

Overvåking av ozonlaget og naturlig ultrafiolett stråling.
Årsrapport 2001

Rapport:	NILU OR 35/2002
TA-nummer:	(TA-1891/2002)
ISBN-nummer	82-425-1375-9
Oppdragsgiver:	Statens forurensningstilsyn
Utførende institusjon:	Norsk institutt for luftforskning (NILU)
Forfattere:	Britt Ann K. Høiskar, Geir O. Braathen, Arne Dahlback, Kåre Edwardsen, Georg Hansen, Tove Svendby

**Overvåking av ozonlaget og
naturlig ultrafiolett stråling.**

Rapport
852/02

Årsrapport 2001



s ft:



Statlig program for forurensningsovervåking

Forord

Norsk institutt for luftforskning har på oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (SFT) ansvar for gjennomføringen av det nasjonale overvåkingsprogrammet "Overvåking av atmosfærens ozonlag og naturlig ultrafiolett stråling". Hensikten med overvåkingsprogrammet er å:

1. Sikre kontinuerlige målinger av ozonlagets tykkelse over Norge og naturlig ultrafiolette stråling som når bakken.
2. Fremskaffe data som kan benyttes til å beregne trender i ozonlagets tykkelse og naturlig ultrafiolett stråling.
3. Fremskaffe informasjon om status og utvikling av ozonlaget og naturlig ultrafiolett stråling.
4. Varsle SFT om uvanlige episoder.

Det skal fra og med 2002 lages to-årige rapporter som sendes til SFT annenhvert år. I tillegg skal det annenhvert år lages en kortversjon hvor hovedkonklusjoner og resultater fremkommer. I 2001 ble det laget en utførlig rapport for det samlede måleprogrammet, og årets rapport er derfor en kortversjon.

Innhold:

Sammendrag	3
1. Målinger av totalozon i 2001	5
1.1 Oslo	5
1.2 Andøya	6
1.3 Ny-Ålesund	7
2. Målinger av ozonprofiler i 2001	9
2.1 Lidarmålinger i 2001	9
3. Ozonmålinger 1979 – 2001.....	11
3.1 Oslo	11
3.2 Andøya	12
4. UV-målinger.....	16
4.1 Måleresultater 2001	16
4.2 Årsdoser.....	18
5. Referanser	19

Sammendrag

Rapporten presenterer hovedkonklusjoner og resultater fra det nasjonale overvåkingsprogrammet "Overvåking av atmosfærens ozonlag og naturlig ultrafiolett stråling" for 2001.

Målinger av totalozon i 2001

Det måles totalozon ved tre norske stasjoner: Oslo (60°N), Andøya (69°N) og Ny-Ålesund (78°N). Samtlige stasjoner viste i 2001 månedsmidler som lå nær langtids-månedsmidlene.

Det har i løpet av vinteren 2000-2001 ikke funnet sted noen omfattende nedbrytning av ozon i Arktis, slik man har sett det en rekke tidligere vintre, senest vinteren 1999-2000. Dette skyldes at det var relativt høye temperaturer i stratosfæren denne vinteren. Lave temperaturer er nødvendig for å sette fart i ozonnedbrytningen.

Basert på bakkemålinger i Oslo er det utført en trendanalyse for perioden 1979-2001. Analysen gir en gjennomsnittlig nedgang på 0.43% per år om våren (mars - mai) og 0.24% per år om høsten (september - november). Om vinteren (desember - februar) gir analysen en nedgang på 0.34% per år, mens det ikke observeres noen signifikant trend om sommeren (juli - august). På årsbasis er nedgangen 0.26% per år for denne perioden.

For Andøya er det utført en trendanalyse for perioden 1979-2001, hvor man har benyttet en kombinasjon av Dobson-, Brewer- og TOMS målinger. Det observeres ingen signifikant trend i ozonmengden over Andøya når man benytter dette datasettet i trendanalysen. En tilsvarende trenanalyse basert på data fra satellittinstrumentet TOMS viser en signifikant negativ trend på 0.22% per år. Årsaken til at de to dataseriene gir så forskjellige trender er ikke kjent, men det vil i løpet av 2002 bli arbeidet med å finne en forklaring på dette.

Målinger av ozonprofiler i 2001

Fra Ørland sendes det jevnlig opp ozonsonder med ballong. Ozonsondene gir informasjon om høydefordelingen av ozon, og vil under gode forhold, måle ozonmengden opp til ca. 35 km høyde, dvs over det meste av ozonlaget. Det ble i 2001 sluppet 23 ozonsonder fra Ørland. Ozonsonde-programmet har i 2001, i tillegg til støtte fra SFT, også fått støtte fra Norges Forskningsråd.

Ozonlidaren på ALOMAR-observatoriet på Andøya benyttes til å måle raske variasjoner i den vertikale fordeling av ozonkonsentrasjonene. Ozonlidaren måler den vertikale fordeling av ozon fra ca. 10 til ca. 35 km. Både ozonsondene og ozonlidaren bidrar med målinger som er viktige for å øke forståelsen av de prosesser som forårsaker endringer i atmosfærens ozonmengde. Det ble målt 66 ozonprofiler med ozonlidaren i 2001.

UV-målinger

I Oslo, på Andøya og i Ny-Ålesund måles den ultrafiolette strålingen fra sola kontinuerlig med GUV-instrumenter. For Oslo og Ny-Ålesund er 2001 det sjette året med komplette målinger. I perioden 1995-1999 var det plassert ett GUV-instrument på Nordlysobservatoriet i Tromsø. Dette instrumentet ble, i samråd med SFT, flyttet til ALOMAR-observatoriet på Andøya i mars 2000.

I 2001 ble det målt en total årtdose i Oslo på 372.3 kJ/m², mens det på Andøya og i Ny-Ålesund ble registrert en årtdose på henholdsvis 237.0 kJ/m² og 208.0 kJ/m². Den høyeste strålingsintensiteten (dose-raten) i løpet av 2001 ble i Oslo målt 4. juli og var på 158.9

mW/m^2 (UV-indeks lik 6.4). På Andøya ble den høyeste dose-raten, 105.6 mW/m^2 , registrert 23. juni. I Ny-Ålesund ble den høyeste dose-raten observert 24. juni og var på 71.2 mW/m^2 .

Månedsdosene i Oslo lå i 2001 klart høyere enn på Andøya og i Ny-Ålesund. I juni 2001 lå månedsdosen i Ny-Ålesund høyere enn på Andøya. Dette skyldes dels at bakkerefleksjonen i Ny-Ålesund var høyere i denne perioden og dels at det var mer klarvær i Ny-Ålesund.

De tre GUV-instrumentene ble i juni 2001 kalibrert mot et velkalibrert referanseinstrument som Statens Strålevern har ansvar for.

Personell og institusjoner involvert i måleprogrammet

Ansvarlig for ozonmålinger i Oslo og i Ny-Ålesund er Arne Dahlback (UiO). Målinger med Dobson-instrumentet i Oslo i perioden 1979-1993 er utført av Søren H.H. Larsen (Larsen, S.H.H., 1993). Daserien er nylig blitt re-analysert av Tove Svendby (UiO/NILU). Ansvarlig for ozonmålingene ved Andøya har vært Kåre Edvardsen (NILU). Bojan Bojkov og Britt Ann K. Høiskar ved NILU har vært ansvarlig for ozonsonderingene ved Ørland. Britt Ann K. Høiskar er ansvarlig for driften av SAOZ-instrumentet i Ny-Ålesund. GUV-instrumentene i Oslo, på Andøya og i Ny-Ålesund følges opp av Arne Dahlback og Kåre Edvardsen. Lidarmålingene ved ALOMAR utføres som et samarbeid mellom Norsk Romsenter, NILU (Georg Hansen og Kåre Edvardsen) og Forsvarets forskningsinstitutt (Ulf Hoppe).

Overvåking av ozonlaget og naturlig ultrafiolett stråling.

1. Målinger av totalozon i 2001

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. Brewer-instrumentet er delvis automatisk og muliggjør hyppigere målinger enn det som er praktisk mulig med Dobson-instrumentet. Når måleforholdene er gode, er det god overensstemmelse mellom Brewer- og Dobson-målingene. Stabiliteten til Brewer- og Dobson-instrumentene blir regelmessig sjekket. Begge Brewer-instrumentene ble i 2001 kalibrert av International Ozone Services (Canada) mot et internasjonalt referanse-instrument. Kalibreringen viser at stabiliteten til instrumentene har vært god.

I Ny-Ålesund er ozonverdiene basert på målinger fra tre ulike instrumenter: Dobson, SAOZ og GUV. SAOZ-instrumentet (System for Analysis of Observations at Zenith) har vært i drift i Ny-Ålesund siden 1990. Instrumentet er bygget for å bl. a. måle ozontykkelsen ved lav sol og egner seg derfor godt ved høye breddegrader. Instrumentet viser god overensstemmelse med andre tradisjonelle instrumenter og har deltatt i flere målekampanjer (Roscoe et al., 1999, Vaughan et al., 1995). SAOZ-instrumentet er et godt supplement til Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund siden det forlenger målesesongen med ca. 3 måneder. I sommermånedene (mai - august) er ozonverdiene basert på en kombinasjon av Dobson- og GUV-målinger. GUV-instrumentet er helautomatisk og gir målinger hvert minutt. Målingene fra GUV-instrumentet benyttes de dagene det ikke er foretatt Dobson-målinger. Ozonmålingene fra GUV-instrumentet er kalibrert mot Dobson-instrumentet, og det er derfor god overensstemmelse mellom disse to instrumentene.

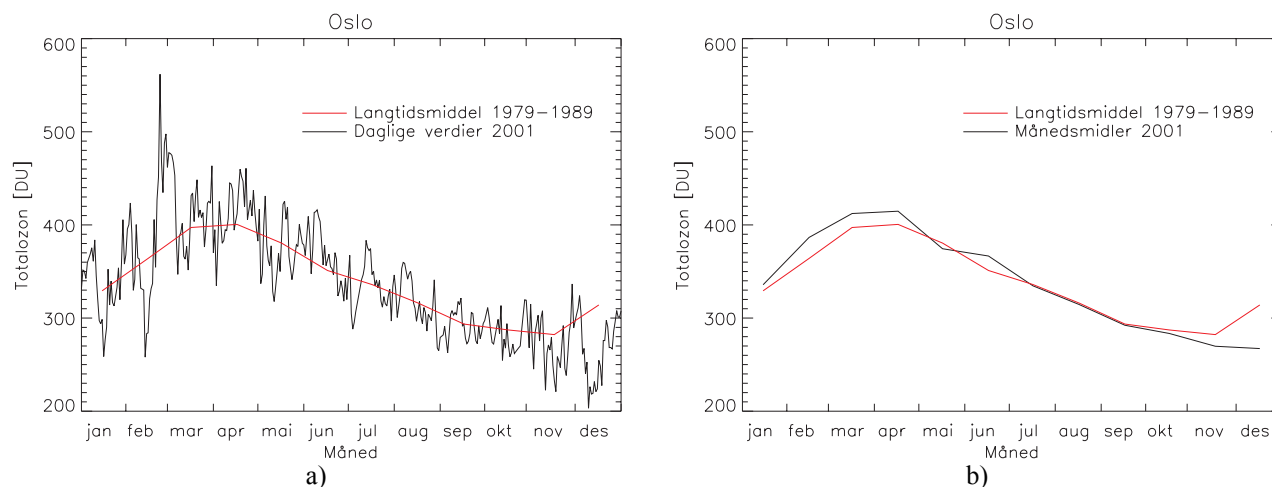
1.1 Oslo

Daglige ozonverdier for Oslo i 2001, basert på målinger med Brewer-instrumentet, er vist i Figur 1a) (Dahlback et al, 2001). Resultatene som er vist i figur 1, er basert på Brewer irradiansforhold. Denne metoden fungerer svært bra både i overskyet vær og i klarvær og når solen står mer enn 5° over horisonten (Dahlback, 2001). Dette gjør at det er svært få dager uten ozonmålinger i Oslo. Det er bare i ekstreme tilfeller (skydekke med svært stor optisk tykkelse) at man ikke får pålitelige målinger. Slike dager er ikke med i datasettet. Ozonverdiene fra Brewer-instrumentet er i god overensstemmelse med de man måler med Dobson- instrumentet (Høiskar et al, 2001).

Den sorte kurven viser de daglige verdiene, mens den røde kurven viser månedsmiddelverdiene for årene 1979-1989. Perioden fra 1979 til 1989 er valgt for beregning av langtidsmiddelet, siden det er en mulig sammenheng mellom solflekkaktivitet og totalozon, og denne perioden dekker én solflekkcyklus. Langtids-middelet er basert på Dobson-målinger.

Store dag til dag-variasjoner i totalozon ble observert i løpet av våren 2001. Spesielt store variasjoner er observert i slutten av februar. Årets laveste verdi (203 DU) ble registrert 9. desember 2001, mens årets høyeste verdi (562 DU) inntraff 23. februar 2001. De høyeste verdiene måles normalt om våren og skyldes 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.



Figur 1a): Daglige ozonverdier målt med Brewer-instrumentet ved Universitetet i Oslo i 2001. Den røde kurven viser langtids-månedsmidler fra 1979-1989.

Figur 1b): Månedsmiddelverdiene for 2001 for Oslo. Månedsmiddelverdiene ligger nær langtidsmiddelet for 1979-1989.

Månedsmiddelverdiene for 2001 for Oslo er vist i figur1b). Månedsmidlene lå nær langtids-månedsmiddel, med unntak av desember måned hvor månedsmiddelet ligger hele 15% under langtids-månedsmiddelet, som vist i tabell 1.

Tabell 1: Prosentvis avvik i månedsmidler for 2001 fra langtidsmiddelet for Oslo, Andøya og Ny-Ålesund.

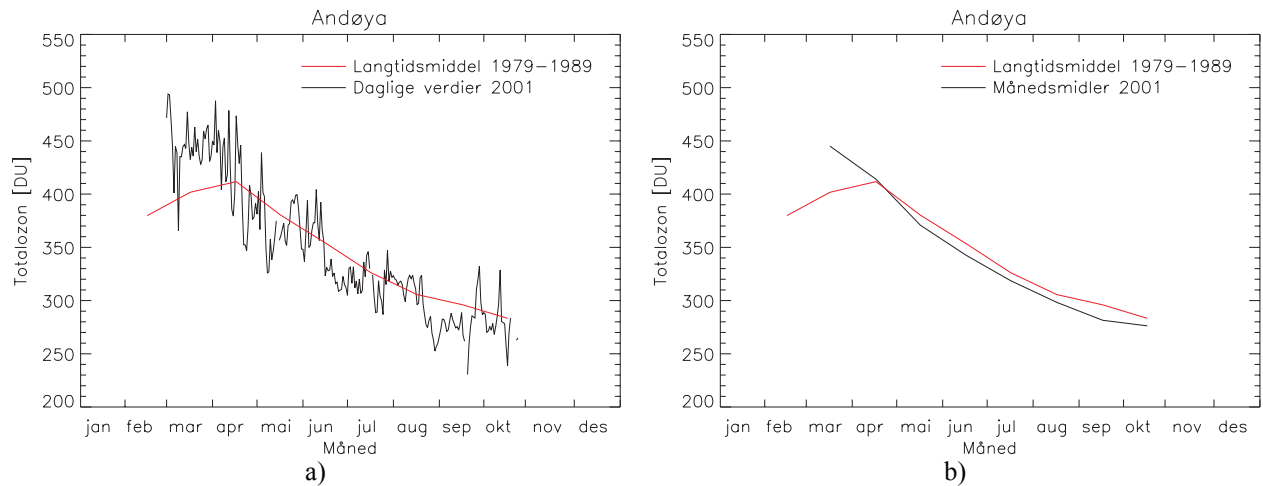
Måned	Oslo	Andøya	Ny-Ålesund
Januar	+2%	-----	-----
Februar	+6%	-----	-----
Mars	+4%	+11%	+7%
April	+3%	+0.5%	-3%
Mai	-2%	-2%	-6%
Juni	+5%	-3%	+1%
Juli	0%	-2%	-3%
August	0%	-3%	0%
September	0%	-5%	-2%
Oktober	-1%	-2%	0%
November	-4%	-----	-----
Desember	-15%	-----	-----

1.2 Andøya

Daglige ozonverdier målt med Brewer-instrumentet fra Andøya er vist i figur 2a). Målingene er basert på direkte-sol målinger og global irradians målinger fra Brewer-instrumentet. Den røde kurven viser månedsmiddel-verdiene for årene 1979-1989 basert på TOMS-målinger. Årets høyeste verdi (494DU) ble målt 1. mars 2001, mens årets laveste verdi (231DU) ble målt 19. september 2001.

Månedsmiddelverdier for 2001 målt over Andøya er vist i figur 2b). For de dagene det ikke finnes Brewer data benyttes data fra GUV-instrumentet. Data fra satellittinstrumentet TOMS

er benyttet for noen få dager i mai hvor både Brewer- og GUV-instrumentet var ute av drift. I 2001 lå månedsmiddelverdiene over eller svært nær langtidsmiddelverdiene, med unntak av mars måned som lå 11% over langtidsmiddelet, tabell 1.



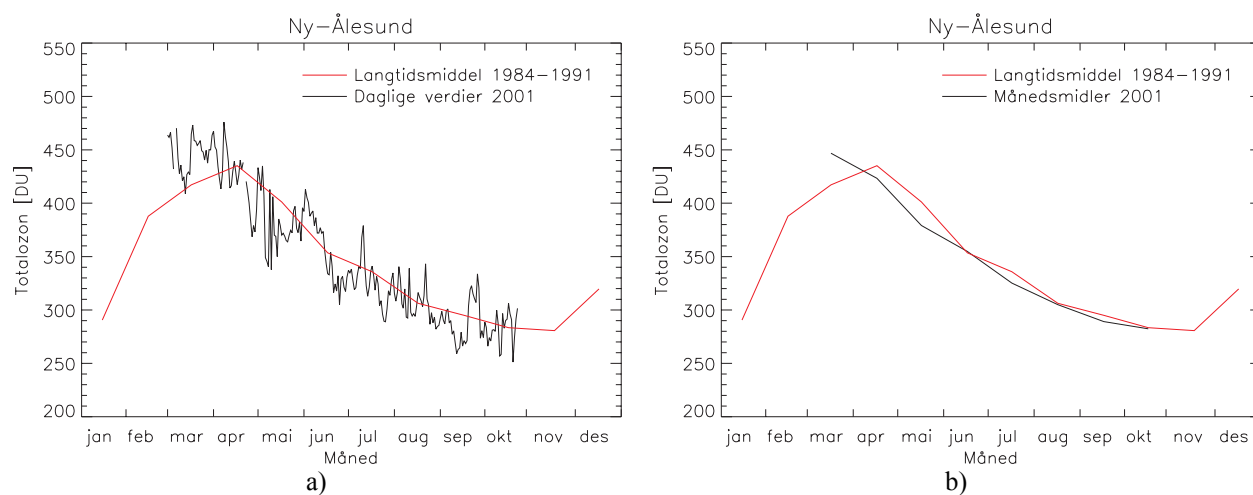
Figur 2a): Daglige ozonverdier målt med Brewer-instrumentet ved ALOMAR på Andøya i 2001. Den røde kurven viser langtidsmånedsmidler fra 1979-1989.

Figur 2b): Månedsmiddel-verdier for 2001 for Andøya.

1.3 Ny-Ålesund

Ozonverdiene observert i Ny-Ålesund i 2001 er vist i figur 3 og er basert på målinger med Dobson-, SAOZ- og GUV-instrumentene. Fra begynnelsen av oktober til begynnelsen av april måles ikke totalozon med Dobson-instrumentet fordi solen står for lavt eller er under horisonten. I 2001 ble det foretatt ca. 30 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 instrumenter: Dobson, SAOZ og GUV. 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). Den røde kurven i figur 3 viser månedsmiddel-verdiene for årene 1984-1991 basert på Dobson-målinger.

Månedsmiddelverdiene for Ny-Ålesund lå nær langtidsmiddelet i 2001, se figur 3b).

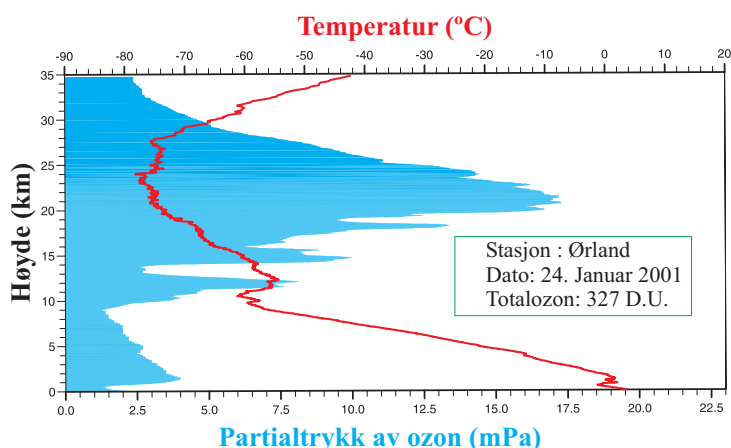


Figur 3a): Daglige ozonverdier målt med Dobson, GUV- og SAOZ-instrumentet i Ny-Ålesund 2001. Den røde kurven er månedsmidler fra 1984 til 1991.

Figur 3b): Månedsmidler for 2001 og langtids månedsmidler for 1984-1991.

2. Målinger av ozonprofiler i 2001

Fra Ørland sendes det jevnlig opp ozonsonder med ballong. Ozonsondene gir verdifull informasjon om høydefordelingen av ozon og vil under gode forhold nå opp til ca. 35 km høyde, dvs. over det meste av ozonlaget. Selve vertikalfordelingen av ozon gir informasjon som er nyttig for å forstå hvorvidt ozonvariasjoner skyldes meteorologiske forhold eller kjemisk nedbrytning. I 2001 ble det sluppet 23 ozonsonder fra Ørland. Figur 4 viser en typisk ozonprofil fra Ørland.



Figur 4: Høydefordelingen av ozon over Ørland 24. januar 2001 målt med ozonsonde. Integrasjon av ozonprofilen gir en total ozonverdi på 327DU.

2.1 Lidarmålinger i 2001

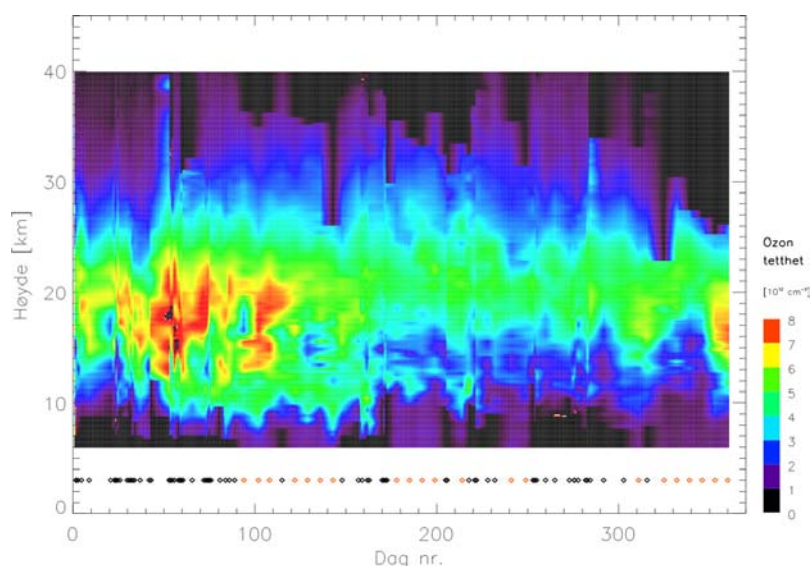
Ozonlidar-instrumentet på ALOMAR ble i 2001 kjørt i standardmode (kun målinger om natten) fra begynnelsen av året til slutten av april og fra midten av august til slutten av året. I tillegg ble dagslys-mottagersystemet brukt til testformål. Dagslyssystemet fungerer ikke optimalt enda, men det har likevel vært mulig å beregne ozonprofiler fra disse målingene. Ved slutten av året (november/desember) oppstod det tekniske problemer med detektoren som først ble løst i januar 2002. Dette forhindret, i kombinasjon med dårlig vær, flere målinger i denne perioden. I april, mai og juli ble det foretatt få målinger på grunn av dårlige værforhold. En oversikt over dager med lidar-målinger i 2001 er gitt i tabell 2.

Tabell 2: Liste over ozonlidarmålinger ved ALOMAR i 2001. Målinger utført om natten er markert med svart skrift. Dagslysmålingene er markert med rødt, mens dager med målinger både om dagen og om natten er markert med både røde og svarte siffer.

Måned	Måledager
Januar	2, 3, 5, 9, 21, 23, 24, 25, 26, 30, 31
Februar	1, 02, 3, 6, 11, 12, 22, 23, 24, 25, 27, 28
Mars	1, 2, 7, 13, 14, 15, 16, 17, 22, 23, 25, 27, 30
April	25
Mai	29
Juni	6, 8, 11, 12, 19, 20, 21
Juli	24, 25
August	9, 10, 17, 20/21
September	10, 11, 12, 17, 22, 30
Oktober	03, 04, 05, 09, 10, 12, 19, 30
November	12
Desember	---

Utviklingen av ozonlaget over Nord-Skandinavia mellom 6 og 40 km over bakken er vist i figur 5. De svarte diamantsymbolene nederst i figuren markerer tidspunkter med lidar-målinger. I lange perioder uten lidar-målinger 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.

I motsetning til i 2000 var ozonlaget i 2001 tilnærmet normalt. Den polare stratosfæriske virvelen ble varmet opp allerede tidlig i februar, slik at det ikke oppstod nevneverdig ozonnedbrytning. Dette vises ved de sterke røde fargene rundt 20 km høyde fra ca. dag 40 (9. februar) i figur 5, som betyr høye ozonkonsentrasjoner ved ozonlagets maksimum. Disse holdt seg utover våren til dag 110 (20. april). Figuren viser også uttynningen av ozonlaget utover sommeren og høsten, spesielt under 15 km høyde, noe som er karakteristisk for polare strøk. Økningen i ozonmengden ved slutten av året skyldes en tidlig stratosfæreoppvarming i vinteren 2001/2002.



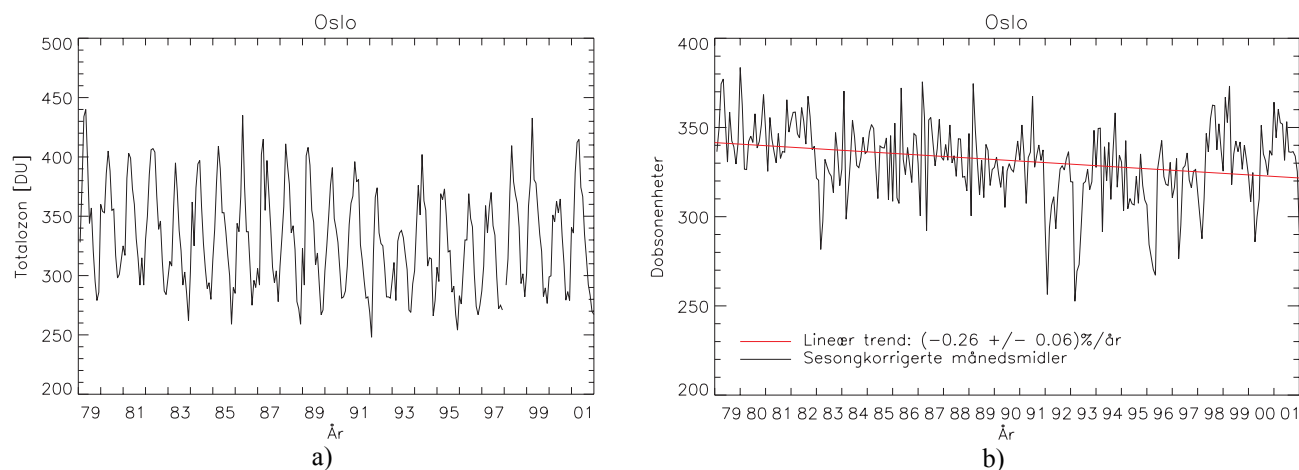
Figur 5: Ozonprofiler målt med ozonlidaren ved ALOMAR fra januar 2001 til november 2001. De svarte diamantsymbolene nederst markerer tidspunkter med lidar-målinger, mens de røde markerer dager hvor data fra ozonsonder sluppet i Sodankylä, Finland, er benyttet. Mellom hver måling er det foretatt en lineær interpolasjon.

3. Ozonmålinger 1979 – 2001

3.1 Oslo

I Oslo har man en sammenhengende måleserie for totalozon fra 1979 til 2001. I perioden 1979-1998 er ozonverdiene basert på Dobson-målinger, mens målinger fra Brewer-instrumentet er benyttet f.o.m. 1998. Dobson-serien har nylig blitt re-evaluert i forbindelse med et doktorgradsarbeid ved Universitetet i Oslo (Svendby, 2002). I denne rapporten er den re-evaluerte måleserien benyttet.

Figur 6a) viser hvordan ozonmengden, basert på månedsmidler, har variert over Oslo i perioden januar 1979 til desember 2001. Årstidsvariasjonene kommer her tydelig frem. Den store årstids-variasjonen, som er typisk for stasjoner ved 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 vårtiden. Svakere transport fra ekvator gir et minimum i totalmengden utpå høsten. I gjennomsnitt ligger april-middelet 40% høyere enn november-middelet.



Figur 6a): Månedsmidlede ozonverdier over Oslo i perioden 1979–2001 basert på målinger med Dobson og Brewer.

Figur 6b): Variasjon i ozonmengden over Oslo i perioden 1979-2001 når sesongvariasjonene er fjernet. På denne måten kommer trenden tydeligere frem enn i figuren til venstre. Verdiene i figuren må ikke oppfattes som reelle månedsmidler (totalozon) siden sesongvariasjonene er fjernet.

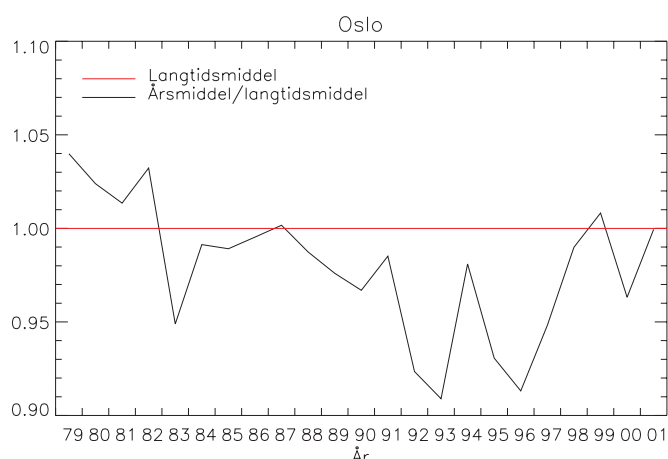
Figur 6b) viser på en annen måte enn i figur 6a) hvordan månedsmidlene varierer fra 1979 til 2001. Her er sesongvariasjonene fjernet ved å trekke fra langtids-månedsmiddelet og å legge til langtids-årsmiddelet. På denne måten går det tydeligere frem hvordan avviket fra måned til måned varierer gjennom perioden. Merk at ozonverdiene i figur 6b) kun illustrerer variasjonene i månedsmidlene gjennom måleperioden og må ikke oppfattes som totalozon siden sesongvariasjonene er fjernet.

Resultatene av trendanalysen er vist i tabell 3. Som det fremgår av figur 6b), har trenden ikke vært jevn i perioden 1979 til 2001. Dette skyldes at de meteorologiske forhold, som har betydning for ozonlagets tykkelse, varierer fra år til år.

Tabell 3: Endring i ozonmengden i prosent pr. år for Oslo for perioden 1.1.1979 til 31.12.2001. 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 (% per år)
Vinter: desember-februar	- 0.34 (0.15)
Vår: mars-mai	- 0.43 (0.12)
Sommer: juni-august	- 0.06 (0.08)
Høst: september-november	- 0.24 (0.08)
Hele året:	- 0.26 (0.06)

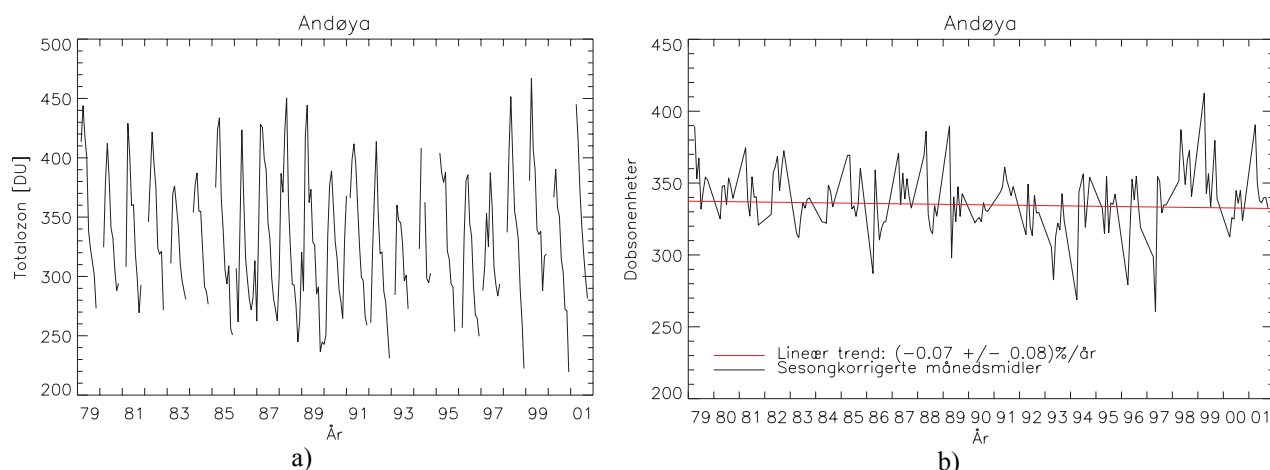
Figur 7 viser årsmiddelet for hvert av årene fra 1979 til 2001 relativt til langtids-årsmiddelet (1979-1989). De lave verdiene i 1983, 1992 og 1993 har sammenheng med vulkanutbruddet fra El Chichón i Mexico i 1982 og fra Mount Pinatubo, Filippinene i 1991. Figuren illustrerer at 1990-årene bidrar sterkt til den nedadgående trenden beregnet for perioden 1979 til 2001. Årsmiddelet for 2001 var tilnærmet lik langtids-årsmiddelet.



Figur 7: Forholdet mellom årsmidler i perioden 1979-2001 for Oslo og langtids-årsmiddel for 1979-1989.

3.2 Andøya

For Tromsø finnes en sammenhengende måleserie fra 1935-1972 og fra 1985-1999 basert på Dobson-målinger. Disse målingene ble re-evaluert i forbindelse med et doktorgradsarbeid ved Universitetet i Tromsø (Svenøe, 2000). I mars 2000 ble Brewer-instrumentet flyttet fra Tromsø til ALOMAR-observatoriet på Andøya. Ozonklimatologien er lik ved disse to stasjonene (Høiskar et al, 2001), og man kan derfor benytte måleserien fra Tromsø til å beregne trend i ozonmengden over Andøya. Det gjenstår en god del arbeid før måleserien fra 1935-1972 er kvalitetssikret og kan brukes til trendanalyser. I denne omgang rapporteres det derfor trend i ozonmengden over Andøya for perioden 1979-2001.



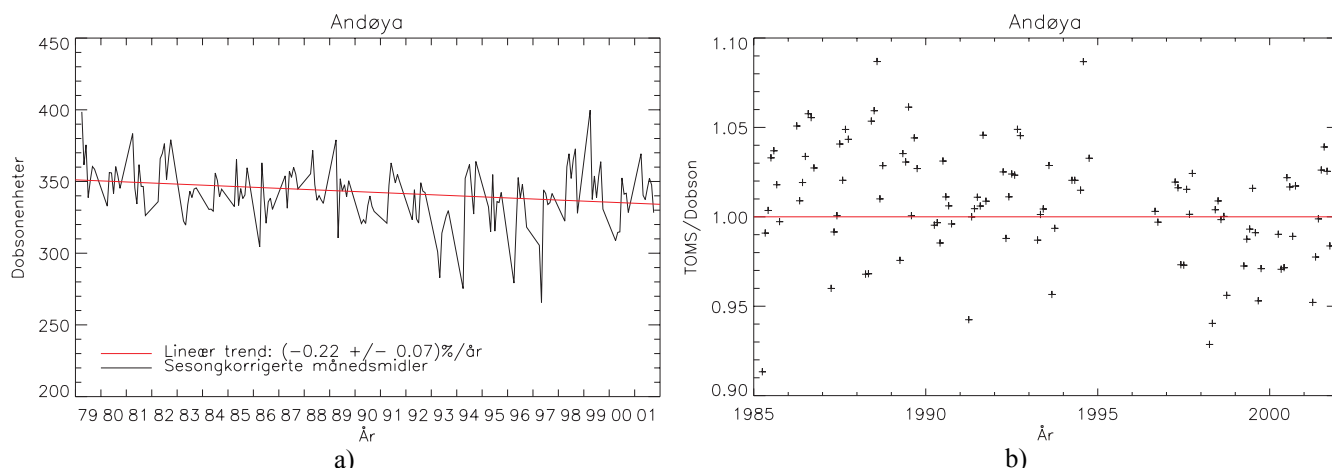
Figur 8a): Månedsmidler av ozonmengden over Andøya i perioden 1979–2001 basert på målinger med Dobson, Brewer og TOMS.

Figur 8b): Variasjon i ozonmengden over Andøya i perioden 1979-2001 når sesongvariasjonene er fjernet. Verdiene i figuren må ikke oppfattes som reelle månedsmidler (totalozon) siden sesongvariasjonene er fjernet.

Figur 8a) viser hvordan ozonmengden, basert på månedsmidler, har variert over Andøya i perioden januar 1979 til desember 2001. Dataene fra 1979-1984 er i sin helhet basert på TOMS-målinger. En sammenligning av ozonverdier basert på Dobson og TOMS viser at TOMS ligger ca 2% høyere enn Dobson i perioden 1985-1994. Månedsmidlene fra TOMS er derfor skalert ned med 2%. Månedsmidlene for perioden 1985-1999 er basert på Dobson- og Brewer-målinger fra Tromsø, mens månedsmidlene for 2000-2001 er basert på Brewer-målinger på Andøya.

Variasjonene i ozonmengden over Andøya i perioden 1979-2001 etter at sesongvariasjonene er fjernet, er vist i figur 8b). Pga. manglende data er vintermånedene oktober-februar utelatt for hele perioden. En trendanalyse på dette datasettet (som inkluderer mars – oktober) gir en ikke-signifikant trend på $-0.07\% \pm 0.08\%$ pr. år på årsbasis.

En tilsvarende trendanalyse ble gjort ved å bruke data basert på TOMS for hele perioden 1979-2001. Som vist i figur 9 a) gir en trendanalyse på dette datasettet en signifikant trend på $-0.22\% \pm 0.07\%$ pr. år på årsbasis. Resultatene av trendanalysene er vist i tabell 4.



Figur 9a): Samme som vist i figur 8b), men alle ozonverdiene er basert på TOMS-målinger.

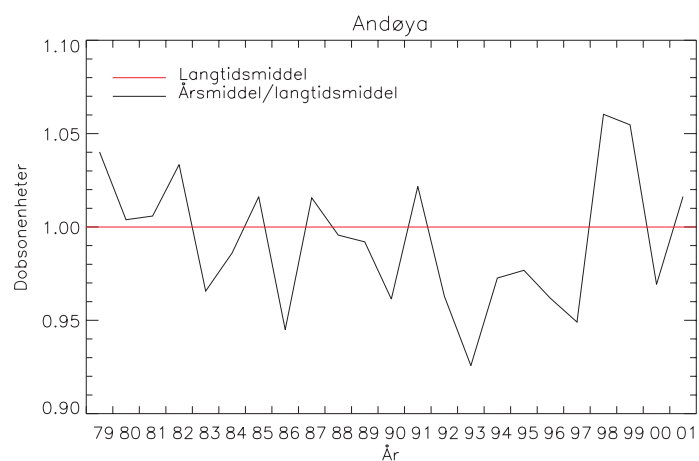
Figur 9b): Sammenligning av månedsmiddelverdier basert på TOMS-målinger og månedsmiddelverdier basert på en kombinasjon av Dobson- og Brewer-målinger. Oppholdet i 1995/1996 skyldes at det ikke var noe TOMS-instrument i drift i denne perioden.

I figur 9b) er det vist en sammenligning av månedsmiddelverdiene basert på TOMS og månedsmiddelverdiene basert på en kombinasjon av Dobson- og Brewer-målinger for perioden 1985-2001. Sammenligningen viser at forholdet TOMS/Dobson avtar fra ca +2% i perioden 1985-1995 til ca -1% etter 1996. Årsaken til denne driften i forholdet mellom de to måleseriene er ikke kjent og vil bli studert nærmere i løpet av 2002.

Tabell 4: Endring i ozonmengden i prosent pr. år for Andøya for perioden 1.3.1979 til 30.09.2001. 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	Trend (% per år) når data fra Dobson, Brewer og TOMS er benyttet	Trend (% per år) når data fra kun TOMS er benyttet
Vår: mars-mai	- 0.13 (0.16)	- 0.36 (0.14)
Sommer: juni-august	+ 0.03 (0.08)	- 0.07 (0.06)
Hele året (mars – oktober)	- 0.07 (0.08)	- 0.22 (0.07)

Årsmiddelet for hvert av årene fra 1979 til 2001 relativt til langtids-årsmiddelet (1979- 1989) er vist i figur 10. Årsmiddelet for 2001 lå nær langtids-årsmiddelet.



Figur 10: Årsmidler i perioden 1979-2001 for Andøya basert på målinger med Dobson-, Brewer- og TOMS-instrumentene. Figuren viser forholdet mellom hvert årsmiddel og langtids-årsmiddel for 1979-1989. Data for vintermånedene oktober-februar er ikke inkludert i årsmiddelet

4. UV-målinger

Det norske UV-nettverket består av 8 fem-kanals GUV-instrumenter. NILU har ansvaret for driften av instrumentene ved tre målestasjoner (Oslo, Andøya og Ny-Ålesund), mens Statens Strålevern har ansvaret for de øvrige fem instrumentene (Trondheim, Kise, Bergen, Østerås og Landvik). Nettverket ble opprettet i 1994/95.

I tabell 5 er det gitt en oversikt over antall dager det mangler GUV-data hele eller deler av dagen for de tre stasjonene. Dager hvor solen står under horisonten (polarnatt) er ikke tatt med i oversikten. For Oslo og Ny-Ålesund har det vært få dager med driftsstans i 2001. GUV-instrumentet på Andøya har vært ute av drift i hele 71 dager i 2001, noe som har medført at vi mistet ca. 18% av årsdosen. Dette er meget uheldig og skyldes en rekke tekniske problemer både med selve instrumentet og med PC-ene. I løpet av 2000 oppstod det feil på enheten som regulerer temperaturen i GUV-instrumentet. Feilen skyldes en konstruksjonsfeil og har gitt problemer på samtlige 8 målestasjoner i nettverket. I løpet av desember 2000/januar 2001 modifiserte NILU temperatur-regulatorene. Målingene på Andøya kom derfor ikke i gang igjen før 23. februar 2001. I mai 2001 ble PC-en på Andøya byttet ut med en nyere modell og det ble installert nytt operativsystem (WinNT). I forbindelse med skifte av ny PC oppstod det en rekke problemer med GUV-softwaren, og det viste seg etterhvert at GUV-softwaren ikke kjører tilfredsstillende under dette operativsystemet.

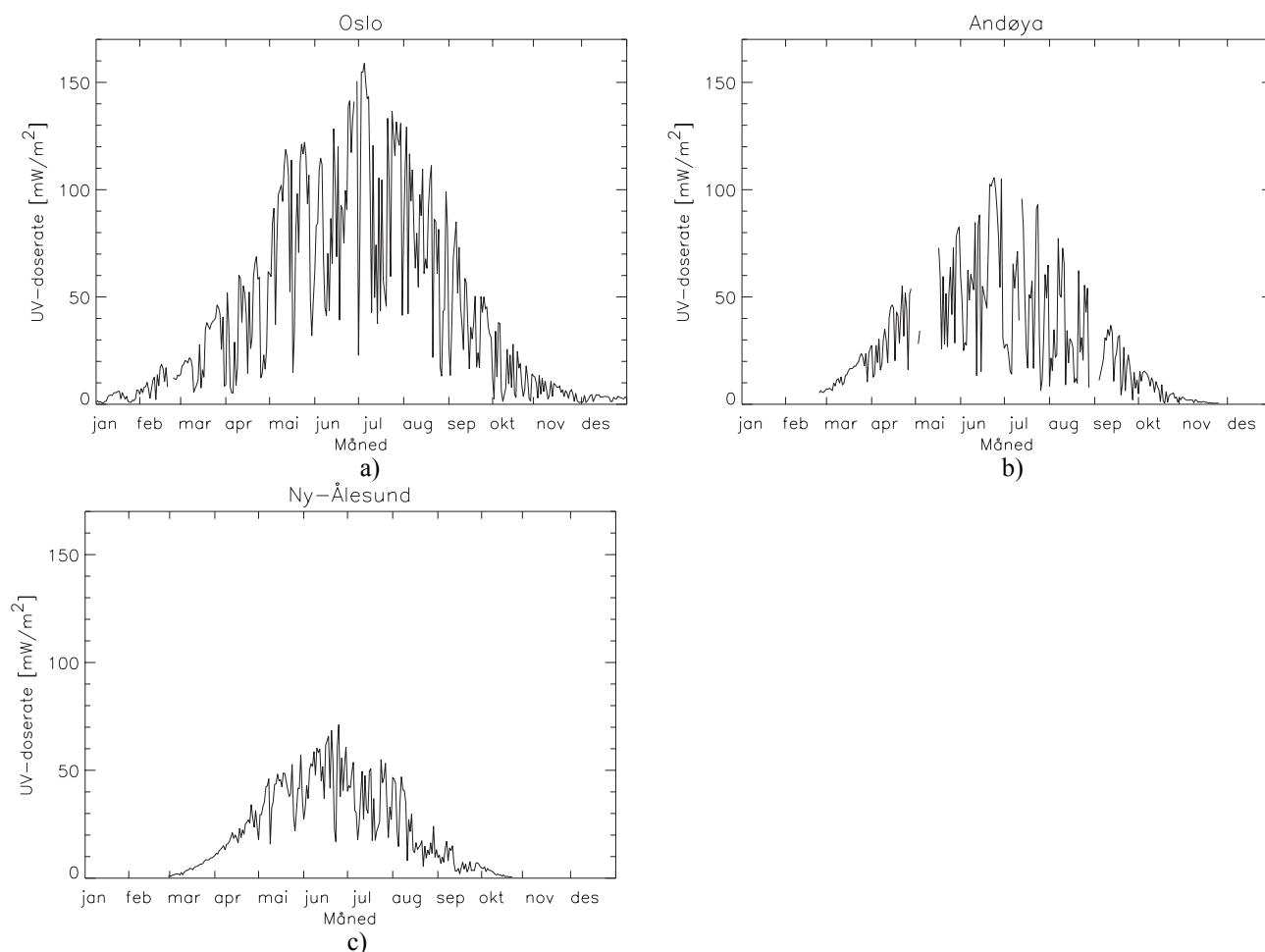
NILU har et spektroradiometer (Bentham DTM-300, dobbel monokromator) på Andøya som måler solspekteret fra 290 - 650 nm i 1 nm step. UV-doseraten kan beregnes fra spektrene og gir dagsdoser som er i god overensstemmelse med GUV-instrumentet. Når vi benytter data fra spektroradiometeret reduseres antall dager uten målinger fra 71 til 48, mens % av årsdosen som er mistet reduseres fra 18% til 13.5%. I juni 2002 ble det installert et nytt UV-radiometer (NILU-UV) på Andøya som vil stå å måle parallelt med GUV-instrumentet. Instrumentet er utviklet på NILU og er svært likt GUV-instrumentene. Ved eventuelle tekniske problemer med GUV-instrumentet på Andøya vil målingene fra NILU-UV instrumentet kunne brukes til beregning av UV-doser.

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 som mangler data	% av årsdosen mistet
Oslo	6	0.7 %
Andøya	71	18 %
Ny-Ålesund	1	~0 %

4.1 Måleresultater 2001

Figur 11 viser timesmiddel av UV-doseraten midt på dagen (mellom 10:30 og 11:30 GMT) for Oslo, Andøya og Ny-Ålesund. UV-doseraten er et mål på den samlede biologiske effekten av UV-A og UV-B stråling. Enheten for dose rate er mW/m^2 , men den kan også angis ved en UV-indeks. UV-indeks 1 tilsvarer $25\text{mW}/\text{m}^2$.



Figur 11: UV-doseraten målt midt på dagen i 2001 for a) Oslo, b) Andøya og c) Ny-Ålesund.

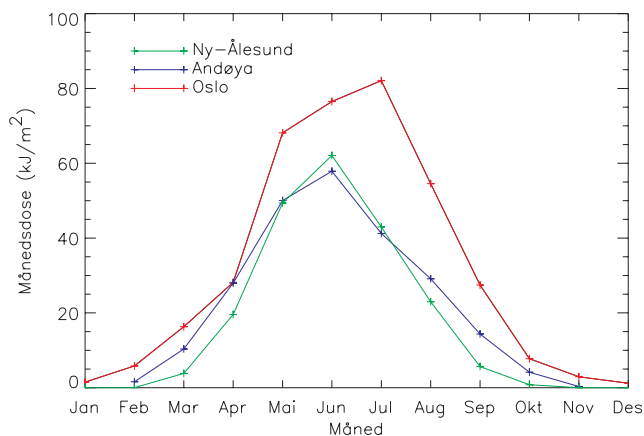
Tabell 6 viser høyeste UV-indeks registrert på de tre målestasjonene. De høyeste nivåene vil normalt inntreffe i sommermånedene når sola står høyest på himmelen. De viktigste faktorene som påvirker UV-strålingen er solhøyde, skyer, ozonlagets tykkelse og refleksjon fra bakken (albedo). Årstidsvariasjonen i UV-doseraten som skyldes solhøyden kommer tydelig frem i figur 11. De store variasjonene i doseraten fra dag til dag skyldes hovedsakelig varierende skydekke, men varierende ozonmengde spiller også en viktig rolle. I 2001 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.

Tabell 6: Tabellen viser høyeste registrerte UV-indeks ved de tre stasjonene i UV-nettverket i 2001.

Stasjon	Høyeste registrerte UV-indeks i 2001	Dato
Oslo	6,4 (158,9 mW/m ²)	4. juli 2001
Andøya	4,2 (105,6 mW/m ²)	23. juni 2001
Ny-Ålesund	2,8 (71,2 mW/m ²)	24. juni 2001

UV-månedsdoser for Oslo, Andøya og Ny-Ålesund er vist i Figur 12. Månedsdosen er den samlede 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.



Figur 12: Månedlige integrerte UV-doser i 2001 målt med GUV-instrumentene i Oslo, på Andøya og i Ny-Ålesund.

4.2 Årsdoser

UV-nettverket har vært i drift siden midten av 1995. 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 det for Ny-Ålesund finnes data fra og med sommeren 1995. For Ny-Ålesund rapporteres det derfor årsdoser fra og med 1996. I perioden 1996-1999 var GUV-instrumentet som nå er installert ved ALOMAR-observatoriet på Andøya, plassert i Tromsø. 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 måleserien fra Tromsø ikke kan videreføres, men starter på nytt fra og med år 2000 på ALOMAR.

Som nevnt tidligere, mangler det målinger fra Andøya for i alt 48 dager i 2001. Dagsdosene for disse dagene er beregnet ved hjelp av en strålingstransportmodell. I modellen benyttes ozondata fra TOMS, og det antas en midlere skytransmisjon på 75%. Dette gir en usikkerhet i årsdosen på ca 4.5%. Årsdosene for de ulike målestasjonene er vist i tabell 7. Det er viktig å være oppmerksom på at variabiliteten i årsdosen vil være ganske stor pga. endringer i skydekke fra år til år.

Tabell 7: Årlige UV-doser (kJ/m^2) observert ved de tre stasjonene i perioden 1995-2001.

År	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
2000	363.2	239.7	231.0	
2001	372.3	237.0	208.6	

5. Referanser

- Braathen, G.O., Dahlback, A., Svenøe, T., Bojkov, B. og Hansen, G.H. (1998) Overvåking av ozonlaget. Årsrapport 1997. Kjeller (NILU OR 56/98).
- Dahlback, A. (2001) Personlig kommunikasjon.
- Dahlback, A. og Tønnessen, F. (2001) Ozonmålinger med Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund og Brewer- og Dobson-instrumentet ved Universitetet i Oslo i 2001 (Måledata).
- Dahlback, A., Braathen, G.O. og Stordal, F. (1995) Overvåking av ozonlaget. Årsrapport 1994. Kjeller (NILU OR 20/95).
- Høiskar, B.A.K., Braathen, G.O.B., Dahlback, A., Bojkov, B.R., Edvardsen, K., Hansen, G.H., Svenøe, T. (2001) Overvåking av atmosfærens ozonlag og naturlig ultrafiolett stråling. Årsrapport 2000. Kjeller (NILU OR 35/2001).
- Larsen, S.H.H. (1993) Ozonmålinger med Dobson-instrumentet ved Universitetet i Oslo 1979-1993 (Måledata).
- Roscoe, H.K., Johnston, P.V., van Roozendaal, M., Richter, A., Sarkissian, A., Roscoe, J., Preston, K.E., Lambert, J.-C., Hermans, C., Decuyper, W., Dzienus, S., Winterrath, T., Burrows, J., Goutail, F., Pommereau, J.-P., d'Alemeida, E., Hottier, J., Coureul, C., Didier, R., Pundt, I., Bartlett, L.M., Mcelroy, C.T., Kerr, J.E., Elokhov, A., Giovanelli, G., Ravegnani, F., Premuda, M., Kostadinov, I., Erle, F., Wagner, T., Pfeilsticker, K., Kenntner, M., Marquard, L.C., Gil, M., Puentedura, O., Yela, M., Arlander, D.W., Kåstad-Høiskar, B.A., Tellefsen, C.W., Karlsen Tørnkvist, K., Heese, B., Jones, R.L., Aliwell, S.R. og Freshwater, R.A. (1999) Slant column measurements of O₃ and NO₂ during the NDSC intercomparison of zenith-sky UV-visible spectrometers in June 1996. *J. Atmos. Chemistry*, 32, 281-314.
- Svendby, T. M. og Dahlback, A. (2002) Twenty years of revised Dobson total ozone measurements in Oslo, Norway, Accepted for publication in *Journal of Geophysical Research*, 4 March 2002.
- Svenøe, T. (2000) Re-evaluation, statistical analysis and prediction based on the Tromsø total ozone record. A dissertation for the degree of doctor scientiarum. Tromsø, Universitetet i Tromsø.
- Vaughan, G., Roscoe, H.K., Bartlett, L.M., O'Connor, F.M., Sarkissian, A., Van Roozendaal, M., Lambert, J.-C., Simon, P.C., Karlsen, K., Kåstad Høiskar, B.A., Fish, D.J., Jones, R.L., Freshwater, R., Pommereau, J.-P., Goutail, F., Andersen, S.B., Drew, D.G., Hughes, P.A., Moore, D., Mellqvist, J., Hegels, E., Klupfel, T., Erle, F., Pfeilsticker, K., Platt, U. (1995) An intercomparison of ground-based UV-visible sensors of ozone and NO₂. *J. Geophys. Res.*, 102, 1411-1422, 1997.



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2027 Kjeller

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORT NR. NILU OR 35/2002	ISBN 82-425-1375-9 ISSN 0807-7207	
DATO	ANSV. SIGN.	ANT. SIDER 19	PRIS NOK 150,-
TITTEL Overvåking av ozonlaget og naturlig ultrafiolett stråling.		PROSJEKTLEDER Britt Ann K. Høiskar	
		NILU PROSJEKT NR. O-8985	
FORFATTER(E) Britt Ann K. Høiskar, Geir O. Braathen, Arne Dahlback, Kåre Edvardsen, Georg Hansen, Tove Svendby		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF. Ann-Margit Bull	
OPPDRAKSGIVER Statens forurensningstilsyn Postboks 8100 Dept. 0032 Oslo			
STIKKORD Stratosfæreozon	UV-stråling	Måledata	
REFERAT Rapporten presenterer måledata for totalozon, vertikalfordelingen av ozon og UV-stråling ved norske målestasjoner i 2001. For Oslo og Andøya er trenden for tidsrommet 1979-2001 beregnet.			
TITLE Monitoring of the atmospheric ozone layer and natural ultraviolet radiation. Annual report 2001.			
ABSTRACT Data for total ozone, the vertical distribution of ozone and UV radiation at Norwegian measurement sites are given for the year of 2001. The trend in total ozone for Oslo and Andøya for the time period 1979-2001 has been calculated.			

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