Statlig program for forurensningsovervåking

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn

Deltakende institusjon: NILU

Rapport nr.: 833/01

Overvåking av atmosfærens ozonlag og naturlig ultrafiolett stråling

Årsrapport 2000

TA-1829/2001

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.

Forsidebilde: Brewer- og GUV instrumentene på taket av Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.
Foto: Arne Dahlback, UiO

NILU OR 35/2001

NILU: OR 35/2001
RERERANSE: O-8985
DATO: Oktober 2001
ISBN: 82-425-1280-9

Overvåking av atmosfærens ozonlag og naturlig ultrafiolett stråling

Årsrapport 2000

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

[*]Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, Postboks 1048, Blindern, 0316 Oslo
[**]UNIS, Postboks 156, 9170 Longyearbyen

Utført etter oppdrag fra
Statens forurensningstilsyn

Sammendrag

Vinteren 1999/2000 ble det observert en kraftig nedbrytning av ozonlaget over Arktis. Nedbrytningen var størst rundt 18 km over bakken, hvor ozonmengden var redusert med over 70% fra januar til mars. Dette er den kraftigste ozonreduksjonen som er observert i Arktis og skyldes i hovedsak kjemisk nedbrytning. Spesielt for denne vinteren var de ekstremt lave temperaturene i stratosfæren fra desember 1999 til slutten av mars 2000. Lave temperaturer er nødvendig for å sette fart i ozonnedbrytningen. Den observerte ozonnedbrytningen fant sted innenfor et relativt lite høydeintervall, og dette gjør at reduksjonen i den totale ozonmengden ikke var dramatisk. For både Ny-Ålesund, Andøya og Oslo lå månedsmiddelet for mars 5-14% under langtids-månedsmiddelet.

Basert på bakkemålinger i Oslo er det utført en trendanalyse for perioden 1979-2000. Analysen gir en gjennomsnittlig nedgang på 0.58% pr. år om våren og 0.23% pr. år om høsten. Det observeres ikke en signifikant trend om sommeren og om vinteren. På årsbasis er nedgangen 0.30% pr. år. For Andøya er det utført en trendanalyse for perioden 1979-1999, hvor man har benyttet en kombinasjon av Dobson-, Brewer- og TOMS-målinger. Det er ikke observert noen signifikant trend i ozonmengden for denne perioden.

Det er beregnet årlige integrerte UV-doser for Oslo, Andøya og Ny-Ålesund basert på målinger fra GUV-instrumentene.

Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100
2027 Kjeller

Innhold

Sammendrag 5

KAPITTEL 1: Målinger av totalozon i 2000 7

1.1 Oslo 7
1.2 Andøya 8
1.3 Ny-Ålesund 8

KAPITTEL 2: Målinger av ozonprofiler i 2000 9

2.1 Ozonsonder 9
2.2 Ozon-lidar 10

KAPITTEL 3: Ozonmålinger 1979-2000 11

3.1 Oslo 11
3.2 Andøya 12
3.3 Spitsbergen 13

KAPITTEL 4: Sammenligninger av målinger fra forskjellige instrument 14

4.1 Innledning 14
4.2 Oslo 14
4.3 Andøya 14
4.4 Ny-Ålesund 15

KAPITTEL 5: UV-målinger 15

5.1 Måleresultater 2000 16
5.2 Årsdoser 18
5.3 Målemetoder 18
5.4 Kalibrering og drift av UV-instrumentene 19

Appendix: Instrumentbeskrivelse 21

Referanser 23

Sammendrag

De tre norske stasjonene som måler totalozon (Oslo, Andøya og Ny-Ålesund på Svalbard) viser månedsmidler for våren 2000 som ligger noe under langtids-månedsmidlene. For resten av året ligger månedsmidlene for det meste nær langtids-månedsmiddel. I Oslo lå månedsmidlene 3-14% under månedsmiddelverdiene for 1979-1989 gjennom hele året, bortsett fra i desember hvor månedmiddel-verdien var 16% over langtids-månedsmiddel. Målingene på Andøya viste at månedsmidlene for mars, april og mai lå 3-8% under månedmidlene for perioden 1950 til 1971. For de øvrige månedene lå månedsmidlene 2-6% over langtidmiddelet. I Ny-Ålesund lå månedsmidlene i mars, april og mai 4-6% under langtidsmiddelet for perioden 1984 til 1991. For de øvrige månedene var avviket mindre enn ± 4%.

Vinteren 1999/2000 ble det observert en kraftig nedbrytning av ozonlaget over Arktis. Nedbrytningen var størst rundt 18 km over bakken, hvor ozonmengden var redusert med over 70% fra januar til mars. Dette er den kraftigste ozonreduksjonen som er observert i Arktis og skyldes i hovedsak kjemisk nedbrytning. Spesielt for denne vinteren var de ekstremt lave temperaturene i stratosfæren fra desember 1999 til slutten av mars 2000. Lave temperaturer er nødvendig for å sette fart i ozonnedbrytningen. Den observerte ozonnedbrytningen fant sted innenfor et relativt lite høydeintervall, og dette gjør at reduksjonen i den totale ozonmengden ikke var dramatisk.

Basert på bakkemålinger i Oslo er det utført en trendanalyse for perioden 1979-2000. Analysen gir en gjennomsnittlig nedgang på 0.58% pr. år om våren og 0.23% pr. år om høsten. For vinteren og sommeren ble det ikke funnet noen signifikant trend. På årsbasis er nedgangen 0.30% pr. år.

For Tromsø er det en sammenhengene måleserie fra 1935-1972 og fra 1985-1999. Disse målingene ble re-evaluert i forbindelse med et doktorgradsarbeid ved Universitet i Tromsø (Svenøe, 2000). I mars 2000 ble Brewer-instrumentet i Tromsø, i samråd med Statens forurensningstilsyn, flyttet til ALOMAR på Andøya. En sammenligning av månedsmiddelverdier for Tromsø og Andøya, basert på TOMS målinger i perioden 1979-2000, gir et midlere avvik på (-0.2±0.8)%. Dette avviket er langt mindre enn usikkerheten i månedsmiddelverdiene som er i størrelseorden 5%. Det konkluderes derfor med at man kan benytte måleserien fra Tromsø for å beregne trend i ozonmengden over Andøya. Det er utført en trendanalyse basert på en kombinasjon av bakkemålinger i Tromsø og på Andøya for perioden 1985-2000. Det ble også utført en trendanalyse for perioden 1979-2000, hvor man benyttet en kombinasjon av Dobson-, Brewer- og TOMS-målinger. Analysen viser ingen signifikant trend i ozonmengden over Tromsø for denne perioden.

På Svalbard er det målt totalozon fra 1950 til 1969 og fra 1984 til d.d. Disse måledataene må imidlertid re-evalueres før en faglig forsvarlig trendanalyse kan foretas.

I Oslo, på Andøya og i Ny-Ålesund måles den ultrafiolette strålingen fra sola kontinuerlig med GUV-instrumenter. For Oslo og Ny-Ålesund er 2000 det femte året med en komplett måleserie. I perioden 1995-1999 var det plassert ett GUV-instrument på Nordlysobservatioriet i Tromsø. I mars 2000 ble dette instrumentet, i samråd med Statens forurensningstilsyn, flyttet til ALOMAR på Andøya. Siden sky-forholdene ved de to stasjonene er svært ulik kan man ikke videreføre måleserien fra Tromsø.

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 2000 for Oslo ble målt i mai. For Andøya og Ny-Ålesund ble de høyeste månedsdosene registrert

i henholdsvis juli og juni. I juni hadde Ny-Ålesund høyere månedsdose enn både Oslo og Andøya.

I 2000 hadde Oslo en årsdose på 363.2 kJ/m^2, mens det ble målt en årsdose på 239.7 kJ/m^2 på Andøya. I Ny-Ålesund ble det målt en årsdose på 231.0 kJ/m^2, og dette er den høyeste som er registrert siden målingene startet i 1996. Den høyeste strålingsintensiteten (dose-raten) i løpet av 2000 ble i Oslo målt den 9. juni. Doseraten midt på dagen var 155 mW/m^2. Dette svarer til en UV-indeks på 6.2. På Andøya ble høyeste dose-rate, 109 mW/m^2, målt den 2. juli. I Ny-Ålesund ble høyeste dose-rate, 71mW/m^2, registrert den 24. juni.

De tre GUV-instrumentene er blitt kalibrert i juni hvert år siden 1996. Tidligere ble instrumentene kalibrert årlig mot et spektroradiometer hos produsenten Biospherical Instruments Inc. i San Diego, California, USA. Data basert på disse kalibreringene har gitt for lave UV-doser sammenlignet med andre målinger. I 2000 ble det derfor bestemt å heller kalibrere GUV-instrumentene mot et spektroradiometer ved Statens Strålevern. Dette spektroradiometeret er meget velkalibrert og er i god overensstemmelse med tilsvarende spektroradiometre i Europa (Nordvang et al., 2000). Den nye kalibreringen medfører at absoluttverdiene heves med ca. 10%. Det er beregnet nye driftskonstanter, basert på den nye kalibreringen.

I 2000 ble det gjort flere forbedringer i programmet som brukes til å beregne UV-doser og totalozon fra GUV-målingene. I løpet av 1999/2000 ble spektralresponsen til de tre GUV-instrumentene målt ved Statens Strålevern. De målte responsene brukes nå i analysen i stedet for teoretiske verdier. I den nye versjonen er det også benyttet mer realistiske ozonprofiler. Dette kan ha stor betydning for våre breddegrader siden ozonverdiene fra GUV-instrumentene er avhengig av ozonprofilen når solen står lavt på himmelen.

Ved Universitetet i Oslo 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. Når måleforholdene er gode er det meget god overensstemmelse mellom Brewer- og Dobson-instrumentene. Stabiliteten til Brewer- og Dobson-instrumentene blir regelmessig sjekket. Brewer-instrumentene i Oslo og på Andøya har i 2000 blitt kalibrert mot et internasjonalt referanse-instrument. Stabiliteten til instrumentene har vært god.

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.

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

Ozonsonde-programmet har i 2000, i tillegg til støtte fra SFT, også fått støtte fra Norges Forskningsråd og EU-kommisjonen. GUV-instrumentene på Andøya og i 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 (Larsen, S. H. H., 1993). Ansvarlig for ozonmålingene ved Andøya har vært Kåre Edvardsen 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. GUV-instrumentene i Oslo, på Andøya og i Ny-Ålesund følges opp av Arne Dahlback og Kåre Edvardsen. Lidar-målingene ved ALOMAR utføres som et samarbeid mellom Norsk Romsenter, NILU (Georg Hansen) og Forsvarets forskningsinstitutt (Ulf Hoppe).

Konklusjon

Måleprogrammet har i 2000 vært gjennomført etter planen og stort sett på samme måte som tidligere år.

I 2000 lå ozonverdiene for Oslo, Andøya og Ny-Ålesund i vårmånedene (januar-april) noe under langtidsmiddelet. For de øvrige månedene lå månedsmidlene stort sett nær langtids-middelverdiene.

Ny-Ålesund hadde i 2000 den høyeste UV-årsdosen siden målingene startet i 1996.

Overvåking av ozonlaget og naturlig ultrafiolett stråling

Årsrapport 2000

1. Målinger av totalozon i 2000

Totalozon (mengden av ozon i en kolonne fra jordoverflaten til toppen av atmosfæren) måles daglig i Oslo, på Andøya og i Ny-Ålesund når observasjonsforholdene gjør dette mulig. I Oslo benyttes Dobson- og Brewer-instrumenter, mens det på Andøya benyttes et Brewer-instrument. På Ny-Ålesund er ozonverdiene basert på målinger fra tre ulike instrument, Brewer-, SAOZ- og GUV.

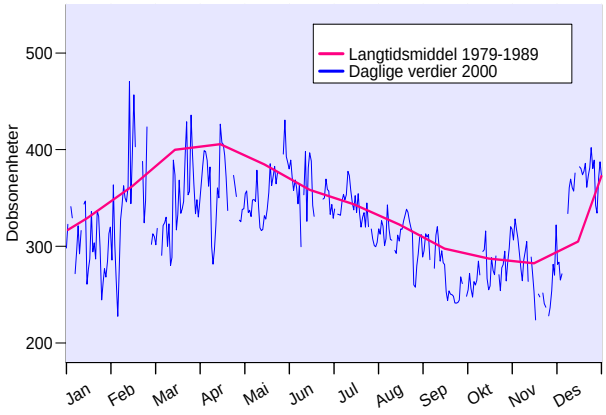
Alle tre stasjoner viste i 2000 verdier som lå nær langtidsmidlene. Store dag til dag-variasjoner spesielt om vinteren og våren, ble også registrert i 2000. Dette er typisk på våre breddegrader og skyldes meteorologiske variasjoner.

Vinteren 1999/2000 ble det observert en kraftig nedbrytning av ozonlaget over Arktisk. Nedbrytningen var størst rundt 18 km over bakken, hvor ozonmengden var redusert med ca. 70% fra januar til mars. Dette er den kraftigste ozonreduksjonen som er observert i Arktis og skyldes i hovedsak kjemisk nedbryning. Spesielt for denne vinteren var de ekstremt lave temperaturene i stratosfæren fra desember 1999 til slutten av mars 2000. Lave temperaturer er nødvendig for å sette fart i ozonnedbrytningen. Den observerte ozonnedbrytningen fant sted innenfor et relativt lite høydeintervall og dette gjør at reduksjonen i den totale ozonmengden ikke var dramatisk.

1.1 Oslo

Daglige ozonverdier for Oslo i 2000, basert på målinger med Brewer-instrumentet, er vist i Figur 1 (Dahlback et al, 2000). Brewer-instrumentet ble kalibrert i juni 2000 av International Ozone Services, Canada. Kalibreringen viste god stabilitet for Brewer-instrumentet. Resultatene som er vist i figur 1, er basert på Brewer irradiansforhold, se avsn. 4.2 og appendix A.2. Denne metoden fungerer svært bra både i overskyet vær og i klarvær og for senitvinkler mindre enn ca. 85˚(Dahlback, 2000). Ozonverdiene fra Brewer-instrumentet er i god overensstemmelse med de man måler med Dobson- instrumentet, se avsn. 4.2. Dette gjør at det er svært få dager uten ozonmålinger i Oslo. 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, blå 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 langtids-middelet, siden det er en mulig sammenheng mellom solflekkaktivitet og totalozon, og denne perioden dekker én solflekksyklus.

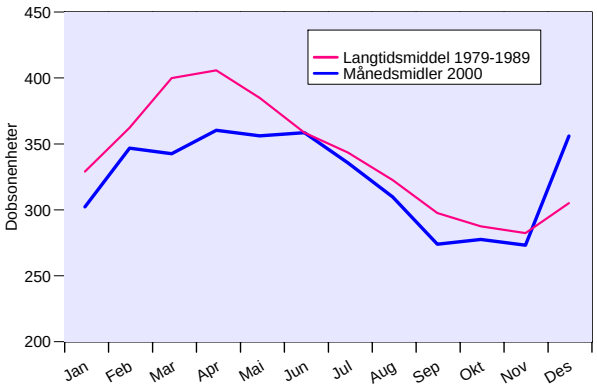
Store dag til dag-variasjoner i totalozon ble observert i løpet av våren 2000. Spesielt store variasjoner er observert i begynnelsen av februar. Årets laveste verdi, 228 DU, ble registrert 5. februar, mens årets høyeste verdi, 471 DU inntraff 13. februar. De høyeste verdiene måles normalt om våren. Dette 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. De lave ozonverdiene som ble registrert 5. februar ble også observert av satellittinstrumentet TOMS. Data fra TOMS viser at det var et minihull over Sør-Norge denne dagen. Et mini-hull er et dynamisk fenomen der et kraftig høytrykk i troposfæren trykker tropopausen oppover. Dette fører til at hele ozonprofilen presses oppover, noe som resulterer i lave verdier for totalozon.



Figur 1. *Daglige ozonverdier målt med Brewer-instrumentet ved Universitetet i Oslo i 2000. Den røde kurven viser månedsmidler fra 1979 til 1989.*

Figur 2 viser månedsmiddelverdiene for 2000 for Oslo. Månedsmiddelverdiene for januar-mai lå 4-14% under langtidsmiddelet for 1979-1989, tabell

1. I juni og juli lå månedmidlene nær langtidsmiddelet, mens månedsmidlene for august - november lå 3-8% under. I desember lå derimot månedsmiddelverdien hele 16% over langtidsmiddelet.



Figur 2. *Månedsmiddelverdier for 2000 og langtids-månedsmiddelverdier for 1979 til 1989 for Oslo.*

1.2 Andøya

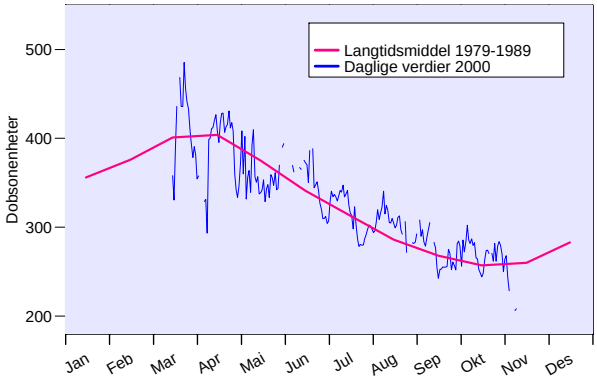
Etter avtale med SFT ble Brewer-instrumentet i Tromsø flyttet til ALOMAR på Andøya i mars 2000. Flyttingen skyldes:

- I Tromsø var Brewer instrumentet plassert på taket på Nordlysobservatoriet. Dette var ikke hensiktsmessig lenger bl.a fordi instrumentrommet hvor PC-ene var plassert ble brukt til undervisning.
- Det er fra NILU's side ønskelig å styrke aktiviteten ved ALOMAR da dette er en NDSC- stasjon (NDSC=**N**etwork for the **D**etection of **S**tratospheric **C**hange). Videre er det ved ALOMAR kyndig teknisk personell som etterser instrumentene daglig.
- Samlokalisering av instrumenter gir bedre mulighet for vitenskapelig utnyttelse av data.

I kap. 3.2 diskuteres hvilke konsekvenser en slik flytting har for kontinuiteten av måleserien fra Tromsø/Andøya.

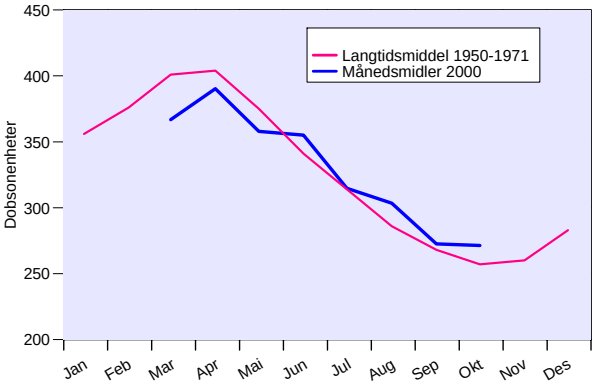
Brewer-instrumentet på Andøya ble kalibrert i juni 2000 av International Ozone Services, Canada. Kalibreringen viser at instrumentet ikke har endret seg siden sist kalibrering. Dette betyr at flyttingen ikke har påvirket instrumentet.

Daglige ozonverdier målt med Brewer instrumentet fra Andøya i 2000 er vist i figur 3 (Edvardsen, 2000). Det er her benyttet direkte-sol-målinger og global irradians målinger fra Brewer-instrumentet.



Figur 3. *Daglige ozonverdier målt med Brewer-instrumentet ved ALOMAR på Andøya i 2000. Den røde kurven er månedsmidlene for perioden 1950-1971.*

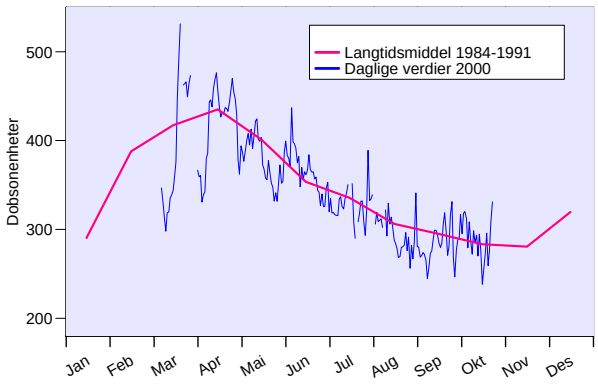
Månedsmiddelverdier for 2000 målt over Andøya er vist i figur 4. For de dagene det ikke finnes Brewer-målinger benyttes målinger fra GUV-instrumentet. Målingene med Brewer- og GUV-instrumentene på Andøya startet 15. mars 2000. For å få beregnet månedsmiddel for mars er det benyttet ozondata fra TOMS i perioden 1.-14. mars. I mars-mai lå månedsmiddelverdiene 3-8% under langtidsmiddelet for 1950-1971. For de øvrige månedene lå månedmiddelverdien 0-6% over langtidsmiddelet.



Figur 4. *Månedsmiddelverdier over Andøya for 2000 og langtids-månedsmiddelverdiene for 1950 til 1971 for Tromsø.*

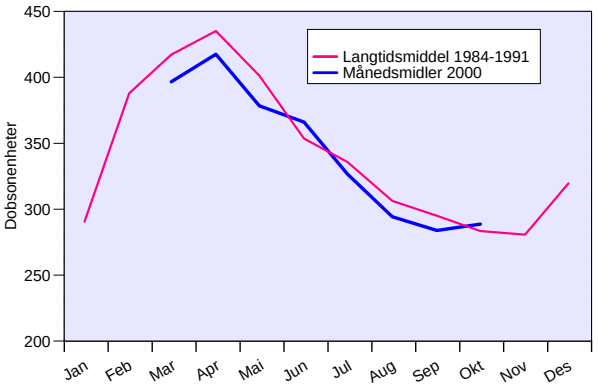
1.3 Ny-Ålesund

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 (Dahlback et al., 2000). 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. I 2000 ble det foretatt 60 gode observasjoner med Dobson-instrumentet i perioden mai til september. For de dagene det ikke finnes Dobson-målinger benyttes målinger fra SAOZ- eller GUV-instrumentene. De daglige ozonverdier for Ny-Ålesund er derfor basert på målinger fra tre ulike instru-



Figur 5. *Daglige ozonverdier målt med Dobson, GUV- og SAOZ-instrumentet i Ny-Ålesund 2000. Den røde kurven er månedsmidler fra 1984 til 1991.*

menter; Dobson-, SAOZ- og GUV-instrumentene. I mars, april, september og oktober er SAOZ-data benyttet, mens i perioden mai-august er ozonverdiene basert på målinger fra Dobson- og GUV-instrumentene. Målinger fra SAOZ- og GUV-instrumentene er i god overensstemmelse med Dobson-instrumentet, se Dahlback et al. (1995) og Braathen et al. (1998). Ozonverdiene observert i Ny-Ålesund er vist i figur 5. Målingene viser store varisajoner i ozonverdiene i vårmånedene. Månedsmiddelverdiene for Ny-Ålesund lå nær langtidsmiddelet i 2000, se figur 6.



Figur 6. *Månedsmiddelverdiene for 2000 og månedsmiddelverdiene for 1984 til 1991 for Ny-Ålesund.*

2. Målinger av ozonprofiler i 2000

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. Blandingsforholdet 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

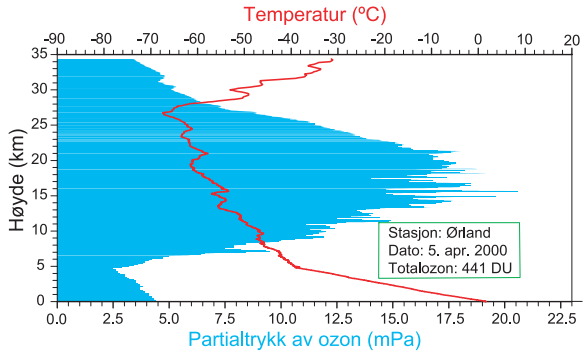
Tabell 1. *Prosentvis avvik i månedsmiddelverdiene for 2000 fra langtidsmiddelet for Oslo, Andøya og Ny-Ålesund.*

Måned	Oslo	Andøya	Ny-Ålesund
Januar	-8	-	-
Februar	-4	-	-
Mars	-14	-8	-5
April	-11	-3	-4
Mai	-8	-5	-6
Juni	0	+4	+4
Juli	-2	0	-3
August	-4	+6	-4
September	-8	+2	-4
Oktober	-3	+6	+2
November	-3	-	-
Desember	+16	-	-

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. 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 2000 er det sluppet 9 sonder fra Andøya og 59 fra Ørland i forbindelse med prosjektene THESEO-2000 Euro-SOLVE, THESEO-O_3LOSS (EU-prosjekt) og COZUV (NFR). Finansiering fra SFT har vært til god hjelp for disse prosjektene.

Figur 7 viser en typisk ozonprofil fra Ørland (5. april 2000). 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. 17 km høyde. En total ozonverdi på 441DU ble målt denne dagen. 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 tropopausen. Tropopausehøyden vil variere med de meteorologiske forhold. En av



Figur 7. *Høydefordelingen av ozon over Ørland 5. april 2000 målt med ozonsonde sendt opp med ballong. En total ozonverdi på 441 DU ble målt denne dagen.*

årsakene til variasjon i den totale ozonmengde skyldes varierende tropopausehøyde. Høy tropopause vil gi lav totalozon, mens lav tropopause vil gi høy totalozon.

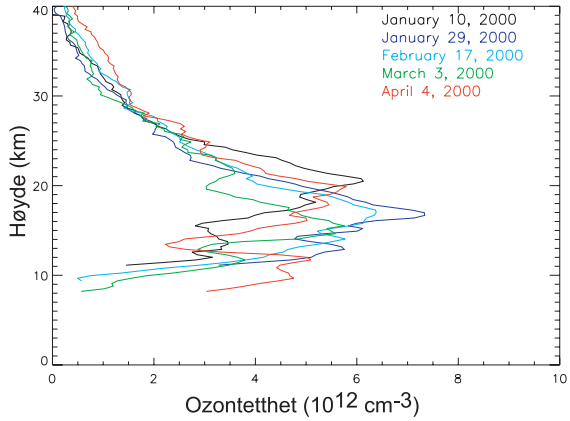
2.2 Ozon-lidar

Ozon-lidaren ved ALOMAR (Arctic Lidar Observatory for Middle Atmosphere Research) på Andøya har vært i drift mesteparten av 2000. Pga. av ekstremt mye overskyet vær i både mars, mai og juni ble det målt få profiler i denne perioden. En oversikt over dager med LIDAR-målinger er gitt i tabell 2.

Tabell 2. *Oversikt over dager med ozon-profiler fra ozon-lidaren ved ALOMAR. Målinger utført om natten er markert med sort skrift. Dagslysmålinger er markert med rødt, mens dager med målinger både om natten og om dagen er markert med uthevet rød skrift.*

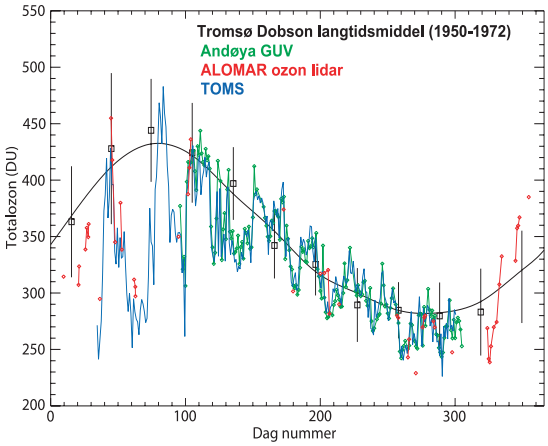
Måned	Dager med LIDAR målinger
Januar	10, 21, 26, 27, 28, 29
Februar	14, 15, 17, 21, 22
Mars	2, 3
April	4, 11, 12, 13, 14
Mai	28
Juni	21, 22, 28
Juli	2, 7, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 24, 25, 31
August	1, 2, 14
September	6, 7, 13, 14, **21**, **22**, 27
Oktober	2, 4, 10, 11, 24
November	**19**, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, **30**
Desember	12, 13, 20

Hovedformålene med lidaren er å dokumentere/studere utviklingen av ozonnedbrytningen utover vinteren, såvel som raske variasjoner i ozonets vertikale fordeling. Vinteren 1999/2000 var den polare virvelen sterk og kald frem til midten av mars. Figur 8 viser noen av ozonprofilene som ble målt med ozon-lidaren våren 2000. Ved å studere tidsutviklingen av ozonprofilene kan man få et bilde på om og i hvilke høyde en eventuell kjemisk ozonnedbrytning finner sted. I profilen som ble observert 3. mars observeres en tydelig ozonreduksjon mellom 17 og 21km. Ozonreduksjonen i dette høydeintervallet skyldes hovedsaklig kjemisk nedbrytning (Hansen, 2000). I ozonprofilen som ble målt 4. april 2000 observeres en ozonreduksjonen rundt 12 km over bakken. Denne ozonreduksjonen skyldes derimot dynamiske prosesser.



Figur 8. *Eksempler på ozonprofiler målt med ozon-lidaren på ALOMAR våren 2000.*

Figur 9 viser ozonverdiene målt med ozonlidaren i 2000. Ozonverdiene er sammenlignet med målinger fra Brewer- og GUV-instrumentene ved ALOMAR. Ozonlidaren kan gi ozonverdier i polarnatten når hverken Brewer- eller GUV-instrumentene kan måle. Ozonlidaren er derfor et viktig supplement til målinger med de to andre instrumentene.

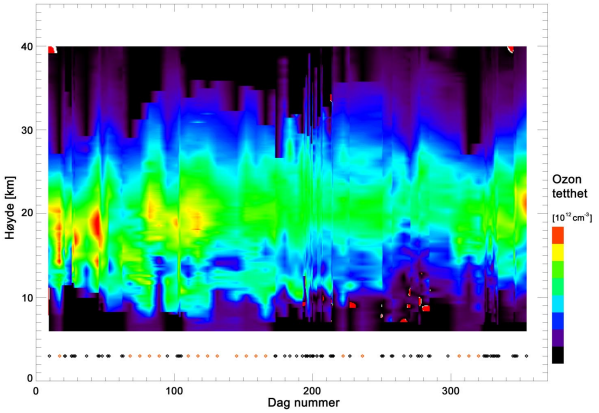


Figur 9. *Totalozon fra Andøya, som viser bidraget til måleserien som kan komme fra ozonlidaren (røde trekanter).*

Sammenligningen viser at det er relativt god overensstemmelse mellom totalozon fra ozon-lidaren og totalozon målt med henholdsvis GUV og TOMS.

Ozonverdiene over Andøya varierer svært mye fra februar til midten av april. Dette skyldes i hovedsak at den polare virvelen beveger seg over ALOMAR slik at målestasjonen tidvis er godt innenfor den polare virvelen (lave ozonverdier) og tidvis ligger utenfor (høye ozonverdier).

Figur 10 gir et bilde på hvordan ozonprofilen over Andøya endret seg i løpet av 2000. De svarte diamantsymbolene markerer tidspunkter med lidarmålinger. I lange perioder uten lidarmålinger ble det benyttet ozonprofiler målt med ozonsonder sluppet i Sodankylä, Finland. Disse målingene er markert med røde diamanter. Mellom hver måling er det foretatt en lineær interpolasjon. Figuren viser at den store variabiliteten i ozonverdiene i februar-april, figur 9, skyldes variabilitet i ozonmengden over ca. 17 km.

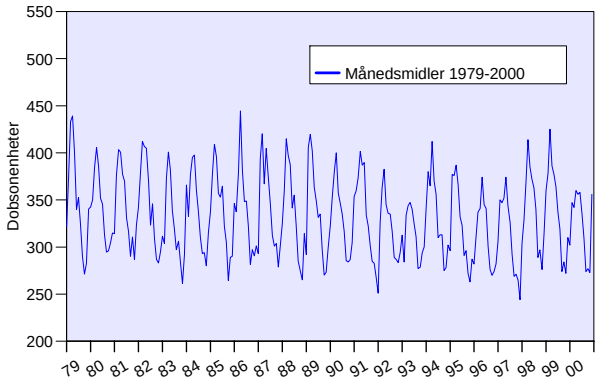


Figur 10. *Ozonprofiler målt med ozonlidaren ved ALOMAR fra januar til november 2000. De sorte diamantsymbolene nederst markerer tidspunkter med lidar-målinger, mens de røde markerer dager hvor data fra ozonsonder sluppet i Sodankylä, Finland er benyttet. Mellom hver måling er det foretatt en lineær interpolasjon.*

3. Ozonmålinger 1979-2000

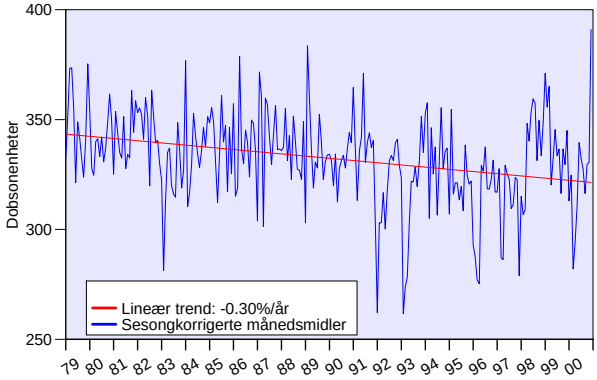
3.1 Oslo

Figur 11 viser hvordan ozonmengden, basert på månedsmidler, har variert over Oslo i perioden januar 1979 til desember 2000. 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 11. *Månedsmidler av ozonmengden over Oslo i perioden 1979 til 2000 basert på målinger med Dobson- og Brewer-instrumentene.*

Figur 12 viser på en annen måte enn i figur 11 hvordan månedsmidlene varierer fra 1979 til 2000 ved at sesongvariasjonene i denne perioden 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 12 kun illustrerer variasjonene i månedmidlene gjennom måleperioden og må ikke oppfattes som totalozon siden sesongvariasjonene er fjernet.

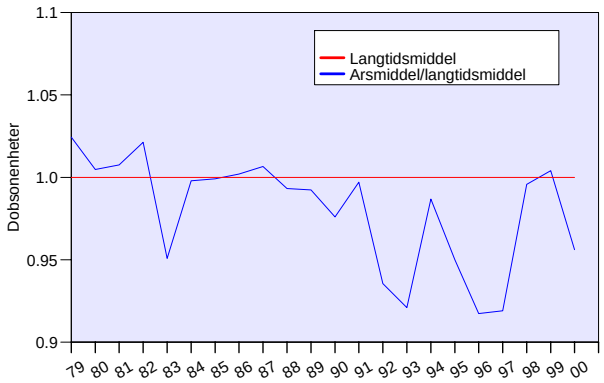


Figur 12. *Variasjon i ozonmengden over Oslo i perioden 1979-2000 basert på målinger med Brewer- og Dobson-instrumentene. Sesongvariasjonene er fjernet. På denne måten kommer trenden tydeligere frem enn i figur 11. Verdiene i figuren må ikke oppfattes som reelle månedsmidler (total ozon) siden sesongvariasjonene er fjernet.*

En trendanalyse på dette datasettet gir en nedgang på 0.30% ± 0.06% pr. år når alle fire årstidene er inkludert. Nedgangen for vårmånedene mars-mai er 0.58% ± 0.13% pr. år, mens for høstmånedene er det beregnet en nedgang på 0.23% ± 0.06% pr. år. For sommermånedene juni-august og vintermånedene desember-februar var det ingen signifikant trend. Som det fremgår av figur 12, har trenden ikke vært jevn i perioden 1979 til 2000. Grunnen til dette er sannsynligvis at de meteorologiske forhold,

som har betydning for ozonlagets tykkelse, varierer fra år til år.

Figur 13 viser årsmiddelet for hvert av årene fra 1979 til 2000 relativt til langtids-årsmiddelet (1979-1989). De lave verdiene i 1983, 1992 og 1993 kan



Figur 13. *Årsmidler i perioden 1979-2000 for Oslo basert på målinger med Dobson- og Brewer-instrumentet i Oslo. Figuren viser forholdet mellom hvert årsmiddel og langtids-årsmiddel 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 2000. Årsmiddelet for 2000 lå 4% under langtids-årsmiddelet. Resultatet av trendanalysen er også vist i tabell 3.

Tabell 3. *Endring i ozonmengden i prosent pr. år for Oslo for perioden 1.1.1979 til 31.12.2000. 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.*

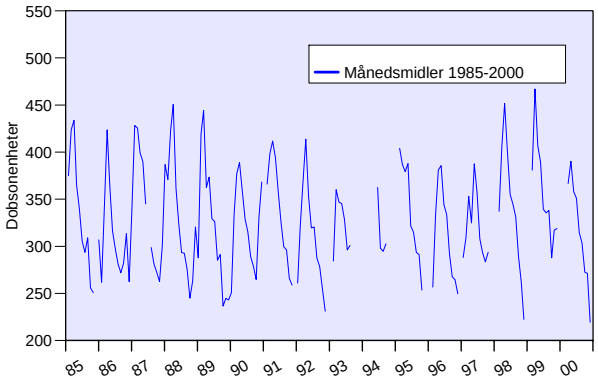
Årstid	Trend
Vinter: desember-februar	-0.28 (0.16)
Vår: mars-mai	-0.58 (0.13)
Sommer: juni-august	-0.11 (0.08)
Høst: september-november	-0.23 (0.06)
Hele året:	-0.30 (0.06)

3.2 Andøya

I mars 2000 ble Brewer-instrumentet i Tromsø flyttet til ALOMAR på Andøya. Avstanden mellom de to målestasjonene er så liten at man i praksis observerer den samme delen av ozonlaget. En sammenligning av daglige ozonverdier målt med TOMS i perioden 1979-2000 over henholdsvis Tromsø og Andøya gir et midlere avvik på (-0.18±2.8)%. I trendanalysen benyttes månedsmiddelverdier for perioden mars til september. Sammenligner man månedsmiddelverdier for Tromsø og Andøya basert på TOMS målinger i perioden 1979-2000 får man et midlere avvik på (-0.2±0.8)%. Dette avviket er langt mindre enn usikkerheten i månedsmiddelverdiene som er i størrelsesorden 5%.

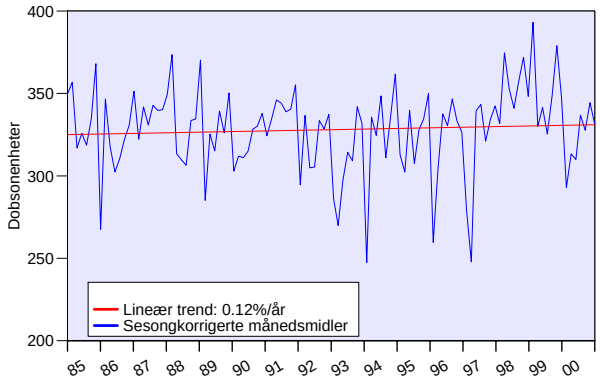
For Tromsø har vi en sammenhengende måleserie fra 1985 til 1999 som nylig ble re-analysert i forbindelse med et doktorgradsarbeid som ble utført ved Universitetet i Tromsø og ved NILUs Tromsø-avdeling (Svenøe, 2000). Siden avvikene mellom månedsmiddelverdier fra Tromsø og Andøya er så små kan man benytte dataserien fra Tromsø til å beregne trend i ozonmengden over Andøya.

Figur 14 viser hvordan ozonmengden, basert på månedsmidler, har variert over Andøya i perioden januar 1985 til desember 2000. Månedsmidler for perioden 1985-1999 er basert på Dobson- og Brewer-målinger i Tromsø, mens månedsmidlene for 2000 er basert på Brewer-målinger på Andøya.



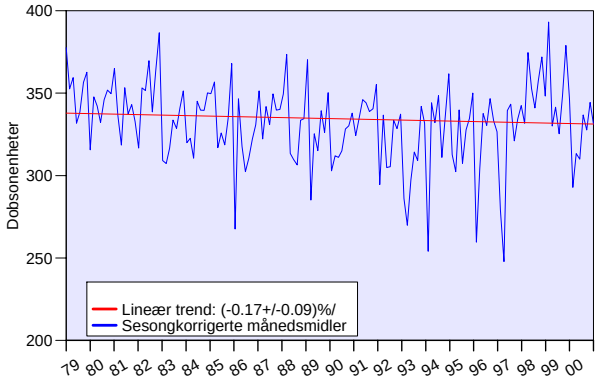
Figur 14. *Månedsmidler av ozonmengden over Andøya 1985-2000 basert på målinger med Dobson- og Brewer-instrumentet.*

Variasjonen i ozonmengden over Andøya 1985 til 2000 etter at sesongvariasjonene er fjernet er vist i figur 15. Dataene er basert på målinger fra Dobson- og Brewer-instrumentene, samt målinger fra TOMS for de månedene det ikke finnes Dobson- eller Brewer-data. Pga. manglende data er vintermånedene oktober-februar utelatt for hele perioden. En trendanalyse på dette datasettet (som inkluderer månedene mars - september) gir ingen signifikant trend (0.12 ±0.16).



Figur 15. *Variasjon i ozonmengden over Andøya 1985-2000 basert på målinger med Dobson-, Brewer- 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 14. Verdiene i figuren må ikke oppfattes som reelle månedsmidler (totalozon) siden sesongvariasjonene er fjernet.*

Det første TOMS-instrumentet, ombord på NIMBUS-7-satellitten, startet å måle totalozon i 1979 og var i drift frem til 1993. Ved å kombinere hele dette datasettet med Dobson- og Brewer-data fra Tromsø/Andøya, samt data fra de øvrige TOMS-instrumentene er det mulig å beregne en trend for perioden 1979 til 2000. Resultatene fra denne trendanalysen er vist i figur 16.



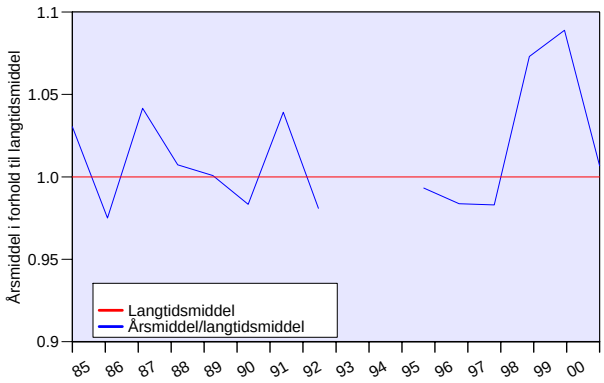
Figur 16. *Variasjon i ozonmengden over Andøya 1979-2000 basert på målinger med Dobson-instrumentet og TOMS. Dataene fra 1979 til 1984 er i sin helhet basert på TOMS-målinger. I perioden 1985 til 2000 er månedsmidlene basert på Dobson- og Brewer-data, samt TOMS-data for de månedene det ikke finnes Dobson-data. Verdiene i figuren må ikke oppfattes som reelle månedsmidler (totalozon) siden sesongvariasjonene er fjernet.*

Igjen er vintermånedene (oktober til og med februar) ikke inkludert i analysen på grunn av manglende data. En trendanalyse på dette datasettet gir en ikke-signifikant negativ trend på -0.17% ± 0.09% pr. år på årsbasis. Endringen for vårmånedene mars-mai er -0.33% ± 0.18%,noe som heller ikke er signifikant. For sommermånedene juni-august observeres det en ikke-signifikant trend på -0.04 ± 0.10%. Resultatene av trendanalysen er også vist i tabell 4.

Tabell 4. *Endring i ozonmengden i prosent pr. år for Andøya for perioden 1.1.1979 til 31.12.2000 og perioden 1.1 1985 til 31.12 2000. Tallene i parentes angir usikkerheten (1 standardavvik). Data fra Dobson-, Brewer- og TOMS-instrumentene er benyttet. En trend større enn to standardavvik anses for å være statistisk signifikant.*

Årstid	Periode	Trend
Vår: mars-mai	1985-2000	-0.19 (0.16)
Sommer: juni-august	1985-2000	+0.49 (0.15)
Hele året: mars-september	1985-2000	+0.12 (0.16)
Vår: mars-mai	1979-2000	-0.33 (0.18)
Sommer: juni-august	1979-2000	-0.04 (0.10)
Hele året: mars-september	1979-2000	-0.17 (0.09)

Årsmiddelet for hvert av årene fra 1985 til 2000 basert på Dobson- og Brewer- målinger i perioden mars-oktober er vist i Figur 17. Årene 1993 og 1994 er utelatt pga manglende data.



Figur 17. *Årsmidler i perioden 1985-2000 for Andøya basert på målinger med Dobson- og Brewer-instrumentene. Figuren viser forholdet mellom hvert årsmiddel og langtids-årsmiddel for 1950-1972. Data for vintermånedene november, desember, januar og februar er ikke inkludert i årsmiddelet.*

3.3 Spitsbergen

For Spitsbergen har vi en måleserie fra 1950 til 1969 (Longyearbyen) og fra 1984 til 1997 (Longyearbyen og Ny-Ålesund). Disse dataene er basert på målinger med Dobson-instrumentet og bør re-evalueres før en trendanalyse kan utføres.

SAOZ instrumentet har målt totalozon i Ny-Ålesund siden høsten 1990. Det planlegges å foreta en full re-analyse av dette datasettet i løpet av 2001.

4. Sammenligninger av målinger fra forskjellige instrument

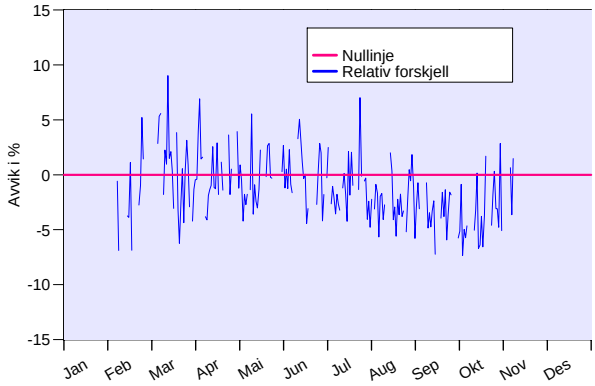
4.1 Innledning

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

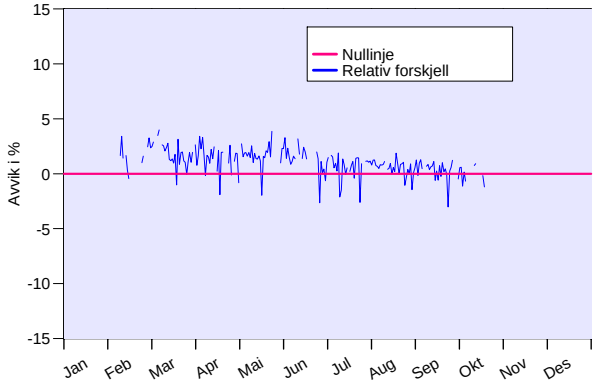
På Harestua ble det foretatt 66 observasjoner med Dobson-instrumentet i 2000. En sammenligning av ozonverdier fra Dobson- og Brewer-instrumentene gir et avvik på -1.0% ± 1.9%, noe som viser at kvaliteten på global irradians målinger fra Brewer-instrumentet er god. Dette avviket er i god overensstemmelse med det som har vært observert tidligere år og tyder på at det ikke har vært noen drift i instrumentene.

Prosentvis avvik i ozonverdiene målt med Brewer- og TOMS-instrumentene for Oslo i 2000 er vist i figur 18. Ozonverdiene fra Brewer er beregnet fra global irradians-målinger. Det er god overensstemmelse mellom de to datasettene. Avviket er -1.1% på årsbasis, og standardavviket er 3.2%.



Figur 18. *Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Brewer- og TOMS-instrumentene for Oslo i 2000, 100•(Brewer-TOMS)/Brewer.*

Figur 19 viser prosentvis avvik for GUV-511 i forhold til Brewer-instrumentet i Oslo i 2000. Her er avviket på årsbasis 1.1% med et standardavvik på 1.2%.

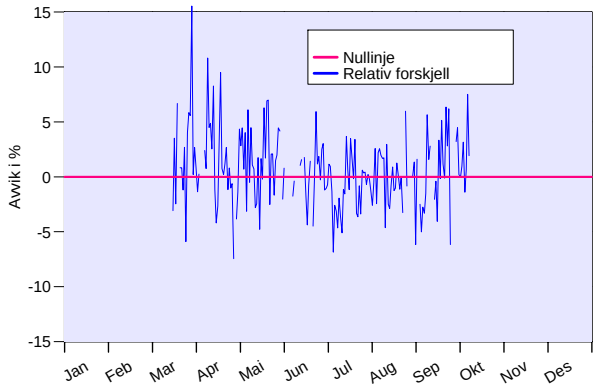


Figur 19. *Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Brewer- og GUV-instrumentene for Oslo i 2000, 100•(Brewer-GUV)/Brewer.*

4.3 Andøya

I Oslo har man siden 1995 beregnet ozonverdien fra både direkte-sol-målinger og fra global-irradians-målinger fra Brewer-instrumentet. Den sistnevnte metoden har den fordelen at man får pålitelige målinger selv om det er overskyet (Dahlback, 1998). I april 2000 ble det derfor startet med tilsvarende målinger med Brewer-instrumentet på Andøya. De daglige ozonverdiene fra Andøya i 2000 er basert på global-irradians-målinger fra Brewer-instrumentet. De dagene det ikke finnes Brewer-målinger benyttes totalozon fra GUV-instrumentet.

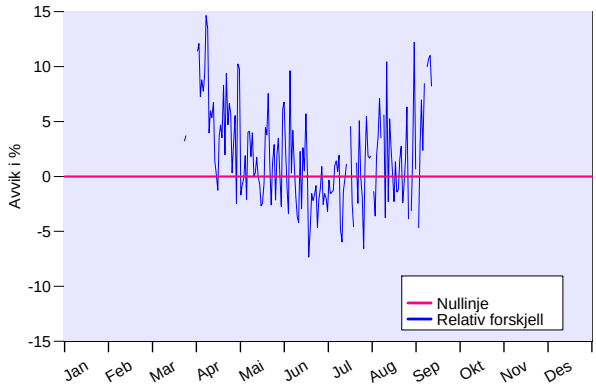
Figur 20 viser prosentvis avvik i totalozon fra Brewer- og GUV-instrumentene på Andøya i forhold til totalozon observert av TOMS. Det relative avviket er 0.8%, med et standardavvik på 3.5%.



Figur 20. *Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Brewer- og GUV-instrumentene og TOMS for Andøya i 2000.*

4.4 Ny-Ålesund

Datamaterialet fra Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund er for lite (56 dager med observasjoner) til å brukes i en sammenligning av data fra ulike instrument. Her vises derfor en sammenligning av måleserien presentert i avsn. 1.3 for Ny-Ålesund (basert på målinger fra Dobson-, GUV- og SAOZ-instrumentene) og satellittmålinger fra TOMS-instrumentet. Figur 21 viser det prosentvise avviket mellom de to måleseriene. Det relative avviket var på 2.0%±4.5%. Det er en tydelig årstidsvariasjon i avviket. Dette er observert ved flere målestasjoner ved høye breddegrader (Andersen, 1998) og skyldes delvis problemer i TOMS-algoritmen ved høye breddegrader.



Figur 21. *Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Dobson-, GUV- og SAOZ-instrumentene og TOMS-instrumentet for Ny-Ålesund i 2000.*

5. UV-målinger

Det norske UV-nettverket består av 8 fem-kanals GUV-instrumenter. NILU har ansvaret for driften av instrumentene ved tre målestasjoner, mens Statens Strålevern har ansvaret for de øvrige fem instrumentene. Nettverket ble opprettet i 1994/95 og NILU hadde da ansvaret for GUV-instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. I 1999 ble det bestemt å flytte GUV-instrumentet i Tromsø til ALOMAR på Andøya av samme grunn som man flyttet Brewer-instrumentet, se avsnitt 1.2.

I løpet av 2000 oppstod det feil på enheten som regulerer temperaturen i GUV-instrumentene. Denne feilen har i løpet av de siste to årene oppstått på samtlige 8 målestasjoner i nettverket og skyldes en konstruksjonsfeil. NILU har modifisert temperaturenhetene på sine tre målestasjoner for å unngå lignende problemer i fremtiden. I tillegg har NILU gått til innkjøp av en ekstra temperaturenhet som kan brukes som reserve hvis det oppstår feil med enhetene i fremtiden. NILU har vist representanter fra Statens Strålevern hvordan de kan modifisere temperatur-regulatoren og Statens Strålevern vil oppgradere sine målestasjoner i løpet av 2001.

NILU har kjøpt nye PC-er til GUV-instrumentene i Ny-Ålesund og i Oslo. Dette ble gjort fordi man ønsket å unngå driftsstans som skyldes problemer med de relativt gamle PC-ene. Spesielt på Ny-Ålesund er det viktig å ha en driftssikker PC da det kan ta relativt lang tid å få nytt utstyr opp dit. PC-en til GUV-instrumentet på Andøya vil bli oppgradert i løpet av 2001.

Det er gjort flere forbedringer av analyseprogrammet som brukes til å beregne ozon og UV-doser fra GUV-data:

- I løpet av 1999/2000 ble spektralresponsen til de tre GUV-instrumentene målt på Statens Strålevern. I den nye versjonen av analyseprogrammet er de målte responsene benyttet i stedet for teoretiske verdier.
- Ozonverdiene fra GUV-instrumentene er følsomme for ozonprofilen ved lav solhøyde. I den nye analysen er det benyttet mer realistiske ozonprofiler.
- GUV-instrumentene kalibreres nå mot Bentham-spektroradiometeret ved Strålevernet, se avsn. 5.4. Den nye kalibreringen fører til at absoluttverdiene heves med ca. 10%.

I tabell 2 er det gitt en oversikt over antall dager det mangler GUV-data for de tre stasjonene. Dager hvor solen ikke er over horisonten (polarnatt) er ikke tatt med i oversikten. I januar 2000 ble spektralresponsen til GUV-instrumentet i Oslo målt på Strålevernet. Det mangler derfor 7 dager med data fra GUV-instrumentet i Oslo, men dette har neglisjerbar betydning for årsdosen. Det samme er tilfelle for Ny-Ålesund hvor det var fire dager med driftsstans i 2000. GUV-instrumentet som stod på Nordlysobservatoriet i Tromsø ble innstallert på Andøya 15. mars 2000. Dette gjør at det mangler data frem til

denne datoen. Etter at instrumentet ble innstallert på Andøya har instrumentet vært ute av drift 6 dager. Dette skyldes bl.a. tekniske problemer med kommunikasjonskortet til dette GUV-instrumentet. Selv om det mangler data fra hele 60 dager på Andøya utgjør dette kun 6% av årsdosen da UV-dosen er relativt lav i januar og februar.

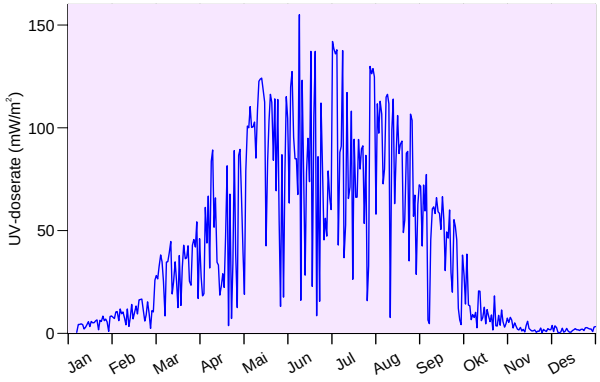
Tabell 5. *Oversikt over driftsstans ved de tre målestasjonene som måler UV. Dager hvor solen står under horisonten (polarnatt) er ikke inkludert i oversikten.*

Stasjon	Antall dager det mangler data	% av årsdosen mistet
Oslo	7	<0.2
Andøya	60	~6%
Ny-Ålesund	4	~0.2%

5.1 Måleresultater 2000

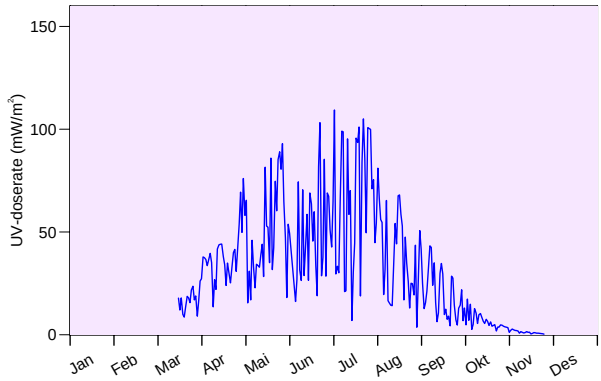
Figurene 22, 23 og 24 viser timesmiddel av UV-dose-raten midt på dagen (mellom 10:30 og 11:30 GMT) for Oslo, Andøya og Ny-Ålesund. UV-dose-raten er et mål på den samlede biologiske effekten av UV-A og UV-B stråling (se avsnitt 5.3). Enheten for dose-rate er mW/m^2 men den kan også angis ved en UV-indeks. UV-indeks 1 tilsvarer 25 mW/m^2. Høyeste verdi i Oslo i 2000, 155 mW/m^2, ble målt 9. juni og tilsvarer en UV-indeks på 6.2. Den høyeste målte verdi på Andøya, 109 mW/m^2 (UV-indeks 4.4), ble målt 2. juli. Maksimal-verdien i Ny-Ålesund, 71mW/m^2 (UV-indeks 2.8) ble registrert 24. 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, ozonlagets tykkelse og refleksjon fra bakken (albedo). Årstidsvariasjonen i dose-raten som skyldes solhøyden kommer tydelig frem i figurene 22, 23 og 24. De store variasjonene i dose-raten fra dag til dag skyldes hovedsakelig varierende skydekke, men varierende ozonmengde spiller også en viktig rolle. I 2000 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 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.

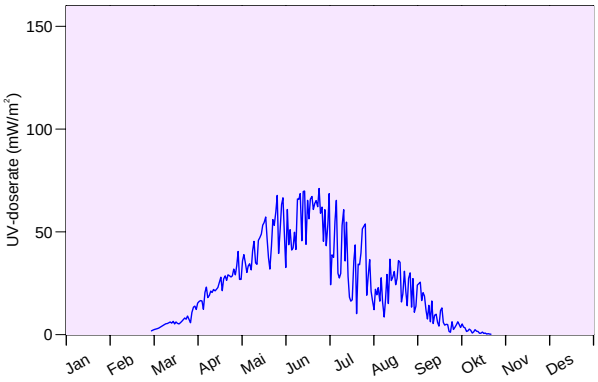


Figur 22. *UV-dose-raten midt på dagen fra 01.01.00 til 31.12.00 målt med GUV-511 instrumentet ved Universitetet i Oslo.*

.



Figur 23. *UV-dose-raten midt på dagen fra 15.03.00 til 31.12.00 målt med GUV-541-instrumentet på Andøya.*

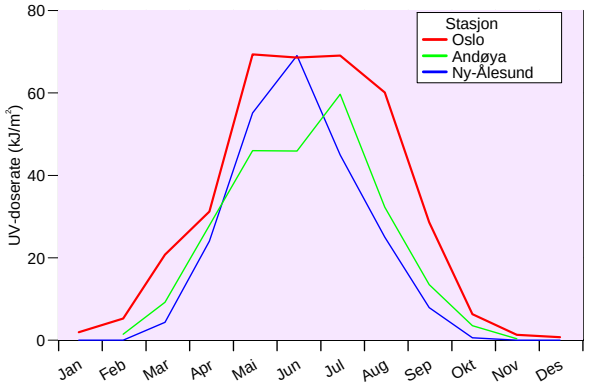


Figur 24. *UV-dose-raten midt på dagen fra 01.03.00 til 31.12.00 målt med GUV-541-instrumentet i Ny-Ålesund.*

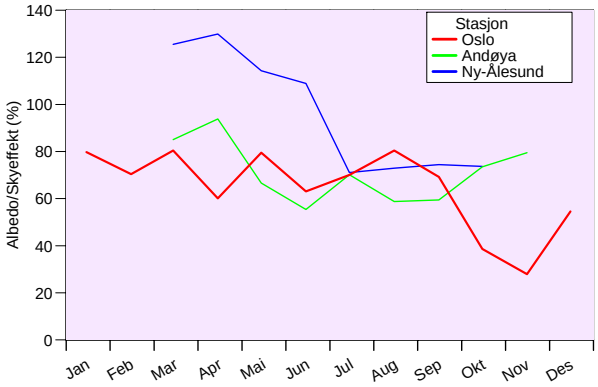
UV-månedsdoser for Oslo, Andøya og Ny-Ålesund er vist i Figur 25. Måneds-dosen er den samlete dosen i løpet av en måned. De raske dag til dag-variasjonene som skyldes varierende skydekke midles bort, og nivåforskjellene mellom stasjonene kommer tydeligere frem. Om sommeren vil dagens lengde øke med breddegraden. Derfor vil forskjellen i månedsdose være mindre enn for dose-raten midt på dagen. Oslo har klart de høyeste måneds-dosene,

bortsett fra i juni måned hvor Ny-Ålesund har den høyeste månedsdosen. Forklaringen på dette resultatet er illustrert i figur 26 som viser albedo/skyeffekten for hver måned i 2000 for Oslo, Andøya og Ny-Ålesund. Albedo/skyeffekten (se avsn. 5.3) beskriver transmisjonen i prosent av klarværsverdien for null bakkerefleksjon (barmark). For juni var albedo/skyeffekten i Ny-Ålesund 109%, på Andøya 55% og i Oslo 63%.

Den lave albedo/skyeffekten observert i Oslo i oktober-desember 2000, figur 26 og 27, skyldes den ekstremt regnfulle høsten på Østlandet.



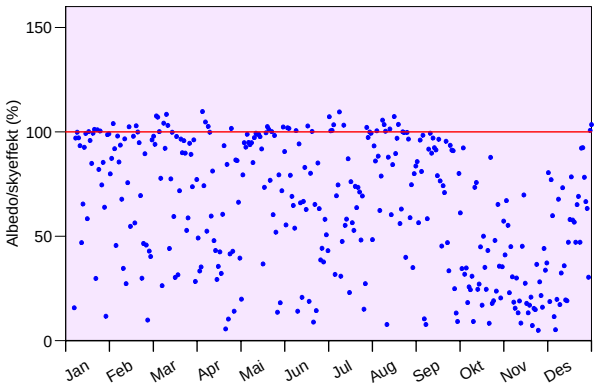
Figur 25. *Månedlige integrerte UV-doser i 2000 målt med GUV-instrumentene i Oslo, på Andøya og i Ny.Ålesund.*



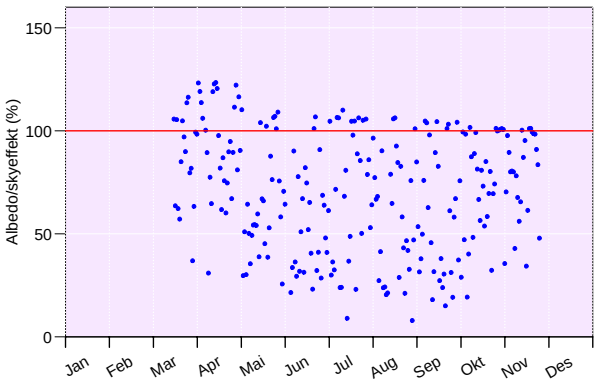
Figur 26. *Albedo/skyeffekter for hver måned i 2000 målt med GUV-instrumentene i Oslo, på Andøya og i Ny-Ålesund. Hvert punkt viser månedsverdien av UV-dosen i prosent av klarværsverdien med null bakkerefleksjon.*

Figur 27 viser albedo/skyeffekt for Oslo for hver dag i 2000. 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 normalt om vinteren med maksimalverdi opp til 110%. Dette er tilfeller med klarvær og snø på bakken. I delvis skyet vær kan refleksjon fra skyer gi UV-doser som er høyere enn klarværsverdien. Dette kan forklare de høye verdiene som observeres i sommermånedene.

Figurene 28 og 29 viser albedo/sky-effekt for Andøya og Ny-Ålesund. Disse skiller seg fra Oslo med høyere maksimal-verdier. De høyeste verdiene (opp til 150%) inntreffer i Ny-Ålesund og skyldes antagelig at omgivelsene 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 Ny-Ålesund har høyere albedo enn snødekket i Oslo og på Andøya.



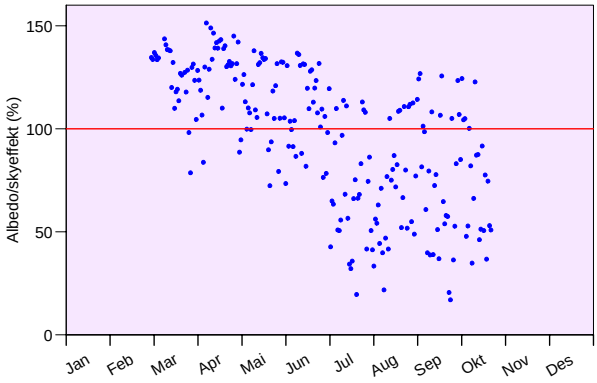
Figur 27. *Effekter av skyer og bakkealbedo på UV-stråling ved jordens overflate i Oslo i 2000 i prosent av klarværsverdien med null bakkerefleksjon. Hvert punkt representerer middelverdien mellom 10:30 og 11:30 GMT for en bestemt dag. Den horisontale linjen representerer klarvær og barmark. Verdier over denne linjen betyr at skyer og/eller bakkealbedo øker UV-nivået sammenlignet med klarvær og bar bakke.*



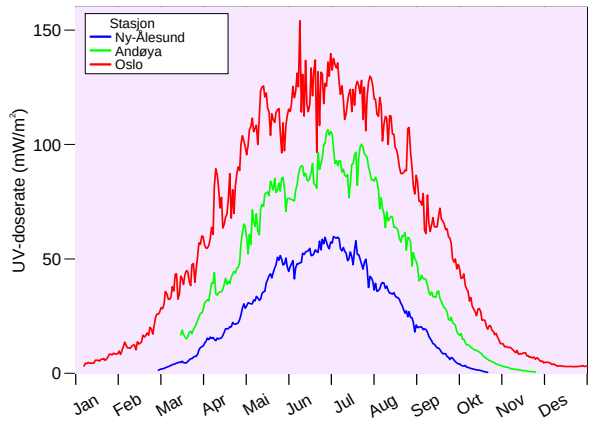
Figur 28. *Samme som vist i figur 27 for Andøya.*

Som nevnt tidligere, skyldes de store dag til dag-variasjonene i UV-dose-raten (figurene 22, 23 og 24) først og fremst variasjon i skydekket og totalozon. Figur 30 viser timesmiddelet av UV-dose-raten man ville ha hatt midt på dagen for Oslo, Andøya og Ny-Ålesund hvis man fjerner skyer og refleksjon fra bakken. Dette er oppnådd ved å kombinere resultatene i figurene 27, 28 og 29 og i figurene 22, 23 og 24. På denne måten kommer effekten av varierende totalozon på UV-dose-raten tydelig frem. Ved å

sammenligne resultatene i figurene 22, 23 og 24 med resultatene i figur 30 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 Andøya gjennom hele året.



Figur 29. *Samme som vist i figur 27 for Ny-Ålesund*



Figur 30. *UV-dose-raten midt på dagen under antagelse av klarvær og null bakkerefleksjon for Oslo, Andøya og Ny-Ålesund for 2000.*

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-stråling på årsbasis. Måleseriene er for kort til å begynne rapportering av en trend, men det er nyttig å rapportere årlige UV-doser som en miljøindikator. For Oslo finnes data for hele 1995, mens for det for Ny-Ålesund finnes data fra og med sommeren 1995. For Ny-Ålesund rapporteres det derfor årsdoser fra og med 1996. UV-klimatologien ved ALOMAR er forskjellig fra den som observeres i Tromsø fordi ALOMAR ligger lengre sør og fordi sky-klimatologien er forskjellig for de to målestasjonene. Dette gjør at vi ikke kan videreføre måleserien fra Tromsø, men starter på nytt fra og med år 2000 på ALOMAR.

Som nevnt tidligere startet målingene på ALOMAR 15. mars 2000. Månedsdosene for januar, februar og mars er anslått ved å beregne døgndoser 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 årsdosen på ALOMAR på ca. 2%. Årsdosene for de ulike målestasjonene er vist i tabell 6. Det er beregnet nye årsdoser for alle årene med det nye analyseprogrammet, og dette medfører at årsdosene er ca 10% høyere enn tidligere rapportert. Det er viktig å være oppmerksom på at variabiliteten i årsdosen vil være ganske stor pga. endringer i skydekke fra år til år.

Tabell 6. *Årlige UV-doser (kJ/m²) for 1995-2000 observert ved de tre stasjonene i nettverket.*

År/ Stasjon	Oslo	Andøya	Ny-Ålesund	Tromsø
1995	385.1			
1996	380.4		218.5	253.6
1997	412.5		206.5	267.0
1998	320.3		217.7	248.4
1999	364.9		186.1	228.6
2000	363.2	239.7	231.0	

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 305 nm, 320 nm, 340 nm og 380 nm, med en båndbredde på ca. 10 nm. I tillegg har GUV-511 en kanal for måling av irradiansen mellom 400 og 700 nm. Dette er den såkalte PAR-strålingen (Photosynthetically Active Radiation) som er viktig for fotosyntesen. I Oslo benyttes et GUV-511-instrument, mens på Andøya og i Ny-Ålesund benyttes GUV-541-instrumenter. I GUV-541-instrumentet er PAR-kanalen erstattet av en UV-B-kanal med senterbølgelengde 313 nm. 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 (320-400 nm) absorberes praktisk talt ikke av ozon. UV-B (280-320 nm) absorberes delvis av ozon, slik at ozonmengden i at-

mosfæren er av stor betydning for hvor mye UV-B-stråling som når jordens overflate. Den kortbølgete UV-C-strålingen (200-280 nm) absorberes svært effektivt av ozon (O_3) og oksygen (O_2) slik at ingenting når jordens overflate. Det skal 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 samlete 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 virkningsspektrum som er anbefalt av WMO og Commission Internationale de l'Eclaire (McKinlay og Diffey, 1987).

Mens dose-raten er den biologisk effektive UV-strålingen ved et gitt tidspunkt, er UV-dosen den samlete 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 2000, 0.155 W/m^2, får en UV-indeks på 6.2. I Oslo vil UV-indeksen i klarvær normalt øke fra 0.1 midtvinters til 4-7 om sommeren. Modellberegninger utført ved NILU viser at normal UV-indeks for klarvær 21. juni er ca. 10 på Mallorca og ca. 12 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 (305 nm, 320 nm, 340 nm og 380 nm). Totalozon bestemmes fra forholdet mellom 320 nm- og 305 nm-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 340 nm-kanalen og irradians for 340 nm-kanalen i klarvær med null bakkerefleksjon multiplisert med 100. I klarvær med lav bakke-albedo (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.

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/Andøya (opprettet 20. juli 1995, flyttet til Andøya i mars 2000) og Ny-Ålesund (opprettet 1. juli 1995). De resterende fem instrumenter i nettverket ble satt i drift i januar 1996.

GUV-instrumentene i Oslo, på Andøya og i 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.

De åtte GUV-instrumentene i det norske nettverket kalibreres nå mot Bentham-spektroradiometeret ved Statens Strålevern. Tidligere ble instrumentene kalibrert mot et SUV-100-spektroradiometer hos produsenten Biospherical Instruments Inc. i San Diego, California, USA. Statens Strålevern sitt Bentham-spektroradiometer er et velkalibrert instrument som har deltatt i en rekke målekampanjer hvor det har vist meget god overensstemmelse med andre instrument i Europa (Nordvang et al., 2000). Det er derfor ønskelig å bruke dette instrumentet som referanse for det norske GUV-nettverket. I juni 2000 deltok

Strålevernet med to av sine GUV-instrumenter i en nordisk målekampanje hvor data fra disse instrumentene viste god overensstemmelse med tilsvarende instrumenter fra andre institusjoner i norden (Dahlback, 2000).

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.

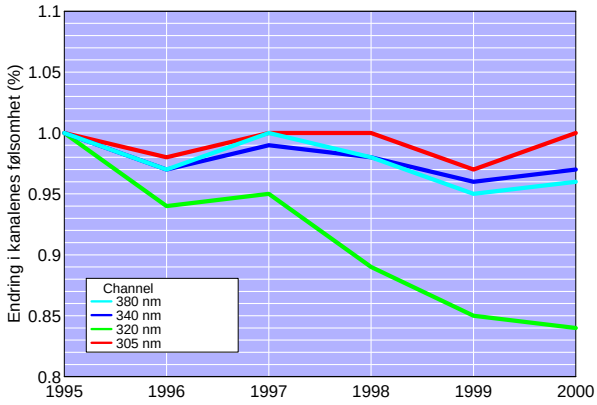
I juni 2000 ble instrumentene i Oslo, på Andøya og i Ny-Ålesund kalibrert mot referanse-instrumentet. Referanse-instrumentet blir flyttet til hver stasjon slik at det ikke blir brudd i måleseriene. Ved disse re-kalibreringene blir endringene i kanalenes følsomhet bestemt.

Siden GUV-ene nå kalibreres mot Bentham-spektroradiometeret ved Statens Strålevern har Bjørn Johnsen, Statens Strålevern, beregnet nye kalibreringskoeffisienter for perioden 1995-2000 for alle GUV-instrumentene i UV-nettverket. De nye kalibreringskoeffisientene viser at det har vært mindre drift i instrumentene enn det man tidligere fant når man benyttet SUV-100-spektroradiometer som kalibreringskilde.

Endring i kanalenens følsomhet i perioden 1996 - 2000 relativt til kalibreringen i mai/juni 1995 er vist for instrumentene i Oslo, på Andøya og i Ny-Ålesund i henholdsvis Figur 31, 32 og 33. 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 320 nm-kanalen ca -5%, mens den var mindre enn 1%på de øvrige kanalene. Fra 1997 til 1999 ble følsomheten på 320 nm-kanalen redusert med 15%. Driften fra 1999 til 2000 var derimot kun på kun på 1% slik at den samlede drift fra 1995 til 2000 for 320 nm-kanalen var -16%. De øvrige kanalene hadde en samlet drift på mindre enn ±4% fra 1995 til 2000. Det kan se ut som at driften på 320nm-kanalen har avtatt det siste året. I samråd med Statens Strålevern har man besluttet å ikke gjøre noe med instrumentet sålenge driften holder seg innenfor noen prosent i årene som kommer.

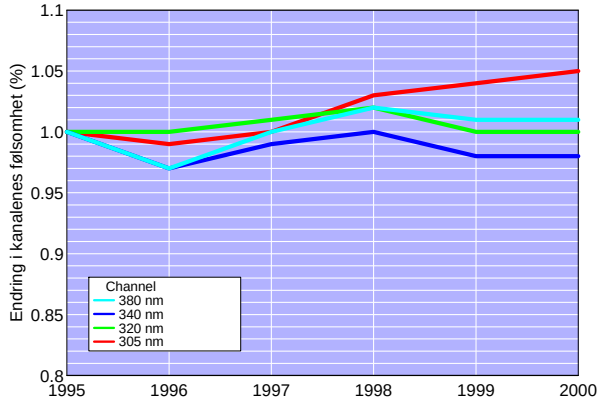
For GUV-instrumentet på Andøya var driften fra 1995 til 2000 mindre enn ±5% for alle kanalene. 340 nm-kanalen har fått redusert følsomhet, mens de andre kanalene har fått økt følsomhet.



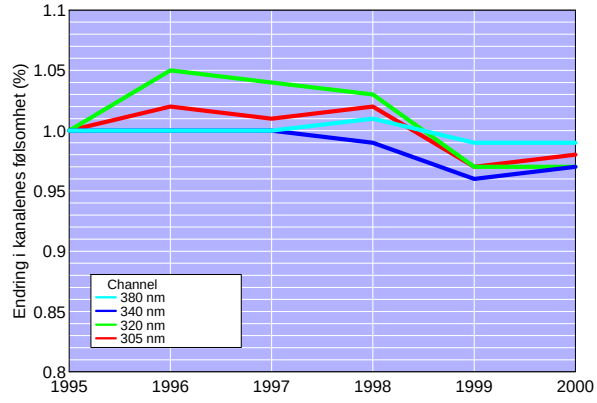
Figur 31. *Utvikling av de enkelte kanalenes følsomhet for GUV-511-instrumentet i Oslo fra 1995-2000.*

For GUV-instrumentet i Ny-Ålesund var det fra 1995 til 1997 en positiv drift for alle kanaler (dvs. økt følsomhet) som varierte fra 0 til 4%. Fra 1997 til 2000 har alle kanalene en negativ drift på mellom 1 og 3%. Den samlede driften fra 1995-2000 var størst for 320nm- og 340nm-kanalen (3%), mens de andre kanalene hadde en drift på mindre enn 2% i denne perioden.

For alle måledata som er presentert i denne rapporten er det antatt en lineær drift på grunnlag av verdiene i vist i figurene. Så lenge driften holder seg innenfor 4-5% pr. år vil ikke feilen bli stor ved å anta lineær drift.



Figur 32. *Utvikling av de enkelte kanalenes følsomhet for GUV-541-instrumentet på Andøya fra 1995-2000.*



Figur 33. *Utvikling av de enkelte kanalenes følsomhet for GUV-541-instrumentet i Ny-Ålesund fra 1995-2000.*

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 SO_2-innholdet i atmosfæren. I Oslo har C-paret vært benyttet i stor grad. Grunnen er at AD-målinger krever høyere sol enn C-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.

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 SO_2 og UV-B-spekteret fra 290 til 320 nm. Med Brewer-instrumentet i Oslo er det også mulig å måle NO_2-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. Ved Universitetet i Oslo er det utviklet en metode som går ut på å bestemme ozonmengden fra UV-B-spekteret (Stamnes et al., 1991, Dahlback et al., 1994). Sammenligninger med målinger fra Dobson- og TOMS-instrumentene foretatt de siste årene viser at metoden fungerer meget tilfredstillende, se avsnitt 4.2. 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. TOMS instrumentet på Nimbus 7-satellitten var i drift fra 1979 til 1993, mens instrumentet på Meteor 3-satellitten var i drift i perioden 1991-1994. 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 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 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.

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 305 nm, 320 nm, 340 nm og 380 nm, med en båndbredde på ca. 10 nm. 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 (nå Andøya) 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 313 nm-kanal med 10 nm båndbredde. Denne kanalen er planlagt benyttet til ozonmålinger ved lav sol og vil supplere måleperioden til Dobson- og Brewer-instrumentene på Andøya 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. 10 ns (10^{-8} s) og disse pulsene sendes ut 200 ganger pr. sekund (200 Hz). 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, 308 nm og 353 nm. Lys ved den første bølgelengden blir absorbert av ozon, mens lys ved 353 nm 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 1.4 MHz. Dette gir en vertikal oppløsning på 100 m.

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 og Braathen. (1993).

Referanser

Andersen, Signe Bech (1998) Measurements of stratospheric ozone and nitrogen dioxide at Thule, Greenland, by ultraviolet-visible spectroscopy 1990-1998, PhD-thesis, Faculty of Science, University of Copenhagen and the Danish Meteorological Institute.

Braathen, G.O, Dahlback, A., Svenøe, T., Bojkov, B. og 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. (2000) Personlig kommunikasjon.

Dahlback, A. og Tønnessen, F. (2000) Ozonmålinger med Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund og Brewer- og Dobson-instrumentet ved Universitetet i Oslo i 2000. (Måledata).

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. og 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.

Dahlback, A., Høiskar, B.A.K., Johnsen, B., Masson, K., Thorseth, T. and Wester, U. (2001) Intercomparison of 5 multi-channel filter radiometers. Measurements of UV-doses, total ozone abundances and cloud effects, To appear in: *Nordic intercomparison of ultraviolet and total ozone instruments at Tylosand, Sweden from 10-13 June 2000.*

Hansen, G., (2000), Personlig kommunikasjon.

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.

Edvardsen, K. (2000) Ozonmålinger med Brewer-instrumentet på ALOMAR, Andøya. (Måledata).

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).

Nordvang, L. T., Johnsen, B., Hannevik, M., Mikkelborg, O. og Saxebøl, G. (2000) Måling av naturlig ultrafiolett stråling i Norge. Årsrapport for 1989 og 1999, Østerås, Statens Strålevern (StrålevernRapport 2000: 4).

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

Svenøe, T. (2000) Re-evaluation, statistical analysis and prediction based on the Tromsø total ozone record, A Dissertation for the degree of doctor scientiarum, Faculty of Science, University of Tromsø.

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.

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 35/2001	ISBN 82-425-1280-9 ISSN 0807-7207	
Dato **11.10.2001**	**Ansv. sign.** Øystein Hov (sign.)	**Antall sider:** **24**	**Pris:** **NOK 110,-**
Tittel: Overvåking av ozonlaget og naturlig ultrafiolett stråling. Årsrapport 2000		**Prosjektleder:** Britt Ann K. Høiskar	
		NILU prosjekt nr.: O-8985	
Forfattere: Britt Ann K. Høiskar, Geir O. Braathen, Arne Dahlback, Bojan R. Bojkov, Kåre Edvardsen, Georg H. Hansen og Trond Svenøe.		**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 2000. For Oslo og Andøya er trenden i totalozon for tidsrommet 1979 - 2000 beregnet.

Title:
Monitoring of the atmospheric ozone layer and natural ultraviolet radiation. Annual report 2000.

Abstract:
Data for total ozone, the vertical distribution of ozone and UV radiation at Norwegian measurement sites are given for the year of 2000. The trend in total ozone for Oslo and Tromsø for the time period 1979 - 2000 has been calculated.

* *Kategorier:*

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

Statens forurensningstilsyn

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/