



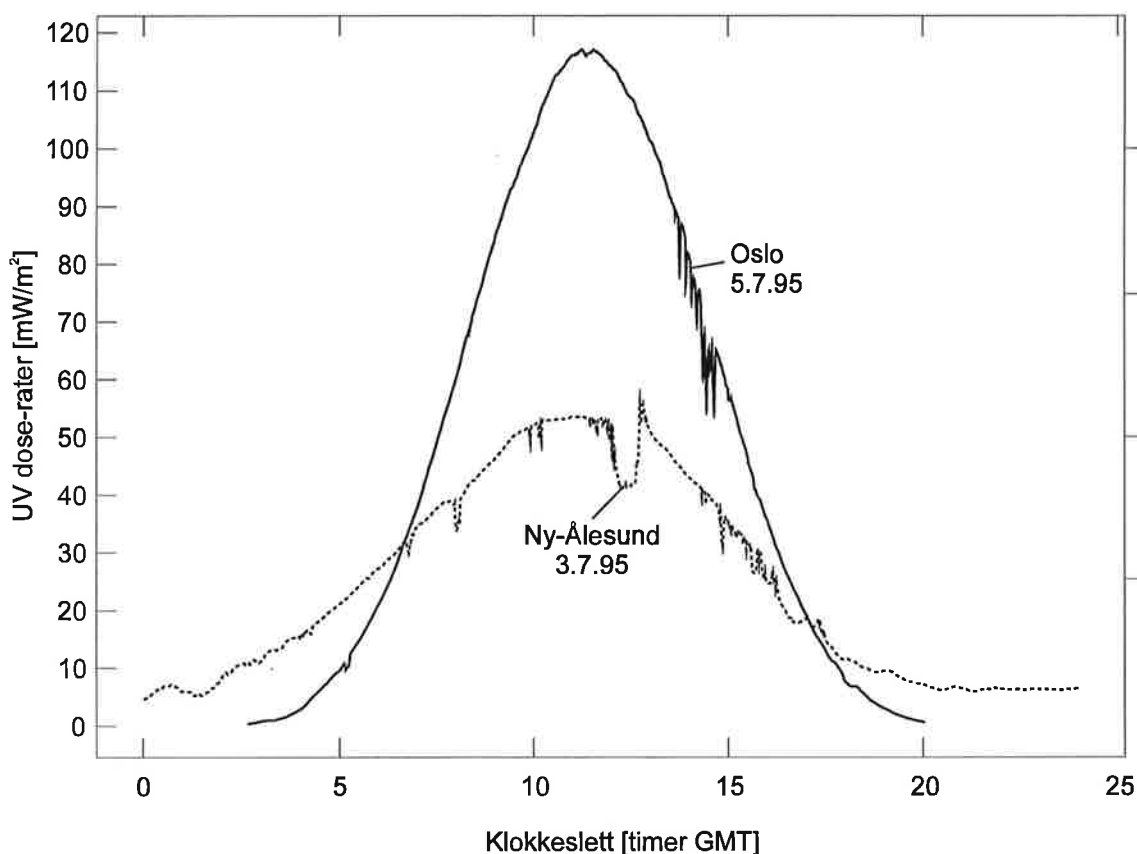
Rapport nr.: 662/96

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn

Deltakende institusjon: NILU

Overvåking av ozonlaget

Årsrapport 1995



TA-1345/1996



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 utlipp og andre aktiviteter.

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

Resultater fra de enkelte overvåkingsprosjekter publiseres i årlige rapporter.

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

NILU : OR 34/96
REFERANSE : O-8985
DATO : JUNI 1995
ISBN : 82-425-0781-3

Overvåking av ozonlaget

Årsrapport 1995

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

Utført etter oppdrag
fra Statens forurensningstilsyn



Norsk institutt for luftforskning
Postboks 100
2007 Kjeller

Innhold

	Side
Sammendrag	5
1. Ozonmålinger 1995	9
1.1 Dobson- og Brewer-instrumentene.....	9
1.2 SAOZ-instrumentet	13
1.3 Ozon-sonder	14
1.4 Ozon-lidar	17
2. Ozonmålinger 1979-1995	18
3. Ozonmålinger med Dobson, Brewer, SAOZ , GUV-511, Ozon- lidar og TOMS.	22
3.1 Målemetoder	22
3.2 Sammenligninger	24
4. UV-målinger	28
4.1 Måleresultater 1995	28
4.2 Målemetoder	33
4.3 Det norske UV-nettverket.....	35
5. Referanser	36

Sammendrag

Totalozon (ozonlagets tykkelse) måles daglig i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund på Svalbard. For alle tre stasjoner varierer de daglige ozonverdiene mye, spesielt om våren. Dette har sammenheng med meteorologiske forhold. Basert på månedsmidler var ozonverdiene gjennomgående lave i 1995 for alle tre stasjoner. I Oslo hadde august størst avvik med 10% under augustmiddelet for 1979-1989. Dette er det laveste målte augustmiddel siden 1979. I Tromsø viste april og juni størst avvik, begge med 9% under månedsmidlene for 1984-1991. I Ny-Ålesund lå mars 21% og april 13% under månedsmidlene for 1984-1991. Målingene for mars måned er imidlertid noe usikre fordi måleforholdene er vanskelige i Ny-Ålesund på den tiden av året.

Basert på bakkemålinger i Oslo er det utført en trendanalyse for perioden 1979-1995. Analysen gir en gjennomsnittlig nedgang på 0.44% pr. år om vinteren, 0.70% pr. år om våren og 0.29% pr. år om sommeren. Høsten viser ingen statistisk signifikant endring. På årsbasis er nedgangen 0.39% pr. år. Den nedadgående trenden har ikke vært jevn i perioden 1979-1995. For Tromsø har vi en sammenhengende måleserie fra 1935 til 1970 og fra 1984 til 1995, og for Svalbard fra 1950 til 1969 og fra 1984 til 1995. De eldste måledataene må reevalueres før en faglig forsvarlig trendanalyse kan foretas. Tromsø-dataene bearbeides nå av NILUs Tromsø-avdeling.

I Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund måles den ultrafiolette strålingen fra sola kontinuerlig med GUV-instrumenter. I Oslo startet målingene i februar 1994, mens målingene i Tromsø og Ny-Ålesund startet juli 1995. UV-nivået angis med en UV-dose-rate eller UV-indeks som beskriver den biologiske effekten av UV-A og UV-B. UV-nivået er bestemt av en rekke faktorer hvor de viktigste er solhøyden, skymengden, totalozon, og refleksjonsegenskapene ved jordens overflate. Målingene viser at når ozonmengden avtar med 1% vil UV-dosen øke med 1.0-1.2%. Skyer kan dempe UV-strålingen effektivt, men svekkingsgraden varierer sterkt med skytypen. Et tynt skydekke endrer UV-nivået ubetydelig mens et tykt skydekke kan redusere UV-nivået med opptil 90%. Snø på bakken reflekterer UV-strålingen og kan øke UV-dosen med opptil 40%.

Siden GUV-instrumentene gjør det mulig å måle både UV-strålingen, totalozon og effekter av skyer og bakkerefleksjon er det mulig å avgjøre om eventuelle fremtidige endringer i UV-nivået skyldes endringer i den totale ozonmengde eller en eller flere av de andre faktorene. Målingene i 1995 viser at når skyforholdene er de samme har Oslo høyest UV-nivå mens Ny-Ålesund er betydelig lavere ved samme tidspunkt. Dette skyldes at solhøyden i Ny-Ålesund er lavere enn i Oslo. Siden solen alltid står høyere på himmelen i Tromsø enn i Ny-Ålesund vil UV-nivået i Tromsø være høyest av disse to stasjoner når skyforholdene er de samme. Ved tilnærmet like atmosfæriske forhold vil UV-dosen endre seg med ca. 5% pr. breddegrad. Imidlertid var UV-nivået sommeren 1995 gjennomgående likt for de to stasjonene. Dette skyldes at Tromsø i gjennomsnitt hadde et tykkere skydekke enn Ny-Ålesund.

GUV-instrumentene ble i mai 1995 kalibrert mot et spektralradiometer i San Diego, USA. Dette spektralradiometeret er med i et nettverk av instrumenter i Antarktis og Arktis finansiert av det amerikanske National Science Foundation. Våre data kan dermed sammenlignes med data fra dette nettverket.

Både ved Universitetet i Oslo og Universitetet i Tromsø benyttes det to instrumenter for ozonlagsmåling, et Dobson-instrument og et Brewer-instrument. Brewer-instrumentet er delvis automatisk og muliggjør hyppigere målinger enn det som er praktisk mulig med Dobson-instrumentet. Dobson-instrumentet gir foreløpig sikrere målinger i skyet vær og ved lav sol. Når måleforholdene er gode er det meget god overensstemmelse mellom Brewer og Dobson både i Tromsø og i Oslo. Stabiliteten til Brewer- og Dobson-instrumentene blir regelmessig sjekket. Begge Brewer-instrumentene har i 1995 blitt kalibrert mot et internasjonalt referanse-instrument. Stabiliteten til instrumentene har vært god.

Fra Bjørnøya og fra Gardermoen sendes det jevnlig opp ozonsonder med ballong. Disse når under gode forhold opp til 35 km høyde, dvs. over det meste av ozonlaget. Disse gir informasjon om høydefordelingen av ozon og er viktige for å øke forståelsen av de prosesser som forårsaker endringer i atmosfærens ozonmengde. Målinger med ozonsonder i Antarktis har vist at nedbrytning av ozon i perioden september-november hvert år skjer i høydeområdet 14-24 km, hvor mesteparten av ozonet befinner seg. Våre sonderinger har imidlertid ikke vist slike dramatiske endringer i høydefordelingen av ozon hos oss.

SAOZ-instrumentet (System for Analysis of Observations at Zenith) i Ny-Ålesund har vært i drift siden 1990. Dette instrumentet er bygget bl.a for å måle ved lav sol. Instrumentet viser relativt god overensstemmelse med andre tradisjonelle instrumenter. SAOZ-instrumentet er et godt supplement til Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund siden det øker målesesongen med ca. 3 måneder. Marsmiddelet, som er basert på målinger med SAOZ, lå 21% under marsmiddelet for 1984-1991. Dette er det samme som ble registrert i mars 1994 og er meget lavt i forhold til marsmiddelet for andre år.

Ozonsonde-programmet har i 1995, i tillegg til støtte fra SFT, også fått støtte fra Norges Forskningsråd og EU-kommisjonen. GUV-instrumentene i Tromsø og Ny-Ålesund samt Brewer-instrumentene i Oslo og i Tromsø er finansiert av SFT. Måleprogrammet og rapportering er gjort mulig gjennom det statlige prosjekt for ozonlagsovervåkning.

I 1995 ble ozon-lidaren ved ALOMAR- observatoriet på Andøya satt i drift. Det ble i løpet av vintermånedene gjort en rekke målinger av den vertikale ozonfordelingen over Andøya.

Ansvarlig for ozonmålinger ved Universitetet i Oslo og i Ny-Ålesund er Finn Tønnessen (Tønnessen, 1995). Målinger med Dobson-instrumentet i Oslo 1979-1993 er utført av Søren H. H. Larsen (Larsen, 1993). Ansvarlig for ozonmålinger i Tromsø i 1995 har vært Kjell Henriksen (Henriksen, 1995). NILU er ansvarlig for

ozonsonder fra Bjørnøya og Gardermoen, SAOZ-instrumentet på Ny-Ålesund og GUV-instrumentene i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund.

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

Nytt i 1995:

I 1995 har to nye aktiviteter innen det statlige program for ozonlags-overvåking startet.

1. Et nasjonalt nettverk for målinger av UV-stråling ble vedtatt opprettet. Dette nettverket opereres i samarbeidet mellom SFT, Statens Strålevern og NILU. NILU satte to nye stasjoner i drift i henholdsvis Tromsø og Ny-Ålesund i tillegg til stasjonen i Oslo, som har vært i drift siden 1994.
2. En ozonlidar ble i januar 1995 satt i drift ved ALOMAR-observatoriet på Andøya. Dette instrumentet kan måle den vertikale fordelingen av ozon med god tidsoppløsning.

Overvåking av ozonlaget

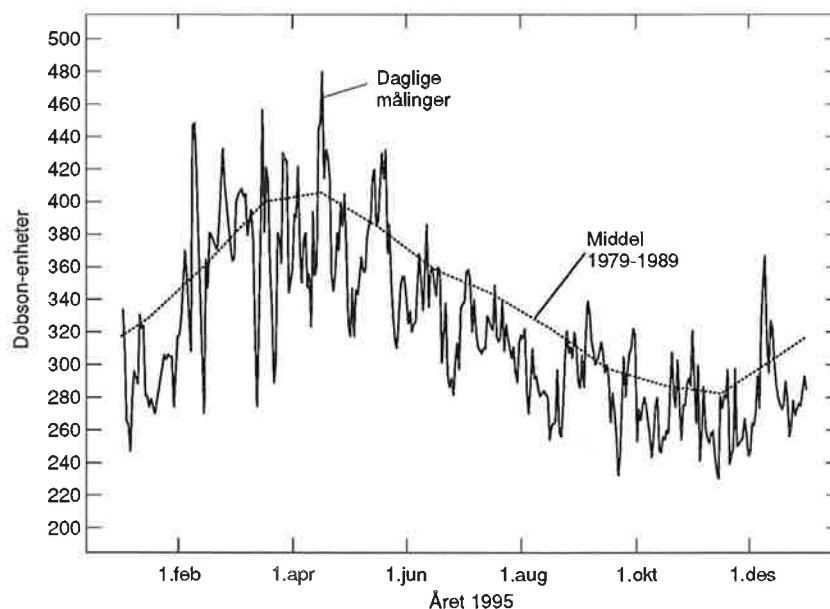
Årsrapport 1995

1. Ozonmålinger 1995

1.1 Dobson- og Brewer-instrumentene

Totalozon (ozonlagets tykkelse) måles daglig i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. Ved alle tre steder benyttes Dobson-instrumenter. I Oslo og i Tromsø benyttes også Brewer-instrumenter. Som vanlig på våre breddegrader er variasjonene fra dag til dag store, spesielt om vinteren og våren. Dette skyldes meteorologiske variasjoner.

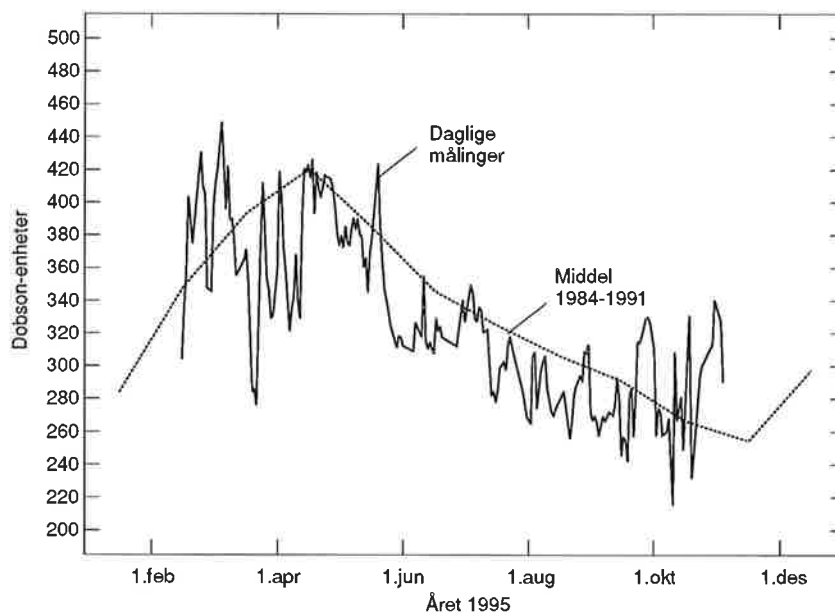
Målingene i Oslo (Tønnessen, 1995) er vist i figur 1. De daglige verdiene er basert på målinger med Brewer- og Dobson-instrumentet. Den heltrukne kurven viser de daglige verdier, mens den stiplede er månedsmiddelverdien for årene 1979-1989. Perioden fra 1979 til 1989 er valgt for beregninger av langtidsmiddelet siden det er en mulig sammenheng mellom solflekkaktivitet og totalozon, og denne perioden dekker en solflekksyklus. Det viser seg imidlertid at dette valget ikke er avgjørende. Det beregnete langtidsmiddel endrer seg svært lite hvis perioden økes til f.eks. 1979-1991 (månedsmiddelverdien vil endre seg med mindre enn 4 DU).



Figur 1: *Daglige ozonverdier målt med Dobson- og Brewer-instrumentene ved Universitetet i Oslo i 1995. Den stiplede kurven er månedsmidler fra 1979 til 1989.*

Årets høyeste verdi, 480 DU, ble målt 17. april. De høyeste verdiene måles normalt nettopp om våren. Dette har sammenheng med at transporten av ozonrik luft i stratosfæren fra ekvatorområdene mot høye breddegrader er sterkest om våren. Om høsten er denne transporten svakere og de laveste verdiene måles derfor normalt på denne årstiden. Den lavest registrerte verdi i 1995, 230 DU, ble målt 14. november. Ozonverdiene har vært gjennomgående lave i 1995. Alle månedsmidler for 1995, bortsett fra februar, lå under månedsmiddelverdiene for 1979-1989. Størst avvik hadde august med 10% under augustmiddelet for 1979-1989. Dette er det laveste augustmiddel som er registrert siden 1979.

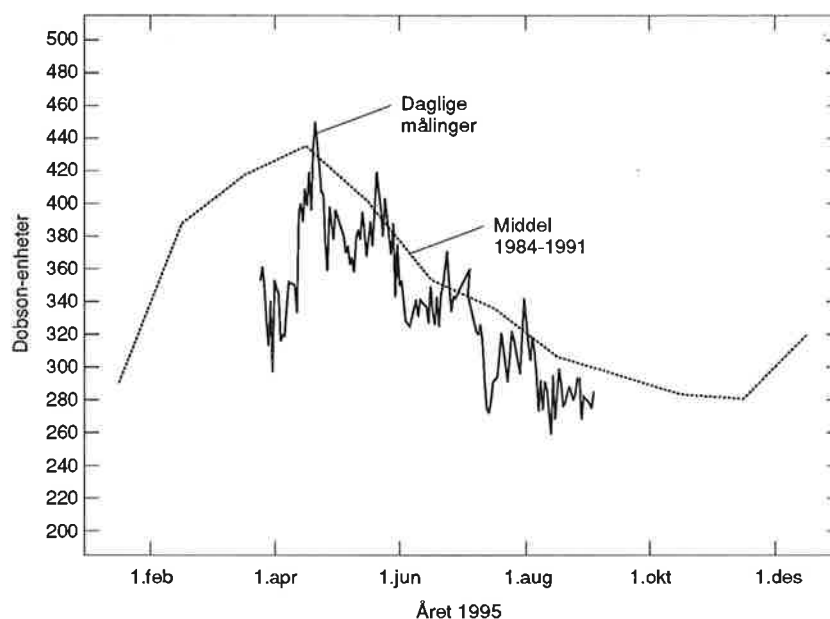
Målingene i Tromsø (Henriksen, 1995) er vist i figur 2. Langtidsmiddelet for Tromsø er basert på målinger i perioden 1984-1991. Fra begynnelsen av november til midten av februar måles ikke totalozon fordi solen står for lavt eller er under horisonten. Totalozon kan imidlertid måles i polarnatten hvis direkte månelys er tilgjengelig. De fleste daglige verdiene i 1995 er basert på målinger med Brewer-instrumentet. Målinger med Dobson-instrumentet er nyttige for kontroll av Brewer-instrumentet. Når målinger på direkte sollys ikke er mulig benyttes ozonverdier basert på målinger på senitlys med Dobson-instrumentet. Kvaliteten på ozonverdier basert på senitlysmålinger med Brewer-instrumentet er foreløpig ikke god nok. Tromsø viser også gjennomgående lave ozonverdier i 1995. Størst negativt avvik hadde april og juni med 9% under 1984-1991-middelet. Februar og oktober lå henholdsvis 6% og 4% over 1984-1991-middelet. Årets høyest målte verdi, 450 DU, ble registrert 5. mars og den laveste, 220 DU, 10. oktober.



Figur 2: *Daglige ozonverdier målt med Dobson- og Brewer-instrumentene ved Universitetet i Tromsø i 1995. Den stiplede kurven er månedsmidlene fra 1984 til 1991.*

Dobson-instrumentet på Svalbard er plassert i Ny-Ålesund, og målingene utføres av personale fra Norsk Polarinstitutt. Analysen av rådataene foretas av Universitetet i

Oslo (Tønnessen, 1995). Dette instrumentet var plassert i Longyearbyen i perioden 1984 til 1994. Fra begynnelsen av oktober til slutten av mars måles ikke totalozon med Dobson-instrumentet fordi solen står for lavt eller er under horisonten. De daglige ozonverdier for 1995 basert på målinger med Dobson-instrumentet, er vist i Figur 3. Alle månedsmidler for 1995, ligger under langtidsmiddelet for 1984-1991. Det største avviket hadde april med 13% under aprilmiddelet for 1984-1991. Årets høyest målte verdi, 450 DU, ble registrert 21. april og den laveste, 225 DU, 13. august.

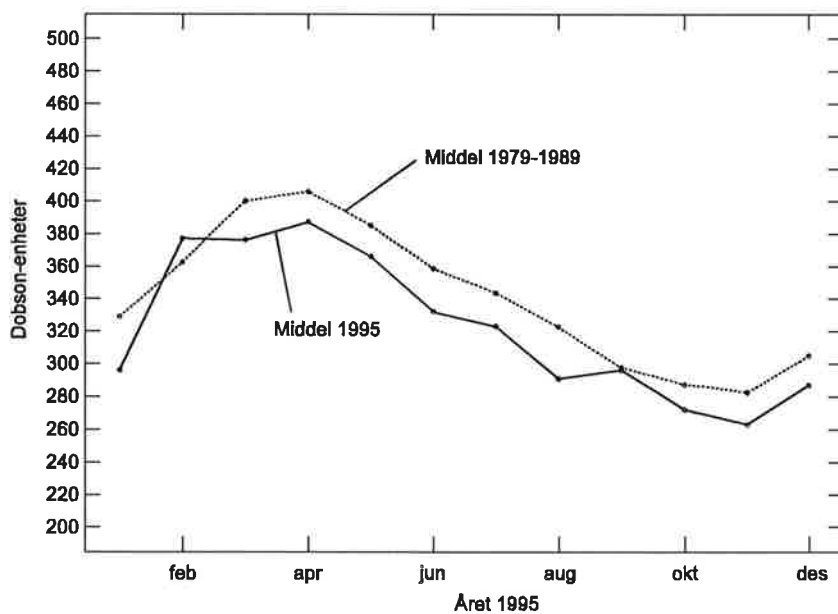


Figur 3: *Daglige ozonverdier målt med Dobson-instrumentet i Ny-Ålesund i 1995. Den stiplede kurven er månedsmidlene fra 1984 til 1991.*

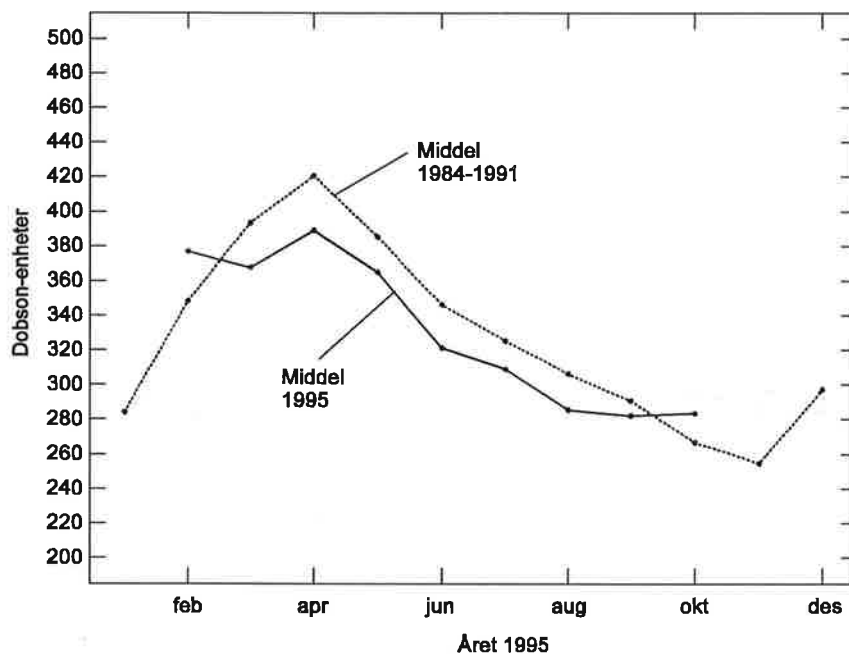
Figurene 4,5 og 6 viser månedsmiddelverdiene i 1995 for henholdsvis Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. Her går det tydelig fram at ozonverdiene for de tre stasjonene har vært gjennomgående lave i 1995. For Oslo er avviket fra langtidsmiddelet størst i januar og i august. Bortsett fra februar og september ligger alle måneder 5-10% under månedsmidlene for 1979-1989. For Tromsø hadde april størst negativt avvik fra langtidsmiddelet, mens februar og oktober hadde middelverdier over langtidsmiddelet. For Ny-Ålesund (figur 6) er også målinger fra SAOZ-instrumentet (avsnitt 1.3) tatt med. Dette gjør det mulig å beregne middelverdier også for februar, mars og oktober. Selv om SAOZ-instrumentet ikke er godkjent som standardinstrument for måling av totalozon, har sammenligninger med Dobson (avsnitt 3.2) og satellitt-instrumentet TOMS (Dahlback et al, 1995) vist at kvaliteten på dataene fra SAOZ-instrumentet er relativt god. Det beregnete marsmiddelet på 20% under marsmiddelet for 1984-1991 er derfor sannsynlig.

Tabell 1: Prosentvis avvik i månedsmiddelverdiene for 1995 fra langtidsmiddelet for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. Verdiene for februar, mars og oktober fra Ny-Ålesund er basert på målinger med SAOZ-instrumentet.

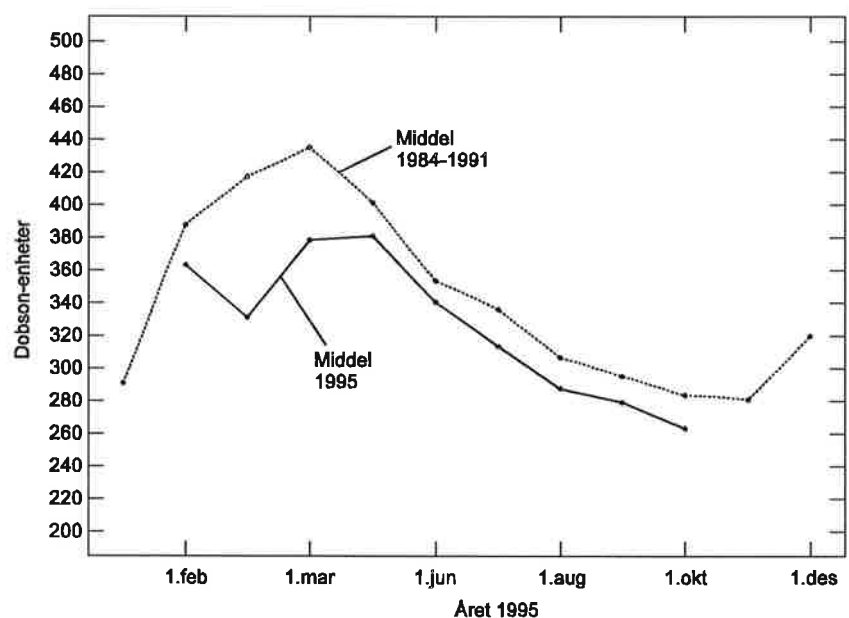
Måned	Oslo	Tromsø	Ny-Ålesund
Januar	-9		
Februar	4	6	-6
Mars	-7	-8	-21
April	-5	-9	-13
Mai	-5	-7	-5
Juni	-7	-9	-4
Juli	-6	-6	-7
August	-10	-8	-6
September	-1	-5	-5
Oktober	-6	4	-7
November	-7		
Desember	-7		



Figur 4: Månedsmiddelverdiene for 1995 og månedsmiddelverdiene for 1979 til 1989 for Oslo.



Figur 5: Månedsmiddelverdiene for 1995 og månedsmiddelverdiene for 1984 til 1991 for Tromsø.

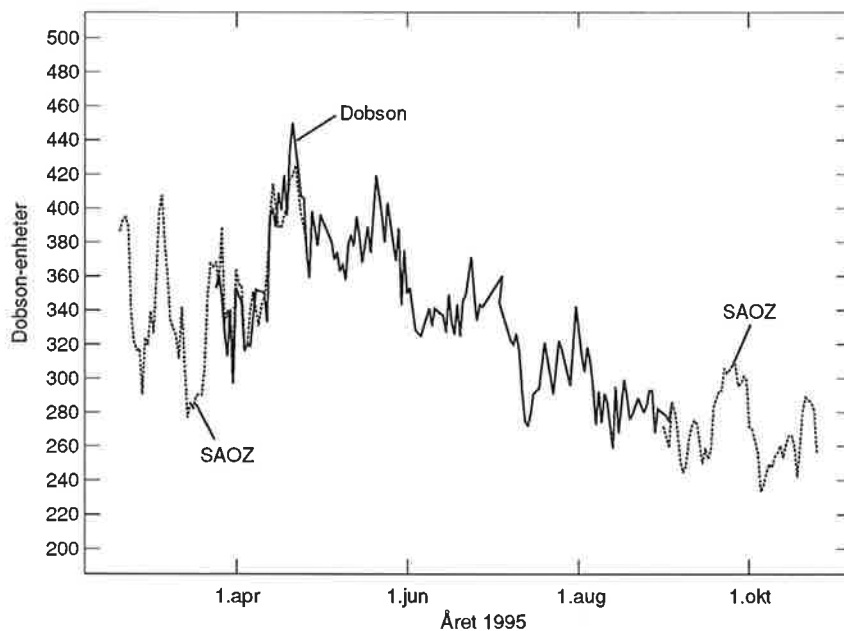


Figur 6: Månedsmiddelverdiene for 1995 og månedsmiddelverdiene for 1984 til 1991 for Ny-Ålesund.

1.2 SAOZ-instrumentet

SAOZ (System for Analysis of Observations from Zenith) har vært plassert på Ny-Ålesund, Svalbard, siden september 1990. Instrumentet er konstruert for å kunne måle bl.a. totalozon når solen står nær horisonten. Figur 7 viser ozonmengden målt med SAOZ og Dobson i Ny-Ålesund i 1995. For Dobson-instrumentet er data-

kvaliteten god når solens senitvinkel er mindre enn 80° . SAOZ-instrumentet kan (med nåværende analysemetode) bare benyttes når senitvinkelen er mellom 87° og 91° . Med SAOZ-instrumentet blir målesesongen øket med ca. tre måneder slik at den totale målesesongen blir ca. 15. februar til 1. november. Kvaliteten på SAOZ-målingene er ikke tilstrekkelig dokumentert. Dette betyr først og fremst at de ikke kan benyttes til nøyaktige trendanalyser. Imidlertid er kvaliteten god nok til at ozonvariasjonene som vises her sannsynligvis er ganske realistiske. God overensstemmelse mellom Dobson og SAOZ i den overlappende perioden om våren støtter denne antagelsen. Avviket for SAOZ i forhold til Dobson i Ny-Ålesund i perioden 25. mars-25. april 1995 er 0% med standardavvik 4.4%. Dessuten er det god overensstemmelse mellom SAOZ og sonder sluppet fra Ny-Ålesund i perioden 15. til 19. mars hvor SAOZ viste stabile lave ozonverdier (277-290 DU). Avviket mellom SAOZ og sonder var mindre enn 10 DU for alle enkeltmålinger i denne perioden. SAOZ gir et mars-middel for 1995 som ligger 21% under mars-middelet for perioden 1984-1991 basert på Dobson-målinger fra Longyearbyen. Alle måneder i målesesongen (februar-oktober) viser negativt avvik fra langtidsmiddelet for perioden 1984-1991.



Figur 7: Daglige ozonverdier målt med Dobson- og SAOZ-instrumentene i Ny-Ålesund i 1995.

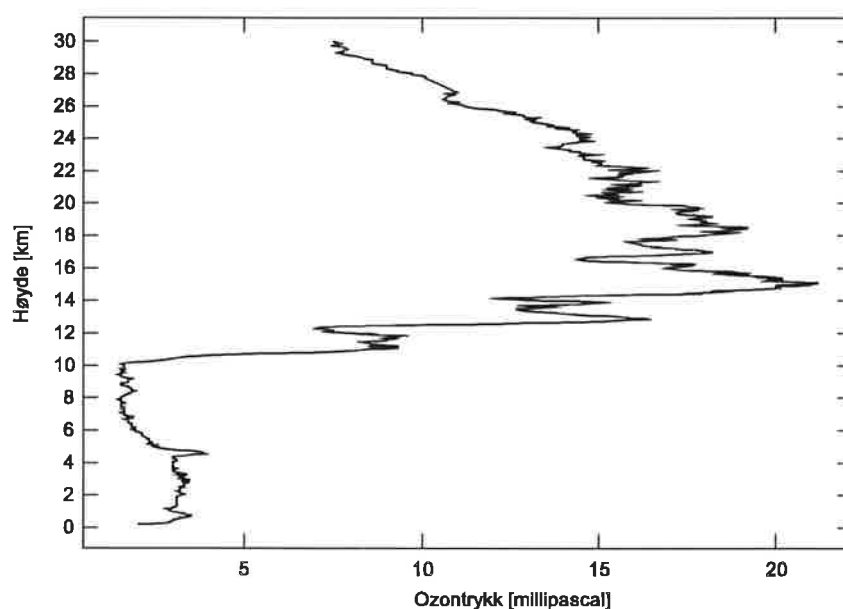
1.3 Ozon-sonder

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 sprekkhøyden for ballongen overstiger 25 km kan dermed den totale ozonmengde anslås siden det er kjent hvordan lufttrykket varierer med høyden.

Selve vertikalfordelingen av ozon gir informasjon som er nyttig for forståelsen av ozonvariasjoner som skyldes meteorologi og eventuell kjemisk nedbrytning.

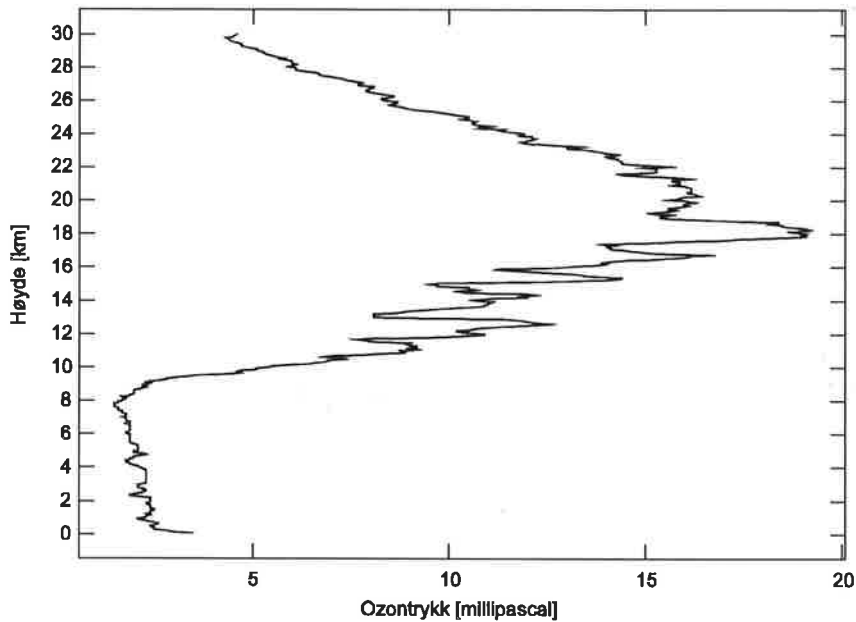
Målinger med ozonsonder i Antarktis har vist at nedbrytningen av ozon i perioden september-november hvert år (ozonhullet) skjer i høydeområdet 14-24 km, hvor mesteparten av ozonet befinner seg. Ozonsonderinger i Arktis, derimot, har ikke vist slike dramatiske endringer i høydefordelingen av ozon. Både høydefordelingen av ozon og totalozon bestemt fra ozonsonder er nyttig for vurdering av totalozon målt med bakkeinstrumenter, spesielt om vinteren under vanskelige måleforhold. Fra Bjørnøya har det blitt sendt opp ozonsonder siden 1988, vanligvis en gang pr. uke. Under de europeiske ozonkampanjene SESAME (1993-1994) og EASOE (1991-1992) og likeledes i 1989 i forbindelse med den amerikanske ozonkampanjen AASE, ble det sendt opp sonder enda hyppigere om vinteren. I forbindelse med EASOE har det blitt sluppet sonder fra værskipet Polarfront i Norskehavet og i forbindelse med SESAME fra Ørland. Fra Gardermoen Radiosondestasjon har det blitt sluppet ozonsonder siden desember 1990.

Figur 8 viser en typisk ozonprofil fra Gardermoen (10. mars, 1995). I den nederste delen av atmosfæren (troposfæren) er ozonkonsentrasjonen lav. Fra ca. 10 km (stratosfæren) øker konsentrasjonen med høyden og når et maksimum i dette eksemplet ved ca. 15 km høyde.



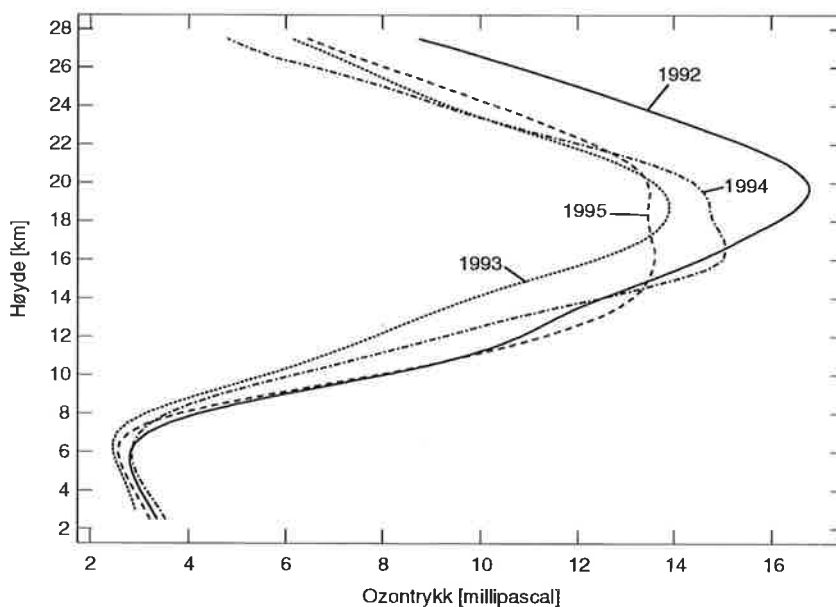
Figur 8: Høydefordelingen av ozon over Gardermoen 10. mars 1995 målt med ozonsonde sendt opp med ballong.

Høyden for maksimal ozonkonsentrasjon varierer fra dag til dag men ligger i middel mellom 20-22 km. Over denne høyden avtar konsentrasjonen med høyden. Overgangen mellom troposfæren og stratosfæren kalles tropopausen. Tropopausehøyden vil variere med de meteorologiske forhold. En av årsakene til variasjon i den totale ozonmengde skyldes varierende tropopausehøyde. Høy tropopause vil gi lav totalozon, mens lav tropopause vil gi høy totalozon. Figur 9 viser en ozonprofil målt over Bjørnøya 10. mars 1995. Maksimal ozonkonsentrasjon inntreffer her ved 18 km høyde.

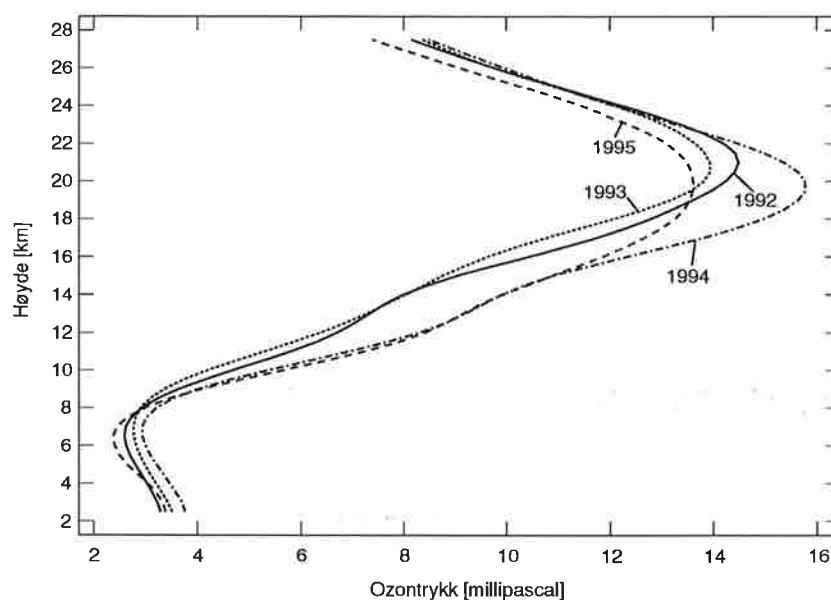


Figur 9: Høydefordeling av ozon målt over Bjørnøya 10. mars 1995 målt med ozonsonde sendt opp med ballong.

Figur 10 og 11 viser midlere vertikal fordeling av ozon for henholdsvis Gardermoen og Bjørnøya for hvert av årene 1992 til 1995. For både Gardermoen og Bjørnøya er variasjonene i ozonkonsentrasjonen størst i den lavere stratosfære mellom 10 og 20 km høyde. De lave ozonverdiene i området 16-20 km på Bjørnøya i 1993 og 1995 har bl.a. sammenheng med at det denne vinteren fant sted betydelig grad av kjemisk nedbrytning av ozon (Braathen et al., 1996). For både Gardermoen og Bjørnøya er maksimalverdien for ozonkonsentrasjonen i stratosfæren i 1995 lavere enn i 1992-1994. Resultatene er basert på 7-16 sonderinger pr. måned.



Figur 10: Midlere høydefordeling av ozon for januar-april for årene 1992 til 1995 over Bjørnøya.

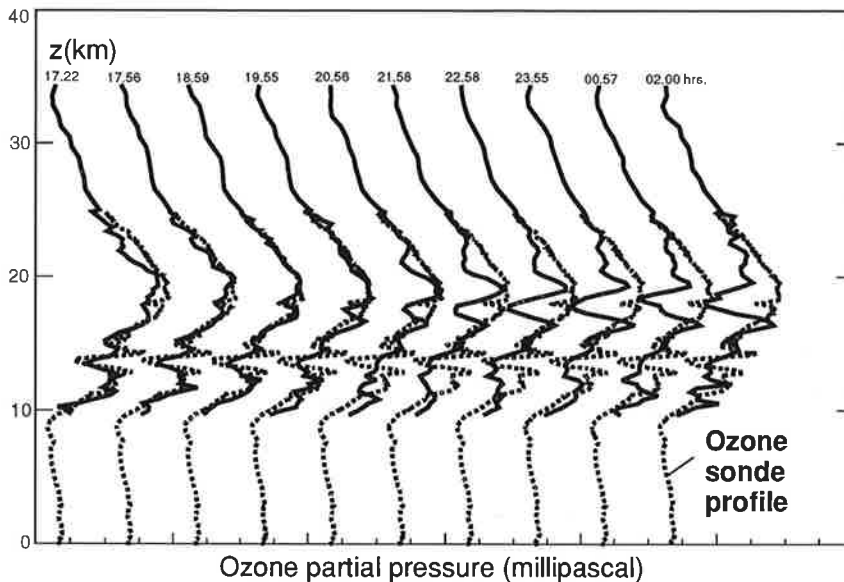


Figur 11: Midlere høydefordeling av ozon for januar-april for årene 1992 til 1995 over Gardermoen.

1.4 Ozon-lidar

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

Ozon-lidaren målte i løpet av vinteren 1994-95 ozon-profilen over Andøya ved en rekke anledninger. Lidaren er blitt brukt til å studere raske variasjoner i ozonets vertikale fordeling. I figur 12 ser vi hvordan ozon-profilen, målt med lidar, endret seg for hver time natten mellom 15. og 16. februar 1995. I samme figur vises også ozon-profilen målt med en ozon-sonde sluppet fra ALOMAR ca. kl. 18 (for lettere å kunne se forandring i profilen utover natten, er profilen fra denne sonden sammenlignet med hver lidar-profil). Det er meget god overenstemmelse mellom lidar- og sondemålinger ved samme tid (ca. kl. 19 - 20). Den raske endringen i ozon-profilen skyldes at kanten av polar-hvirvelen passerte over Andøya. Sammenligning av målinger og modellering gjør det mulig å forstå de dynamiske prosesser som forårsaker slike endringer i ozon-profilen (Orsolini et al. 1996).

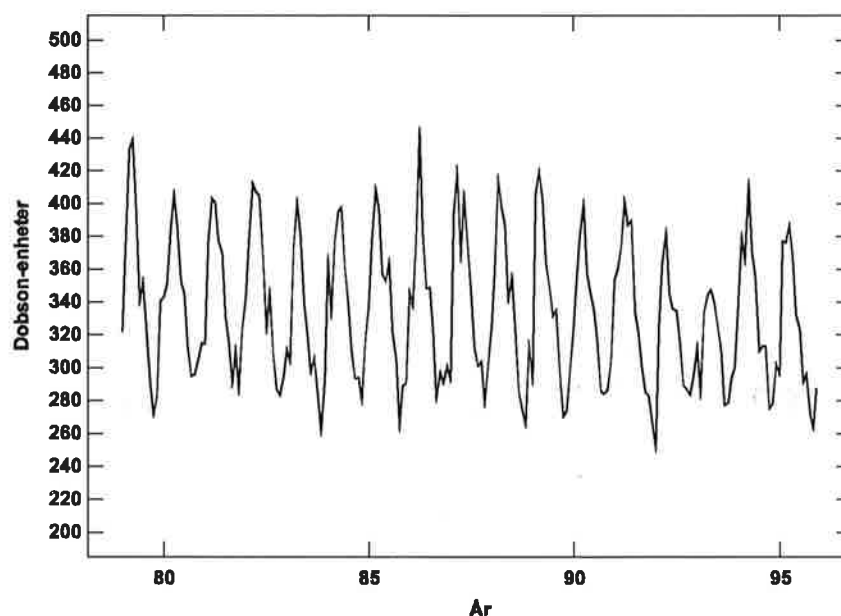


Figur 12: Ozon-profil målt med lidar 15. -16. februar 1995 ved ALOMAR med ca 1 times mellomrom. Lidar-profilene er sammenlignet med profil fra en sonde sluppet omkring kl. 18. Suksessive profiler er forskjøvet med 10 millipascal.

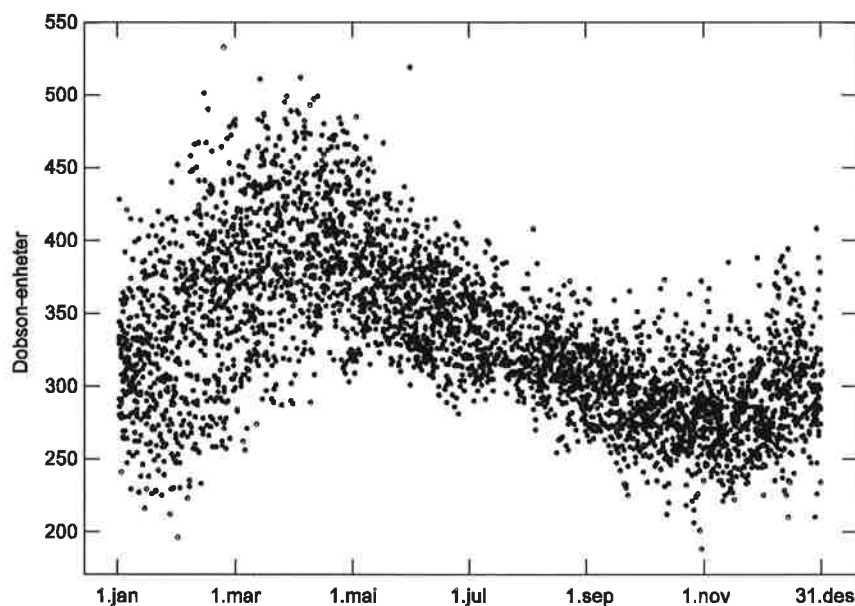
2. Ozonmålinger 1979-1995

Figur 13 viser hvordan ozonmengden, basert på månedsmidler, har variert over Oslo i perioden januar 1979 til desember 1995. 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 middel ligger april-middelet 40% høyere enn november-middelet.

De hurtige og til dels store variasjonene fra dag til dag er midlet bort i figur 13. I figur 14 vises samtlige målinger som er foretatt fra 1. januar 1979 til 31. desember 1995. Hvert punkt i figuren representerer ozonverdien for en dag. Den store spredningen av målingene spesielt om våren kommer tydelig frem. I mars-april er det målt verdier i underkant av 300 DU til i overkant av 500 DU. I november er det målt verdier fra ca. 200 DU til ca. 360 DU. Hurtige variasjoner i ozonmengden skyldes meteorologiske variasjoner.



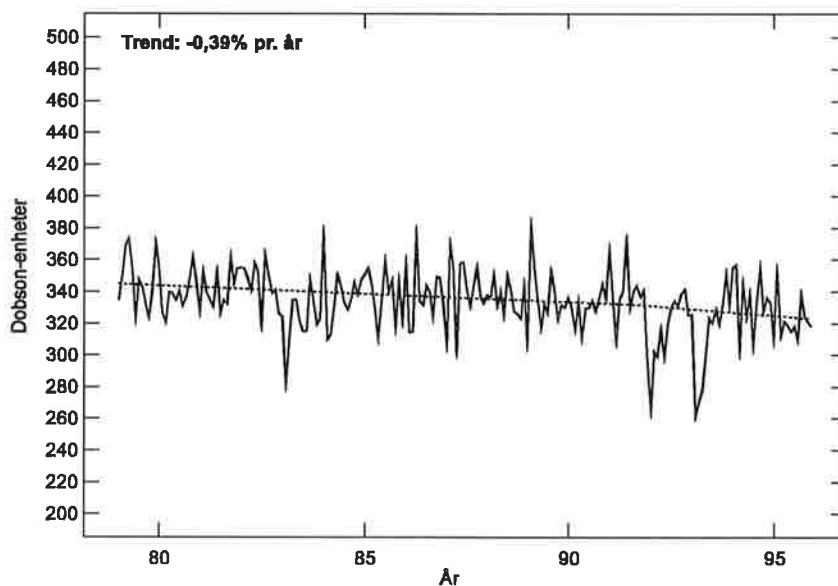
Figur 13: Månedsmidler av ozonmengden over Oslo 1979 til 1995 målt med Dobson- og Brewer-instrumentene basert på månedsmidler.



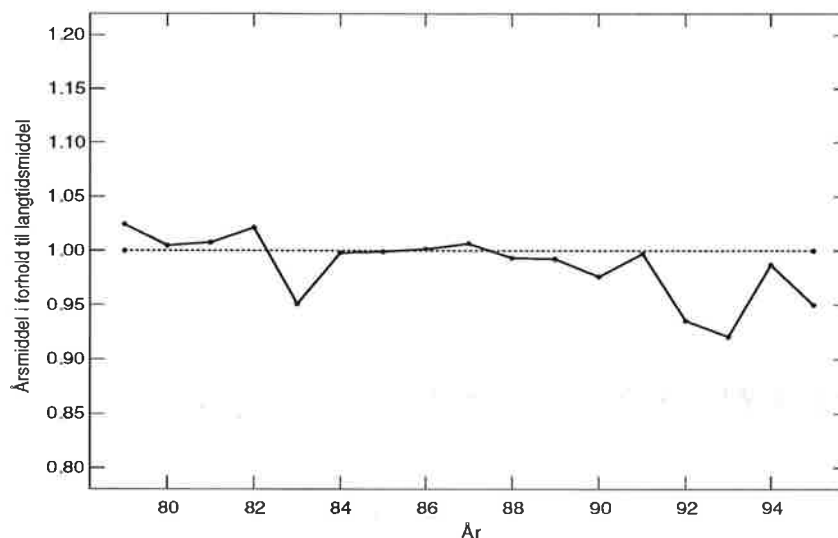
Figur14: Daglige ozonverdier over Oslo 1979 til 1995 målt med Dobson- og Brewer-instrumentene. Hvert punkt representerer ozonverdien for en dag.

Figur 15 viser på en annen måte enn i figur 13 hvordan månedsmidlene varierer fra 1979 til 1995 ved at sesongvariasjonene i perioden 1979 til 1995 er fjernet (sesongvariasjonene i månedsmidlene er fjernet ved å trekke fra langtids-månedsmiddelet og å legge til langtids-årsmiddelet). På denne måten går det tydeligere frem hvordan avviket fra måned til måned varierer gjennom perioden. Merk at ozonverdiene i figur 15 kun illustrerer *variasjonene* i månedsmidlene

gjennom måleperioden og må ikke oppfattes som totalozon siden sesongvariasjonene er fjernet. En trendanalyse på dette datasettet gir en nedgang på $0.39\% \pm 0.08\%$ pr. år på årsbasis. Nedgangen for vintermånedene desember-februar er $0.44\% \pm 0.22\%$ pr. år, for vårmånedene mars-mai $0.70\% \pm 0.17\%$ pr. år og for sommermånedene juni-august $0.29\% \pm 0.12\%$ pr. år. For høstmånedene er det beregnet en nedgang på $0.18\% \pm 0.10\%$ pr. år, som imidlertid ikke er statistisk signifikant. Som det fremgår av figur 15, har trenden ikke vært jevn i perioden 1979 til 1995. Grunnen til dette er sannsynligvis at de meteorologiske forhold, som har betydning for ozonlagets tykkelse, varierer fra år til år. Figur 16 viser årsmiddelet for hvert av årene fra 1979 til 1995 relativt til langtids-årsmiddelet (1979-1989). De lave verdiene i 1983, 1992 og 1993 kan ha sammenheng med vulkanutbruddet fra El Chicón 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 1995. Resultatet av trendanalysen er også vist i tabell 2.



Figur15: Variasjon i ozonmengden over Oslo 1979-1995 basert på målinger med Brewer- og Dobson-instrumentene. Sesongvariasjonene er fjernet. På denne måten kommer trenden tydeligere frem enn i figur 13. Verdiene i figuren må ikke oppfattes som reelle månedsmidler (totalozon) siden sesongvariasjonene er fjernet.



Figur 16: Årsmidler i perioden 1979-1995 for Oslo basert på målinger med Dobson- og Brewer-instrumentet i Oslo. Figuren viser forholdet mellom hvert årsmiddel og langtids-årsmiddel for 1979-1989.

Tabell 2: Endring i ozonmengden i prosent pr. år for Oslo for perioden 1.1.1979 til 31.12.1995. 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.

Vinter: desember-februar	-0.44 (0.22)
Vår: mars-mai	-0.70 (0.17)
Sommer: juni-august	-0.29 (0.12)
Høst: september-november	-0.18 (0.10)
Hele året:	-0.39 (0.08)

For Tromsø har vi en sammenhengende måleserie fra 1935 til 1971 og fra 1984 til 1995. For Svalbard har vi en måleserie fra 1950 til 1969 (Longyearbyen) og fra 1984 til 1995 (Longyearbyen og Ny-Ålesund). Disse dataene bør reevalueres før en faglig forsvarlig trendanalyse kan utføres. Arbeidet med reevaluering av Tromsø-dataene utføres av NILUs Tromsø-avdeling.

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

3.1 Målemetoder

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

Ozonmengden kan også bestemmes fra senitlysmålinger. Slike målinger benyttes i stor grad på våre breddegrader. Dette skyldes at skyet vær og lav sol om vinteren umuliggjør direkte solmålinger. I en senitlysmåling måles det spredte sollyset fra senit. Ozonmengden bestemmes ved et kurvekart som viser sammenhengen mellom ozonmengde, solhøyde og det målte intensitetsforhold. Et slikt kurvekart bestemmes på grunnlag av et stort antall samtidige solmålinger (som gir ozonmengden direkte) og senitlysmålinger. Senitlysmålinger er mer usikre enn direkte solmålinger. Dette skyldes at det målte senitlys, i tillegg til absorpsjon pga. ozon, også påvirkes av høydefordelingen av ozon. Dette gjelder spesielt når solen står lavt på himmelen. Dessuten påvirkes senitlysmålinger av skyer. Ved også å måle med C'-paret, som påvirkes svært lite av ozon, kan man empirisk lage skykorreksjonstabeller. Både AD-, CD- og C-parene benyttes ved senitlysmålinger.

I første rekke skiller Brewer-instrumentet seg fra Dobson-instrumentet ved at det kan registrere etter et oppsatt program (Brewer-manual, 1990). Selv om instrumentet i stor grad er automatisert, krever det hyppig ettersyn og ozonverdiene må kontrolleres. Fordelen med Brewer-instrumentet er at man kan foreta et mye større antall målinger enn hva som er praktisk mulig med Dobson-instrumentet. Mens Dobson-instrumentet benytter to eller fire bølgelengder i UV-området, benytter Brewer-instrumentet fem. Ozonmengden kan bestemmes ved å måle direkte sollys, direkte månelys eller spredt lys fra senit. Brewer-instrumentet muliggjør også måling av SO₂ og UV-B-spekteret. Med Brewer-instrumentet i Oslo er det også mulig å måle NO₂-innholdet i atmosfæren. Senitlysmålinger med Brewer-instrumentet gir med eksisterende analysemetoder ikke tilstrekkelig nøyaktige ozonmålinger. Flere grupper i Norden har etterlyst nye og bedre observasjons- og analysemetoder. Både ved Universitetet i Oslo, Universitetet i Tromsø og NILU er det satt i gang arbeid for utvikling av alternative metoder for bestemmelse av totalozon ved hjelp av senitlys. Universitetet i Oslo har konstruert et senitlyskart som gir gode resultater om sommeren og om høsten. En metode som går ut på å bestemme ozonmengden fra UV-B-spekteret (Stamnes et al., 1991) ble testet på måledata fra

den Nordiske instrumentsammenligningen i 1993 (Dahlback et al., 1994). Metoden fungerte tilfredstillende på det begrensede datasettet som var tilgjengelig. Fordelen med denne metoden er at skyer påvirker ozonmålingene betraktelig mindre enn ved senitlysmålinger. Dette skyldes at irradiansen (direkte + diffus stråling) er mindre følsom for skyer enn senitlys (diffus stråling).

Satellittene NIMBUS 7 og Meteor 3 benyttet et ozonmåleinstrument, TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer). Ultrafiolett stråling fra solen trenger ned i atmosfæren, passerer ozonlaget hvor noe absorberes, deretter reflekteres den gjenværende ultrafiolette strålingen fra bakken og skyene i troposfæren, og lyset passerer ozonlaget en gang til med ytterligere absorpsjon. Strålingsintensiteten registreres av satellitten. Ved å måle svekkingsgraden og benytte strålingstransportberegninger, 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. En satellitt med et nytt TOMS-instrument skulle ha blitt skutt opp i 1995, men utskytingen har blitt utsatt.

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 grader 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 absorpsjonsbånd rundt 510 nm (Chappuis-båndet), dvs. i den synlige delen av solspekteret hvor ozon absorberer mye svakere enn i den ultrafiolette delen. Målinger med SAOZ-instrumentet vil derfor gi best resultater ved lav sol, og siden instrumentet kan måle selv når solen står 2-4 grader under horisonten, er instrumentet velegnet på høye breddegrader. Med nåværende analysemetoder gir SAOZ ikke gode resultater når solen står høyere enn 10 grader over horisonten. I Ny-Ålesund kan derfor instrumentet ikke benyttes i store deler av sommerhalvåret fordi solen står for høyt over horisonten selv ved midnatt. Men SAOZ er et viktig supplement til målinger med Dobson-instrumentet siden målesesongen blir utvidet med ca. 3 måneder. Det arbeides ved NILU med å utvikle en analyse-metode som vil gjøre det mulig å benytte SAOZ også i sommer-halvåret.

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 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

muligvis supplere måleperioden til Dobson- og Brewer-instrumentene i Tromsø og i Ny-Ålesund.

Ozon-lidaren ved ALOMAR består av en kraftig lyskilde (laser) som kan sende ut kortvarige lyspulser i rask rekkefølge. Varigheten av lyspulsene er ca. 10ns (10^{-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 353nm ikke absorberes av ozon.

Ved å sammenligne retursignalet ved disse to bølgelengdene kan man regne ut hvor mye ozon det er i hvert høydeintervall. Den vertikale oppløsningen bestemmes av hvor hyppig man samler inn retursignalet. Ved ALOMAR brukes en innsamlingsfrekvens på 1.4 MHz. Dette gir en vertikal oppløsning på 100m.

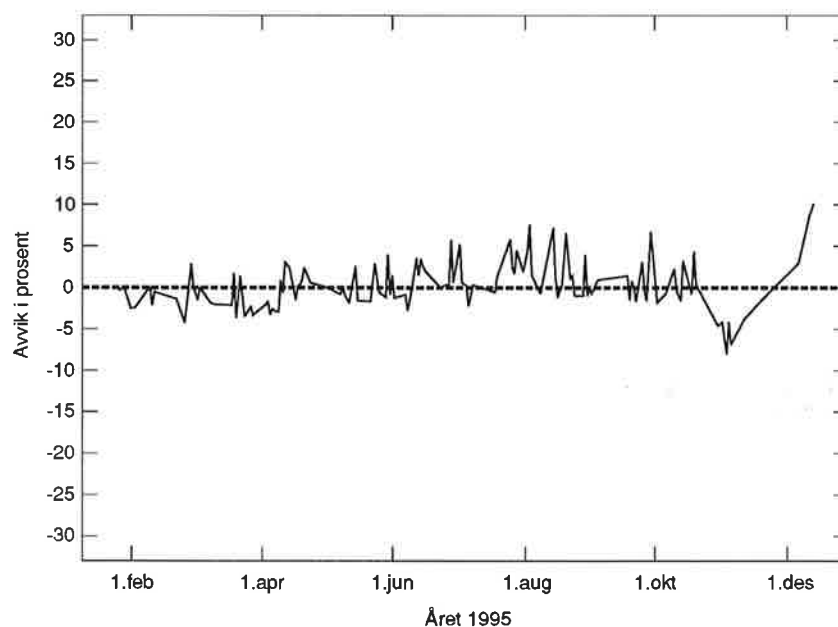
Tidsoppløsningen, dvs. hvor ofte man får en ny ozon-profil, avhenger av hvor lenge man må samle inn retursignalet for å få nok fotoner til å gi et brukbart signal/støyforhold. Dette bestemmes av effekten på laseren. Man kan også øke tidsoppløsningen ved å redusere innsamlingsfrekvensen, men da blir den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

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

3.2 Sammenligninger

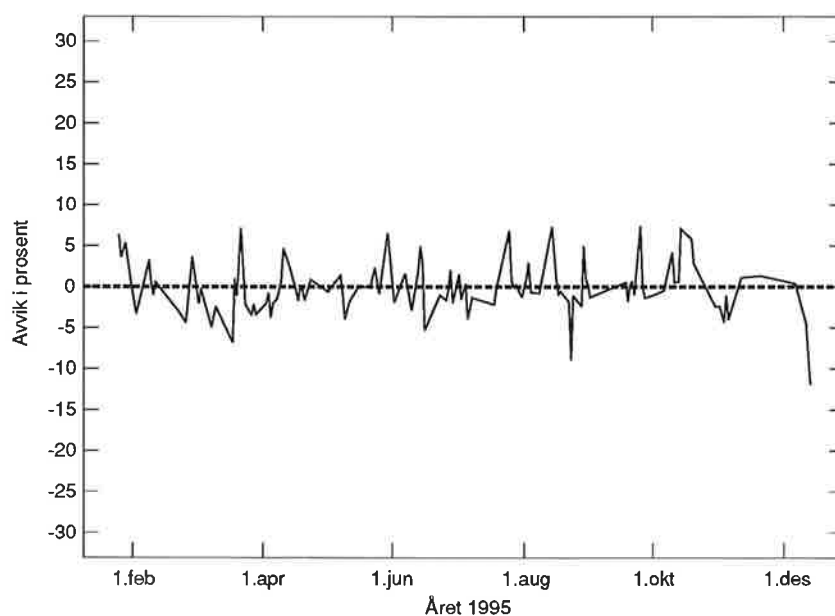
Både Dobson-, Brewer-, SAOZ- og GUV-instrumentene benytter seg av en optisk metode for bestemmelse av ozonmengden i atmosfæren. Felles for alle er at de registrerer svekkingen av sollys ved flere bølgelengdebånd. Bølgelengdene som det måles på er imidlertid forskjellig for instrumentene. Dobson- og Brewer-instrumentene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

Figur 17 viser prosentvis avvik for Dobson i forhold til Brewer for Oslo i 1995. På årsbasis er avviket 0.25% med standardavvik 2.9%. Både direkte sol- og senitlysmålinger er tatt med.



Figur 17: Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Dobson- og Brewer-instrumentene for Oslo i 1995, $100 \cdot (\text{Dobson-Brewer}) / \text{Dobson}$.

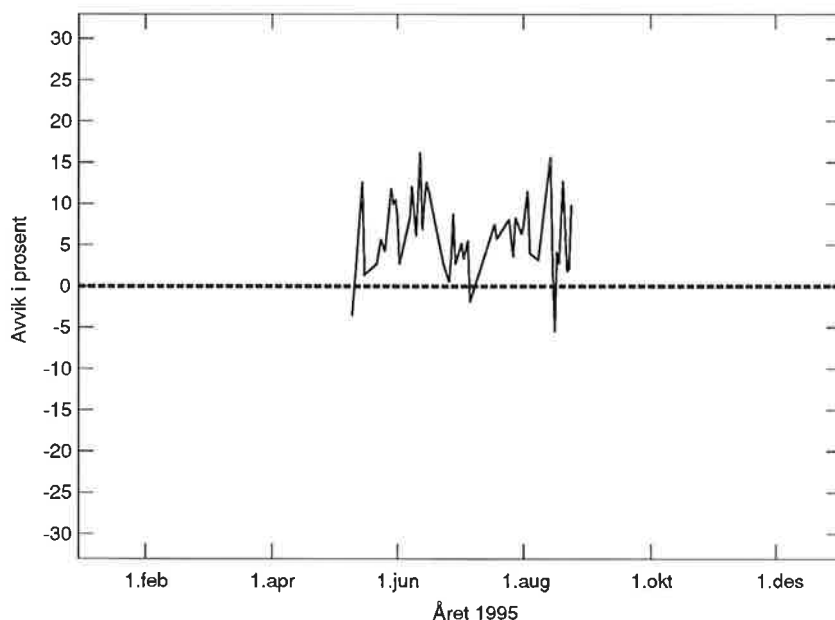
Om vinteren når solen er lav gir Brewer generelt lavere verdier enn Dobson. Under slike observasjonsforhold gir Dobson-instrumentet foreløpig sikrere målinger enn Brewer-instrumentet. Derfor baseres de daglige ozonverdier om vinteren først og fremst på målinger med Dobson-instrumentet. Siden Brewer-instrumentet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



Figur 18: Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Dobson og GUV-511 for Oslo in 1995, $100 \cdot (\text{Dobson-Guv}) / \text{Dobson}$.

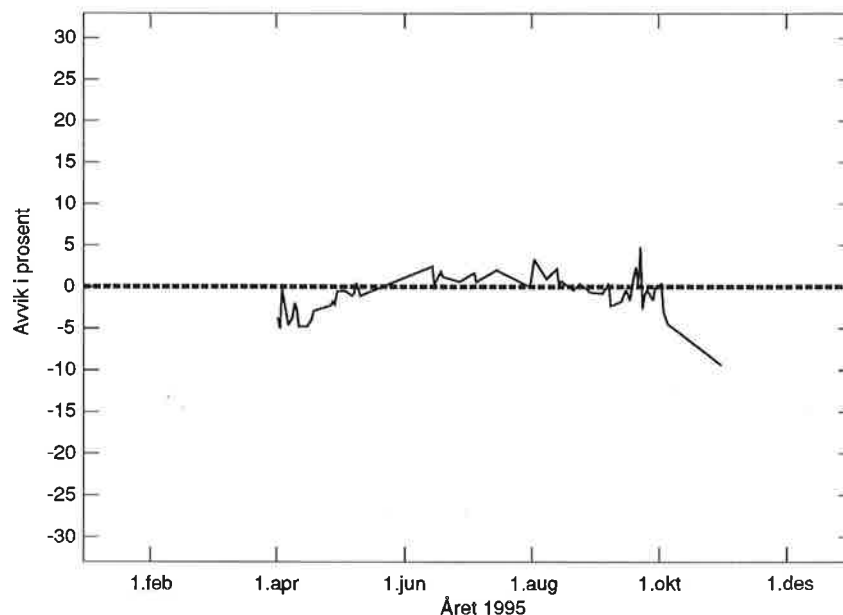
Figur 18 viser prosentvis avvik for GUV-511 i forhold til Dobson i Oslo i 1995. Avviket er -0.16 % på årsbasis, og standardavviket er 3.1%. Sammenligningene er gjort for både klarvær og overskyet vær for alle årets 12 måneder.

Figur 19 viser prosentvis avvik for SAOZ i forhold til Dobson i Oslo i perioden 5. mai til 15. august 1995. I middel viste SAOZ 6.2 % lavere verdier enn Dobson. Dette skyldes sannsynligvis ikke selve instrumentet men kvaliteten på analysemetoden som er konstruert av produsenten. Den finske stasjonen Sodankylä (67°N), som har en lang tidsserie med SAOZ- og Brewer-målinger, viser en klar årstidsavhengighet i avviket mellom disse to instrumenttyper når standard analysemetode for SAOZ benyttes. Høiskar et al. (1995) har vist at dette bl.a. skyldes årstidsvariasjon i høydefordelingen av ozon og har utviklet en ny analysemetode som fjerner årstidsvariasjonen i avviket. Denne metoden vil også bli testet på det norske SAOZ-instrumentet. SAOZ-instrumentet er plassert på Ny-Ålesund vår og høst. Overensstemmelsen mellom SAOZ og Dobson er her bedre enn når SAOZ er plassert i Oslo. Årsaken til dette er sannsynligvis at høydefordelingen av ozon antatt i standard analysemetode er i bedre overensstemmelse med høydefordelingen over Ny-Ålesund enn over Oslo. Midlere avvik i perioden 25. mars - 25. april i Ny-Ålesund var 0% med standardavvik 4.4%.



Figur 19: Sammenligning mellom ozonmålinger utført med Dobson- og SAOZ-instrumentene for Oslo i 1995, $100 \cdot (Dobson - SAOZ) / Dobson$.

Figur 20 viser prosentvis avvik for Brewer i forhold til Dobson-instrumentet i Tromsø. Her går det tydelig frem at overensstemmelsen er god i sommerhalvåret, mens Brewer viser høyere verdi enn Dobson ved lav sol.



Figur 20: Sammenligning mellom ozonmåliner utført med Dobson- og Brewer-instrumentet for Tromsø i 1995, $100 \cdot (\text{Dobson} - \text{Brewer}) / \text{Dobson}$.

På årsbasis er avviket -0.8% med standardavvik 2.3%

Resultatet av sammenligningene mellom Brewer, Dobson, GUV-511 og SAOZ er vist i tabell 3. Overensstemmelsen mellom Dobson, GUV-511 og Brewer er meget god for senitvinkler mindre enn omtrent 70 grader, dvs. vår, sommer og høst. På årsbasis er avvikene mindre enn 1%. For senitvinkler større enn 70 grader blir målingene for alle instrumenttypene påvirket av ozonprofilen. Ozonmålingene om vinteren er derfor usikre selv med Dobson-instrumentet. Avviket mellom SAOZ og Dobson i perioden mai-august i Oslo er for stort. SAOZ har som hovedoppgave å forlenge målesesongen i Ny-Ålesund. I den korte tiden om våren og høsten hvor Dobson-målingene på Ny-Ålesund overlapper SAOZ-målingene er avviket både i 1994- og 1995-sesongen mindre enn for sammenligningen foretatt i Oslo i 1995. De lave ozonverdiene som ble registrert i februar og mars i Ny-Ålesund i 1995 med SAOZ-instrumentet er derfor sannsynligvis reelle. Det er god overensstemmelse mellom SAOZ og sonder sluppet fra Ny-Ålesund. I perioden 15.-19. mars viste SAOZ stabile lave verdier (277–290 DU). Sonder ble sluppet hver dag i denne perioden. For alle målingene var avviket mellom SAOZ og sonder mindre enn 10 DU.

Tabell 3: Avvik i prosent for Brewer (B), GUV-511 (G) og SAOZ (S) i forhold til Dobson (D) 1995. Tallene i parentes angir standardavviket.

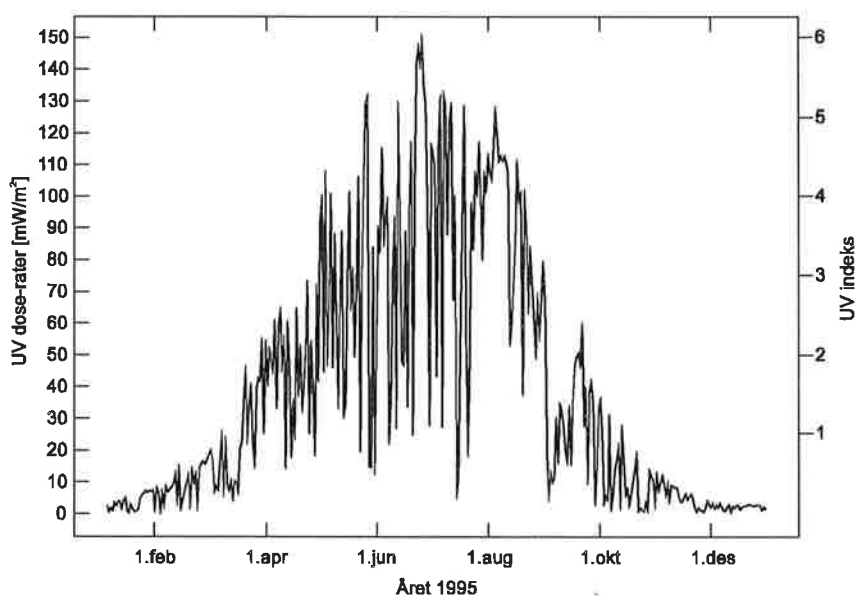
Stasjon	(D-B)/D	(D-G)/D	(D-S)/D
Oslo	0.25 (2.9)	-0.16 (3.1)	6.2 (4.6)
Tromsø	-0.8 (2.3)		

4. UV-målinger

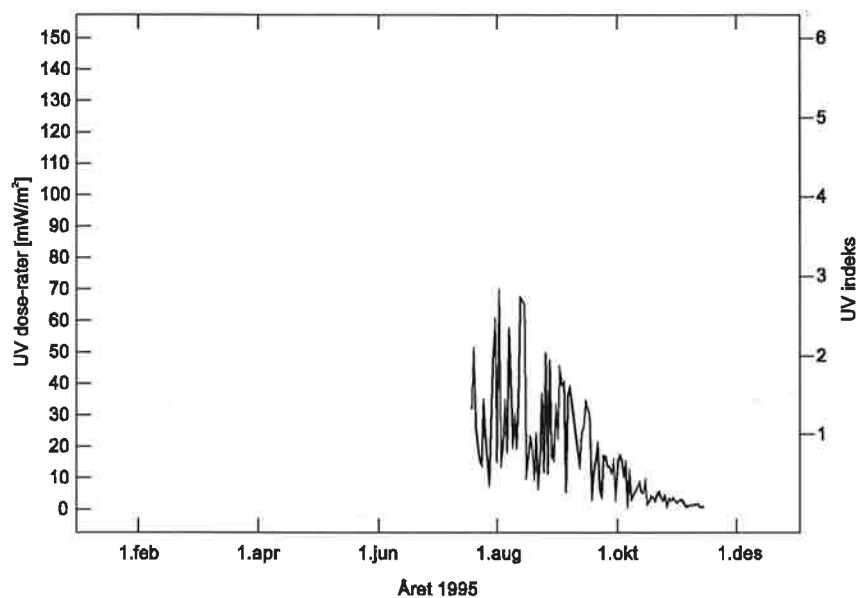
4.1 Måleresultater 1995

I Oslo har ultrafiolett solstråling blitt målt siden februar 1994 med et GUV-511 instrument anskaffet av NILU. I juli 1995 ble Tromsø og Ny-Ålesund utstyrt med GUV-instrumenter finansiert av SFT. De kontinuerlige målingene startet henholdsvis 1. juli i Ny-Ålesund og 20. juli i Tromsø. Disse tre instrumenter er del av det norske UV-nettverket som i 1996 vil bestå av i alt 8 slike instrumenter.

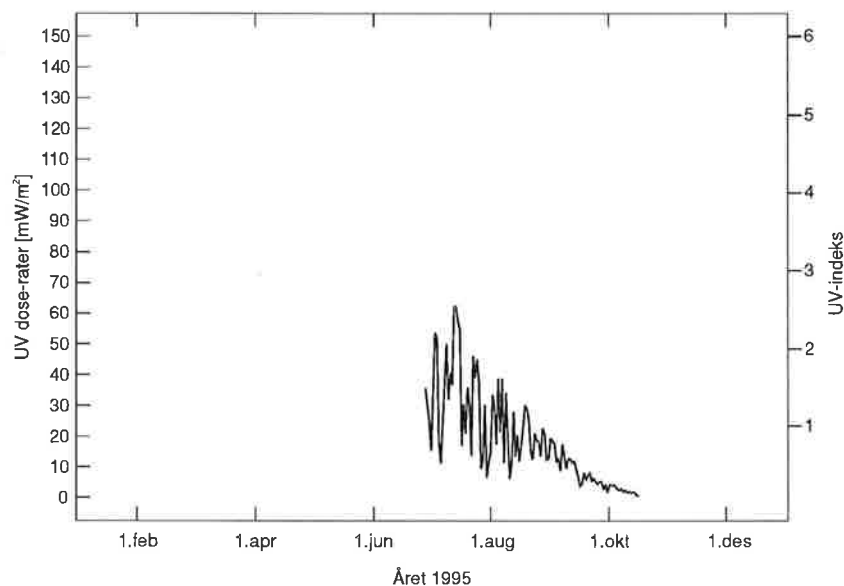
Figur 21, 22 og 23 viser timesmiddel av UV-dose-raten midt på dagen (mellom 10:30 og 11:30 GMT) for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. UV-dose-raten er et mål på den samlede biologiske effekten av UV-A og UV-B stråling (se avsnitt 4.2). Enheten for dose-rate er mW/m^2 men den kan også angis med en UV-indeks. UV-indeks 1 tilsvarer $40 \text{ mW}/\text{m}^2$. Høyeste verdi, $154 \text{ mW}/\text{m}^2$ ble målt i Oslo 26. juni som tilsvarer en UV-indeks på 6.2. Ozonmengden var i dette tilfellet 280 DU, som er ca 20% under langtidsmiddelet for juni. De viktigste faktorer som påvirker UV-strålingen er solhøyde, skyer, ozonlagets tykkelse og refleksjon fra bakken (albedo). Årstidsvariasjonen i dose-raten som skyldes solhøyden kommer tydelig frem for alle tre stasjoner. De store variasjoner i dose-raten fra dag til dag skyldes hovedsakelig varierende skydekke, men varierende ozonmengde spiller også en viktig rolle. I 1995 har vi flere eksempler på at skyer kan dempe UV-strålingen med mer enn 90%. På den andre siden har vi også eksempler på at skyer kan gi en økning i UV-strålingen 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 strålingen vil kunne øke på grunn av refleksjon fra skyer nær solen. Effekten av skyer er tilnærmet bølgelengde-uavhengig slik at skyer demper UV-A og UV-B i like stor grad.



Figur 21: UV-doseraten midt på dagen fra 01.01.95 til 31.12.95 målt med GUV-511-instrumentet ved Universitetet i Oslo.



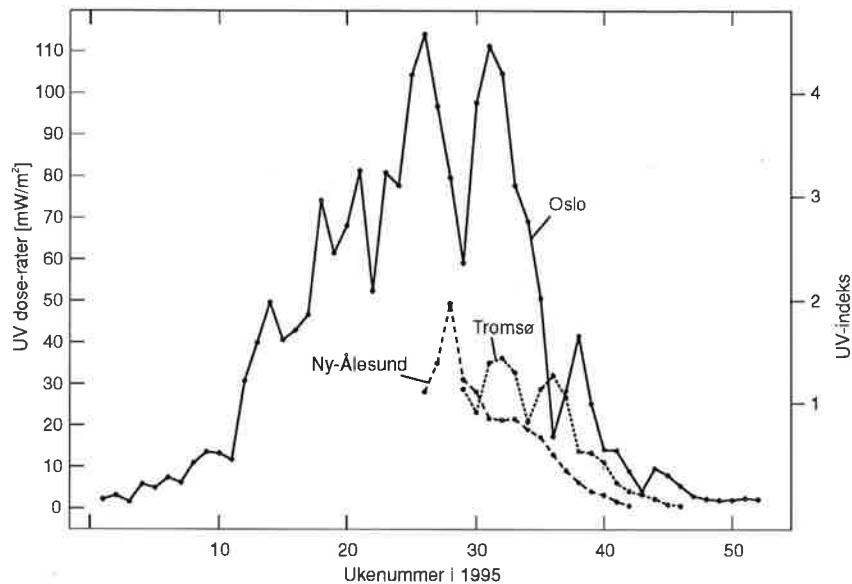
Figur 22: UV-doseraten midt på dagen fra 20.07.95 til 31.12.95 målt med GUV-541-instrumentet ved Universitetet i Tromsø.



Figur 23: UV-doseraten midt på dagen fra 01.07.95 til 31.12.95 målt med GUV-541-instrumentet i Ny-Ålesund.

Figur 24 viser ukesmidler av dose-ratene for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. De raske dag til dag-variasjoner som skyldes skyer blir delvis midlet bort, og nivå-forskjellene mellom stasjonene kommer tydeligere frem. I juli/august skiller Oslo seg klart ut med de høyeste dose-rater. I den samme perioden har Tromsø og Ny-Ålesund tilnærmet samme UV-nivå. Dette skyldes hovedsakelig at Tromsø i denne perioden i gjennomsnitt hadde mer skyet vær enn Ny-Ålesund. I klarvær når skyforhold, ozonmengde og bakkealbedo er det samme for alle tre stasjoner, vil

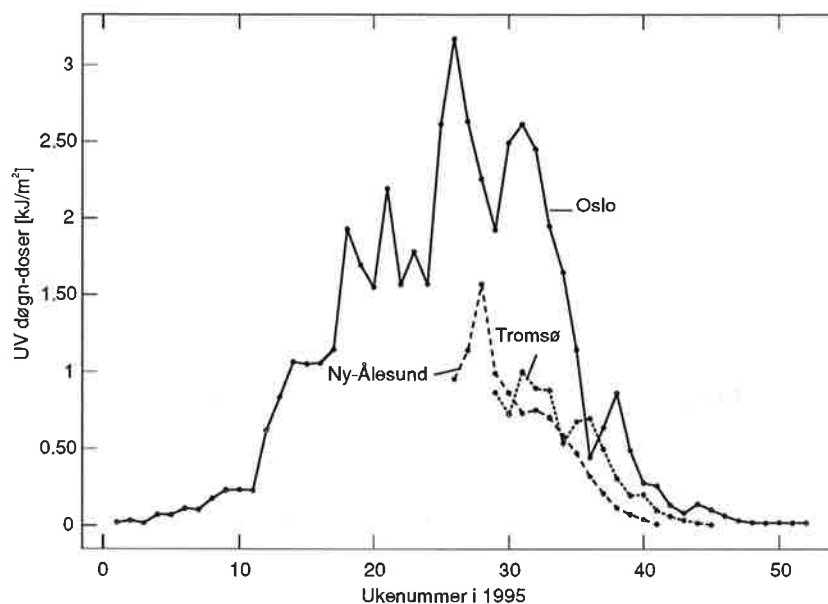
allikevel dose-raten midt på dagen være betydelig forskjellig i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund. Dette skyldes forskjell i solhøyde. I Tromsø og Oslo vil dose-raten være henholdsvis 1.6 og 2.5 ganger høyere enn i Ny-Ålesund. Dette tilsvarer at UV dose-raten endrer seg med ca. 5% pr. breddegrad.



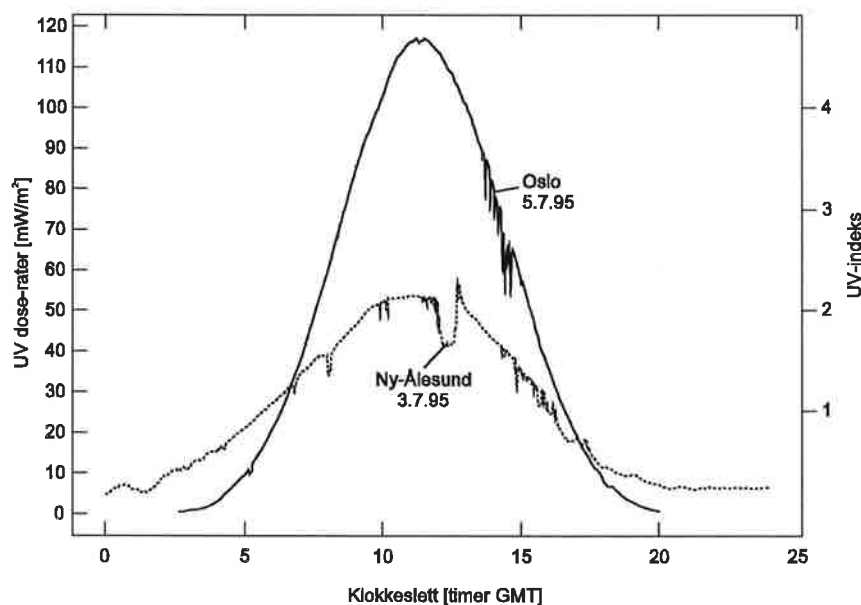
Figur 24: Ukesmidler av UV-doserater midt på dagen i 1995 målt med GUV-instrumenter i Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund.

Figur 25 viser UV-døgn-dosen for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund i 1995. Døgn-dosen er den samlede dose-raten over et døgn. Om sommeren vil dagens lengde øke med breddegraden. Derfor vil forskjell i døgn-dose mellom Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund være mindre enn for dose-raten midt på dagen. Figur 26 viser dose-raten gjennom et døgn for Oslo (5. juli) og Ny-Ålesund (3. juli). Her går det frem at doseraten er høyere i Ny-Ålesund enn i Oslo morgen, kveld og natt, men den er høyere i Oslo enn i Ny-Ålesund midt på dagen. Ozonmengden var 330 DU i Ny-Ålesund og 350 DU i Oslo. Midt på dagen er forholdet mellom dose-raten i Oslo og i Ny-Ålesund 2.1, mens forholdet mellom døgn-dosene er 1.5.

Ozon absorberer praktisk talt ikke stråling i UV-A-området. Variasjon i UV-A for en bestemt solhøyde skyldes endring i skydekket eller bakkealbedo. En av UV-A-kanalene, 340 nm eller 380 nm, kan dermed benyttes til å kvantifisere effekten av skyer og albedo på UV-stråling som når jordens overflate. Siden effekten av skyer og albedo er tilnærmet bølgelengdeuavhengig vil effekten bestemt fra UV-A-målinger være tilnærmet gyldig også for UV-B.



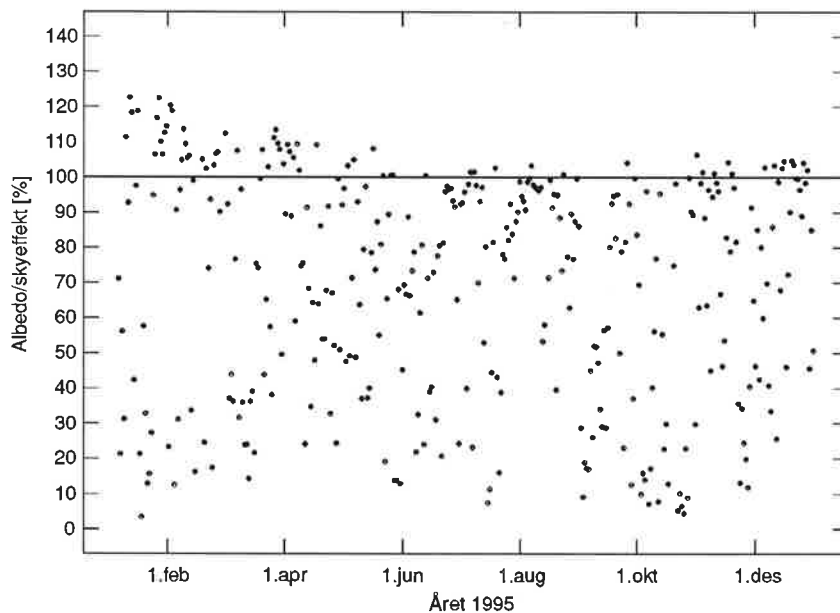
Figur 25: Ukesmidler av UV-doser integrert over døgn i 1995 målt med GUV-instrumenter for Oslo, Tromsø og Ny-Ålesund.



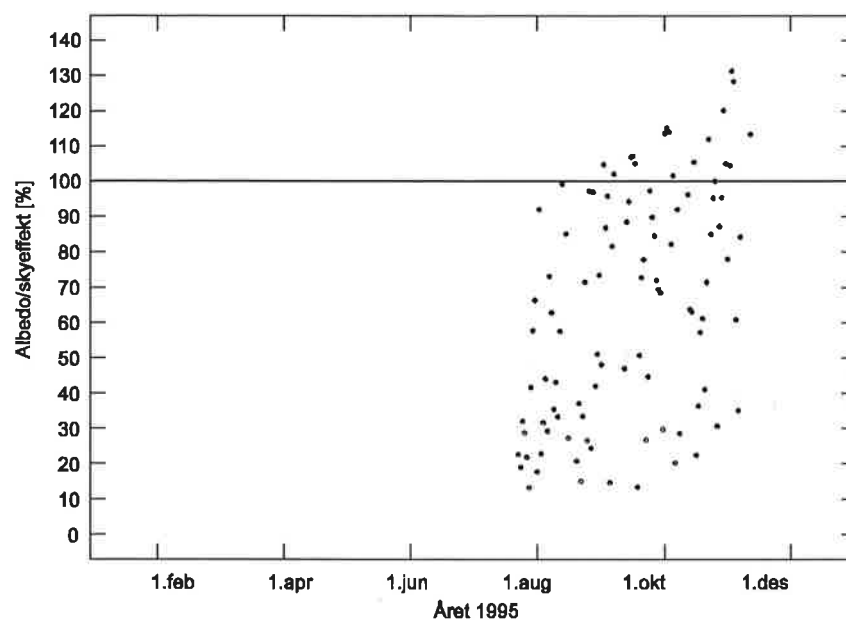
Figur 26: UV-dose-rater målt i Oslo 05.07.95 og i Ny-Ålesund 03.07.95. Begge stasjoner hadde tilnærmet klarvær. Ozonmengden i Oslo var 350 DU og i Ny-Ålesund 330 DU.

Albedo/skyeffekter (avsnitt 4.2) beskriver transmisjonen i prosent av klarværsverdien for null bakkerefleksjon. Figur 27 viser sky/albedo-effekten for Oslo i 1995, og det går tydelig frem hvor varierende effekten av skyer er på UV-strålingen gjennom året. 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

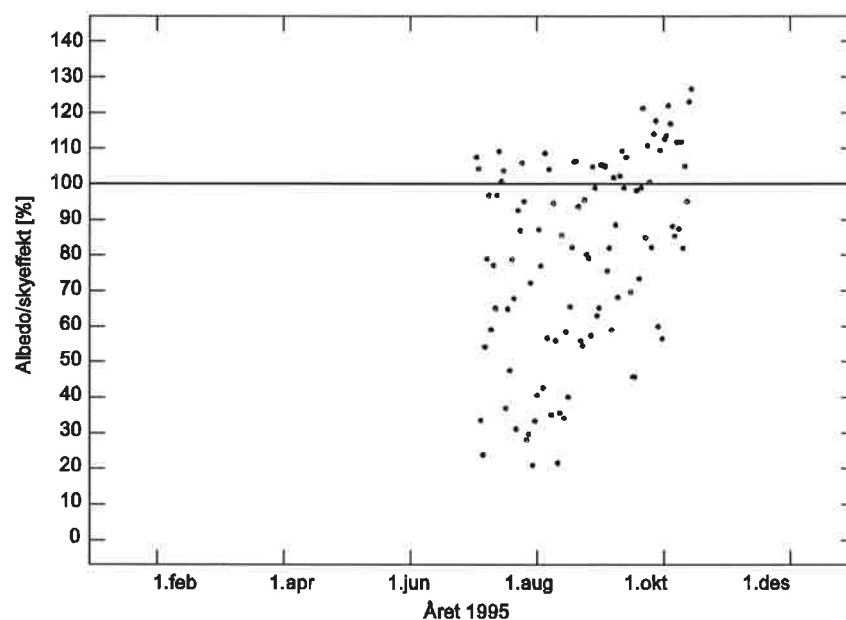
demper UV-nivået med mer enn 90%. Om sommeren er maksimalverdien omkring 100. Om vinteren derimot er maksimalverdien 125. Dette er tilfeller med klarvær og snø på bakken. Dette betyr at snø økte UV-nivået med 25% i Oslo-området vinteren 1995. Middelverdien av albedo/skyeffekten er for Oslo i 1995 på 70, som betyr at den kombinerte effekten av skyer og snødekke tilsvarer en reduksjon på 30%. Siden en del av året er snødekket, betyr dette at skyer har en UV-reducerende effekt på noe mer enn 30%. Figur 28 og 29 viser sky/albedo-effekt for Tromsø og Ny-Ålesund. Maksimalverdien for sky/albedo-effekten i Ny-Ålesund overstiger 110 selv i juli, sannsynligvis pga. snødekte flater i omegnen. Middelverdien av sky/albedo-effekten er 66 for Tromsø og 80 for Ny-Ålesund, dvs. en reduksjon av klarværsverdien med henholdsvis 34% og 20%.



Figur 27: Effekter av skyer og bakkealbedo på UV-stråling ved jordens overflate i Oslo i 1995 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: Effekter av skyer og bakkealbedo på UV-stråling ved jordens overflate i Tromsø i 1995 i prosent av klarværsverdien med null bakkerefleksjon.



Figur 29: Effekter av skyer og bakkealbedo på UV-stråling ved jordens overflate i Ny-Ålesund i 1995 i prosent av klarværsverdien med null bakkerefleksjon.

4.2 Målemetoder

GUV-511 måler irradiansen (stråling som faller på en horisontal flate fra alle retninger) i fire kanaler i UV-området. Senterbølglengdene 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 i Tromsø og Ny-Ålesund benyttes GUV-541-instrumenter. I GUV-541-instrumentet er PAR-kanalen erstattet av en UV-B-kanal med senterbølglengde 313 nm. Ellers er instrumentet identisk med GUV-511. Denne kanalen vil sannsynligvis bli nyttig for ozonmålinger og bestemmelse av UV-doser ved lav sol. Detektorene i instrumentet er oppvarmet og holdes konstant på 40°C. Dette sørger for å smelte rim og snø på inngangsoptikken. Instrumentet har ingen bevegelige deler og er fullstendig automatisk. Data logges hvert minutt.

Det er vanlig å dele den ultrafiolette solstrålingen inn i tre områder: UV-A, UV-B og UV-C. Den langbølgete UV-A-strålingen (320-400nm) absorberes praktisk talt ikke av ozon. UV-B (280-320nm) absorberes delvis av ozon, slik at ozonmengden i atmosfæren er av stor betydning for hvor mye UV-B-stråling som når jordens overflate. Den kortbølgete UV-C-strålingen (200-280nm) absorberes svært effektivt av ozon (O₃) og oksygen (O₂) 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 effekten av UV-B-strålingen mye større enn UV-A-strålingen, men siden intensiteten av UV-A-strålingen er mye større enn UV-B-strålingen, er begge av betydning for planter, dyr og mennesker. Den biologisk effektive UV-dosen beskriver den samlede virkning av alle bølglengder i UV-A og UV-B, og man tar hensyn til at den biologiske effekten er bølglengdeavhengig. Dette betyr at UV-B tillegges mye større vekt enn UV-A ved hjelp av et virkningspektrum. I denne rapporten er det benyttet et idealisert virkningspektrum som er anbefalt av WMO og Commission Internationale de l'Eclaire (McKinlay og Diffey, 1987).

Mens dose-raten er den biologisk effektive UV-stråling ved et gitt tidspunkt, er UV-dosen den samlede dosen over et bestemt tidsrom. Det er vanlig internasjonalt å bruke enheten W/m² for dose-rate og J/m² for UV-dose. Dette er imidlertid ikke helt korrekt, siden de forskjellige bølglengdene er tillagt forskjellig vekt pga. virkningspekteret. En har imidlertid valgt å benytte de samme enheter slik at de er sammenlignbare med verdier fra andre UV-nettverk.

I tillegg til overvåkning og forskning vil resultater fra UV-nettverket i Norge benyttes til å informere publikum om hvordan UV-nivået varierer. WMO anbefaler at 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/m² med 40. Dette betyr at den største UV dose-raten målt i Oslo i 1995, 0.154 W/m², får en UV-indeks på 6.2. I Oslo vil UV-indeksen i klarvær normalt øke fra 0.1 midtvinters til 4-6 om sommeren. Modellberegninger utført ved NILU viser at normal UV-indeks for klarvær 21. juni er 9.6 på Mallorca og 10.6 på Kanariøyene.

De viktigste faktorer som bestemmer UV-nivået ved jordens overflate er solhøyden, ozonmengden, skyer og refleksjonsegenskapene ved bakken. Ved å kombinere målinger med GUV-instrumentet og strålingstransportberegninger kan både den biologisk effektive UV-dosen og den total 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 340nm-kanalen og irradians for 340nm-kanalen i klarvær med null bakkerefleksjon multiplisert med 100. I klarvær med lav bakkealbedo (barmark) vil albedo/skyeffekten være 100. I klarvær med nysnø på bakken vil albedo/skyeffekten kunne være opp til 140. Dette betyr at nysnø kan øke UV-dosen med 40%. En albedo/skyeffekt på f.eks. 40 om sommeren betyr at skydekket reduserer UV-nivået med 60% (siden bakkealbedoen er svært liten om sommeren kan denne reduksjonen tilskrives skyer). Effekten av skyer og albedo er lite bølgelengdeavhengig slik at sky/albedo-effekten gjelder både i UV-B og i UV-A.

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

4.3 Det norske UV-nettverket

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. I 1996 vil alle 8 instrumenter være i drift i et nytt norsk UV-nettverk. NILU vil ha et ansvar for driften av instrumentene i Oslo (opprettet 15. februar 1994), Tromsø (opprettet 20. juli 1995) og Ny-Ålesund (opprettet 1. juli 1995).

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

Det gamle GUV-511-instrumentet ble kalibrert mot de syv nye GUV-541 i Oslo juni 1995. Et av Statens Stråleverns GUV-instrumenter vil fungere som et referanse-instrument for nettverket. Dette instrumentet vil jevnlig bli kalibrert ved Statens Stråleverns kalibreringslaboratorium. Minst én gang pr. år vil de øvrige GUV-instrumentene bli kalibrert mot referanse-instrumentet på hver stasjon. Minst én gang pr. år vil referanse-instrumentet også bli kalibrert mot SUV-100-spektrometeret i San Diego, USA.

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

5. Referanser

- Booth, C.R., T.B. Lucas, J.H. Morrow, C.S. Weiler, and P.A. Penhale (1994) The United States National Science Foundation/Antarctic Program's Network for Monitoring Ultraviolet Radiation. In: *Ultraviolet Radiation in Antarctica: Measurements and Biological Research*. Ed. by C.S. Weiler and P.A. Penhale. Washington, D.C., American Geophysical Union, (AGU Antarctic Research Series, 62). pp.17-37.
- Braathen, G.O., Rummukainen, M., Kyrö, E., Gernandt, H., Mikkelsen, I.S. and Gil, M. (1996) Ozone trends and PSC incidence in the Arctic vortex during the seven winters from 1988-89 to 1994-95. Submitted to *J. Atmos. Chem.*
- Brewer MKIV Spectrophotometer (1990) Operations Manual. OM-BA-CO1/B, May 1, 1990.
- Dahlback, A. (1996) Measurements of biologically effective UV-doses, total ozone abundance and cloud effects with multi-channel moderate bandwidth filter instruments. *Appl. Opt.* (in press).
- Dahlback, A., Braathen, G.O. and Stordal, F. (1995) Overvåking av ozonlaget. Årsrapport 1994. Kjeller (NILU OR 20/95).
- Dahlback, A., Kylling, A., Koskela, T. and Svenøe, T. (1994) Radiative transfer modelling. In: *Nordic intercomparison of ultraviolet and total ozone instruments at Izaña from 24 October to 5 November 1993*. Ed. by Koskela, T. Helsinki, FMI (*Meteorological Publications, 27*) pp. 97-104.
- Henriksen, K. (1995) Ozonmålinger med Dobson- og Brewer-instrumentet ved Universitetet i Tromsø. (Måledata).
- Høiskar, B.A.K., Dahlback, A., Vaughan, G., Braathen, G.O., Goutail, F., Pommereau, J.-P. and Kivi, R. (1995) Seasonal Variations in airmass factors for ozone — computations based on climatology data. Presented at the Third European Symposium on Polar Stratospheric Ozone 18-22 September 1995, Schliersee, Germany. Kjeller (NILU F 48/95).
- Komhyr, W.D. (1990) Operations handbook — Ozone observations with a Dobson spectrophotometer. (WMO Global Research and Monitoring Project, Report no.6).
- Kåstad, B.A. and Braathen, G.O. (1993) Specification of an Ozone Lidar for Daylight Measurements. Lillestrøm (NILU OR 18/93).
- Larsen, S.H.H. (1993) Ozonmålinger med Dobson-instrumentet ved Universitetet i Oslo 1979-1993. (Måledata).
- McKinlay, A.F. and Diffey, B.L. (1987) A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema on human skin. *CIE J.*, 6, 17-22.

- Orsolini, Y.J., Hansen, G., Hoppe, U.P., Manney, G.L. and Fricke, K. (1996) Dynamical modelling of wintertime Lidar observations in the Arctic: ozone laminae and ozone depletion. Submitted to *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*
- Stamnes, K., Slusser, J. and Bowen, M. (1991) Derivation of total ozone abundance and cloudeffects from spectral irradiance measurements. *Appl. Opt.*, 30, 4418-4426.
- Tønnessen, F. (1995) Ozonmålinger med Dobson- og Brewer-instrumentet ved Universitetet i Oslo i 1995. (Måledata).
- WMO (1995) Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1994. Geneve (World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No. 37).



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2007 Kjeller

RAPPORTTYPE OPPDRAKS RAPPORT	RAPPORT NR. OR 34/96	ISBN-82-425-0781-3	
DATO 14/6-96	ANSV. SIGN. <i>PS</i>	ANT. SIDER 37	PRIS NOK 60,-
TITTEL Overvåking av ozonlaget Årsrapport 1995		PROSJEKTLEDER Geir O. Braathen	
		NILU PROSJEKT NR. O-8985	
FORFATTER(E) Arne Dahlback, Geir O. Braathen, Georg H. Hansen og Trond Svenøe		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF.	
OPPDRAKSGIVER Statens forurensningstilsyn Postboks 8100 Dep. 0032 OSLO			
STIKKORD Stratosfære-ozon	UV-stråling	Måledata	
REFERAT Rapporten presenterer måledata fra norske bakkestasjoner i 1995.			
TITLE Monitoring of the ozone layer. Annual report 1995.			
ABSTRACT Data for 1995 from the Norwegian Ozone Monitoring Programme are presented.			

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