersøkelser av de fysiske, kjemiske og biologiske forhold.

Hovedmålsettingen med overvåkingsprogrammet er å dekke myndighetenes behov for informasjon om forurensningsforholdene med sikte på best mulig forvaltning av naturressursene.

Hovedmålet spenner over en rekke delmål der overvåkingen bl.a.. skal:

- gi informasjon om tilstand og utvikling av forurensningssituasjonen på kort og lang sikt.
- registrere virkningen av iverksatte tiltak og danne grunnlag for vurdering av nye forurensningsbegrensende tiltak.
- påvise eventuell uheldig utvikling i resipienten på et tidlig tidspunkt.
- over tid gi bedre kunnskaper om de enkelte vannforekomsters naturlige forhold.

Sammen med overvåkingen vil det føres kontroll med forurensende utslipp og andre aktiviteter.

Overvåkingsprogrammet finansieres i hovedsak over statsbudsjettet. Statens forurensningstilsyn er ansvarlig for gjennomføring av programmet.

Resultater fra de enkelte overvåkingsprosjekter publiseres i årlige rapporter.

Henvendelser vedrørende programmet kan i tillegg til de aktuelle institutter rettes til Statens forurensningstilsyn, Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo, tlf. 22 57 34 00.

NILU: OR 56/98
RERERANSE: O-8985
DATO: Oktober 1998
ISBN: 82-425-1012-1

Overvåking av ozonlaget

Årsrapport 1997

Geir O. Braathen, Arne Dahlback*, Trond Svenøe og Georg H. Hansen

**Utført etter oppdrag fra
Statens forurensningstilsyn**

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo
Postboks 1048, Blindern
0316 Oslo



Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100
2007 Kjeller

Innhold

	Side
Sammendrag	5
KAPITTEL 1: Ozonmålinger 1997	7
1.1 Dobson- og Brewer-instrumentene	7
1.2 SAOZ-instrumentet	9
1.3 Ozonsonder	9
1.4 Ozon-lidar	11
KAPITTEL 2: Ozonmålinger 1979-1997	12
KAPITTEL 3: Ozonmålinger med Dobson, Brewer, SAOZ, GUV-511, Ozon-lidar og TOMS	13
3.1 Målemetoder	13
3.2 Sammenligninger	15
KAPITTEL 4: UV-målinger	16
4.1 Måleresultater 1997	16
4.2 Årsdoser	19
4.3 Målemetoder	19
4.4 Kalibrering og drift av UV-instrumentene	20
Referanser	21

Sammendrag

De tre norske stasjoner som måler totalozon (ozonlagets tykkelse), Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund på Svalbard, viser gjennomgående lave månedsmidler for 1997 sammenlignet med langtids-månedsmidler. I Oslo lå månedsmidlene for januar til april 3-13% under månedsmiddelverdiene for 1979 til 1989. Målingene i Tromsø viste at månedsmidlene for februar til april lå 10-24% under månedsmidlene for perioden 1984 til 1991. De største negative avvik hadde februar og mars i Ny-Ålesund med henholdsvis 33% og 29% under månedsmidlene for februar og mars i perioden 1984 til 1991. Månedsmidlene for sommeren 1997 lå noe under, men nær langtids månedsmidlene for alle tre stasjoner. Utover sensommeren og høsten ligger månedsmidlene stort sett litt under langtidsmidlet, men i Tromsø var det 9% mer ozon enn vanlig i oktober. Det må også nevnes at desember i Oslo hadde 19% lavere verdier enn langtidsmidlet. Analyser basert på modellberegninger og målinger både i Norge og andre steder viser at de lave ozonverdiene på vårparten for en stor del er et resultat av kjemisk nedbrytning av ozon. Spesielt for 1997 var det at polarhvirvelen var mer langlivet enn normalt. Dette førte til at transport av ozon fra ekvator til polene, som normalt er sterkest i vårmånedene, ble hindret. Samtidig blir ozon brutt ned gjennom naturlige prosesser der NO_x er involvert siden man på vårparten har rikelig med sollys til å drive de kjemiske reaksjonene. Dette kan delvis forklare at aprilmiddelet i Tromsø lå 24% under normalen. I juni var tilstanden normalisert med et månedsmiddel 1% over langtidsmiddelet. Det samme gjelder de meget lave verdiene i Ny-Ålesund i mars og april. De ekstremt lave verdiene i Tromsø og Ny-Ålesund i mars og april skyldes altså en kombinasjon av kjemisk nedbrytning forårsaket av klorfluorkarboner og haloner og den spesielle dynamiske (meteorologiske) situasjonen.

Basert på bakkemålinger i Oslo er det utført en trendanalyse for perioden 1979-1997. Analysen gir en gjennomsnittlig nedgang på 0.61% pr. år om vinteren, 0.82% pr. år om våren, 0.31% pr. år om sommeren og 0.28% pr. år om høsten. På årsbasis er nedgangen 0.49% pr. år. Den nedadgående trenden har ikke vært jevn i perioden 1979-1997. For Tromsø har vi en sammenhengende måleserie fra 1935 til

1972 og fra 1984 til 1997, og for Svalbard fra 1950 til 1969 og fra 1984 til 1997. De eldste måledataene må re-evalueres før en faglig forsvarlig trendanalyse kan foretas. Tromsø-dataene bearbeides nå av NILUs Tromsø-avdeling som en del av et doktorgradsarbeid.

I Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund måles den ultrafiolette strålingen fra sola kontinuerlig med GUV-instrumenter. 1997 er det andre året med en komplett måleserie for alle tre stasjoner. UV-nivået angis med en UV-doserate eller UV-indeks som beskriver den biologiske effekten av UV-A og UV-B. Målingene bekrefter at de viktigste faktorene som påvirker UV-nivået er solhøyden, skymengden, ozonlagets tykkelse og refleksjonsegenskapene ved jordens overflate. UV-nivået kan variere svært mye fra dag til dag. Dette skyldes hovedsakelig varierende skydekke. Om sommeren ved klarvær er UV-nivået midt på dagen mer enn dobbelt så høyt i Oslo sammenlignet med Ny-Ålesund. Dette skyldes at solhøyden i Ny-Ålesund er lavere enn i Oslo. UV-nivået er ca. 50% høyere i Tromsø enn i Ny-Ålesund. Siden dagens lengde øker med breddegraden vil forskjellen i månedlig innstrålt UV-dose mellom de tre stasjonene være mindre enn for UV-dosen midt på dagen. Den høyeste månedsdosen i 1997 for de tre stasjonene ble registrert i Oslo i juli måned. Et noe overraskende resultat er at for mai hadde Ny-Ålesund en høyere månedsdose enn Tromsø. Dette skyldes hovedsakelig at Ny-Ålesund hadde høyere bakkerefleksjon pga. av snø i mai måned.

De tre GUV-instrumentene ble kalibrert i juni 1996 etter ett års drift. Deretter ble de igjen kalibrert i juni 1997. Fra 1995 til 1996 var det en drift på opptil 5-6% for enkelte kanaler. Fra 1996 til 1997 har dette rettet seg noe opp, slik at driften fra 1995 til 1997 er mindre enn fra 1995 til 1996. Måledataene presentert i denne rapporten er korrigert for dette.

Både ved Universitetet i Oslo og Universitetet i Tromsø benyttes det to instrumenter for ozonlagsmåling, et Dobson-instrument og et Brewer-instrument. Brewer-instrumentet er delvis automatisk og muliggjør hyppigere målinger enn det som er praktisk mulig med Dobson-instrumentet. Dobson-instrumentet gir foreløpig sikrere målinger i skyet vær og ved lav sol. Når måleforholdene er gode er det

meget god overensstemmelse mellom Brewer og Dobson både i Tromsø og i Oslo. Stabiliteten til Brewer- og Dobson-instrumentene blir regelmessig sjekket. Begge Brewer-instrumentene har i 1997 blitt kalibrert mot et internasjonalt referanse-instrument. Stabiliteten til instrumentene har vært 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 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. Målinger med ozonsonder i Antarktis har vist at nedbrytning av ozon i perioden september-november hvert år skjer i høydeområdet 14-24 km, hvor mesteparten av ozonet befinner seg. Våre sonderinger har imidlertid ikke vist slike dramatiske endringer i høydefordelingen av ozon hos oss, men det er foretatt observasjoner som viser at det også i Arktis finner sted omfattende nedbrytning av ozon.

SAOZ-instrumentet (System for Analysis of Observations at Zenith) i Ny-Ålesund har vært i drift siden 1990. Dette instrumentet er bygget bl.a for å måle ved lav sol. Instrumentet viser relativt god overensstemmelse med andre tradisjonelle instrumenter. SAOZ-instrumentet er et godt supplement til Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund siden det øker målesesongen med ca. 3 måneder. Marsmiddelet for

1997, som er basert på målinger med SAOZ, lå 33% under marsmiddelet for 1984-1991.

Ozon-lidaren på ALOMAR-observatoriet på Andøya benyttes til å måle raske variasjoner i den vertikale fordeling av ozon-konsentrasjonen. Målingene er viktige for studium av de prosessene som påvirker endringene i ozonlaget.

Ozonsonde-programmet har i 1997, i tillegg til støtte fra SFT, også fått støtte fra Norges Forskningsråd og EU-kommisjonen. GUV-instrumentene i Tromsø og Ny-Ålesund samt Brewer-instrumentene i Oslo og i Tromsø er finansiert av SFT. Måleprogrammet og rapportering er gjort mulig gjennom det statlige prosjekt for ozonlagsovervåkning.

Ansvarlig for ozonmålinger ved Universitetet i Oslo og i Ny-Ålesund er Finn Tønnessen (Tønnessen, 1997). Målinger med Dobson-instrumentet i Oslo 1979-1993 er utført av Søren H. H. Larsen (Larsen, 1993). Ansvarlig for ozonmålinger i Tromsø i 1997 har vært Trond Svenøe (Svenøe, 1997). NILU er ansvarlig for ozonsonder fra Bjørnøya og Gardermoen, SAOZ-instrumentet på Ny-Ålesund og GUV-instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund.

Lidar-målingene ved ALOMAR utføres som et samarbeid mellom Norsk Romsenter, NILU og Forsvarets forskningsinstitutt (FFI).

Overvåking av ozonlaget

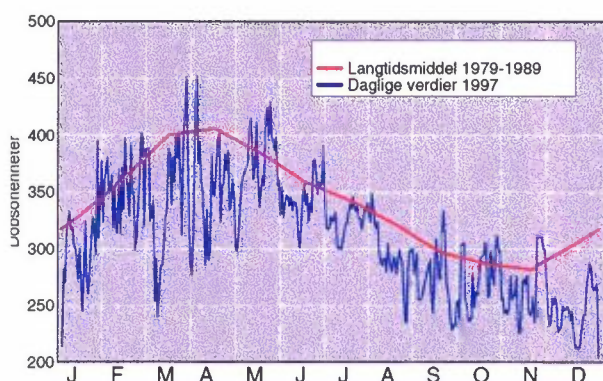
Årsrapport 1997

1. Ozonmålinger 1997

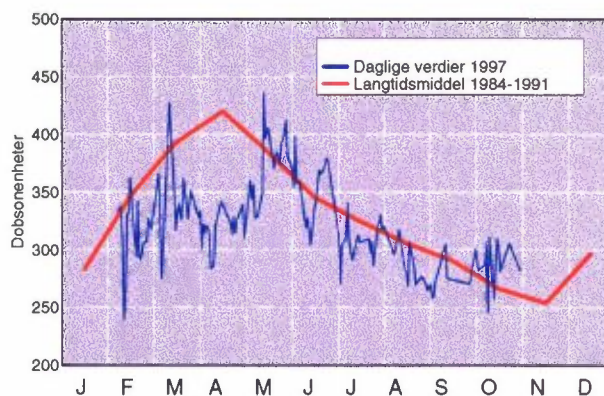
1.1 Dobson- og Brewer-instrumentene

Totalozon (mengden av ozon i en kolonne fra jordoverflaten til toppen av atmosfæren) måles daglig i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund når observasjonsforholdene gjør dette mulig. Ved alle tre stasjoner benyttes Dobson-instrumenter. I Oslo og i Tromsø benyttes også det mer moderne Brewer-instrumentet. Alle tre stasjoner viser gjennomgående lave verdier sammenlignet med langtidsmidler, bortsett fra sommermånedene. Store dag til dag-variasjoner spesielt om vinteren og våren, ble også registrert i 1997. Dette er typisk på våre breddegrader og skyldes meteorologiske variasjoner.

Figur 1 (Tønnessen, 1997) viser målingene i Oslo i 1997. De daglige verdiene er basert på målinger med Brewer- og Dobson-instrumentet. Her er brukt Dobson direkte sol, Dobson senitmålinger og Brewer irradiansforhold. Brewer irradiansforhold (317nm/313nm) fungerer svært bra i overskyet vær og for $SZA < ca. 85^\circ$. (Dahlback, 1998). Dette har ført til at det for 1997 er svært få dager uten ozonmålinger. Det er bare i ekstreme tilfeller (sky dekke med svært stor optisk dybde) at man ikke får pålittelige målinger. Slike dager er ikke med i datasettet. Den heltrukne kurven viser de daglige verdiene, mens den røde kurven er månedsmiddelverdiene for årene 1979-1989. Perioden fra 1979 til 1989 er valgt for beregning av langtidsmiddelet, siden det er en mulig sammenheng mellom solflekkaktivitet og totalozon, og denne perioden dekker en solflekk-syklus. Det viser seg imidlertid at dette valget ikke er avgjørende. Det beregnede langtidsmiddel endrer seg svært lite hvis perioden økes til f.eks. 1979-1991



Figur 1. Daglige ozonverdier målt med Dobson- og Brewer-instrumentene ved Universitetet i Oslo i 1997. Den røde kurven er månedsmidler fra 1979 til 1989.

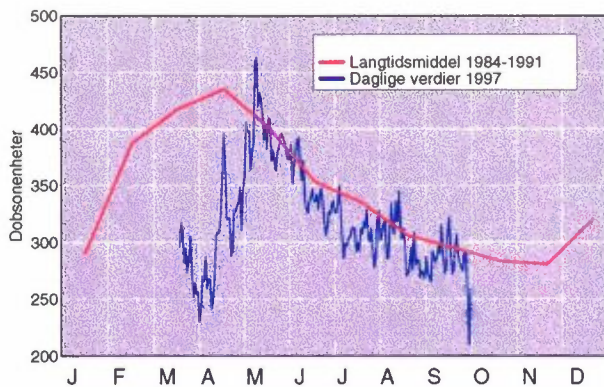


Figur 2. Daglige ozonverdier målt med Dobson-instrumentet ved Universitetet i Tromsø i 1997. Den røde kurven er månedsmidlene fra 1984 til 1991.

(månedsmiddelverdiene vil endre seg med mindre enn 4 DU).

Årets høyeste verdi i Oslo, 437 DU, ble målt 4. april. De høyeste verdiene måles normalt nettopp om våren. Dette har sammenheng med at transporten av ozonrik luft i stratosfæren fra ekvatorområdene mot høyere breddegrader er sterkest om våren. Om høsten er denne transporten svakere og de laveste verdiene måles derfor normalt på denne årstiden. Den laveste registrerte verdi, 204 DU, ble målt 31. desember. Alle månedsmidler lå under månedsmiddelverdiene for 1979-1989. Størst avvik hadde desember med 19% under månedsmidlene for 1979-1989. Mars og april lå begge 13% under langtidsmiddelet. Dette er noe mindre enn avviket i 1996 som var 16% for disse to månedene.

Målingene i Tromsø (Svenøe, 1997) er vist i figur 2. Langtidsmiddelet er basert på målinger i perioden 1984-1991. Fra begynnelsen av november til midten av februar måles ikke totalozon fordi solen står for lavt eller er under horisonten. Totalozon kan imidlertid måles i polarmatten hvis direkte månelys er tilgjengelig. Når målinger på direkte sollys ikke er mulig benyttes ozonverdier basert på senitlysmålinger med Dobson-instrumentet. Kvaliteten på ozonverdier basert på senitlysmålinger med Brewer-instrumentet er foreløpig ikke god nok. Tromsø viser også gjennomgående lave ozonverdier i 1997. Størst negativt avvik hadde april med 24% under middelet for 1984-1991. Årets høyest målte verdi, 437 DU, ble registrert 13. mai, og den laveste, 240 DU, den 10. februar. Normalt måles de laveste verdiene på høsten.

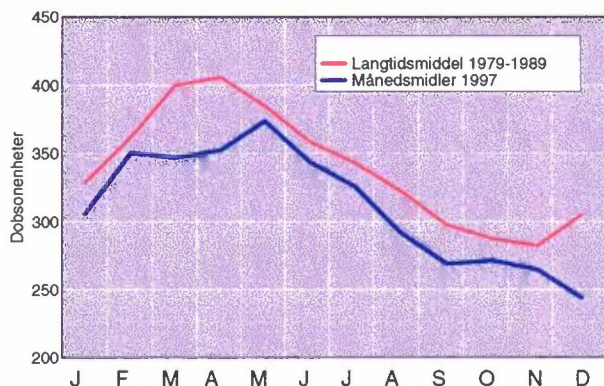


Figur 3. Daglige ozonverdier målt med Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund 1997. Den røde kurven er månedsmidler fra 1984 til 1991.

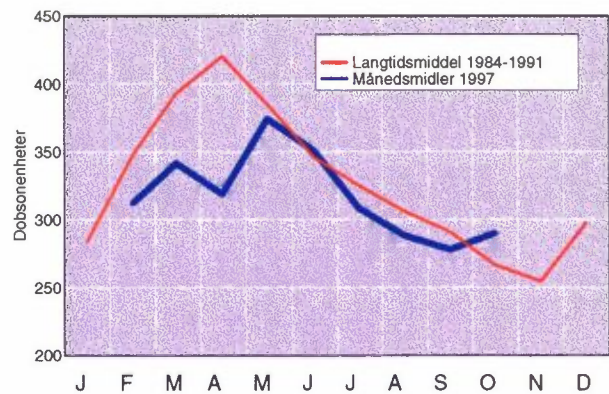
Dobson-instrumentet på Svalbard er plassert i Ny-Ålesund, og målingene utføres av personale fra Norsk Polarinstitutt. Analysen av rådataene foretas av Universitetet i Oslo (Tønnessen, 1997). Dette instrumentet var plassert i Longyearbyen i perioden fra 1984 til 1994. Fra begynnelsen av oktober til slutten av mars måles ikke totalozon med Dobson-instrumentet fordi solen står for lavt eller er under horisonten.

De daglige ozonverdier for 1997 basert på målinger med Dobson-instrumentet, er vist i figur 3. Bare målinger foretatt på direkte sollys er tatt med. Tilfredsstillende kvalitet på ozonverdier basert på senitlysmålinger kan først bestemmes når et stort datamateriale over flere år er samlet inn.

Figurene 4,5 og 6 viser månedsmiddelverdiene for 1997 for henholdsvis Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. Her går det tydelig frem at ozonverdiene for de tre stasjonene var gjennomgående lave i 1997. For Oslo er avviket størst i mars, april og desember med verdier på henholdsvis 13, 13 og 19% under langtidsmiddelet for 1979-1989. Mai - juli viste små negative avvik, 0-4%. For Tromsø viste april størst negativt avvik med 24% under månedsmidlene for 1984-1991. Mai - august viste små negative avvik,



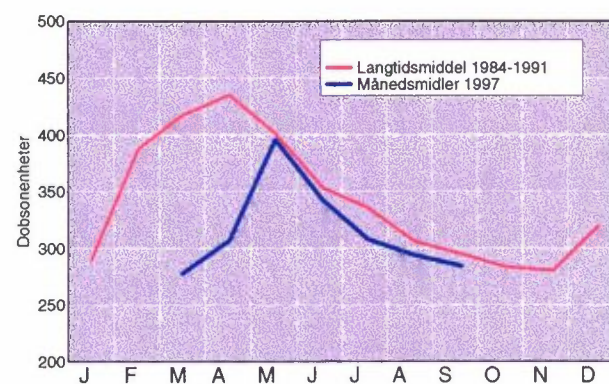
Figur 4. Månedsmiddelverdiene for 1997 og månedsmiddelverdiene for 1979 til 1989 for Oslo.



Figur 5. Månedsmiddelverdiene for 1997 og månedsmiddelverdiene for 1984 til 1991 for Tromsø.

3-6%. For Ny-Ålesund er datamaterialet fra Dobson-instrumentet for lite til å beregne månedsmiddelverdier. Ny-Ålesund er også utstyrt med en GUV-541 og et SAOZ-instrument. Disse er i god overensstemmelse med Dobson-instrumentet, se Dahlback et al. (1995) og avsnitt 3.2. Ved å benytte måledata fra disse tre instrumenter er månedsmiddelverdier for perioden mars-september beregnet (figur 6). I 1997 var det beregnete middelet for mars og april henholdsvis 33 og 29% under middelet for 1984 til 1991. Sommermånedene viser mindre negative avvik.

Brewer-instrumentene i Oslo og Tromsø ble kalibrert i juli 1997 av en ingeniør fra International Ozone Services, Canada. Brewer- og Dobson-instrumentenes stabilitet blir også sjekket månedlig med kalibreringslamper for å kunne kompensere for drift i instrumentene.



Figur 6. Månedsmiddelverdiene for 1997 og månedsmiddelverdiene for 1984 til 1991 for Ny-Ålesund.

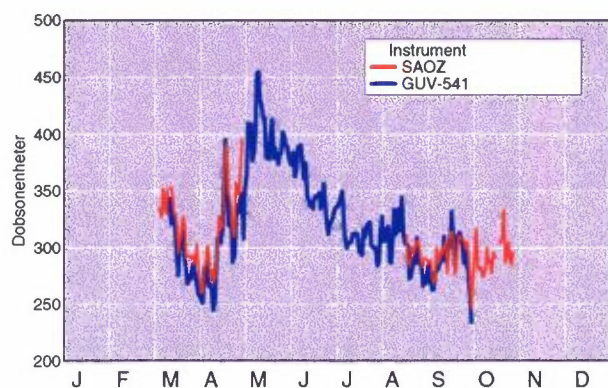
Tabell 1. Prosentvis avvik i månedsmiddelverdiene for 1997 fra langtidsmiddelet for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. Verdiene for februar og mars fra Ny-Ålesund er basert på målinger med SAOZ-instrumentet.

Måned	Oslo	Tromsø	Ny-Ålesund
Januar	-7		
Februar	-3	-10	
Mars	-13	-13	-33
April	-13	-24	-29
Mai	-3	-3	-1
Juni	-4	1	-3
Juli	-5	-5	-8
August	-9	-6	-4
September	-9	-4	-4
Oktober	-6	9	
November	-6		
Desember	-19		

1.2 SAOZ-instrumentet

SAOZ (System for Analysis of Observations from Zenith) har vært plassert på Ny-Ålesund, Svalbard, siden september 1990. Instrumentet er konstruert for å kunne måle totalolonner av ozon og NO₂ når solen står nær horisonten. SAOZ-instrumentet kan med nåværende analysemetode bare benyttes når senitvinkelen er mellom 86° og 91°. Dobson- og GUV-instrumentene gir gode ozonverdier for senitvinkler mindre enn 75°-80°. SAOZ-instrumentet er derfor et godt supplement til Dobson-instrumentet slik at målesesongen på Ny-Ålesund øker med ca. tre måneder.

Den totale målesesongen blir derfor ca. 15. februar til 1. november. Figur 7 viser daglige ozonverdier i Ny-Ålesund basert på målinger med SAOZ og



Figur 7. Daglige ozonverdier målt med GUV- og SAOZ-instrumentene i Ny-Ålesund i 1997.

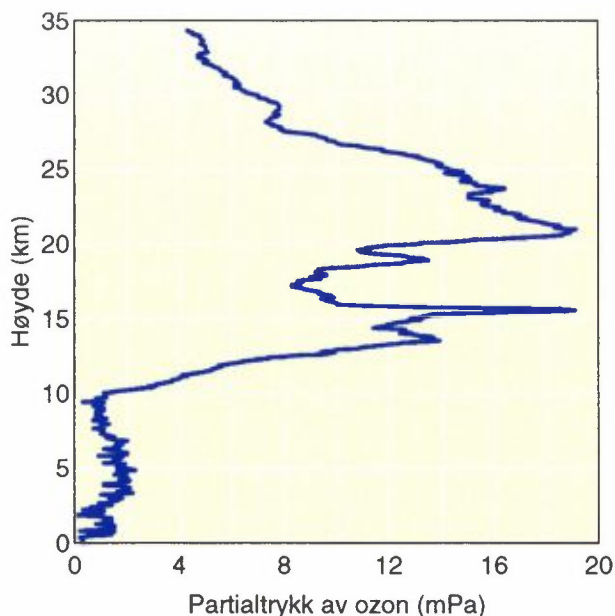
GUV-541. De lave ozonverdiene registrert i mars (33% under månedsmidlene for 1984-1991) ville ikke kunne blitt registrert uten målinger med SAOZ-instrumentet.

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. Blandings-forholdet mellom luft og ozon er tilnærmet konstant over ca. 25 km. Hvis sprekk-høyden for ballongen overstiger 25 km kan dermed den totale ozonmengde anslås siden det er kjent hvordan lufttrykket varierer med høyden.

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 14-24 km, hvor mesteparten av ozonet befinner seg. Ozonsonderinger i Arktis, derimot, har ikke vist slike dramatiske endringer i høydefordelingen 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 har det blitt sendt opp ozonsonder siden 1988, vanligvis en gang pr. uke. Under de europeiske ozonkampanjene EASOE (1991-1992) og SESAME (1993-1994) og likeledes i 1989 i forbindelse med den amerikanske ozonkampanjen AASE, ble det sendt opp sonder enda hyppigere om vinteren. I forbindelse med EASOE har det blitt sluppet sonder fra værskipet Polarfront i Norskehavet og i forbindelse med SESAME fra Ørland. Fra Gardermoen Radiosonde-stasjon har det blitt sluppet ozonsonder siden desember 1990. I 1996 og 1997 er det sluppet sonder fra Bjørnøya, Gardermoen og Ørland i forbindelse med EU-prosjektet OSDOC som koordineres av NILU.

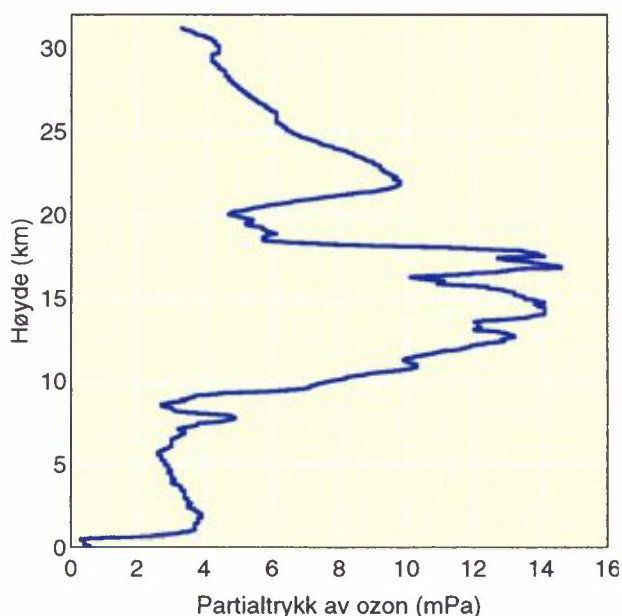
Figur 8 viser en typisk ozonprofil fra Gardermoen (2. februar 1997). I den nederste delen av atmosfæren (troposfæren) er ozonkonsentrasjonen lav. Fra ca. 10 km (stratosfæren) øker konsentrasjonen med høyden og når et maksimum i dette eksemplet ved ca. 20 km høyde. Den relativt lave ozonmengden i høydeintervallet 15-20 km skyldes intrusjon av ozonfattig luft fra midlere breddegrader. Ozonmangel i et høydeintervall (som f.eks. i Figur 8) kan både skyldes intrusjon av ozonfattig luft, hvilket er et dynamisk fenomen, eller det kan skyldes kjemisk nedbrytning av ozon. For å kunne si med sikkerhet om et ozonfattig intervall i en ozonprofil skyldes den ene eller andre av disse effektene må man bruke



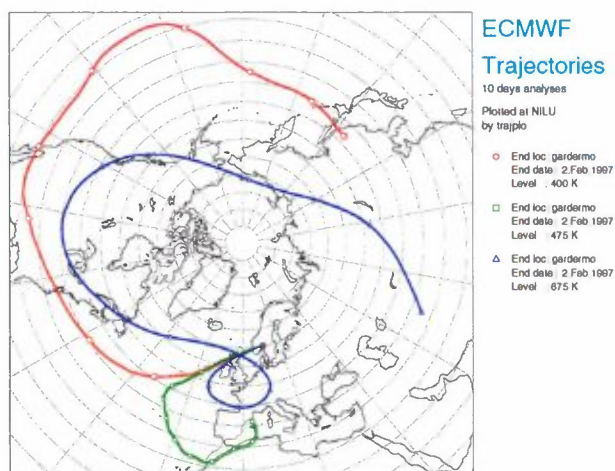
Figur 8. Høydefordelingen av ozon over Gardermoen 2. februar 1997 målt med ozonsonde sendt opp med ballong.

meteorologiske data for å tolke observasjonene (se nedenfor).

Høyden for maksimal ozonkonsentrasjon varierer fra dag til dag men ligger i middel mellom 20-22 km. Over denne høyden avtar konsentrasjonen med høyden. Overgangen mellom troposfæren og stratosfæren kalles tropopausen. Tropopausehøyden vil variere med de meteorologiske forhold. En av årsakene til variasjon i den totale ozonmengde skyldes varierende tropopausehøyde. Høy tropopause vil gi lav totalozon, mens lav tropopause vil gi høy totalozon.



Figur 9. Høydefordeling av ozon målt over Bjørnøya 5. april 1997 målt med ozonsonde sendt opp med ballong.

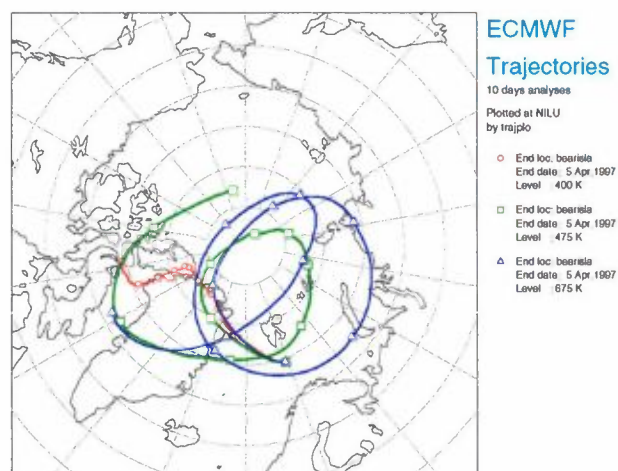


Figur 10. Trajektorier som viser opphavet til de luftmasser som passerte Gardermoen i 3 forskjellige nivåer i stratosfæren den 2. februar 1997

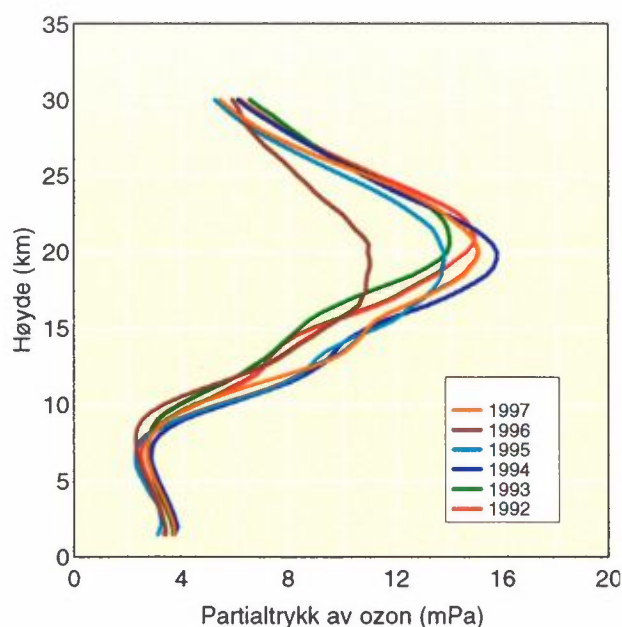
Figur 9 viser en ozonprofil målt over Bjørnøya 5. april 1997. Maksimal ozonkonsentrasjon inntrer her ved 17 km høyde, men bildet blir noe forstyrret av den kraftige ozonmangelen i 18-21 km høyde.

Mens ozonmangelen i profilen fra Gardermoen (figur 8) skyldes intrusjon av ozonfattig luft fra lenger sør, er ozonmangelen i profilen fra Bjørnøya forårsaket av kjemisk nedbrytning av ozon. For å skjelne mellom disse to årsakene til lave ozonverdier kan man studere hvor luftmassene kommer fra. Dette gjøres vha. såkalte trajektorier der man bruker vinddata til å beregne hvordan luftpakker beveger seg over flere dager. I figur 10 og 11 er det vist trajektorier for disse to situasjonene.

Man ser tydelig at luftmassene som passerte Gardermoen hadde sitt opphav lenger sør, og at de forskjellige høydene fikk luft fra svært forskjellige steder. Luftmassene som passerte over Bjørnøya derimot har sitt opphav i Arktis der de har vært iso-



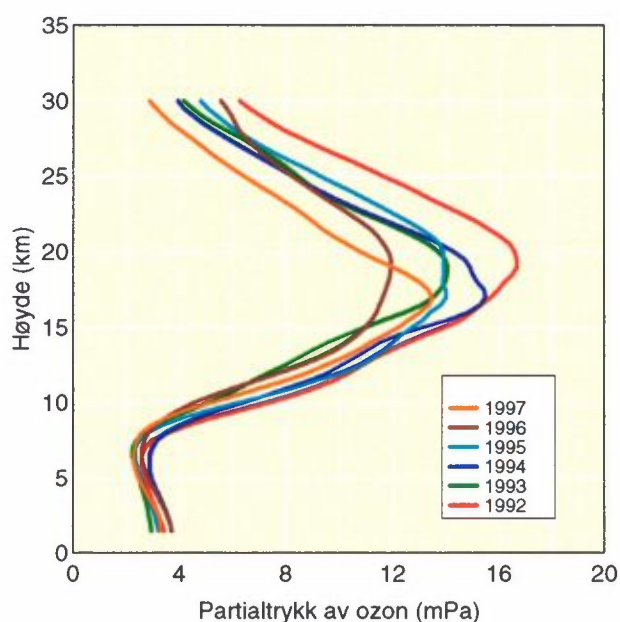
Figur 11. Trajektorier som viser opphavet til de luftmasser som passerte Bjørnøya i 3 forskjellige nivåer i stratosfæren den 5. april 1997



Figur 12. Midlere høydefordeling av ozon for januar-april for årene 1992 til 1997 over Gardermoen.

lert fra omgivelsene og dermed vært gjenstand for kjemisk nedbrytning.

Figurene 12 og 13 viser midlere vertikal fordeling av ozon i perioden januar til april for henholdsvis Gardermoen og Bjørnøya for hvert av årene 1992 til 1997. For både Gardermoen og Bjørnøya er variasjonene i ozonkonsentrasjonen størst i den lavere stratosfære mellom 10 og 20 km høyde. De lave ozonverdiene i området 16-20 km på Bjørnøya i 1993, 1995, 1996 og 1997 har sammenheng med at det disse vintrene fant sted betydelig grad av kjemisk nedbrytning av ozon (Braathen et al., 1997, Hansen et al., 1997).

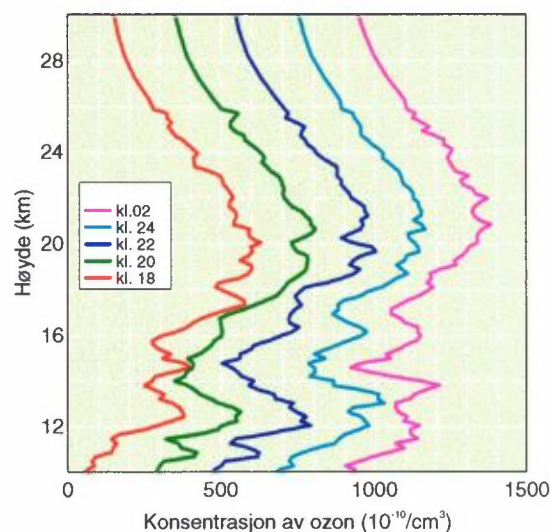


Figur 13. Midlere høydefordeling av ozon for januar-april for årene 1992 til 1997 over Bjørnøya.

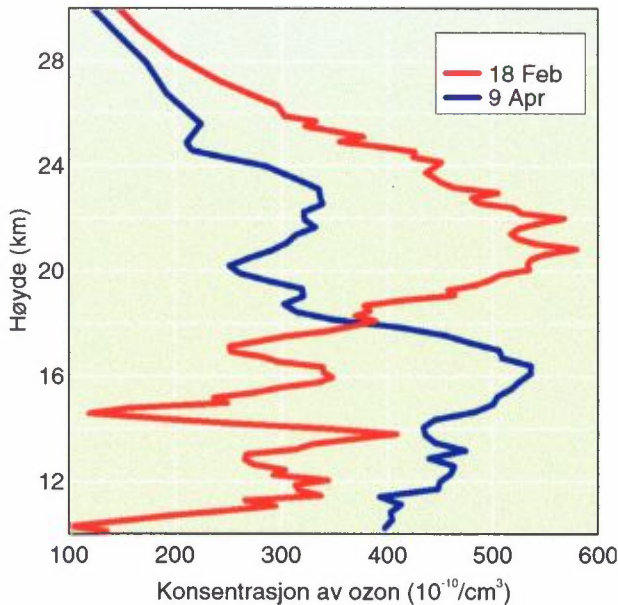
1.4 Ozon-lidar

I desember 1994 ble en ozonlidar installert ved ALOMAR (Arctic Lidar Observatory for Middle Atmosphere Research) på Andøya. Systemet ble levert av det kanadiske firmaet Optech. Instrumentet ble fremstilt med støtte fra Andøya Rakettskytefelt, Norsk Romsenter, Landsdelsutvalget for Nord-Norge, Forsvardepartementet og Forsvarets forskningsinstitutt. Driften av instrumentet deles mellom NILU's avdeling i Tromsø, Norsk Romsenter og Forsvarets forskningsinstitutt.

Ozon-lidaren målte i løpet av vinteren 1996-97 ozon-profiler over Andøya ved en rekke anledninger. Lidaren blir bla. benyttet til å studere raske variasjoner i ozonets vertikale fordeling. Figur 14 viser profiler som ble målt natten mellom den 17. og 18. februar 1997. Man kan her se hvordan profilen endrer seg fra time til time. Særlig i området rundt 14,5 km og 17 km skjer det store endringer. Dette skyldes at polare luftmasser over Andøya blir erstattet av luftmasser fra lengre syd der ozonkonsentrasjonen er lavere. Dette eksemplet viser at lidar-instrumentet er meget velegnet for å observere raske endringer i ozonlaget som skyldes variasjoner i den meteorologiske situasjonen. Slike observasjoner er viktige for å kunne forstå de prosessene som ligger bak utveksling av luft mellom polare og midlere bredder, noe som igjen har betydning for å forstå den ozonnedbrytningen som finner sted ved midlere breddegrader.



Figur 14. Målinger av den vertikale fordelingen av ozon over Andøya med ozonlidar. Profiler er registrert med to timers mellomrom fra kl. 18 den 17.2.97 til kl. 02 den 18.2.97. Hver profil fra kl. 20 og utover er forskjøvet horisontalt med 200 enheter i forhold til forrige profil for å bedre oversikten. Dette betyr at den grønne kurven viser 200 enheter for mye, den mørkeblå kurven 400 enheter for mye osv.



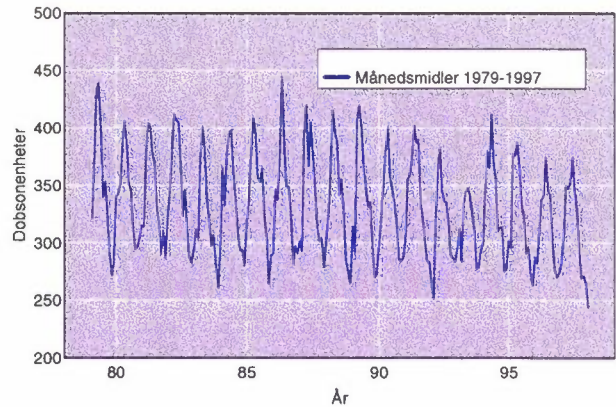
Figur 15. Den vertikale fordelingen av ozon over Andøya den 18.2.97 (rød kurve) og den 9.4.97 (blå kurve). Den store forskjellen i ozonkonsentrasjon fra 18-22 km skyldes for en stor del kjemisk nedbryting av ozon inne i polarhvirvelen.

Vinteren 1996-97 var preget av stor grad av ozontap og av en langlivet polarhvirvel. Så sent som i april var Nord-Norge berørt av uvanlig lave ozonverdier. Dette skyldes for en god del kjemisk nedbrytning av ozon. Figur 15 viser vertikalfordelingen av ozon den 9. april, en dag da Andøya lå godt inne i polarhvirvelen. For sammenligning er vist en profil for et tidspunkt der Andøya lå utenfor polarhvirvelen, den 18. februar. Forskjellen i ozon i området rundt 20 km for de to profilene viser hvor mye ozon som er blitt brutt ned i løpet av vinteren i dette høydeintervallet.

2. Ozonmålinger 1979-1997

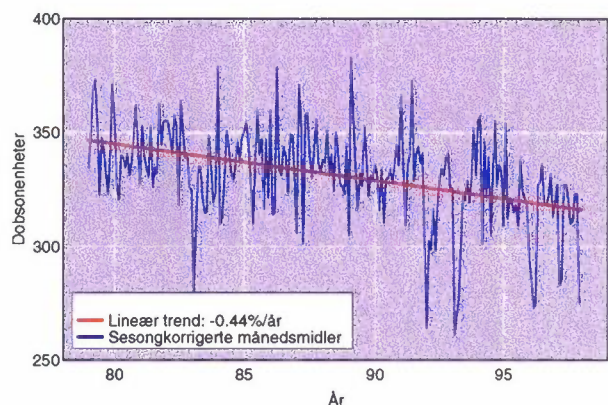
Figur 16 viser hvordan ozonmengden, basert på månedsmidler, har variert over Oslo i perioden januar 1979 til desember 1997. Årstidsvariasjonene kommer her tydelig frem. Månedsmidlene er basert på målinger med Dobson-instrument #56 og Brewer-instrument #42. Den store årstidsvariasjonen, som er typisk 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 på vårparten. Svakere transport fra ekvator gir et minimum i totalmengden utpå høsten. I gjennomsnitt ligger april-middelet 40% høyere enn november-middelet.

Figur 17 viser på en annen måte enn i figur 16 hvordan månedsmidlene varierer fra 1979 til 1997 ved at sesongvariasjonene i denne perioden er fjernet (se-

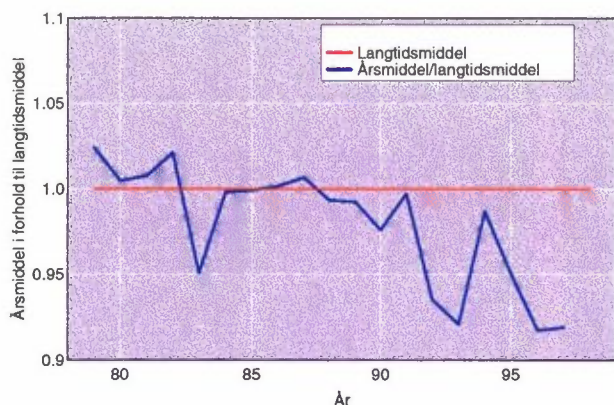


Figur 16. Månedsmidler av ozonmengden over Oslo 1979 til 1997 målt med Dobson- og Brewer-instrumentene basert på månedsmidler.

songvariasjonene i månedsmidlene er fjernet 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. Merk at ozonverdiene i figur 17 kun illustrerer variasjonene i månedsmidlene gjennom måleperioden og må ikke oppfattes som totalozon siden sesongvariasjonene er fjernet. En trendanalyse på dette datasettet gir en nedgang på $0.49\% \pm 0.07\%$ pr. år på årsbasis. Nedgangen for vintermånedene desember-februar er $0.61\% \pm 0.19\%$ pr. år, for vårmånedene mars-mai $0.82\% \pm 0.15\%$ pr. år og for sommermånedene juni-august $0.28\% \pm 0.08\%$ pr. år. For høstmånedene er det beregnet en nedgang på $0.28\% \pm 0.09\%$ pr. år. Som det fremgår av figur 17, har trenden ikke vært jevn i perioden 1979 til 1997. Grunnen til dette er sannsynligvis at de meteorologiske forhold, som har betydning for ozonlagets tykkelse, varierer fra år til år. Figur 18 viser årsmiddelet for hvert av årene fra 1979 til 1997 relativt til langtids-årsmiddelet (1979-1989). De lave verdiene i 1983, 1992 og 1993 kan



Figur 17. Variasjon i ozonmengden over Oslo 1979-1997 basert på målinger med Brewer- og Dobson-instrumentene. Sesongvariasjonene er fjernet. På denne måten kommer trenden tydeligere frem enn i figur 16. Verdiene i figuren må ikke oppfattes som reelle månedsmidler (totalozon) siden sesongvariasjonene er fjernet.



Figur 18. Årsmidler i perioden 1979-1997 for Oslo basert på målinger med Dobson- og Brewer-instrumentet i Oslo. Figuren viser forholdet mellom hvert årsmiddel og langtidsmiddel for 1979-1989.

ha sammenheng med vulkanutbruddet fra El Chichón i Mexico i 1982 og fra Pinatubo, Filippinene, i 1991. Figuren illustrerer at 1990-årene bidrar sterkt til den nedadgående trenden beregnet for perioden 1979 til 1997. Resultatet av trendanalysen er også vist i tabell 2.

Tabell 2. Endring i ozonmengden i prosent pr. år for Oslo for perioden 1.1.1979 til 31.12.1997. Tallene i parentes angir usikkerheten (1 standardavvik). Data fra Dobson- og Brewer-instrumentene er benyttet. En trend større enn to standardavvik anses for å være statistisk signifikant.

Årstid	Trend
Vinter: desember-februar	-0.61 (0.19)
Vår: mars-mai	-0.82 (0.15)
Sommer: juni-august	-0.31 (0.10)
Høst: september-november	-0.28 (0.08)
Hele året:	-0.49 (0.07)

For Tromsø har vi en sammenhengende måleserie fra 1935 til 1972 og fra 1984 til 1997. For Svalbard har vi en måleserie fra 1950 til 1969 (Longyearbyen) og fra 1984 til 1997 (Longyearbyen og Ny-Ålesund). Disse dataene bør re-evalueres før en faglig forsvarlig trendanalyse kan utføres. Arbeidet med re-evaluering av Tromsø-dataene utføres av NILUs Tromsø-avdeling som en del av et doktorgradsarbeid (Trond Svenøe).

3. Ozonmålinger med Dobson, Brewer, SAOZ, GUV-511, Ozon-lidar og TOMS

3.1 Målemetoder

Dobson-instrumentet (Komhyr, 1990) måler et intensitetsforhold ved to forskjellige bølgelengder i den ultrafiolette delen av solspekteret. Den ene bølgelengden absorberes sterkt av ozon og den andre svakt. Den sikreste metoden er å måle direkte mot solen. Siden det målte intensitetsforholdet er bestemt av bl.a. ozon-mengden, 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 reduserer virkningen av spredning i atmosfæren og SO₂-innholdet i atmosfæren. I Oslo har C-paret vært benyttet i stor grad. Grunnen er at AD-målinger krever høyere sol enn C-paret for å gi pålitelige målinger. Med C-målinger blir derfor målesesongen betydelig utvidet. I de senere år har AD-målinger blitt benyttet i sommerhalvåret hyppigere enn tidligere. Dessuten benyttes CD-målinger som gir gode målinger høst og vår. Med Dobson-instrumentet er det også mulig å bestemme ozonmengden ved å måle på direkte månelys.

Ozonmengden kan også bestemmes fra senitlysmålinger. Slike målinger benyttes i stor grad på våre breddegrader. Dette skyldes at skyet vær og lav sol om vinteren umuliggjør direkte solmålinger. I en senitlysmåling måles det spredte sollyset fra senit. Ozonmengden bestemmes ved et kurvekart som viser sammenhengen mellom ozonmengde, solhøyde og det målte intensitetsforhold. Et slikt kurvekart bestemmes på grunnlag av et stort antall samtidige solmålinger (som gir ozon-mengden 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. Dessuten påvirkes senitlysmålinger av skyer. Ved også å måle med C'-paret, som påvirkes svært lite av ozon, kan man empirisk lage skykorreksjons-tabeller. Både AD-, CD- og C-parene benyttes ved senitlysmålinger.

I første rekke skiller Brewer-instrumentet seg fra Dobson-instrumentet ved at det kan registrere etter et oppsatt program (Brewer-manual, 1990). Selv om instrumentet i stor grad er automatisert, krever det hyppig ettersyn, og ozonverdiene må kontrolleres. 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 bølge-

lengder i UV-området, benytter Brewer-instrumentet fem. Ozonmengden kan bestemmes ved å måle direkte sollys, direkte månelys eller spredt lys fra senit. Brewer-instrumentet muliggjør også måling av SO₂ og UV-B-spekteret fra 290 til 320nm. Med Brewer-instrumentet i Oslo er det også mulig å måle NO₂-innholdet i atmosfæren. Senitlysmålinger med Brewer-instrumentet gir med eksisterende analysemetoder ikke tilstrekkelig nøyaktige ozonmålinger. Flere grupper i Norden har etterlyst nye og bedre observasjons- og analysemetoder. Både ved Universitetet i Oslo, Universitetet i Tromsø og NILU er det satt i gang arbeid for utvikling av alternative metoder for bestemmelse av totalozon ved hjelp av senitlys. En metode som går ut på å bestemme ozonmengden fra UV-B-spekteret (Stamnes et al., 1991) ble testet på måledata fra den Nordiske instrumentsammenligningen i 1993 (Dahlback et al., 1994). Metoden fungerte tilfredstillende på det begrensede datasettet som var tilgjengelig. Fordelen med denne metoden er at skyer påvirker ozonmålingene betraktelig mindre enn ved senitlysmålinger. Dette skyldes at irradiansen (direkte + diffus stråling) er mindre følsom for skyer enn senitlys (diffus stråling).

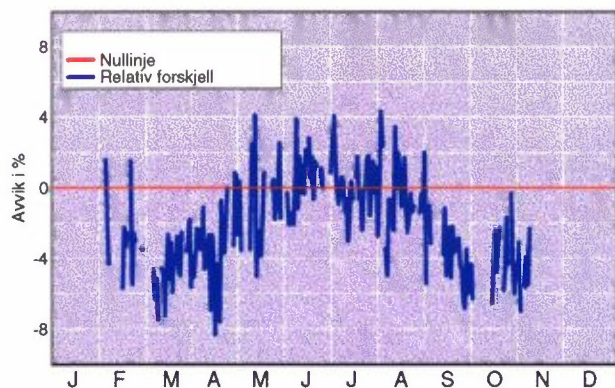
Satellittene NIMBUS 7 og Meteor 3 benyttet et ozonmåleinstrument, TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer). Ultrafiolett stråling fra solen trenger ned i atmosfæren, passerer ozonlaget hvor noe absorberes, deretter reflekteres den gjenværende ultrafiolette strålingen fra bakken og skyene i troposfæren, og lyset passerer ozonlaget en gang til med ytterligere absorpsjon. Strålingsintensiteten registreres av satellitten. Ved å måle svekkingsgraden og benytte strålingstransport-beregninger, bestemmes hvor mye ozon lyset har passert. Ved målingene benyttes flere bølgelengder. Denne teknikken har mye til felles med senitlysteknikken, som benyttes med Dobson- og Brewer-instrumentet. Ingen av TOMS-instrumentene i Nimbus 7- og Meteor 3-satellittene er imidlertid lenger i drift. To nye TOMS-instrumenter ble satt i drift i annet halvår i 1996 (den amerikanske Earth Probe og den japanske ADEOS). Dessverre sluttet ADEOS-satellitten å fungere i slutten av juni 1997 pga. problemer med en kabel fra solcellepanelene. For øyeblikket er det derfor data fra TOMS-instrumentet ombord på Earth Probe som blir benyttet.

SAOZ (System for Analysis of Observations at Zenith) er et instrument som er konstruert for bl.a. å måle ozonmengden i atmosfæren ved lav sol. Dobson- og Brewer-instrumentene gir med dagens observasjons- og analysemetoder vanligvis usikre ozonmålinger når solen står lavere enn 5-10 ° over horisonten. Grunnen til dette er blant annet at den

ultrafiolette strålingen som Brewer- og Dobson-instrumentet måler, blir for svak ved lav sol. SAOZ derimot benytter absorpsjons-bånd rundt 510 nm (Chappuis-båndet), dvs. i den synlige delen av solspekteret hvor ozon absorberer mye svakere enn i den ultrafiolette delen. Målinger med SAOZ-instrumentet vil derfor gi best resultater ved lav sol, og siden instrumentet kan måle selv når solen står 2-4° under horisonten, er instrumentet velegnet på høye breddegrader. Med nåværende analysemetoder gir SAOZ ikke gode resultater når solen står høyere enn 4° over horisonten. I Ny-Ålesund kan derfor instrumentet ikke benyttes i store deler av sommerhalvåret fordi solen står for høyt over horisonten selv ved midnatt. Men SAOZ er et viktig supplement til målinger med Dobson-instrumentet siden målesesongen blir utvidet med ca. 3 måneder. Det arbeides ved NILU med å utvikle en analysemetode som vil gjøre det mulig å benytte SAOZ også i sommerhalvåret. (Høiskar et al., 1997).

GUV-511 (Ground-Based Ultraviolet Radiometer) måler irradiansen (strålingen som faller på en horisontal flate) ved fire bølgelengder i UV-området. Kanalene har senterbølgelengder ved 305nm, 320nm, 340nm og 380 nm, med en båndbredde på ca. 10nm. Ved å kombinere forholdet mellom 305-kanalen og en av de andre kanalene kan totalozon bestemmes vha. strålingstransport-beregninger. Overensstemmelsen mellom GUV og Dobson, og GUV og Brewer er svært god, og i tillegg er effekten av skyer på de målte ozonverdier svært liten (Dahlback, 1996). Et GUV-511-instrument har vært i drift i Oslo sammenhengende siden februar 1994. I juli 1995 ble Tromsø og Ny-Ålesund utstyrt med GUV-541-instrumenter finansiert av SFT. GUV-541-instrumentet skiller seg fra GUV-511-instrumentet ved at den bredbåndete kanalen (400-700 nm) er erstattet av en 313nm-kanal med 10nm båndbredde. Denne kanalen er planlagt benyttet til ozonmålinger ved lav sol og vil muligvis supplere måleperioden til Dobson- og Brewer-instrumentene i Tromsø og i Ny-Ålesund.

Ozon-lidaren ved ALOMAR består av en kraftig lyskilde (laser) som kan sende ut kortvarige lyspulser i rask rekkefølge. Varigheten av lyspulsene er ca. 10ns (10⁻⁸s) og disse pulsene sendes ut 200 ganger pr. sekund (200Hz). I tidsrommet mellom to lyspulser blir det lys som returneres av atmosfæren fanget opp av et stort teleskop og sendt til en følsom detektor. Retur-signalet blir detektert flere millioner ganger pr. sekund. Dette betyr at man kan registrere hvor mye lys som sendes tilbake fra forskjellige høyder i atmosfæren. En ozon-lidar sender ut lys ved to forskjellige bølgelengder, 308nm og 353nm. Lys ved den første bølgelengden blir absorbert av



Figur 19. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Dobson- og Brewer-instrumentene for Oslo i 1997, $100 \cdot (\text{Dobson} - \text{Brewer}) / \text{Dobson}$.

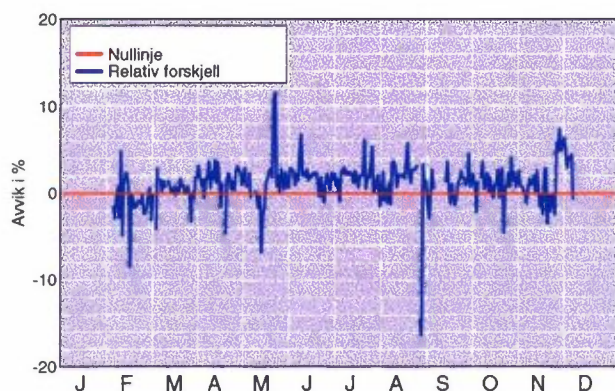
ozon, mens lys ved 353 nm ikke absorberes av ozon. Ved å sammenligne retursignalet ved disse to bølglengdene kan man regne ut hvor mye ozon det er i hvert høydeintervall. Den vertikale oppløsningen bestemmes av hvor hyppig man samler inn retursignalet. Ved ALOMAR brukes en innsamlings-frekvens på 1.4 MHz. Dette gir en vertikal oppløsning på 100m.

Tidsoppløsningen, dvs. hvor ofte man får en ny ozon-profil, avhenger av hvor lenge man må samle inn retursignalet for å få nok fotoner til å gi et brukbart signal/ støyforhold. Dette bestemmes av effekten på laseren. Man kan også øke tidsopp-løsningen ved å redusere innsamlingsfrekvensen, men da blir den vertikale oppløsningen redusert.

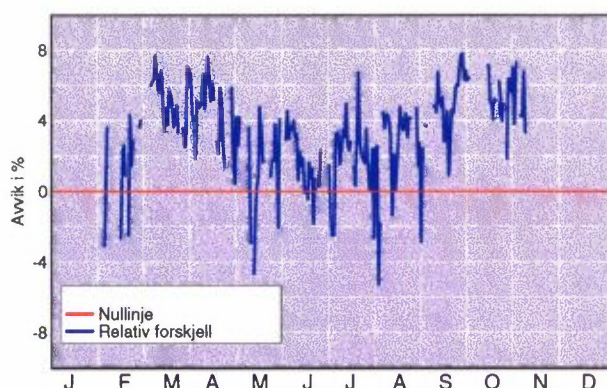
Mer informasjon om lidarens virkemåte finner man i Kåstad et al. (1993).

3.2 Sammenligninger

Både Dobson-, Brewer-, SAOZ- og GUV-instrumentene benytter seg av en optisk metode for bestemmelse av ozonmengden i atmosfæren. Felles for alle er at de registrerer svekkingen av sollys ved flere bølgelengdebånd. Bølgelengdene som det måles på er imidlertid forskjellig for instrumentene.



Figur 20. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Dobson og GUV-511 for Oslo i 1997, $100 \cdot (\text{Dobson} - \text{GUV}) / \text{Dobson}$.



Figur 21. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Brewer og GUV-511 for Oslo i 1997, $100 \cdot (\text{Brewer} - \text{GUV}) / \text{Brewer}$.

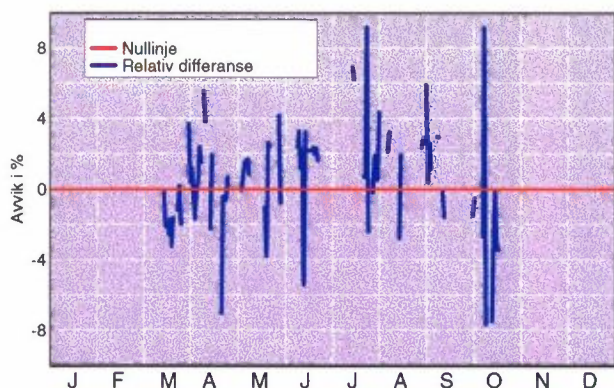
Dobson- og Brewer-instrumentene måler på det direkte sollyset eller på det spredte sollyset fra senit. SAOZ-instrumentet skiller seg fra de andre ved at ozonmengden bestemmes fra målinger på lys fra senit i den synlige delen av spekteret. GUV-511- og GUV-541-instrumentene måler irradiansen, dvs. strålingen fra alle retninger som faller på en horisontal flate, mens de øvrige måler strålingen som kommer fra en bestemt retning. Skyer og partikler i atmosfæren vil påvirke resultatene i varierende grad fra instrumenttype til instrumenttype. Lyset som måles av de forskjellige instrumentene har ikke passert gjennom nøyaktig samme del av atmosfæren. I tillegg måles det ikke på samme tidspunkt. Alle disse momentene bidrar til at instrumentene ikke gir eksakt samme resultat når de daglige målinger sammenlignes. Imidlertid bør middelerverdier over en lengre tidsperiode (f.eks. over en måned) skille seg lite fra instrument til instrument.

Figur 19 viser prosentvis avvik for Brewer i forhold til Dobson for Oslo i 1997. På årsbasis er avviket -2.2% med standardavvik 2.5% . Både direkte sol- og senitlysmålinger er tatt med.

Om vinteren når solen er lav gir Brewer generelt lavere verdier enn Dobson. Under slike observasjonsforhold gir Dobson-instrumentet foreløpig sikrere målinger enn Brewer-instrumentet. Derfor baseres de daglige ozonverdier om vinteren først og fremst på målinger med Dobson-instrumentet. Siden Brewer-instrumentet ble anskaffet i 1990 har analysemetoden for Brewer-målingene for lav sol og i skyet vær blitt noe forbedret.

Figur 20 viser prosentvis avvik for GUV-511 i forhold til Dobson i Oslo i 1997. Avviket er 1.1% på årsbasis, og standardavviket er 2.6% . Sammenligningene er gjort for både klarvær og overskyet vær for alle årets 12 måneder.

Figur 21 viser prosentvis avvik for GUV-511 i forhold til Brewer-instrumentet i Oslo i 1997. Her er



Figur 22. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Dobson- og Brewer-instrumentet for Tromsø i 1997, $100 \cdot (\text{Dobson-Brewer}) / \text{Dobson}$.

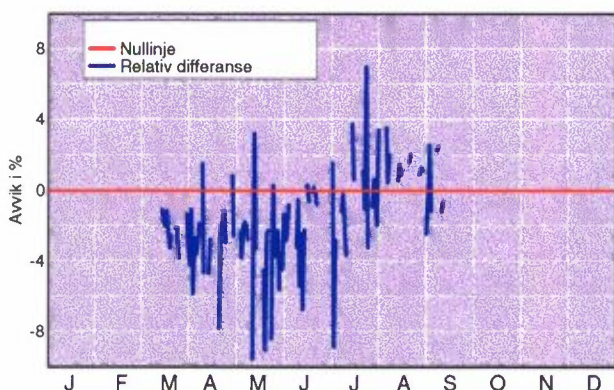
avviket på årsbasis 3.4% med et standardavvik på 2.5%

Figur 22 viser prosentvis avvik for Brewer i forhold til Dobson-instrumentet i Tromsø. På årsbasis er avviket 0.60% med standardavvik 3.5%. Dette er basert på direkte-sol-målinger med Brewer-instrumentet. Hvis man i tillegg tar med målinger gjort med fokusert sol blir avviket -0.14% med et standardavvik på 5.4%.

Tabell 3. Avvik i prosent for Brewer (B) og GUV (G) i forhold til Dobson (D) 1997. Tallene i parentes angir standardavviket.

Stasjon	(D-B)/D	(D-G)/D
Oslo	-2.2 (2.5)	1.1 (2.6)
Tromsø	0.60 (3.5)	-1.3 (3.2)
Ny-Ålesund		-0.78 (1.8)

Sammenligning mellom GUV- og Dobson-instrumentene i Tromsø og i Ny-Ålesund er vist i figur 23 og 24. For Tromsø er avviket på årsbasis for GUV relativt til Dobson -1.3% med standardavvik 3.2%, mens avviket er $-0.78\% \pm 1.8\%$ for Ny-Ålesund.



Figur 23. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med GUV-541 og Dobson-instrumentet i Tromsø i 1997, $100 \cdot (\text{Dobson-GUV}) / \text{Dobson}$.

Sammenligningen for Ny-Ålesund er bare basert på direkte solmålinger.

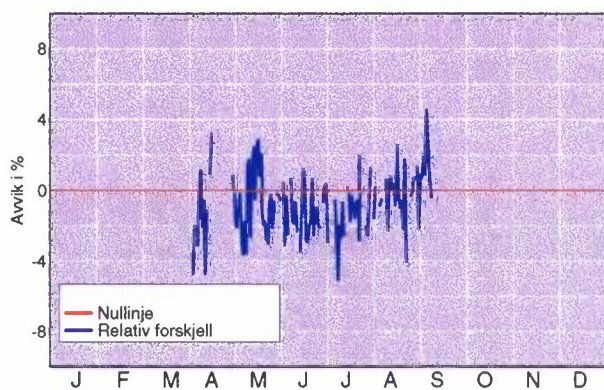
Resultatet av sammenligningene mellom Brewer, Dobson og GUV-511 er vist i tabell 3. Overensstemmelsen mellom Dobson, GUV-511 og Brewer er meget god for senitvinkler mindre enn omtrent 70° , dvs. vår, sommer og høst. For senitvinkler større enn 70° blir målingene for alle instrumenttypene påvirket av ozonprofilen. Ozonmålingene om vinteren er derfor usikre selv med Dobson-instrumentet.

4. UV-målinger

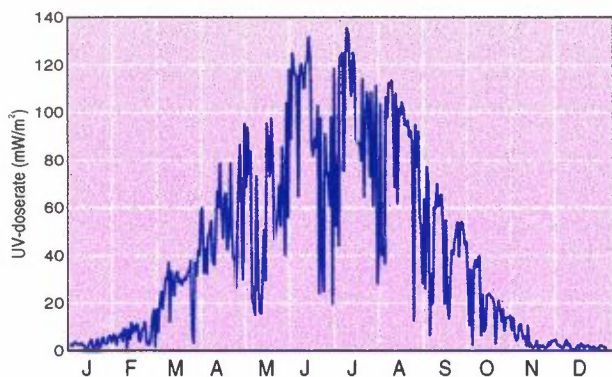
4.1 Måleresultater 1997

Det norske UV-nettverket består av 8 fem-kanals GUV-instrumenter. NILU har ansvaret for driften av instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. Statens strålevern har ansvaret for de øvrige fem instrumentene. Målingene i Oslo startet i februar 1994, mens målingene i Tromsø og Ny-Ålesund kom igang i juli 1995. 1997 er dermed det andre året med komplett måleserie for de tre stasjonene.

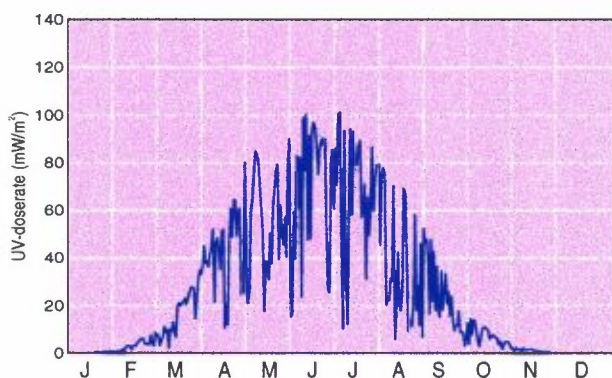
Figurene 25, 26 og 27 (neste side) viser timesmiddel av UV-dose-raten midt på dagen (mellom 10:30 og 11:30 GMT) for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. UV-dose-raten er et mål på den samlede biologiske effekten av UV-A og UV-B stråling (se avsnitt 4.3). Enheten for dose-rate er mW/m^2 men den kan også angis ved en UV-indeks. UV-indeks 1 tilsvarer $40\text{mW}/\text{m}^2$. Høyeste verdi i Oslo i 1997, $136\text{mW}/\text{m}^2$, ble målt 8. juli som tilsvarer en UV-indeks på 5.4. Den høyeste målte verdi i Tromsø, $101\text{mW}/\text{m}^2$ (UV-indeks 4.0), ble målt 3. juli. Maksimal-verdien i Ny-Ålesund, $71.2\text{mW}/\text{m}^2$ (UV-indeks 2.9) ble registrert 23. juni. De høyeste nivåene vil normalt inntruffe i sommermånedene når sola står høyest på himmelen. De viktigste faktorene som påvirker UV-strålingen er solhøyde, skyer, ozonlaget tykkelse og refleksjon fra bakken (albedo). Årstidsvariasjonen i



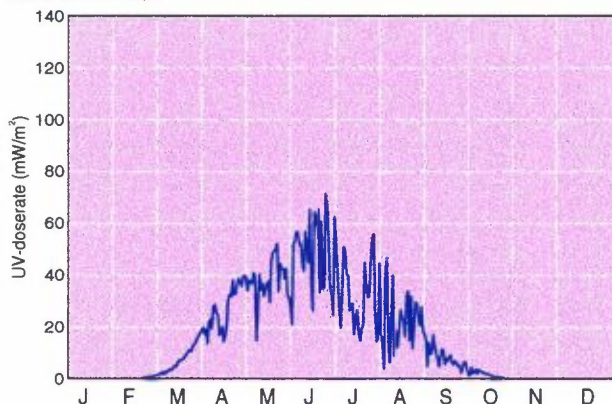
Figur 24. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med GUV-541 og Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund i 1997, $100 \cdot (\text{Dobson-GUV}) / \text{Dobson}$.



Figur 25. UV-doseraten midt på dagen fra 01.01.97 til 31.12.97 målt med GUV-511-instrumentet ved Universitetet i Oslo.

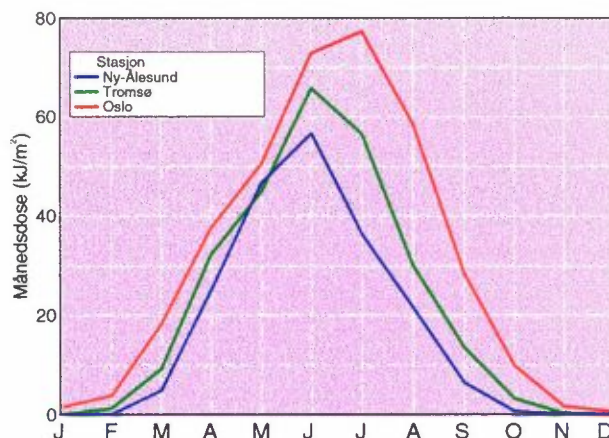


Figur 26. UV-doseraten midt på dagen fra 01.01.97 til 31.12.97 målt med GUV-541-instrumentet ved Universitetet i Tromsø.



Figur 27. UV-doseraten midt på dagen fra 01.01.97 til 31.12.97 målt med GUV-541-instrumentet i Ny-Ålesund.

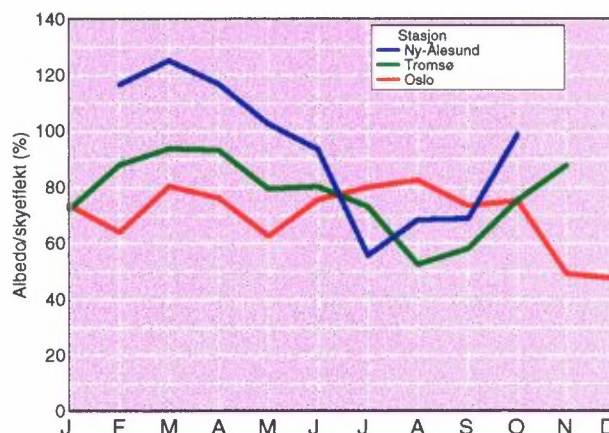
dose-raten som skyldes solhøyden kommer tydelig frem i figurene 25, 26 og 27. De store variasjonene i dose-raten fra dag til dag skyldes hovedsakelig varierende skydekke, men varierende ozonmengde spiller også en viktig rolle. I 1997 er det flere eksempler på at skyer kan dempe UV-strålingen med mer enn 95%. På den andre siden har vi også eksempler på at skyer kan gi en økning i UV-strålingen på mer en 10% sammenlignet med klarvær. Dette kan inntreffe i delvis skyet vær når himmelen



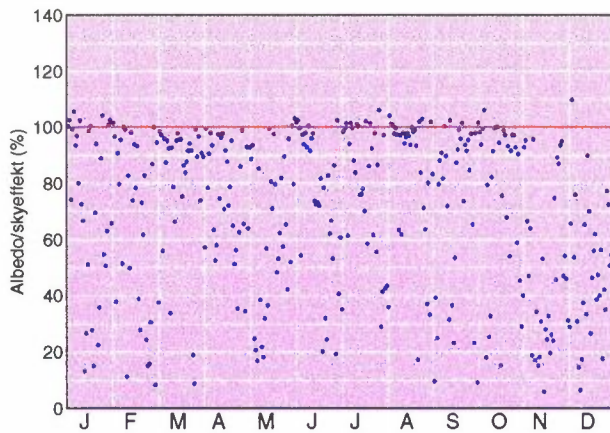
Figur 28. Månedlige integrerte UV-doser i 1997 målt med GUV-instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund.

omkring sola er skyfri. Den direkte solstrålingen vil dermed være som i klarvær mens den diffuse stråling vil kunne øke på grunn av refleksjon fra skyer nær sola. Effekten av skyer er tilnærmet bølglengdeuavhengig slik at skyer demper UV-A og UV-B i like stor grad.

Figur 28 viser UV-månedsdosen for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund i 1997. Månedsdosen er den samlede dosen i løpet av en måned. Om sommeren vil dagens lengde øke med breddegraden. Derfor vil forskjellen i månedsdose være mindre enn for dose-raten midt på dagen. Et noe overraskende resultat er at for mai har Ny-Ålesund høyere månedsdose enn Tromsø. Forklaringen på dette resultatet er illustrert i figur 29 som viser albedo/skyeffekten for hver måned i 1997 for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. Albedo/skyeffekten (avsnitt 4.3) beskriver transmisjonen i prosent av klarværsverdien for null bakkerrefleksjon (barmark). For mai var albedo/skyeffekten i Ny-Ålesund 103%, Tromsø 79% og i Oslo 63%. Årsaken til at Ny-Ålesund har høyere



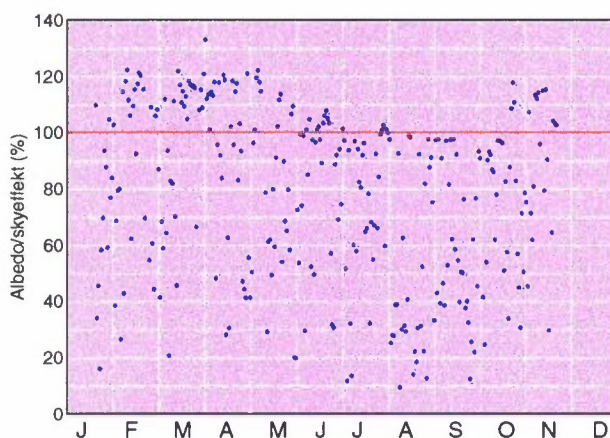
Figur 29. Albedo/skyeffekter for hver måned i 1997 målt med GUV-instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. Hvert punkt viser månedsverdien av UV-dosen i prosent av klarværsverdien med null bakkerrefleksjon.



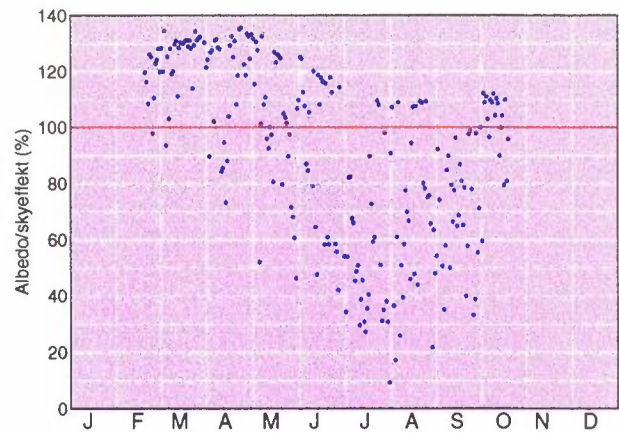
Figur 30. Effekter av skyer og bakkealbedo på UV-stråling ved jordens overflate i Oslo i 1997 i prosent av klarværsverdien med null bakkerefleksjon. Hvert punkt representerer middelveien mellom 10:30 og 11:30 GMT for en bestemt dag. Den horisontale linjen representerer klarvær og barmark. Verdier over denne linjen betyr at skyer og/eller bakkealbedo øker UV-nivået sammenlignet med klarvær og bar bakke.

månedsdose enn Tromsø i mai er at Ny-Ålesund fortsatt hadde mer snødekke enn Tromsø.

Figur 30 viser albedo/skyeffekt for Oslo for hver dag i 1997. Hvert punkt representerer den daglige verdien mellom kl. 10:30 og 11:30 GMT. Den horisontale linjen representerer klarværsverdien (100%) uten snø på bakken. I flere tilfeller er verdien mindre enn 10% som betyr at skyer demper UV-nivået med mer enn 90%. De høyeste verdiene inntreffer om vinteren med maksimalverdi opp til 110%. Dette er tilfeller med klarvær og snø på bakken. Om sommeren er maksimalverdien omkring 100%. Figurene 31 og 32 viser albedo/sky-effekt for Tromsø og Ny-



Figur 31. Effekter av skyer og bakkealbedo på UV-stråling ved jordens overflate i Tromsø i 1997 i prosent av klarværsverdien med null bakkerefleksjon. Hvert punkt representerer middelveien mellom 10:30 og 11:30 GMT for en bestemt dag. Den horisontale linjen representerer klarvær og barmark. Verdier over denne linjen betyr at skyer og/eller bakkealbedo øker UV-nivået sammenlignet med klarvær og bar bakke.

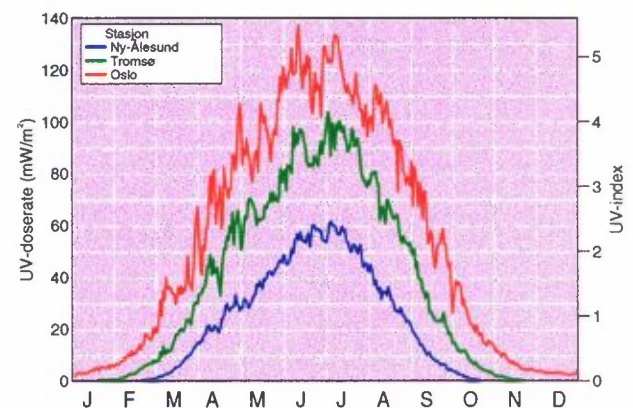


Figur 32. Effekter av skyer og bakkealbedo på UV-stråling ved jordens overflate i Ny-Ålesund i 1997 i prosent av klarværsverdien med null bakkerefleksjon. Hvert punkt representerer middelveien mellom 10:30 og 11:30 GMT for en bestemt dag. Den horisontale linjen representerer klarvær og barmark. Verdier over denne linjen betyr at skyer og/eller bakkealbedo øker UV-nivået sammenlignet med klarvær og bar bakke.

Ålesund. Disse skiller seg fra Oslo med høyere maksimal-verdier.

De høyeste verdiene (136%) inntreffer i Ny-Ålesund og dette skyldes antagelig at området omkring stasjonen i Ny-Ålesund er fullstendig dekket av snø mens Oslo (og til en viss grad Tromsø) har en del bare områder om vinteren (bare gater og hustak). Det er også mulig at snødekket i Ny-Ålesund har høyere albedo enn snødekket i Tromsø og Oslo.

Som nevnt tidligere, skyldes de store dag til dag-variasjonene i UV-dose-raten (figurene 25, 26 og 27) først og fremst variasjon i skydekket og totalozon. Figur 33 viser timesmiddelet av UV-dose-raten midt på dagen for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund redusert til klarværsverdi med null bakkerefleksjon. Dette er oppnådd ved å kombinere resultatene i figur 30 og 31 og i figurene 25, 26 og 27. På denne måten kommer effekten av varierende totalozon på UV-



Figur 33. UV-dose-raten midt på dagen redusert til klarvær og null bakkerefleksjon for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund for 1997.

dose-raten tydelig frem. Ved å sammenligne resultatene i figurene 25, 26 og 27 med resultatene i figur 33 er det klart at varierende skydekke har større betydning på UV-nivået enn variasjon i ozonlagets tykkelse.

4.2 Årsdoser

UV-nettverket har vært i drift siden midten av 1995, og vi begynner derfor etterhvert å få en del data som kan bidra til å detektere endringer i mengden av UV-strålingen på årsbasis. Måleserien er ennå altfor kort til å kunne begynne rapportering av en trend, men det vil være nyttig å rapportere årlige UV-doser som en miljøindikator. For Oslo finnes data for hele 1995, mens det for de to andre stasjonene kun finnes data fra sommeren 1995. For Tromsø og Ny-Ålesund vil det derfor kunne regnes årsdoser fra 1996. Årsdoser for de tre stasjonene i nettverket er gjengitt i tabell 4.

Tabell 4. Årlige doser av UV-B-ståling (kJ/m^2) for 1995-97 observert ved de tre stasjonene i nettverket.

År/Stasjon	Oslo	Tromsø	Ny-Ålesund
1995	334.1		
1996	330.4	241.8	211.3
1997	361.2	257.2	198.5

Det er viktig å være oppmerksom på at variabiliteten i denne parameteren vil være ganske stor pga. endringer i skydekke.

4.3 Målemetoder

GUV-511 måler irradiansen (stråling som faller på en horisontal flate fra alle retninger) i fire kanaler i UV-området. Senterbølgelengdene er 305nm, 320nm, 340nm og 380nm, med en båndbredde på ca. 10nm. I tillegg har GUV-511 en kanal for måling av irradiansen mellom 400 og 700nm. Dette er den såkalte PAR-strålingen (Photosynthetically Active Radiation) som er viktig for fotosyntesen. I Oslo benyttes et GUV-511-instrument, mens i Tromsø og Ny-Ålesund benyttes GUV-541-instrumenter. I GUV-541-instrumentet er PAR-kanalen erstattet av en UV-B-kanal med senterbølgelengde 313nm. Ellers er instrumentet identisk med GUV-511. Denne kanalen vil være nyttig for ozonmålinger og bestemmelse av UV-doser ved lav sol. Detektorene i instrumentet er oppvarmet og holdes konstant på 40°C. Dette sørger for å smelte rim og snø på inngangsoptikken. Instrumentet har ingen bevegelige deler og er fullstendig automatisk. Data logges hvert minutt.

Det er vanlig å dele den ultrafiolette solstrålingen inn i tre områder: UV-A, UV-B og UV-C. Den langbølgete UV-A-strålingen (320-400nm) absorberes praktisk talt ikke av ozon. UV-B (280-320nm) 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 (200-280nm) absorberes svært effektivt av ozon (O_3) og oksygen (O_2) slik at ingen ting når jordens overflate. Det skal svært lite ozon til for å absorbere all stråling i UV-C-området. For mange biologiske systemer er følsomheten for UV-B-strålingen 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. Den biologisk effektive UV-dosen beskriver den samlede virkning av alle bølgelengder i UV-A og UV-B, og man tar hensyn til at den biologiske effekten er bølgelengdeavhengig. Dette betyr at UV-B tillegges mye større vekt enn UV-A ved hjelp av et virkningspektrum. I denne rapporten er det benyttet et idealisert virkningspektrum som er anbefalt av WMO og Commission Internationale de l'Eclairage (McKinlay og Diffey, 1987).

Mens dose-raten 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 dose-rate og J/m^2 for UV-dose. Dette er imidlertid ikke helt korrekt, siden de forskjellige bølgelengdene er tillagt forskjellig vekt pga. virkningspekteret. En har imidlertid valgt å benytte de samme enheter slik at de er sammenlignbare med verdier fra andre UV-nettverk.

I tillegg til overvåkning og forskning vil resultater fra UV-nettverket i Norge benyttes til å informere publikum om hvordan UV-nivået varierer. WMO anbefaler at middelveiden av UV-dose-raten over en time midt på dagen angis ved en UV-indeks. UV-indeksen fremkommer ved å multiplisere dose-raten i W/m^2 med 40. Dette betyr at den største UV dose-raten målt i Oslo i 1997, 0.136 W/m^2 , får en UV-indeks på 5.4. I Oslo vil UV-indeksen i klarvær normalt øke fra 0.1 midtvinters til 4-6 om sommeren. Modellberegninger utført ved NILU viser at normal UV-indeks for klarvær 21. juni er 9.6 på Mallorca og 10.6 på Kanariøyene.

De viktigste faktorer som bestemmer UV-nivået ved jordens overflate er solhøyden, ozonmengden, skyer og refleksjonsegenskapene ved bakken. Ved å kombinere målinger med GUV-instrumentet og strålingstransportberegninger kan både den biologisk effektive UV-dosen og den totale ozonmengde bestemmes. Ved bestemmelse av UV-doser benyt-

tes alle UV-kanalene (305nm, 320nm, 340nm og 380nm). Totalozon bestemmes fra forholdet mellom 320nm og 305nm kanalene. Dette forholdet er svært lite påvirket av skyer, og det er derfor ikke nødvendig (untatt i ekstreme tilfeller) å korrigere for skyer. I tillegg kan effekten av skyer og albedo (bakkerefleksjon) på UV-dosene kvantifiseres med en albedo/skyeffekt ved hjelp av målinger i en av UV-A kanalene siden UV-A er upåvirket av ozon. Albedo/skyeffekten defineres som forholdet mellom målt irradians i 340nm-kanalen og irradians for 340nm-kanalen i klarvær med null bakkerefleksjon multiplisert med 100. I klarvær med lav bakkealbedo (barmark) vil albedo/skyeffekten være 100. I klarvær med nysnø på bakken vil albedo/skyeffekten kunne være opp til 140. Dette betyr at nysnø kan øke UV-dosen med 40%. En albedo/skyeffekt på f.eks. 40 om sommeren betyr at skydekket reduserer UV-nivået med 60% (siden bakkealbedoen er svært liten om sommeren kan denne reduksjonen tilskrives skyer). Effekten av skyer og albedo er lite bølgelengdeavhengig slik at sky/albedo-effekten gjelder både i UV-B og i UV-A.

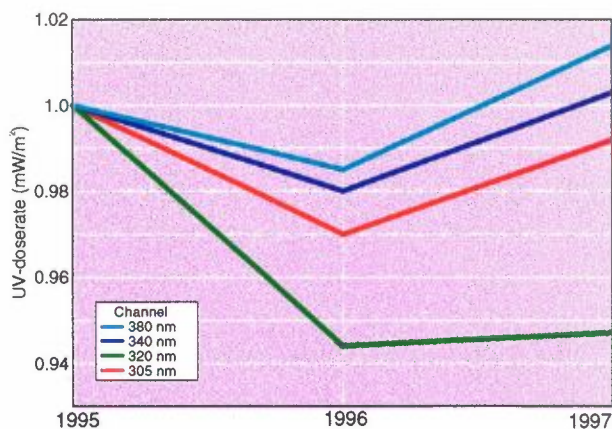
Siden GUV-instrumentene kan benyttes til å bestemme både UV-doser, totalozon og effekter av skyer og bakkerefleksjon, er det mulig å avgjøre om eventuelle fremtidige endringer i UV-nivået skyldes en endring i den totale ozonmengde eller en eller flere av de andre faktorer.

4.4 Kalibrering og drift av UV-instrumentene

Et GUV-511-instrument har vært i drift i Oslo siden februar 1994. I 1995 anskaffet NILU to nye GUV-541-instrumenter, finansiert av SFT, mens Statens Strålevern anskaffet fem. Disse instrumentene inngår i det norske UV-nettverket. NILU har ansvar for driften av instrumentene i Oslo (opprettet 15. februar 1994), Tromsø (opprettet 20. juli 1995) og Ny-Ålesund (opprettet 1. juli 1995). De resterende fem instrumenter ble satt i drift i januar 1996.

De syv nye GUV-541-instrumentene ble i mai 1995 kalibrert mot et SUV-100-spektroradiometer hos produsenten Biospherical Instruments Inc. i San Diego, California, USA. Dette spektroradiometeret er med i et nettverk av instrumenter i Antarktis og Arktis i regi av det amerikanske National Science Foundation (Booth et al., 1994). I tillegg ble de syv nye GUV-instrumentene kalibrert i Biospherical Instruments kalibrerings-laboratorium. Data fra det norske UV-nettverket vil dermed kunne sammenlignes med data fra dette amerikanske nettverket.

Det gamle GUV-511-instrumentet ble kalibrert mot de syv nye GUV-541 i Oslo juni 1995. Et av Statens Stråleverns GUV-instrumenter fungerer som et re-



Figur 34. Utvikling av de enkelte kanalenes følsomhet for GUV-511-instrumentet i Oslo fra 1995 til 1997.

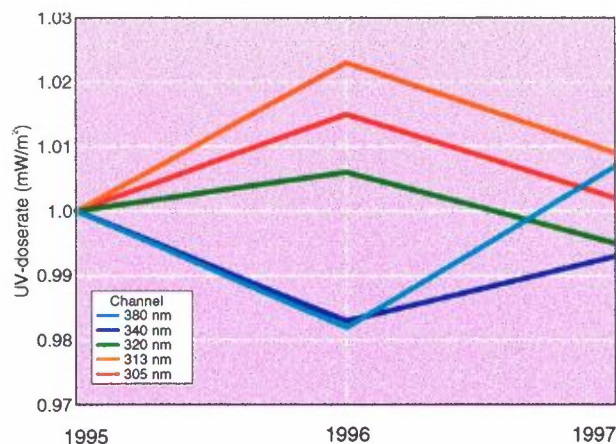
feranse-instrument for nettverket. Dette instrumentet blir jevnlig kalibrert ved Statens Stråleverns kalibreringslaboratorium. Minst én gang pr. år vil de øvrige GUV-instrumentene bli kalibrert mot det reisende referanse-instrumentet på hver stasjon. Minst én gang pr. år vil referanse-instrumentet også bli kalibrert i Biospherical Instruments Inc. kalibreringslaboratorium.

GUV-instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund er knyttet til internett via PC, og rådata overføres automatisk til NILUs eksterne database. Rådata blir her analysert og UV-doserater, totalozon, samt sky- og albedo-effekter blir beregnet. Dataene er til enhver tid tilgjengelig for norske forskningsmiljøer.

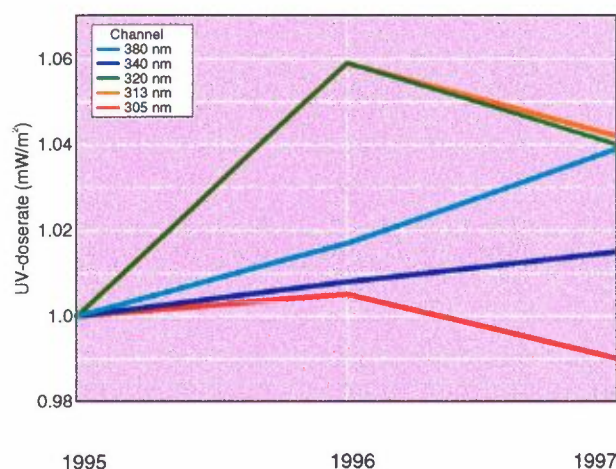
I mai 1997 ble referanse-instrumentet kalibrert hos Biospherical Instruments. I juni 1997 ble instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund kalibrert mot referanse-instrumentet. Referanse-instrumentet blir flyttet til hver stasjon slik at det ikke blir brudd i måleseriene. Ved disse re-kalibreringene ble endringene i kanalenes følsomhet bestemt. Endring i kanalens følsomhet i 1996 og 1997 relativt til kalibreringen i mai/juni 1995 er vist for instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund i henholdsvis Figur 34, 35 og 36. Verdier mindre enn 1 betyr at følsomheten har avtatt i forhold til 1995, og verdier større enn 1 betyr at følsomheten har økt. For Oslo-instrumentet var driften fra 1995 til 1996 ca. -5.5% for 320nm-kanalen, mens de andre kanalene hadde en drift på -1.5 til -3%. Fra 1996 til 1997 har 320nm-kanalen holdt seg stabil, mens de andre kanalene har fått noe økt følsomhet, slik at samlet drift fra 1995 til 1997 for disse kanalene ligger innenfor $\pm 1.5\%$.

For GUV-instrumentet i Tromsø var driften innenfor $\pm 2\%$ fra 1995 til 1996. Fra 1996 til 1997 rettet dette seg delvis opp, slik at driften fra 1995 til 1997 ligger innenfor $\pm 1\%$ for samtlige fem kanaler.

For GUV-instrumentet i Ny-Ålesund var det fra 1995 til 1996 en positiv drift for alle kanaler (dvs.



Figur 35. Utvikling av de enkelte kanalenes følsomhet for GUV-541-instrumentet i Tromsø fra 1995 til 1997.



Figur 36. Utvikling av de enkelte kanalenes følsomhet for GUV-541-instrumentet i Ny-Ålesund fra 1995 til 1997.

økt følsomhet) som varierte fra 0.5 til 6%. Fra 1996 til 1997 er dette delvis rettet opp, slik at driften fra 1995-97 ligger innenfor -1 til +4%. To av kanalene (313 og 320nm) har hatt meget lik utvikling, slik at kurvene ligger oppå hverandre.

For alle måledata som er presentert i denne rapporten er det antatt en lineær drift på grunnlag av verdiene i vist i figurene. Kvaliteten på måledataene ville kunne øke hvis hver stasjon ble utstyrt med en lampe-enhet for relativ kalibrering. En slik relativ kalibrering kunne dermed utføres på hver stasjon f.eks. én gang pr. måned.

Referanser

Booth, C.R., Lucas, T.B., Morrow, J.H., Weiler, C.S. and Penhale, P.A. (1994) The United States National Science Foundation/Antarctic Program's Network for Monitoring Ultraviolet Radiation. In: *Ultraviolet radiation in Antarctica. Measurements and biological research*. Ed. by C.S. Weiler and P.A. Penhale. Washington, D.C., American Geophysical Union, (AGU Antarctic Research Series, 62). pp.17-37.

Braathen, G.O., von der Gathen, P., Kyrö, E., Rummukainen, M., Mikkelsen, I.S., Fast, H., Dorokhov V., and Gil M. (1997) Temporal evolution of ozone in the polar vortex during the nine winters from 1988-89 to 1996-97. Proceedings of the fourth European Symposium on Polar Stratospheric Ozone, 22 to 26 September 1997. (European Commission, Air pollution research report 66.)

Brewer (1990) MKIV spectrophotometer operations manual. OM-BA-CO1/B, May 1, 1990.

Dahlback, A. (1998) Personlig kommunikasjon.

Dahlback, A. (1996) Measurements of biologically effective UV-doses, total ozone abundance and cloud effects with multi-channel moderate bandwidth filter instruments. *Appl. Opt.*, 35, 6514-6521.

Dahlback, A., Braathen, G.O. and Stordal, F. (1995) Overvåking av ozonlaget. Årsrapport 1994. Kjeller (NILU OR 20/95).

Dahlback, A., Kylling, A., Koskela, T. and Svenøe, T. (1994) Radiative transfer modellering. In: *Nordic intercomparison of ultraviolet and total ozone instruments at Izaña from 24 October to 5 November 1993*. Ed. by Koskela, T. Helsinki, FMI (*Meteorological Publications*, 27) pp. 97-104.

Hansen, G., Svenøe, T., Chipperfield, M.P., Dahlback, A. and Hoppe, U.-P. (1997) Evidence of substantial ozone depletion in winter 1995/1996 over Northern Norway. *Geophys. Res. Lett.*, 24, 799-802.

Svenøe, T. (1997) Ozonmålinger med Dobson- og Brewer-instrumentet ved Universitetet i Tromsø. (Måledata).

Høiskar, B.A.K., Dahlback, A., Vaughan, G., Braathen, G.O., Goutail, F., Pommereau, J.-P. and Kivi, R. (1995) Seasonal variations in airmass factors for ozone — computations based on climatology data. Presented at the Third European Symposium on Polar Stratospheric Ozone 18-22 September 1995, Schliersee, Germany. Kjeller (NILU F 48/95).

Høiskar, B.A.K., Dahlback, A., Tellefsen, C.W., Braathen, G.O., (1997) Retrieval of total ozone abundances from the UV region of spectra recorded with an UV-visible spectrometer. *Appl. Opt.*, 36, 7984-7991.

Komhyr, W.D. (1990) Operations handbook. Ozone observations with a Dobson spectrophotometer. (WMO Global Research and Monitoring Project, Report no.6).

Kåstad, B.A. and Braathen, G.O. (1993) Specification of an ozone lidar for daylight measurements. Lillestrøm (NILU OR 18/93).

Larsen, S.H.H. (1993) Ozonmålinger med Dobson-instrumentet ved Universitetet i Oslo 1979-1993. (Måledata).

McKinlay, A.F. and Diffey, B.L. (1987) A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema on human skin. *CIE J.*, 6, 17-22.

Orsolini, Y.J., Hansen, G., Hoppe, U.P., Manney, G.L. and Fricke, K. (1997) Dynamical modellering of wintertime lidar observations in the Arctic: ozone laminae and ozone depletion. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 123, 785-800.

Stamnes, K., Slusser, J. and Bowen, M. (1991) Derivation of total ozone abundance and cloud effects from spectral irradiance measurements. *Appl. Opt.*, 30, 4418-4426.

Tønnessen, F. (1997) Ozonmålinger med Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund og Brewer- og Dobson-instrumentet ved Universitetet i Oslo i 1997. (Måledata).

WMO (1995) Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1994. Geneva (World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project, Report no. 37).



Norsk institutt for luftforskning

Postboks 100, N-2007 Kjeller

Rapporttype: Oppdragsrapport	Rapport nr.: OR 56/98	ISBN 82-425-1012-1 ISSN 0807-7207	
Dato 9.10.1998	Ansv. sign. Øystein Hov Øystein Hov (sign.)	Antall sider: 24	Pris: NOK 110,-
Tittel: Overvåking av ozonlaget Årsrapport 1997		Prosjektleder: Geir O. Braathen	
		NILU prosjekt nr.: O-8985	
Forfattere: Geir O. Braathen, Arne Dahlback, Trond Svenøe og Georg H. Hansen		Tilgjengelighet: * A	
		Oppdragsgivers ref.	
Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn Postboks 8100 Dep. 0032 Oslo			
Stikkord: Stratosfæreozon	UV-stråling	Måledata	
Referat: Rapporten presenterer måledata for totalozon, vertikalfordelingen av ozon og UV-stråling ved norske målestasjoner i 1997. For Oslo er trenden i totalozon for tidsrommet 1979-1997 beregnet.			
Title: Monitoring of the ozone layer. Annual report 1997.			
Abstract: Data for total ozone, the vertical distribution of ozone and UV radiation at Norwegian measurement sites are given for the year of 1997. The trend in total ozone for Oslo for the time period 1979-1997 has been calculated.			

* *Kategorier:*

<i>A</i>	<i>Åpen - kan bestilles fra NILU</i>
<i>B</i>	<i>Begrenset distribusjon</i>
<i>C</i>	<i>Kan ikke utleveres</i>



Statens forurensningstilsyn

Postboks 8100 Dep.

0032 Oslo

Telefon: 22 57 34 00 - Telefax: 22 67 67 06

Internett: <http://www.sft.no/>



Norsk institutt for luftforskning

Instituttveien 18, postboks 100, 2007 Kjeller

Telefon: 63 89 80 00 - Telefax: 63 89 80 50

Internett: <http://www.nilu.no/>