



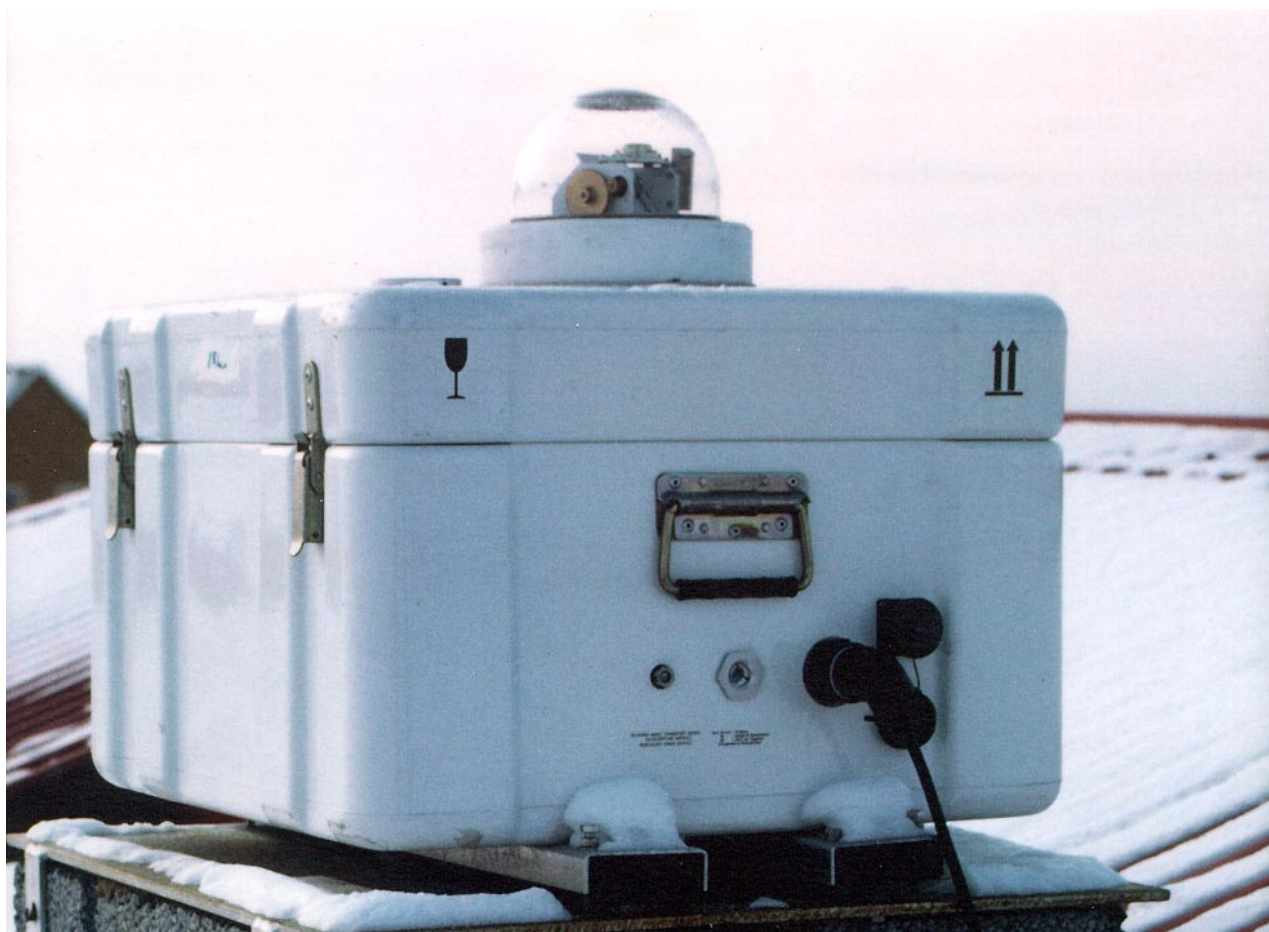
Statlig program for
forurensningsovervåking

Rapport nr.: 779/99

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn
Deltakende institusjon: NILU

Overvåking av ozonlaget og naturlig ultrafiolett stråling

Årsrapport 1998



TA-1676/1999



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 63/99
RERERANSE: O-8985
DATO: November 1999
ISBN: 82-425-1129-2

Overvåking av ozonlaget og naturlig ultrafiolett stråling

Årsrapport 1998

**Britt Ann K. Høiskar, Geir O. Braathen, Arne Dahlback*, Bojan R. Bojkov, Trond Svenøe og
Georg H. Hansen**

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

**Utført etter oppdrag fra
Statens forurensningstilsyn**

Sammendrag

Det ble i 1998 ikke observert nedbrytning av ozon i Arktis i samme grad som de tre vintrene forut. Dette forklarer hvorfor månedsmidlene i 1998 ligger nærmere langtidsmiddelet enn det som har vært tilfellet de siste årene. Årsaken er at det i 1998 var relativt milde temperaturer i stratosfæren i Arktis. Lave temperaturer er nødvendig for å sette fart i ozonnedbrytningen.

Basert på bakkemålinger i Oslo er det utført en trendanalyse for perioden 1979-1998. Analysen gir en gjennomsnittlig nedgang på 0.56% pr. år om vinteren, 0.67% pr. år om våren, 0.16% pr. år om sommeren og 0.23% pr. år om høsten. På årsbasis er nedgangen 0.39% pr. år. For Tromsø har vi en sammenhengende måleserie fra 1935 til 1972 og fra 1985 til 1998. Den eldste måleserien er nå re-evaluert av NILUs Tromsø-avdeling i forbindelse med et doktorgradsarbeide ved Universitetet i Tromsø.



Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100
2027 Kjeller

Innhold

	Side
Sammendrag	5
KAPITTEL 1: Målinger av totalozon i 1998	7
1.1 Dobson- og Brewer-instrumentene	7
1.2 SAOZ-instrumentet	9
KAPITTEL 2: Målinger av ozonprofiler i 1998	9
2.1 Ozonsonder	9
2.2 Ozon-lidar	10
KAPITTEL 3: Ozonmålinger 1979-1998	11
3.1 Oslo	11
3.2 Tromsø	12
3.3 Spitsbergen	14
KAPITTEL 4: Sammenligninger av målinger fra forskjellige instrumenter	14
4.1 Innledning	14
4.2 Oslo	14
4.3 Tromsø og Ny-Ålesund	15
KAPITTEL 5: UV-målinger	16
5.1 Måleresultater 1998	16
5.2 Årsdoser	18
5.3 Målemetoder	19
5.4 Kalibrering og drift av UV-instrumentene	20
Appendix: Instrumentbeskrivelse	21
A.1 Dobson-spektrofotometeret	21
A.2 Brewer-spektrofotometeret	21
A.3 TOMS	22
A.4 SAOZ	22
A.5 GUV	22
A.6 Ozonlidar	22
Referanser	23

Sammendrag

De tre norske stasjonene som måler totalozon (ozonlagets tykkelse), Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund på Svalbard, viser månedsmidler for 1998 som gjennomgående ligger nokså nær langtids-månedsmidlene. I Oslo lå månedsmidlene for januar til mars 8-9% under månedsmiddelverdiene for 1979 til 1989. For de øvrige månedene var avviket mellom månedsmidlene og langtidsmiddelet mindre enn 6%, og flere av månedsmidlene lå høyere enn langtidsmidlet. Til sammenligning lå alle månedsmidler i 1997 under månedsmiddelverdiene for 1979-1989. Målingene i Tromsø viste at månedsmidlene for april til oktober lå 6-12% over månedsmidlene for perioden 1950 til 1971. Bare for mars var månedsmiddelet lavere enn langtidsmiddelet (4%). I Ny-Ålesund lå månedsmidlene innenfor $\pm 6\%$ sammenlignet med perioden 1984 til 1991.

Det ble i 1998 ikke observert nedbrytning av ozon i Arktis i samme grad som de tre vintrene forut. Dette forklarer hvorfor månedsmidlene i 1998 ligger nærmere langtidsmiddelet enn det som har vært tilfellet de siste årene. Ozonlagets mer normale tykkelse i 1998 skyldes ikke nedgang i ozonnedbrytende stoffer, for konsentrasjonen av disse øker fortsatt i stratosfæren. Årsaken er at det i 1998 var relativt milde temperaturer i stratosfæren i Arktis. Lave temperaturer er nødvendig for å sette fart i ozonnedbrytningen.

Basert på bakkemålinger i Oslo er det utført en trendanalyse for perioden 1979-1998. Analysen gir en gjennomsnittlig nedgang på 0.56% pr. år om vinteren, 0.67% pr. år om våren, 0.16% pr. år om sommeren og 0.23% pr. år om høsten. På årsbasis er nedgangen 0.39% pr. år. Den nedadgående trenden har ikke vært jevn i perioden 1979-1998. For Tromsø har vi en sammenhengende måleserie fra 1935 til 1972 og fra 1985 til 1998. Den eldste måleserien er nå re-evaluert av NILUs Tromsø-avdeling i forbindelse med et doktorgradsarbeide ved Universitetet i Tromsø. Denne danner grunnlaget for et nytt langtidsmiddel for Tromsø, som er brukt i denne rapporten.

På Svalbard ble det målt totalozon fra 1950 til 1969 og fra 1984 til 1997. De eldste måledataene må re-evalueres før en faglig forsvarlig trendanalyse kan foretas.

I Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund måles den ultrafiolette strålingen fra sola kontinuerlig med GUV-instrumenter. 1998 er det tredje 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 1998 for Oslo var i mai måned, mens det for Tromsø og Ny-Ålesund ble registrert høyest månedsdose i juni. Et noe overraskende resultat er at for juni hadde både Tromsø og Ny-Ålesund en høyere månedsdose enn Oslo. Dette skyldes hovedsakelig at Oslo hadde mye skyet vær i juni måned.

Fra 1997 er årsdoser av UV innført som en miljø-indikator. Oslo hadde i 1998 den laveste årsdosen som er registrert siden målingene startet i 1995. Målingene av UV startet ca. et år senere i Tromsø og Ny-Ålesund enn i Oslo, så her har vi årsdoser f.o.m. 1996. Tromsø hadde i 1998 en årsdose som var litt lavere enn i 1997, men noe høyere enn i 1996. Ny-Ålesund hadde i 1998 den høyeste årsdosen siden målingene startet i 1996.

Den høyeste strålingsintensiteten (dose-raten) i løpet av 1998 ble i Oslo målt den 25. juni. Doseraten midt på dagen var 138 mW/m². Dette svarer til en UV-indeks på 5.5. I Tromsø ble høyeste dose-rate, 100 mW/m², målt den 23. juni. I Ny-Ålesund ble høyeste dose-rate, 69 mW/m², registrert den 27. juni.

De tre GUV-instrumentene er blitt kalibrert i juni hvert år siden 1996. Disse kalibreringene viser at det er noe drift i instrumentene. Måledataene presentert i denne rapporten er korrigert for denne driften.

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 1998 blitt kalibrert mot et internasjonalt referanse-instrument. Stabiliteten til instrumentene har vært god.

Fra Ørland og 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.

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 1998, 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 og Arne Dahlback (UiO). Målinger med Dobson-instrumentet i Oslo 1979-1993 er utført av Søren H. H. Larsen. Ansvarlig for ozonmålinger i Tromsø i 1998 har vært Trond Svenøe ved NILUs Tromsø-avdeling. Bojan Bojkov ved NILU er ansvarlig for ozonsonder fra Ørland og Gardermoen. Britt Ann Kåstad Høiskar ved NILU er ansvarlig for driften av SAOZ-instrumentet på Ny-Ålesund og GUV-instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund følges opp av Arne Dahlback og Trond Svenøe.

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

Konklusjon

Måleprogrammet har i 1998 vært gjennomført etter planen og stort sett på samme måte som tidligere år. Det nye i 1998 er at den lange tidsserien i Tromsø fra 1935 til 1972 er reanalysert. Det arbeides med en trendanalyse av dette datamaterialet. Det er i denne rapporten utført en trendanalyse på Tromsø-data fra 1979-1998, noe som utgjør to solflekksykluser.

Ozonverdiene lå i 1998 nærmere langtidsmiddelet enn vi har sett de siste foregående år. Dette skyldes relativt høye temperaturer i stratosfæren ved våre breddegrader.

Oslo hadde i 1998 den laveste årsdosen for UV som er registrert siden målingene startet i 1995. Tromsø hadde i 1998 en årsdose som var litt lavere enn i 1997, men noe høyere enn i 1996. Ny-Ålesund hadde i 1998 den høyeste årsdosen siden målingene startet i 1996.

Overvåking av ozonlaget og naturlig ultrafiolett stråling

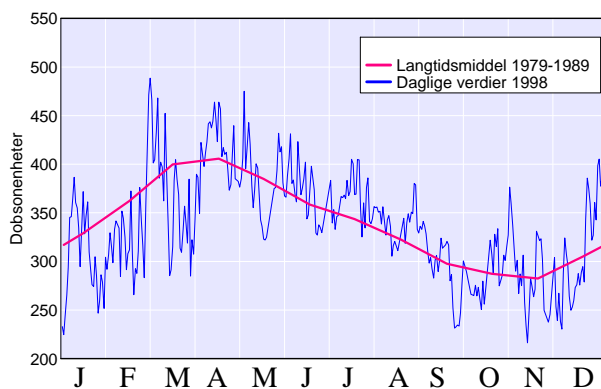
Årsrapport 1998

1. Målinger av totalozon i 1998

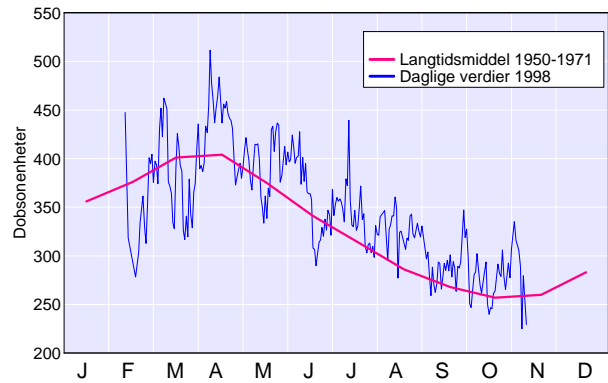
1.1 Dobson- og Brewer-instrumentene

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 verdier som ligger nær langtidsmidlene. Store dag til dag-variasjoner spesielt om vinteren og våren, ble også registrert i 1998. Dette er typisk på våre breddegrader og skyldes meteorologiske variasjoner.

Figur 1 (Tønnessen, 1998) viser målingene i Oslo i 1998. De daglige verdiene er basert på målinger med Brewer-instrumentet. Her er brukt Brewer irradiansforhold, se avsn. 4.2 og appendix A.2. 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 1998 er svært få dager uten ozonmålinger. Det er bare i ekstreme tilfeller (skydekke med svært stor optisk dybde) at man ikke får pålitelige målinger. Slike dager er ikke med i datasettet. Den heltrukne kurven viser de daglige verdiene, mens den røde kurven er månedsmiddel-verdiene for årene 1979-1989. Perioden fra 1979 til 1989 er valgt for beregning av langtidsmiddelet, siden det er en mulig sammenheng mellom solflekaktivitet og totalozon, og denne perioden dekker en solflekksyklus. Det viser seg imidlertid at



Figur 1. Daglige ozonverdier målt med Brewer-instrumentet ved Universitetet i Oslo i 1998. Den røde kurven er månedsmidler fra 1979 til 1989.

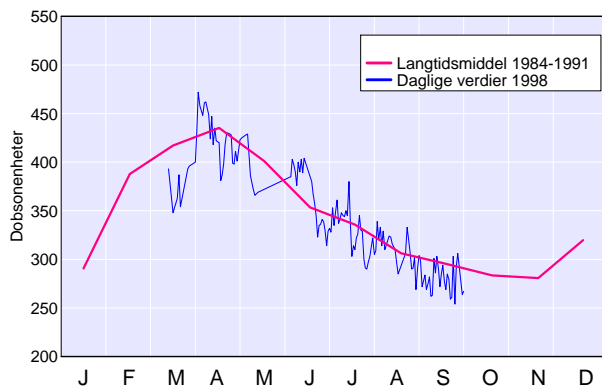


Figur 2. Daglige ozonverdier målt med Dobson og Brewer-instrumentene ved Universitetet i Tromsø i 1998. Den røde kurven er månedsmidlene fra 1950 til 1971.

dette valget ikke er avgjørende. Det beregnede langtidsmiddel endrer seg svært lite hvis perioden økes til f.eks. 1979-1991 (månedsmiddelverdiene vil endre seg med mindre enn 4 DU).

Årets høyeste verdi i Oslo, 489DU, ble målt 1. mars. 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, 216DU, ble målt 9. november. Månedsmidlene for januar, februar og mars lå alle 8-9% under månedsmiddelverdiene for 1979-1989. For de øvrige månedene var avviket mellom månedsmidlene og langtidsmiddelet mindre enn 6% og flere av månedsmidlene lå høyere enn langtidsmidlet (Figur 4). Til sammenligning lå alle månedsmidler i 1997 under månedsmiddelverdiene for 1979-1989.

Målingene i Tromsø (Svenøe, 1998) er vist i figur 2. Langtidsmiddelet er basert på målinger i perioden 1950-1971. 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 polarnatten hvis direkte månelys er tilgjengelig. Når målinger på direkte sollys ikke er mulig benyttes ozonverdier basert på senitlysmålinger. Årets høyest målte verdi, 511 DU, ble registrert

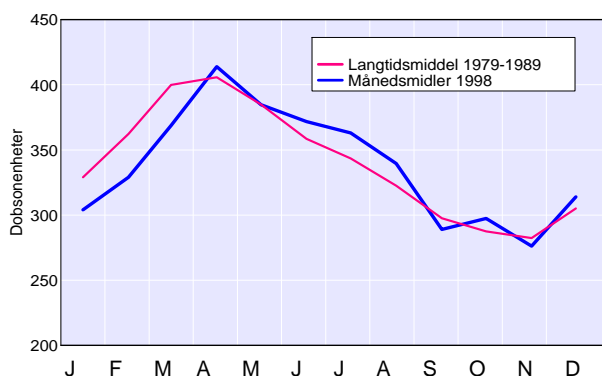


Figur 3. Daglige ozonverdier målt med Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund 1998. Den røde kurven er månedsmidler fra 1984 til 1991.

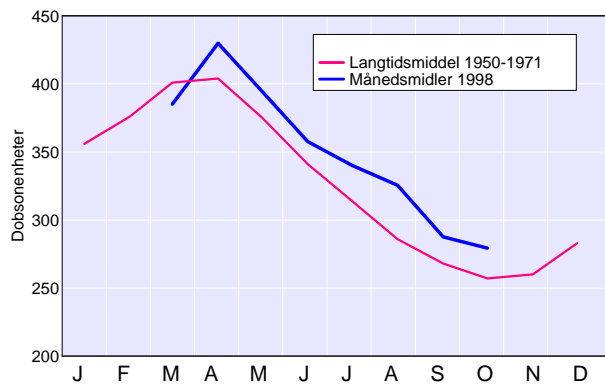
8. april, og den laveste, 225 DU, den 3. november. Normalt måles de laveste verdiene på høsten.

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, 1998). 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 1998 basert på målinger med Dobson-instrumentet, er vist i figur 3. Her er brukt både Dobson direkte sol og Dobson senitmålinger. Målingene viser store variasjoner i ozonverdiene i vår månedene.

Figurene 4, 5 og 6 viser månedsmiddelverdiene for 1998 for henholdsvis Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. Ozonverdiene for de tre stasjonene lå i 1998 nær langtidsmiddelet. For Oslo var månedsmidlene for januar, februar og mars 8-9% lavere enn langtidsmiddelet for 1979-1989. I sommermånedene lå derimot månedsmidlene 0-6% over langtidsmiddelet. September-desember viste små avvik på mindre enn $\pm 3\%$.



Figur 4. Månedsmiddelverdiene for 1998 og månedsmiddelverdiene for 1979 til 1989 for Oslo.



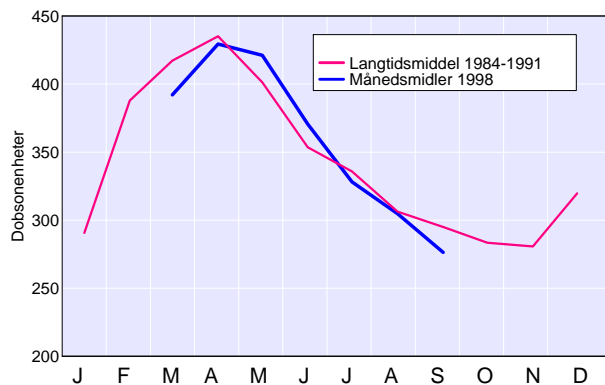
Figur 5. Månedsmiddelverdiene for 1998 og månedsmiddelverdiene for 1950 til 1971 for Tromsø.

For Tromsø lå månedsmiddelet for mars 4% under månedsmidlene for 1950-1971. For de resterende månedene lå månedsmidlene over langtidsmiddelet. Avviket var størst for august hvor månedsmiddelet lå 12% over langtidsmiddelet.

For Ny-Ålesund er datamaterialet fra Dobson-instrumentet for lite til å beregne månedsmiddelverdiene. 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 Braathen et al. (1998). Ved å benytte måledata fra disse tre instrumenter er månedsmiddelverdiene for perioden mars-september beregnet (figur 6). I 1998 var avviket mellom de beregnede månedsmidlene og langtidsmiddelet for 1984-1991 mindre enn $\pm 6\%$ for alle måneder. Prosentvis avvik i månedsmiddelverdiene for 1998 fra langtidsmiddelet for de tre stasjonene er vist i tabell 1.

Brewer-instrumentene i Oslo og Tromsø ble kalibrert i mai 1998 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.

Dobson instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund deltok i mai 1998 i en instrument sammenlig-



Figur 6. Månedsmiddelverdiene for 1998 og månedsmiddelverdiene for 1984 til 1991 for Ny-Ålesund.

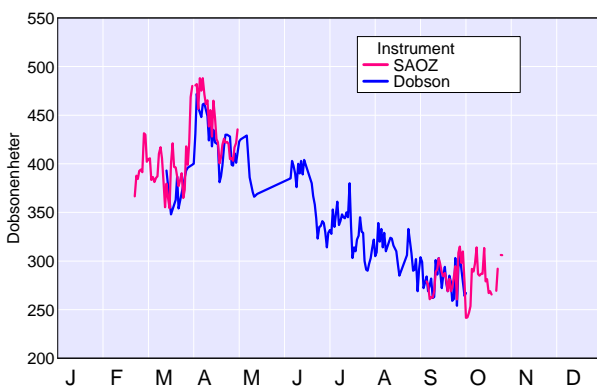
ning i Oslo. På grunnlag av resultatene fra sammenligningen ble det bestemt at Dobson instrumentet i Oslo skal sendes til Arosa for kalibrering i regi av WMO i begynnelsen av 1999.

Tabell 1. Prosentvis avvik i månedsmiddelverdiene for 1998 fra langtidsmiddelet for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund.

Måned	Oslo	Tromsø	Ny-Ålesund
Januar	-8		
Februar	-9		
Mars	-8	-4	-6
April	+2	+6	-1
Mai	0	+5	+5
Juni	+4	+5	+5
Juli	+6	+8	-2
August	+5	+12	0
September	-3	+8	-6
Oktober	+3	+8	
November	-2	-	
Desember	+3	-	

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.



Figur 7. Daglige ozonverdier målt med Dobson og SAOZ-instrumentene i Ny-Ålesund i 1998.

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 Dobson instrumentene.

2. Målinger av ozonprofiler i 1998

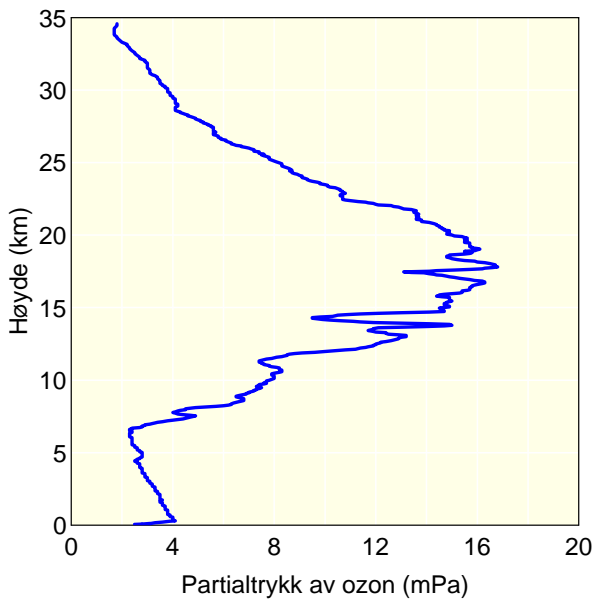
2.1 Ozonsonder

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. I 1998 er det sluppet 5 sonder fra Andøya, 5 fra Gardermoen og 39 fra Ørland i forbindelse med EU-prosjektet OSDOC som koordineres av NILU.

Figur 8 viser en typisk ozonprofil fra Ørland (5. februar 1998). I den nederste delen av atmosfæren (troposfæren) er ozonkonsentrasjonen lav. Fra ca. 7 km (stratosfæren) øker konsentrasjonen med høyden og når et maksimum i dette eksemplet ved ca. 18 km høyde. Ozonmangel i et høydeintervall 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 meteorologiske data for å tolke observasjonene.

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 tropopause. 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.



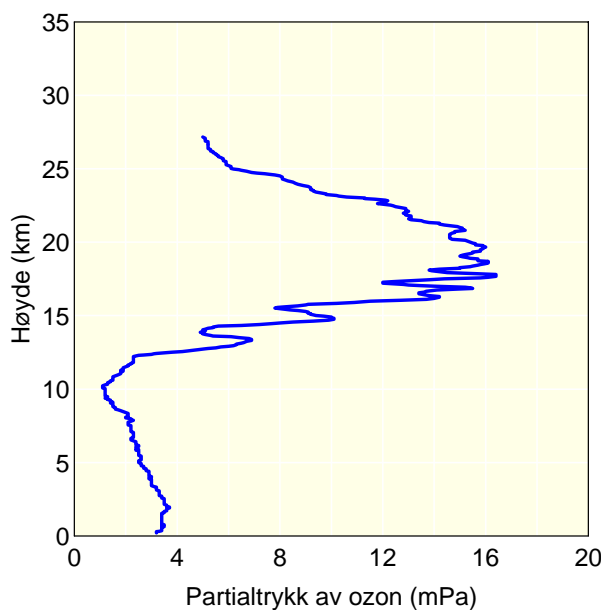
Figur 8. Høydefordelingen av ozon over Ørland 4. desember 1998 målt med ozonsonde sendt opp med ballong.

Figur 9 viser en ozonprofil målt over Gardermoen 24. januar 1998. Maksimal ozonkonsentrasjon inntrer her ved ca. 19 km høyde.

2.2 Ozon-lidar

I desember 1994 ble en ozonlidar installert ved ALOMAR (Arctic Lidar Observatory for Middle Atmosphere Research) på Andøya.

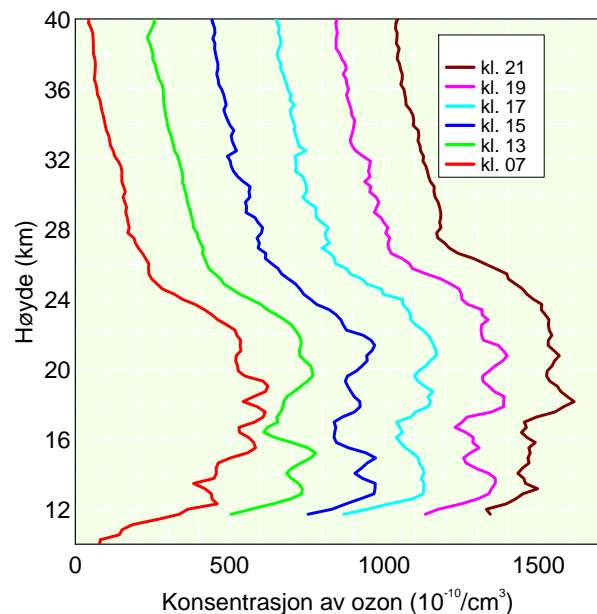
Ozon-lidaren har vært i drift i hele 1998. Det ble foretatt flest målinger de første fire månedene, for å dekke levetiden til polarhvirvelen og dens oppløsning om våren. Figur 10 viser en serie av ozon-



Figur 9. Høydefordeling av ozon målt over Gardermoen 24. januar 1998 målt med ozonsonde sendt opp med ballong.

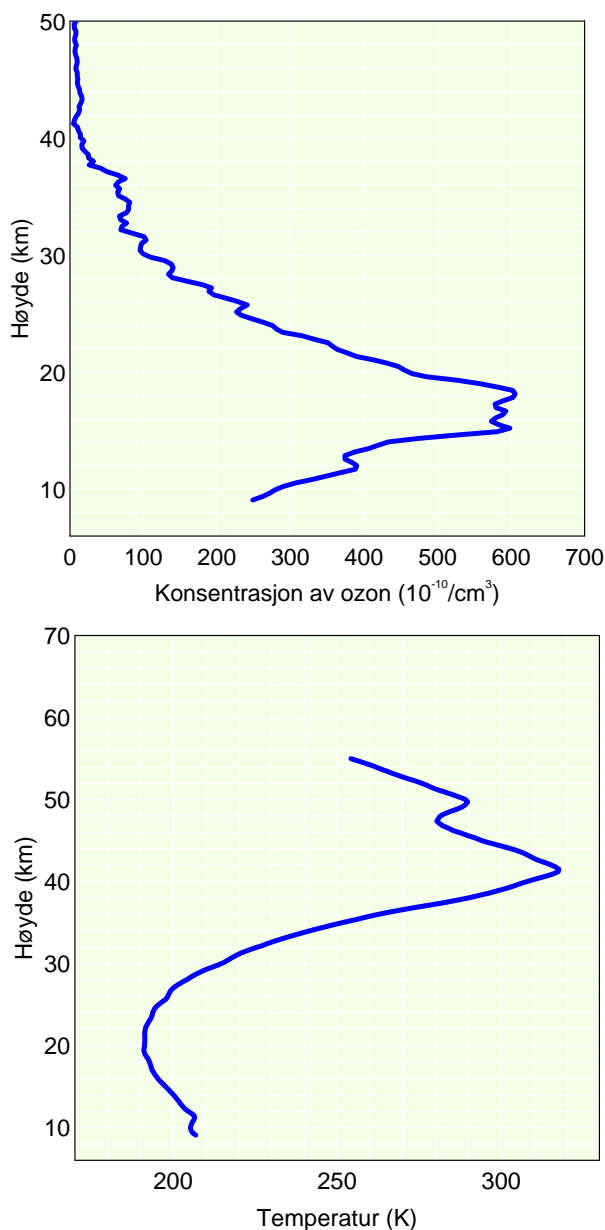
profiler målt den 8. januar 1998. Man kan her se hvordan profilen endrer seg fra time til time. Særlig mellom 20 og 26 km observeres en tydelig økning i ozonmengden. Dette eksemplet viser at lidar instrumentet er meget velegnet til å studere hurtige endringer i ozonprofilen som skyldes variasjoner i den meteorologiske situasjonen. Slike observasjoner er viktige for å kunne forstå prosessene som styrer utvekslingen av luft mellom polare og midlere bredder, noe som er viktig for å kunne forstå ozonnedbrytningen som finner sted ved midlere breddegrader.

Hovedmålene med lidaren er å dokumentere/studere utviklingen av ozonnedbrytningen utover vinteren, såvel som raske variasjoner i ozonets vertikale fordeling. Vinteren 1997/98 var helt ulik de to foregående vintrene. Polarhvirvelen utviklet seg tidlig på vinteren, men ble så kraftig forstyrret ved årsskiftet. Tidlig i februar kom så en kraftig stratosfærisk oppvarming som svekket polarhvirvelen ytterligere. Figur 11 viser en måling av ozon- og temperaturprofilen for 3. februar 1998. Temperaturprofilen viser en usedvanlig varm øvre stratosfære som følge av en såkalt stratosfæreoppvarming som opptrer relativt ofte på den nordlige halvkule. Dette er den nest sterkeste oppvarmingen som er observert, med temperaturer opp til 70 grader over normalen. Oppvarmingen førte til en sterk svekkelse og tidlig oppløsning av polarhvirvelen i 1998. Bare i to korte

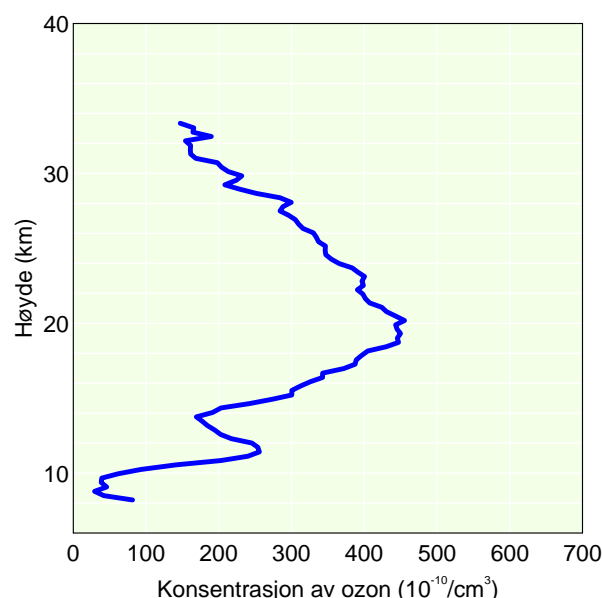


Figur 10. Målinger av den vertikale fordelingen av ozon over Andøya med ozonlidar. Profilene er registrert med to timers mellomrom fra kl. 07 til kl. 21 den 8.1.98. Hver profil fra kl. 07 og utover er forskjøvet horisontalt med 200 enheter i forhold til forrige profil for å bedre oversikten. Dette betyr at den grønne kurven viser 200 enheter for mye, den mørkeblå kurven 400 enheter for mye osv.

perioder (desember 1997 og midten av februar 1998) ble det observert polare stratosfæriske skyer, som er en forutsetning for ozonnedbrytning. Virvelen løste seg opp ved månedsskiftet mars/april uten at det hadde opptrådt betydelig ozonnedbrytning. Derimot ble det observert ekstremt høye ozonverdier, f.eks. 9. mars med en rekordverdi på over 500 Dobson-enheter. Lidar målingene i april og i begynnelsen av mai viste fortsatt sterk filamentering av ozonlaget, også flere uker etter at virvelen hadde løst seg opp. Dataene blir for tiden brukt i filamentundersøkelser ved å kombinere modellberegninger og måledata.



Figur 11. Måling av en ozonprofil (over) og en temperaturprofil (under) 3. februar 1998 mellom 17:00 og 21:00 GMT. Melding over fire timer ga troverdige ozonverdier helt opp til 50 km. Temperaturprofilen viser en usedvanlig varm øvre stratosfære.



Figur 12. Ozonprofil målt 5. august mellom 8:00 og 9:30 GMT, dvs i fullt sollys.

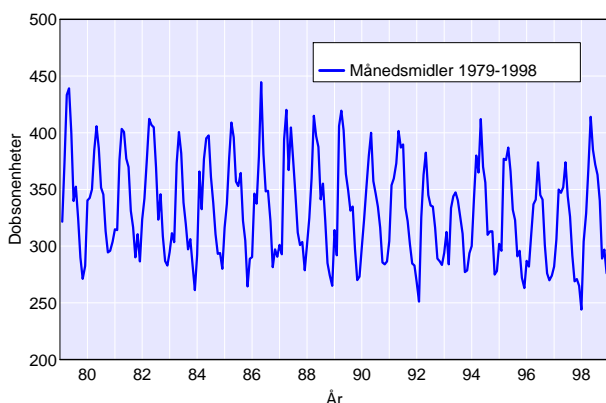
Fra mai 1998 ble ozonlidarens mottagersystem ombygget for å gjøre det mulig å foreta lidar målinger i dagslys. Dette krever ekstrem filtrering av bakgrunnslyset, kombinert med spektral ren emisjon fra laseren. Det lyktes å redusere intensiteten av bakgrunnslyset med flere størrelsesorden ved å bruke en kombinasjon av Fabry-Perot interferometre, men samtidig ble lasersignalet svekket i for stor grad. Likevel var det mulig å foreta en rekke observasjoner både i juli og august under dagslys forhold. Figur 12 viser vertikalfordelingen av ozon den 5. august 1998 mellom 8:00 og 9:30, dvs. i fullt sollys. Dette er den så langt beste målingen som er foretatt med det nye mottagersystemet.

3. Ozonmålinger 1979-1998

3.1 Oslo

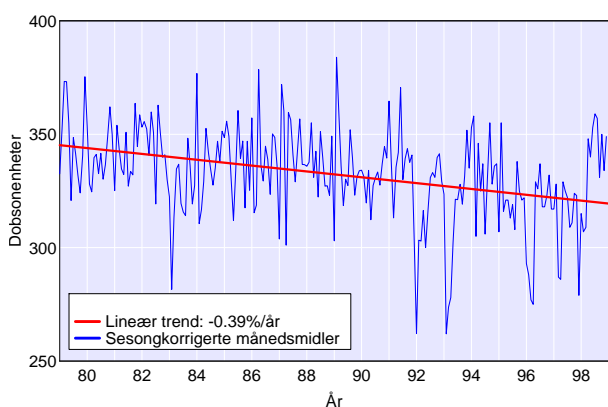
Figur 13 viser hvordan ozonmengden, basert på månedsmidler, har variert over Oslo i perioden januar 1979 til desember 1998. Årstidsvariasjonene kommer her tydelig frem. Månedsmidlene er basert på målinger med Dobson-instrument #56 og Brewer-instrument #42. Den store årstidsvariasjonen, som er typisk 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 14 viser på en annen måte enn i figur 13 hvordan månedsmidlene varierer fra 1979 til 1998 ved at



Figur 13. Månedsmidler av ozonmengden over Oslo 1979 til 1998 målt med Dobson- og Brewer-instrumentene basert på månedsmidler.

sesongvariasjonene i denne perioden er fjernet (sesongvariasjonene 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 14 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 $0.39\% \pm 0.07\%$ pr. år når alle fire årstider er inkludert. Nedgangen for vintermånedene desember-februar er $0.56\% \pm 0.17\%$ pr. år og for vårmånedene mars-mai $0.67\% \pm 0.15\%$ pr. år. For sommermånedene juni-august var det ingen signifikant trend, mens for høstmånedene er det beregnet en nedgang på $0.23\% \pm 0.08\%$ pr. år. Som det fremgår av figur 14, har trenden ikke vært jevn i perioden 1979 til 1998. Grunnen til dette er sannsynligvis at de meteorologiske forhold, som har betydning for ozonlagets tykkelse, varierer fra år til år. Figur 15 viser



Figur 14. Variasjon i ozonmengden over Oslo 1979-1998 basert på målinger med Brewer- og Dobson-instrumentene. Sesongvariasjonene er fjernet. På denne måten kommer trenden tydeligere frem enn i figur 13. Verdiene i figuren må ikke oppfattes som reelle månedsmidler (totalozon) siden sesongvariasjonene er fjernet.

årsmiddelet for hvert av årene fra 1979 til 1998 relativt til langtids-årsmiddelet (1979-1989). De lave verdiene i 1983, 1992 og 1993 kan 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 1998. For 1998 var derimot avviket mellom årsmiddelet og langtids-årsmiddel mindre enn 1%. Resultatet av trendanalysen er også vist i tabell 2.

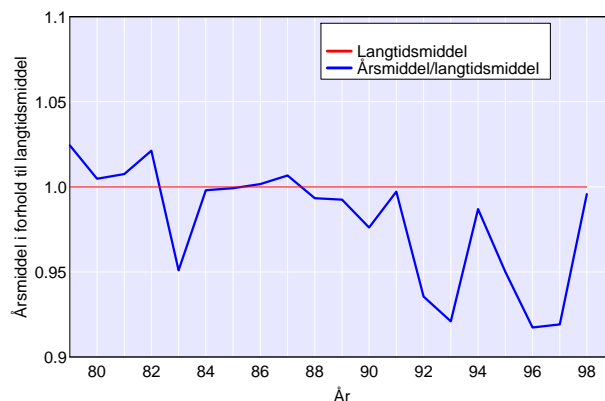
Tabell 2. Endring i ozonmengden i prosent pr. år for Oslo for perioden 1.1.1979 til 31.12.1998. Tallene i parentes angir usikkerheten (1 standardavvik). Data fra Dobson- og Brewer-instrumentene er benyttet. En trend større enn to standardavvik anses for å være statistisk signifikant.

Årstid	Trend
Vinter: desember-februar	-0.56 (0.17)
Vår: mars-mai	-0.67 (0.15)
Sommer: juni-august	-0.16 (0.10)
Høst: september-november	-0.23 (0.08)
Hele året:	-0.39 (0.07)

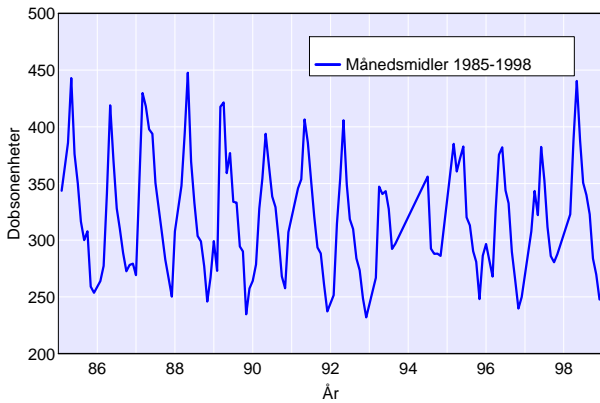
3.2 Tromsø

For Tromsø har vi en sammenhengende måleserie fra 1935 til 1971 og fra 1985 til 1998. Disse dataene har blitt re-evaluert og vil bli presentert i sin helhet i et doktorgradsarbeid (Trond Svenøe, 1999) som er utført ved NILUs Tromsø-avdeling og Universitetet i Tromsø. Resultatene av trend analysen for perioden 1985 til 1998 er vist nedenfor.

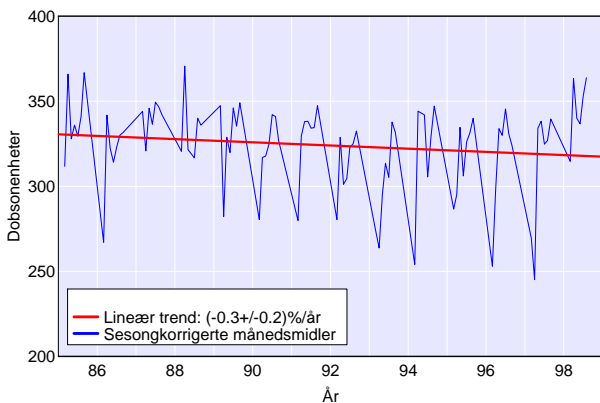
Figur 16 viser hvordan ozonmengden, basert på månedsmidler, har variert over Tromsø i perioden januar 1985 til desember 1998. Månedsmidlene er her



Figur 15. Årsmidler i perioden 1979-1998 for Oslo basert på målinger med Dobson- og Brewer-instrumentet i Oslo. Figuren viser forholdet mellom hvert årsmiddel og langtids-årsmiddel for 1979-1989.



Figur 16. Månedsmidler av ozonmengden over Tromsø 1985 til 1998 målt med Dobson instrumentet



Figur 17. Variasjon i ozonmengden over Tromsø 1985-1998 basert på målinger med Dobson-instrumentet og TOMS-instrumentene. TOMS-data er benyttet til å beregne månedsmidler for de månedene i 1993/94 da Dobson-instrumentet var ute av drift. 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.

basert på målinger fra Dobson instrumentet. Fra september 1993 til og med mai 1994 var Dobson instrumentet ute av drift på grunn av en vannskade. Dette gjør at det ikke er mulig å gjøre en trend analyse på dette datasettet. En sammenligning av månedsmidler fra TOMS instrumentene ombord på henholdsvis Nimbus7, Meteor3 og Earth Probe (se avsn. 3.1) og Dobson instrumentet gir en midlere differanse på $2\% \pm 3\%$. Ved å kombinere disse datasettene er det mulig å beregne månedsmidler for de månedene Dobson instrumentet ikke var i drift.

Figur 17 viser variasjonen i ozonmengden over Tromsø 1985 til 1998 etter at sesongvariasjonene er fjernet. Dataene er basert på målinger fra Dobson instrumentet, samt målinger fra TOMS for de månedene det ikke finnes Dobson data. Da det var flere år hvor man ikke hadde data for desember og januar, er disse månedene utelatt for hele perioden. En trend-

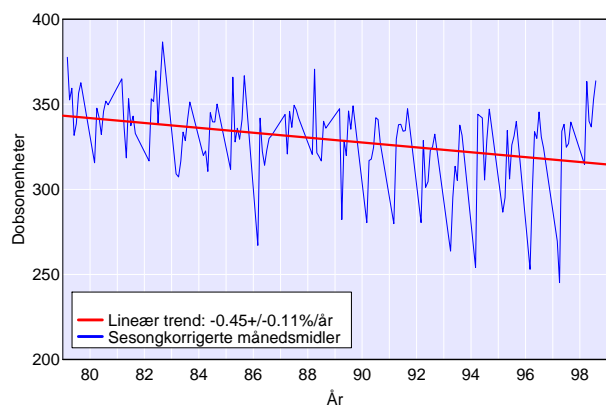
analyse på dette datasettet gir ingen signifikant trend.

Det første TOMS instrumentet ombord på NIMBUS 7 satellitten startet å måle total ozon i 1979 og var i drift frem til 1993. Ved å kombinere hele dette datasettet med Dobson data fra Tromsø, samt data fra de øvrige TOMS instrumentene er det mulig å beregne trend for perioden 1979 til 1998. Resultatene fra denne trend analysen er vist i figur 18. Vintermånedene (november til og med februar) er ikke inkludert i analysen på grunn av manglende data. En trendanalyse på dette datasettet gir en signifikant negativ trend på $-0.45\% \pm 0.11\%$ pr. år på årsbasis.

Nedgangen for vårmånedene mars-mai er $0.68\% \pm 0.16\%$, mens nedgangen er $0.25\% \pm 0.10\%$ for som-

Tabell 3. Endring i ozonmengden i prosent pr. år for Tromsø for perioden 1.1.1979 til 31.12.1998 og perioden 1.1.1985 til 31.12.1998. Tallene i parentes angir usikkerheten (1 standardavvik). Data fra Dobson instrumentet og TOMS instrumentet er benyttet. En trend større enn to standardavvik anses for å være statistisk signifikant

Årstid	Periode	Trend
Vår: mars-mai	1985-1998	-0.69 (0.37)
Sommer: juni-august	1985-1998	-0.04 (0.16)
Hele året: mars-september	1985-1998	-0.30 (0.20)
Vår: mars-mai	1979-1998	-0.68 (0.16)
Sommer: juni-august	1979-1998	-0.25 (0.10)
Hele året: mars-september	1979-1998	-0.45 (0.11)



Figur 18. Variasjon i ozonmengden over Tromsø 1979-1998 basert på målinger med Dobson-instrumentet og TOMS. Dataene fra 1979 til 1984 er i sin helhet basert på TOMS-målinger. I perioden 1985 til 1998 er månedsmidlene basert på Dobson-data, samt TOMS-data for de månedene det ikke finnes Dobson-data. Verdiene i figuren må ikke oppfattes som reelle månedsmidler (totalozon) siden sesongvariasjonene er fjernet.

mer månedene juni-august. Resultatene av trendanalysen er også vist i tabell 3. Figur 19 viser årsmiddelet for hvert av årene fra 1985 til 1998 basert på Dobson målingene. 1993 og 1994 er utelatt pga manglende data.

3.3 Spitsbergen

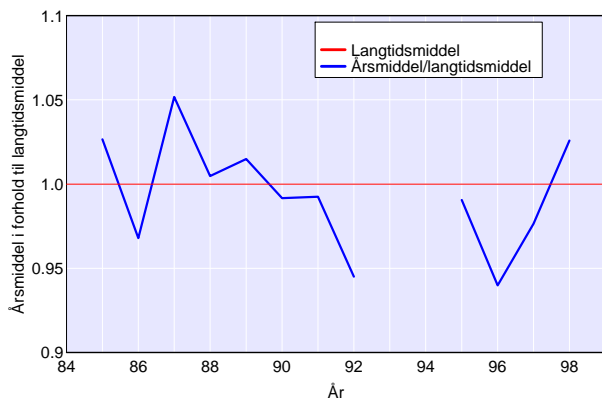
For Svalbard har vi en måleserie fra 1950 til 1969 (Longyearbyen) og fra 1984 til 1997 (Longyearbyen og Ny-Ålesund). Disse dataene bør re-evalueres før en faglig forsvarlig trendanalyse kan utføres. Arbeidet med re-evaluering av Svalbard-dataene utføres av NILUs Tromsø-avdeling som en del av et doktorgradsarbeid (Trond Svenøe, 1999).

4. Sammenligninger av målinger fra forskjellige instrumenter

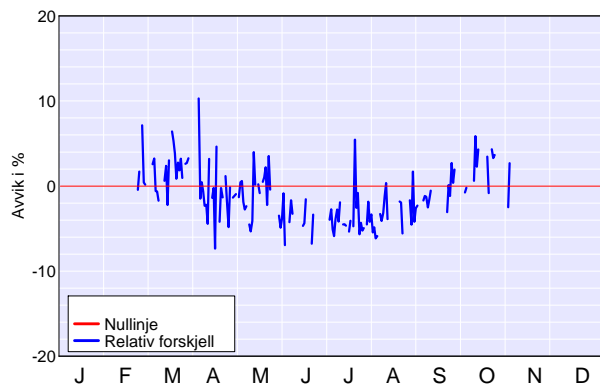
4.1 Innledning

Vi ser her på sammenligninger av målinger utført med Dobson og Brewer-spektrofotometrene samt GUV og TOMS. Disse instrumentene og deres måleprinsipp er beskrevet i Appendix 1.

Både Dobson-, Brewer-, TOMS-, 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. Dobson- og Brewer-instrumentene måler på det direkte sollyset eller på det spredte sollyset fra senit, mens TOMS-instrumentene måler sollyset som spres tilbake fra atmosfæren. 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



Figur 19. Årsmidler i perioden 1985-1998 for Tromsø basert på målinger med Dobson- og Brewer-instrumentet i Tromsø. Figuren viser forholdet mellom hvert årsmiddel og langtidsmiddelet for 1950-1972



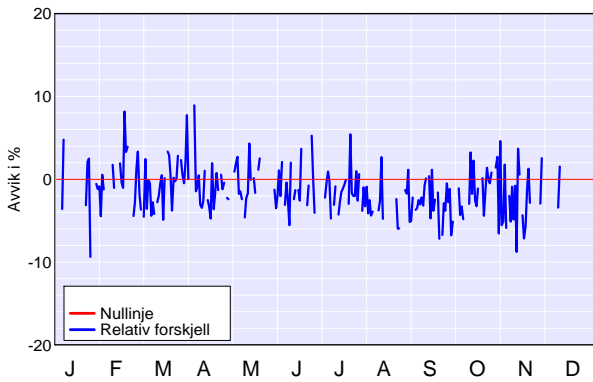
Figur 20. Sammenligning mellom direkte-sol ozonmålinger utført med Brewer og TOMS for Oslo i 1998, $100 \cdot (\text{Brewer} - \text{TOMS}) / \text{Brewer}$.

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 middelverdier over en lengre tidsperiode (f.eks. over en måned) skille seg lite fra instrument til instrument.

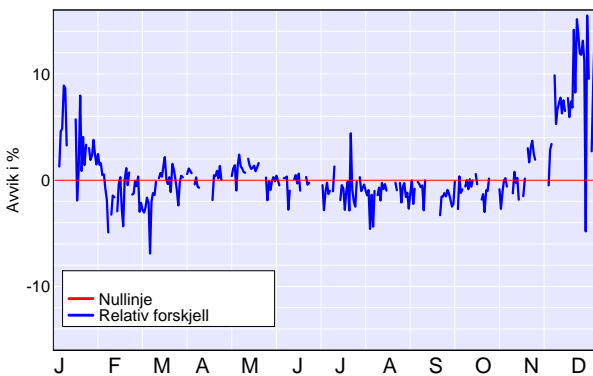
4.2 Oslo

Datamaterialet fra Dobson-instrumentet i Oslo i 1998 var for lite til å brukes i en sammenligning av data fra flere instrumenter. Værforholdene gjorde at det ble tatt få direkte-sol målinger på våren og i forbindelse med flytting av instrumentet til Harestua ble det ikke foretatt målinger i juli og august.

Figur 20 viser prosentvis avvik for Brewer direkte-sol-målinger i forhold til TOMS i Oslo i 1998. Avviket er -1.1% på årsbasis, og standardavviket er 3.3%. Figuren viser at det er en klar årstidsvariasjon i avviket. Dette skyldes at de bølgelengdene som brukes i direkte-sol målingene er følsom for endringer i temperaturen. Som nevnt i avsnitt 1.1 har man ved Universitetet i Oslo utviklet en ny analysemetode hvor man benytter seg av global irradians (direkte + diffus stråling) for beregning av total ozon. Denne analysen benytter seg av et annet bølgelengdepar enn direkte-sol målingene og viser seg å være mindre følsom for temperatur endringer. Figur 21 viser prosentvis avvik for Brewer i forhold til TOMS i Oslo i 1998, når man benytter seg av denne metoden. Årstidsvariasjonen er ikke lenger tydelig og det er god overensstemmelse mellom de to data settene. Avviket er nå -1.3% på årsbasis, og standardavviket er 3.0%. Den nye metoden for analyse av Brewer data er lite følsom for skyer og kan derfor benyttes både i klarvær og overskyet vær. I 1998 var



Figur 21. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Brewer global irradians og TOMS for Oslo i 1998, $100 \cdot (\text{Brewer} - \text{TOMS}) / \text{Brewer}$.



Figur 22. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Brewer og GUV-511 for Oslo i 1998, $100 \cdot (\text{Brewer} - \text{GUV}) / \text{Brewer}$.

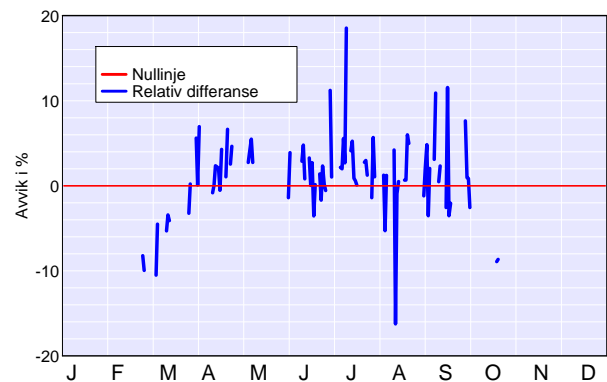
det 169 dager med direkte-sol målinger fra Brewer instrumentet, mens global irradians metoden ga hele 251 dager med målinger.

Figur 22 viser prosentvis avvik for GUV-511 i forhold til Brewer-instrumentet i Oslo i 1998. Ozonverdiene fra Brewer instrumentet er beregnet fra global irradians. Her er avviket på årsbasis 0.7% med et standardavvik på 3.5%. Avvikene er størst om vinteren når solen er lav. Både GUV målingene og Brewer målingene er følsomme for endringer i ozonprofilen ved høy solvinkel. Dette er det tatt høyde for i analysen av Brewer målingene, men ikke i analysen av GUV målingene. Dette kan forklare de relativt store avvikene som observeres i desember og januar når solvinkelen er høy.

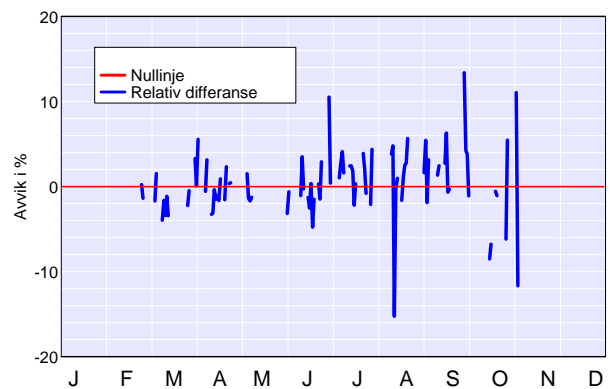
4.3 Tromsø og Ny-Ålesund

Figur 23 viser prosentvis avvik for Brewer i forhold til Dobson-instrumentet i Tromsø. På årsbasis er avviket 0.6% med standardavvik 5.0%. Både direkte-sol og senitlys målinger er tatt med.

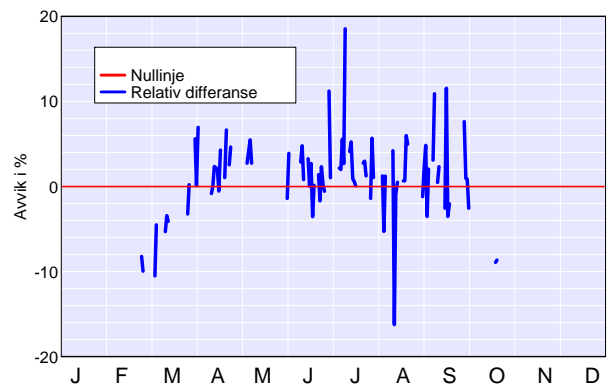
Sammenligning mellom GUV- og Dobson-instrumentene i Tromsø og i Ny-Ålesund er vist i figur 24. For Tromsø er avviket på årsbasis for GUV relativt til Dobson 0.5% med standardavvik 4.5%.



Figur 23. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Dobson- og Brewer-instrumentet for Tromsø i 1998, $100 \cdot (\text{Dobson} - \text{Brewer}) / \text{Dobson}$.



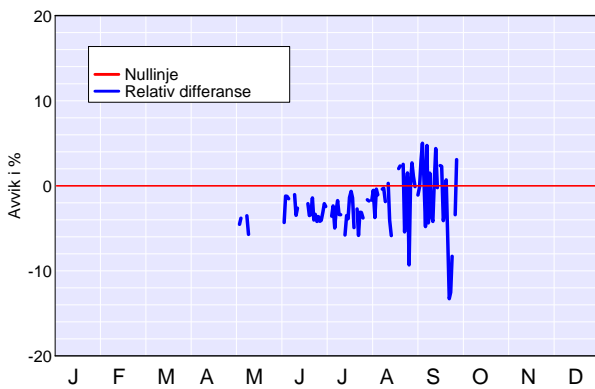
Figur 24. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med GUV-541 og Dobson-instrumentet i Tromsø i 1998, $100 \cdot (\text{Dobson} - \text{GUV}) / \text{Dobson}$.



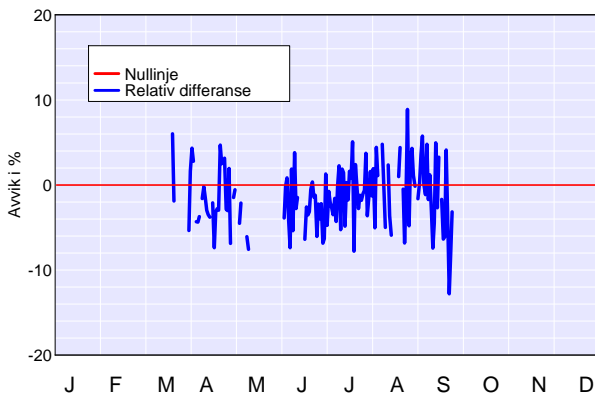
Figur 25. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Brewer og TOMS for Tromsø i 1998, $100 \cdot (\text{Brewer} - \text{TOMS}) / \text{Brewer}$.

Figur 25 viser prosentvis avvik for Brewer i forhold til TOMS i Tromsø. Det relative avviket er 0.2%, med et standardavvik på 3.7%.

Figur 26 viser prosentvis avvik mellom GUV- og Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund. Her er brukt Dobson direkte-sol og Dobson senitlysmålinger. GUV data for perioden februar til april mangler. Dette skyldes at når det er høye ozon verdier kom-



Figur 26. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med GUV-541 og Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund i 1998, $100 \cdot (\text{Dobson} - \text{GUV}) / \text{Dobson}$.



Figur 27. Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Dobson og TOMS for Ny-Ålesund i 1998, $100 \cdot (\text{Dobson} - \text{TOMS}) / \text{Dobson}$.

binert med lav sol blir signalet på 305 nm-kanalen for lavt til beregning av total ozon. Disse målingene er derfor ikke inkludert i sammenligningen. Ozonverdier fra perioden som mangler kan beregnes ved å benytte et annet bølgelengdepar, f.eks 320/313 nm. Avviket mellom GUV relativt til Dobson er -2.3%, med et standardavvik på 3.2%

Figur 27 viser prosentvis avvik for TOMS i forhold til Dobson i Ny-Ålesund. Det relative avviket er -1.3%, med et standardavvik på 3.7%.

Resultatet av sammenligningene mellom Brewer, Dobson, TOMS og GUV-511 er vist i tabell 4 og 5. Overensstemmelsen mellom de fire instrumentene 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.

Tabell 4. Avvik i prosent for TOMS (T) og GUV (G) i forhold til Brewer (B) 1998. Tallene i parentes angir standardavviket. Her er brukt Brewer irradians forhold.

Stasjon	(B-T/B)	(B-G)/B
Oslo	-1.3 (3.0)	0.7 (3.5)
Tromsø	-0.2 (3.7)	0.1 (4.2)

Tabell 5. Avvik i prosent for Brewer (B), GUV (G) og TOMS (T) i forhold til Dobson (D) for 1998. Tallene i parentes angir standardavviket

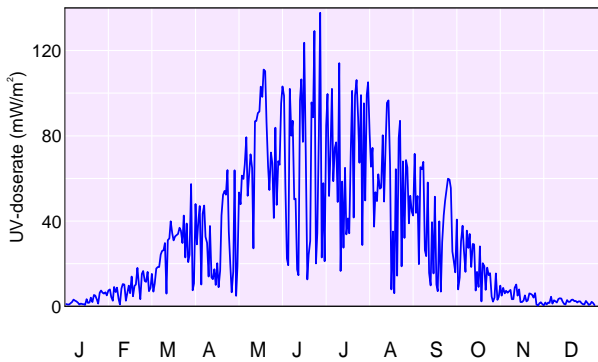
Stasjon	(D-B)/D	(D-G)/D	(D-T)/D
Tromsø	0.6 (5.0)	0.5 (4.5)	-0.02 (5.4)
Ny-Ålesund		-2.3 (3.2)	-1.3 (3.7)

5. UV-målinger

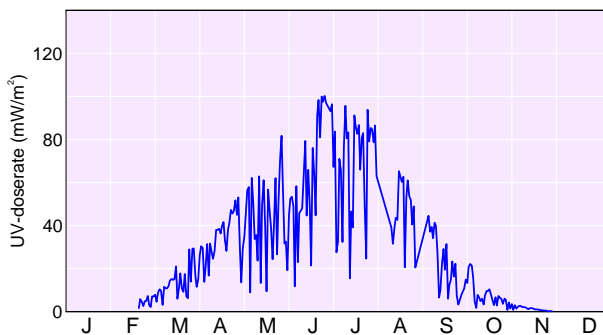
5.1 Måleresultater 1998

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 i gang i juli 1995. 1998 er dermed det tredje året med komplett måleserie for de tre stasjonene.

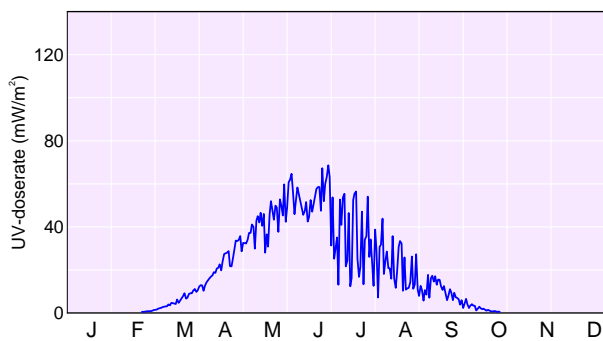
Figurene 28, 29 og 30 viser timesmiddel av UV-dose-raten midt på dagen (mellom 10:30 og 11:30 GMT) for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. UV-dose-raten er et mål på den samlede biologiske effekten av UV-A og UV-B stråling (se avsnitt 5.3). Enheten for dose-rate er mW/m^2 men den kan også angis ved en UV-indeks. UV-indeks 1 tilsvarer $25 \text{ mW}/\text{m}^2$. Høyeste verdi i Oslo i 1998, $138 \text{ mW}/\text{m}^2$, ble målt 25. juni som tilsvarer en UV-indeks på 5.5. Den høyeste målte verdi i Tromsø, $100 \text{ mW}/\text{m}^2$ (UV-indeks 4.0), ble målt 23. juni. Maksimal-verdien i Ny-Ålesund, $69 \text{ mW}/\text{m}^2$ (UV-indeks 2.8) ble registrert 27. juni. De høyeste nivåene vil normalt inntreffe 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 dose-raten som skyldes solhøyden kommer tydelig frem i figurene 28, 29 og 30. De store variasjonene i dose-raten fra dag til dag skyldes hovedsakelig varierende skydekke, men varierende ozonmengde spiller også en viktig rolle. I 1998 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 omkring sola er skyfri. Den



Figur 28. UV-dose-raten midt på dagen fra 01.01.98 til 31.12.98 målt med GUV-511-instrumentet ved Universitetet i Oslo.



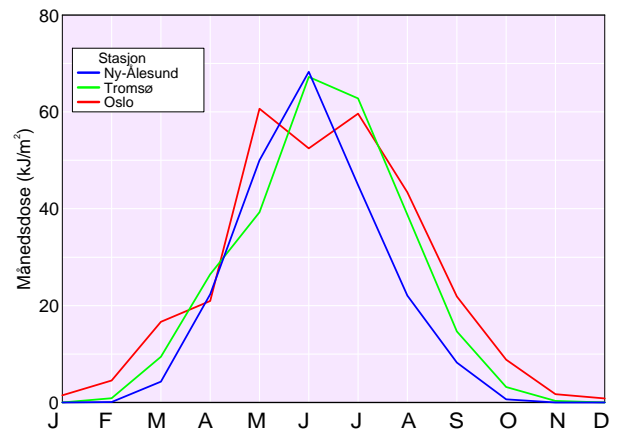
Figur 29. UV-dose-raten midt på dagen fra 01.01.98 til 31.12.98 målt med GUV-541-instrumentet ved Universitetet i Tromsø.



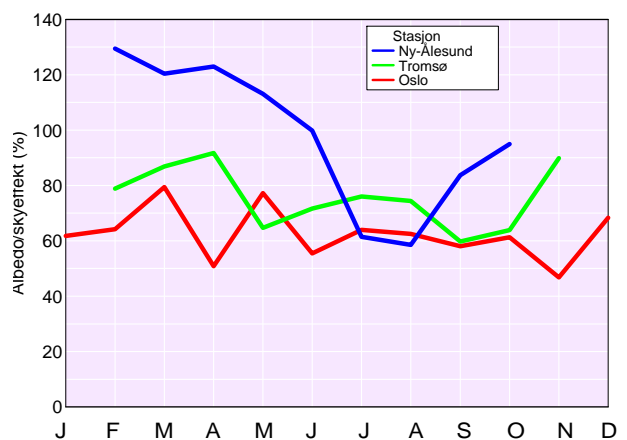
Figur 30. UV-dose-raten midt på dagen fra 01.01.98 til 31.12.98 målt med GUV-541-instrumentet i Ny-Ålesund.

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 bølgelengdeuavhengig slik at skyer demper UV-A og UV-B i like stor grad.

Figur 31 viser UV-månedsdosen for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund i 1998. 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 svært overraskende resultat



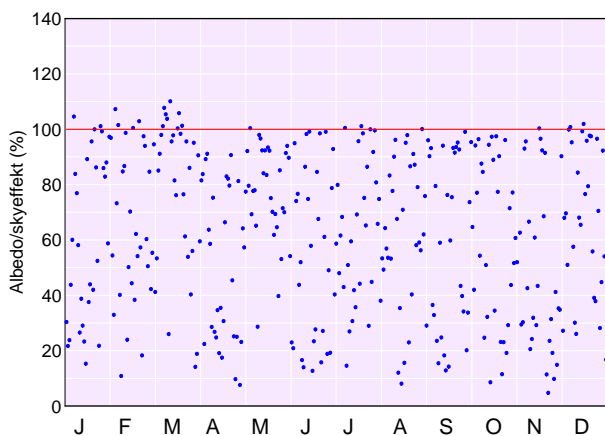
Figur 31. Månedlige integrerte UV-doser i 1998 målt med GUV-instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund.



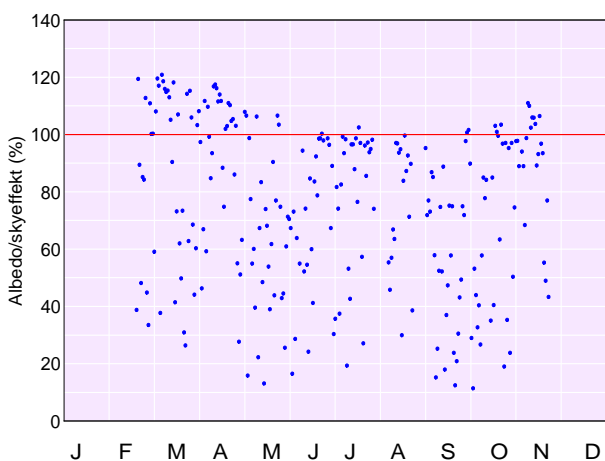
Figur 32. Albedo/skyeffekter for hver måned i 1998 målt med GUV-instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. Hvert punkt viser månedsverdien av UV-dosen i prosent av klarværsverdien med null bakkerefleksjon.

er at for juni har Ny-Ålesund og Tromsø høyere månedsdose enn Oslo. Forklaringen på dette resultatet er illustrert i figur 32 som viser albedo/skyeffekten for hver måned i 1998 for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. Albedo/skyeffekten (avsnitt 5.3) beskriver transmisjonen i prosent av klarværsverdien for null bakkerefleksjon (barmark). For juni var albedo/skyeffekten i Ny-Ålesund 100%, Tromsø 72% og i Oslo 55%.

Figur 33 viser albedo/skyeffekt for Oslo for hver dag i 1998. 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 34 og 35 viser albedo/sky-effekt for Tromsø og Ny-



Figur 33. Effekter av skyer og bakkealbedo på UV-stråling ved jordens overflate i Oslo i 1998 i prosent av klarværsverdien med null bakkerefleksjon. Hvert punkt representerer middelerdien 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.

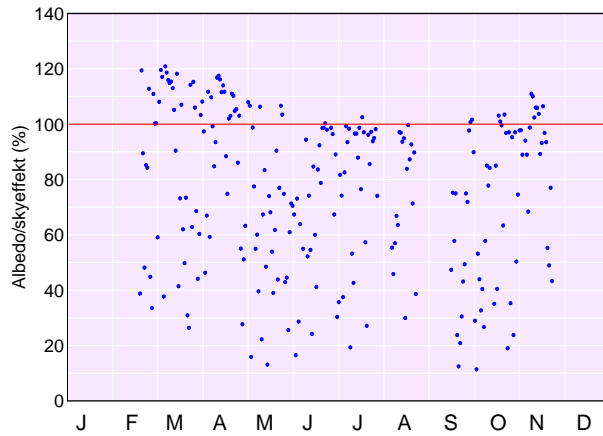


Figur 34. Effekter av skyer og bakkealbedo på UV-stråling ved jordens overflate i Tromsø i 1998 i prosent av klarværsverdien med null bakkerefleksjon. Hvert punkt representerer middelerdien mellom 10:30 og 11:30 GMT for en bestemt dag. Den horisontale linjen representerer klarvær og barmark. Verdier over denne linjen betyr at skyer og/eller bakkealbedo øker UV-nivået sammenlignet med klarvær og bar bakke.

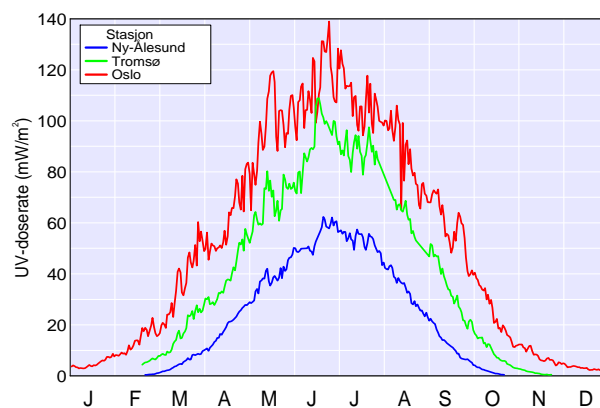
Ålesund. Disse skiller seg fra Oslo med høyere maksimal-verdier.

De høyeste verdiene (120%) inntreffer i Tromsø og Ny-Ålesund. Dette skyldes antagelig at disse stasjonene er fullstendig dekket av snø mens Oslo har en del bare områder om vinteren (bare gater og hustak). Det er også mulig at snødekket i Tromsø og Ny-Ålesund har høyere albedo enn snødekket i Oslo.

Som nevnt tidligere, skyldes de store dag til dag-variasjonene i UV-dose-raten (figurene 28, 29 og 30)



Figur 35. Effekter av skyer og bakkealbedo på UV-stråling ved jordens overflate i Ny-Ålesund i 1998 i prosent av klarværsverdien med null bakkerefleksjon. Hvert punkt representerer middelerdien 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 36. UV-dose-raten midt på dagen redusert til klarvær og null bakkerefleksjon for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund for 1998.

først og fremst variasjon i skydekket og totalozon. Figur 36 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 figurene 33, 34 og 35 og i figurene 28, 29 og 30. På denne måten kommer effekten av varierende totalozon på UV-dose-raten tydelig frem. Ved å sammenligne resultatene i figurene 28, 29 og 30 med resultatene i figur 36 er det klart at varierende skydekke har større betydning på UV-nivået enn variasjon i ozonlagets tykkelse. Når effekten av skyer og bakkealbedo er fjernet ser man at UV dosen for Oslo, som forventet, ligger klart høyere enn Ny Ålesund og Tromsø.

5.2 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 årdsdoser fra 1996. Årdsdoser for de tre stasjonene i nettverket er gjengitt i tabell 6. GUV-instrumentet i Tromsø var ute av drift i to uker i august 1998. Månedsdosen for denne måneden er anslått ved å beregne døgn doser fra ozonmålinger utført med TOMS instrumentet og anta en midlere skytransmisjon på 75% for de dagene det ikke finnes GUV data. Dette gir en usikkerhet i årdsdosen for Tromsø på ca. 4%.

Tabell 6. Årlige doser av UV-B-stråling (kJ/m^2) for 1995-98 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
1998	293.1	255.8	220.9

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

5.3 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 lang-

bølgete 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 ingenting 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. virkningsspekteret. 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 middelverdien 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 1998, 0.138 W/m^2 , får en UV-indeks på 5.5. 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 benyttes alle UV-kanalene (305nm, 320nm, 340nm og 380nm). Totalozon bestemmes fra forholdet mel-

lom 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 bøl-gelengdeavhengig 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.

5.4 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 referanse-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.

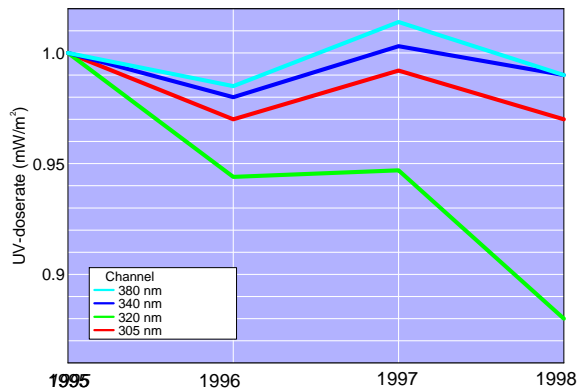
I mai 1998 ble referanse-instrumentet kalibrert hos Biospherical Instruments. I juni 1998 ble instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund kalibrert mot referanse-instrumentet. Referanse-instrumentet blir flyttet til hver stasjon slik at det ikke blir brudd i måleseriene. Ved disse re-kalibreringene ble endringene i kanalenes følsomhet bestemt. Endring i kanalens følsomhet i 1996, 1997 og 1998 relativt til kalibreringen i mai/juni 1995 er vist for instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund i henholdsvis Figur 37, 38 og 39. 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 den samlede driften fra 1995 til 1997 på 320nm-kanalen ca -5.5%, mens den var mindre enn 1.5% på de øvrige kanalene. Fra 1997 til 1998 ble følsomheten på 320nm-kanalen redusert med ytterligere 7.6%, slik at den samlede drift fra 1995 til 1998 for 320nm-kanalen var -13%. De øvrige kanalene hadde en samlet drift på -1% til -3% fra 1995 til 1998.

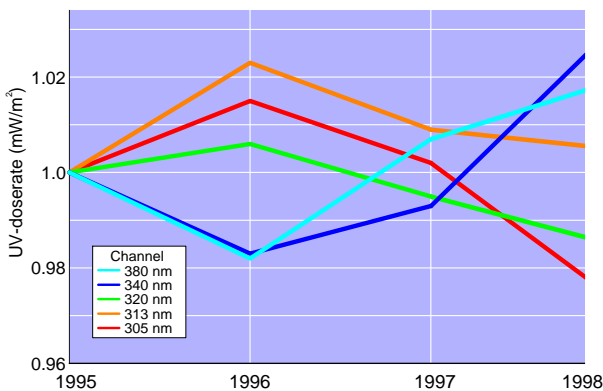
For GUV-instrumentet i Tromsø var driften innenfor $\pm 1\%$ fra 1995 til 1997. Fra 1997 til 1998 var driften på 313nm-, 320nm- og 380nm-kanalen mindre enn 1%, mens 305nm- og 340nm-kanalene hadde en drift på henholdsvis -2.9% og +3.7%. Den samlede driften fra 1995 til 1998 ligger innenfor $\pm 3\%$ for samtlige fem kanaler.

For GUV-instrumentet i Ny-Ålesund var det fra 1995 til 1996 en positiv drift for alle kanaler (dvs. økt følsomhet) som varierte fra 0.5 til 6%. Fra 1996 til 1997 ble dette delvis rettet opp, slik at driften fra 1995-97 lå innenfor -1 til +4%. Fra 1997 til 1998 hadde 313nm- og 320nm-kanalene en negativ drift på ca. 7%. For de andre kanalene var driften mindre enn 2.5% fra 1997 til 1998. Den samlede driften fra 1995-98 ligger innenfor 3.5% for samtlige fem kanaler.

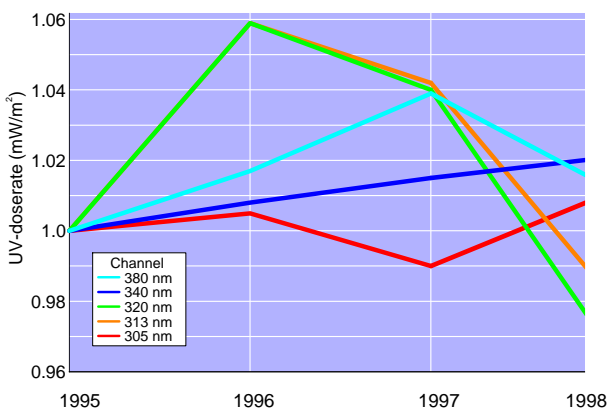
For alle måledata som er presentert i denne rapporten er det antatt en lineær drift på grunnlag av verdiene i vist i figurene. Kvaliteten på måledataene ville kunne øke hvis hver stasjon ble utstyrt med en lam-



Figur 37. Utvikling av de enkelte kanalenes følsomhet for GUV-511-instrumentet i Oslo fra 1995 til 1998.



Figur 38. Utvikling av de enkelte kanalenes følsomhet for GUV-541-instrumentet i Tromsø fra 1995 til 1998.



Figur 39. Utvikling av de enkelte kanalenes følsomhet for GUV-541-instrumentet i Ny-Ålesund fra 1995 til 1998.

pe-enhet for relativ kalibrering. En slik relativ kalibrering kunne dermed utføres på hver stasjon f.eks. én gang pr. måned. En slik lampeenhet er planlagt utviklet ved NILU i forbindelse med utvikling av NILU-UV-instrumentet, som er NILUs egenutviklede UV-instrument.

Så lenge driften holder seg innenfor 2-3% pr. år vil ikke feilen bli stor ved å anta lineær drift. Kanalen for 320 nm i Oslo-instrumentet er et problem, og det vurderes å skifte ut denne.

Appendix: Instrumentbeskrivelse

A.1 Dobson-spektrofotometeret

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 senitlyset, 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.

A.2 Brewer-spektrofotometeret

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 bølgelengder 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 tilfredsstillende 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).

A.3 TOMS

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.

A.4 SAOZ

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 510nm (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 1° 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).

A.5 GUV

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 380nm, 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 (400-700nm) er erstattet av en 313nm-kanal med 10nm båndbredde. Denne kanalen er planlagt benyttet til ozonmålinger ved lav sol og vil supplere måleperioden til Dobson- og Brewer-instrumentene i Tromsø og i Ny-Ålesund.

A.6 Ozonlidar

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 ozon, mens lys ved 353nm ikke absorberes av ozon. Ved å sammenligne retursignalet ved disse to bølgelengdene 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 1.4MHz. 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 tidsoppløsningen ved å redusere innsamlingsfrekvensen, men da blir den vertikale oppløsningen redusert.

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

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. In: *Proceedings of the fourth European Symposium on Polar Stratospheric Ozone, 22 to 26 September 1997*. (European Commission, Air pollution research report 66.) pp. 249-252.
- Braathen, G.O, Dahlback, A., Svenøe, T., Bojkov, B. and Hansen, G. H. (1998) Overvåking av ozonlaget. Årsrapport 1997. Kjeller (NILU OR 56/98).
- 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 modelling. 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. (1998) Ozonmålinger med Dobson- og Brewer-instrumentet ved Universitetet i Tromsø. (Måledata).
- Svenøe, T. (1999) Re-evaluation of the Tromsø ozone record from 1935 to 1971 and 1984 to 1998, to be published.
- Høiskar, B.A.K., Dahlback, A., Vaughan, G., Braathen, G.O., Goutail, F., Pommereau, J.-P. and Kivi, R. (1995) Seasonal variations in air mass 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 modelling 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. (1998) Ozonmålinger med Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund og Brewer- og Dobson-instrumentet ved Universitetet i Oslo i 1998. (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-2027 Kjeller

Rapporttype: Oppdragsrapport	Rapport nr.: OR 63/99	ISBN 82-425-1129-2 ISSN 0807-7207	
Dato 2.11.99	Ansv. sign. Øystein Hov (sign.)	Antall sider: 28	Pris: NOK 110,-
Tittel: Overvåking av ozonlaget og naturlig ultrafiolett stråling. Årsrapport 1998		Prosjektleder: Geir O. Braathen	
		NILU prosjekt nr.: O-8985	
Forfattere: Britt Ann K. Høiskar, 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 1998. For Oslo er trenden i totalozon for tidsrommet 1979-1998 beregnet. For Tromsø er trenden for 1985-1998 beregnet.			
Title: Monitoring of the ozone layer and natural ultraviolet radiation. Annual report 1998.			
Abstract: Data for total ozone, the vertical distribution of ozone and UV radiation at Norwegian measurement sites are given for the year of 1998. The trend in total ozone for Oslo for the time period 1979-1998 has been calculated. The trend in total ozone for Tromsø has been calculated for the 1985-1998 time periods.			

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



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, 2027 Kjeller

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

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