

Overvåking av klimagasser

Zeppelinstasjonen

Årsrapport 2000



OR 44/2001
O-99093



Norsk institutt for luftforskning



Overvåking av klimagasser
Zeppelinstasjonen
Årsrapport 2000

*Rapporten er laget
ved NILU på oppdrag fra
Statens forurensningstilsyn*

OR: 44/2001
Prosjektnr.: O-99093
ISBN: 82-425-1290-6

Red.: Ove Hermansen
Formgiver: Finn Bjørklid
Bidragstere:
Ove Hermansen, Frode Stordal,
Chris Lunder, Norbert Schmid-
bauer, Ole-Anders Braathen,
Geir O. Braathen, Finn Bjørklid

www.nilu.no/zeppelin



Norsk institutt for luftforskning

Overvåking av klimagasser

Zeppelinstasjonen

Årsrapport 2000

Innhold

Bakgrunn	4
Klima og klimagasser	5
Innledning	5
Solstråling og terrestrisk stråling	5
Drivhuseffekt	5
Viktige faktorer for drivhuseffekten	6
Komponenter i klimasystemet	7
Stasjonen på Zeppelifjellet	8
Ny stasjonsbygning	8
Beskrivelse av stasjonen	8
NILUs klimagassmålinger	8
Andre NILU-aktiviteter	10
MISU	10
NOAA	11
SOGE	11
Klimagassmålinger	13
Instrumenter og målemetoder	13
Måledata	15
Klimagassmodellering	16
Trender	16
Budsjetter	17

Bakgrunn

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har i mange år drevet forskning i Ny-Ålesund på Svalbard. Siden 1988 har en betydelig del av denne forskningen vært målinger på stasjonen på Zeppelinfjellet og bearbeiding av disse måledataene. Zeppelin-stasjonens unike beliggenhet er en avgjørende faktor for at stasjonen anses å være en av de beste bakgrunnsstasjonene i verden for klimaovervåking. Stasjonen eies og drives av Norsk Polarinstitutt (NP). NILU er ansvarlig for den vitenskapelige virksomheten på stasjonen.

NILU samarbeidet i 1998 og begynnelsen av 1999 med Statens forurensningstilsyn (SFT) for å vurdere muligheten for å opprette overvåking av utvalgte klimagasser i luft på Zeppelinstasjonen i Ny-Ålesund. NILU fikk, på basis av dette arbeidet, i juni 1999 i oppdrag av SFT å starte klimagassoovervåking.

I juni 2000 ble det undertegnet kontrakt mellom SFT og NILU om fortsettelse av overvåkingen i 2000.

Målet er å etablere et langsiktig overvåkingsprogram på Zeppelinstasjonen. Programmet skal inkludere de viktigste komponentene og måledataene skal bearbeides slik at de kan utnyttes av norske myndigheter i arbeidet med Kyoto-avtalen og Montreal-protokollen.

I tillegg er ambisjonen å etablere et måleprogram som er mest mulig sammenfallende med det programmet som National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) gjennomfører. NOAAs nettverk av målestasjoner utgjør ryggraden i internasjonal klimagassoovervåking. ■

Klima og klimagasser

Innledning

Økende konsentrasjon av drivhusgasser i atmosfæren vil etter all sannsynlighet forårsake et merkbart varmere klima på jorden. Analyse av de siste 100 års meteorologiske observasjoner viser at en temperaturøkning har funnet sted, og det blir nå ansett som usannsynlig at dette kun har naturlige årsaker.

Modellberegninger antyder en økning på 1,4 - 5,8°C frem til 2100. Dette er sannsynligvis den raskeste temperaturøkningen i løpet av de siste 10 000 år.

Solstråling og terrestrisk stråling

Økt konsentrasjon av drivhusgasser i atmosfæren virker inn på jordens strålingsbalanse. Solen har en overflatetemperatur på ca. 6000°C og sender en vesentlig del av sin energi ut i den synlige delen av spektret, med et maksimum rundt 500 nm. Jorden, med en gjennomsnittstemperatur rundt 15°C sender det meste av sin stråling ut i den infrarøde delen av spektret, med et maksimum rundt 16,000 nm (eller 16 µm).

Drivhuseffekt

Jordens atmosfære slipper gjennom en vesentlig del av den strålingen som kommer fra solen. En fjerdedel reflekteres ut i rommet igjen av luft og skyer, mens nok en fjerdedel blir absorbert i atmosfæren eller reflektert tilbake til verdensrommet fra jordoverflaten. Det betyr at halvparten når ned til jordoverflaten. Denne energien varmer opp jordens overflate, som så stråler ut

energi, hovedsakelig i den infrarøde delen av spekteret. En del gasser i jordens atmosfære har den egenskap at de slipper gjennom synlig lys, mens de meget effektivt absorberer infrarød stråling, se figur *Strålingsbalanse* neste side. En del av varmestrålingen fanges derved i atmosfæren. Det bidrar til at jordoverflaten får en høyere temperatur enn hva tilfellet ville ha vært uten drivhusgassene. Hvis jordens atmosfære var helt uten drivhusgasser, ville den midlere globale overflatetemperatur ha vært 33°C lavere enn den er i dag.

Nesten all strålingen fra jordens overflate absorberes av atmosfæren,

som i sin tur stråler ut en del av dette til verdensrommet. En annen del sendes ned igjen mot jordoverflaten, og det er dette vi kaller drivhuseffekten. Når konsentrasjonen av CO₂ øker, vil denne andelen øke. Mindre stråling vil slippe ut i verdensrommet, og atmosfæren vil sende mer varmestråling mot jordoverflaten. Ettersom temperaturen på overflaten øker, vil denne sende ut mer stråling og til slutt vil man nå en ny likevekt. Overflatetemperaturen vil bli høyere enn før, men bildet kompliseres ved at fordampningsgraden for vann vil øke og atmosfæren vil inneholde mer vanddamp, som også er en effektiv drivhusgass.



«Mengden av drivhusgasser har økt eksponensielt siden den industrielle revolusjon...»

Viktige faktorer for drivhuseffekten

Drivhusgasser

Som kjent består atmosfæren hovedsakelig av oksygen (O_2) og nitrogen (N_2). I tillegg til disse finner vi små mengder av en rekke gasser. Den mest kjente er karbondioksid (CO_2) med en konsentrasjon på ca. 365 ppm (0,0365%). Andre viktige drivhusgasser er metan (CH_4), lystgass (N_2O), fluorerte hydrokarboner (KFK, HKFK, HFK, PFK) og SF_6 .

Vanndamp

Vanndamp som finnes i store mengder, absorberer også infrarød stråling, selv om en god del av denne absorpsjonen finner sted i spektralområder der jorden ikke emitterer mye stråling. 90% av atmosfærens absorpsjon skyldes vanndamp, skyer og CO_2 . De resterende 10% skyldes gasser som ozon (O_3), metan (CH_4) og lystgass (N_2O). Vanndamp skiller seg fra de andre drivhusgassene ved at menneskene ikke direkte kan påvirke mengden av den i atmosfæren, f.eks. ved begrensninger i utslipp. Øket mengde av CO_2 og de andre drivhusgassene vil føre til

mer vanndamp i atmosfæren og dermed enda større oppvarming. Dette er en positiv tilbakekobling, såkalt feedback. Mengden av drivhusgasser har økt kraftig siden den industrielle revolusjon. Dette er illustrert for CO_2 , se figur neste side.

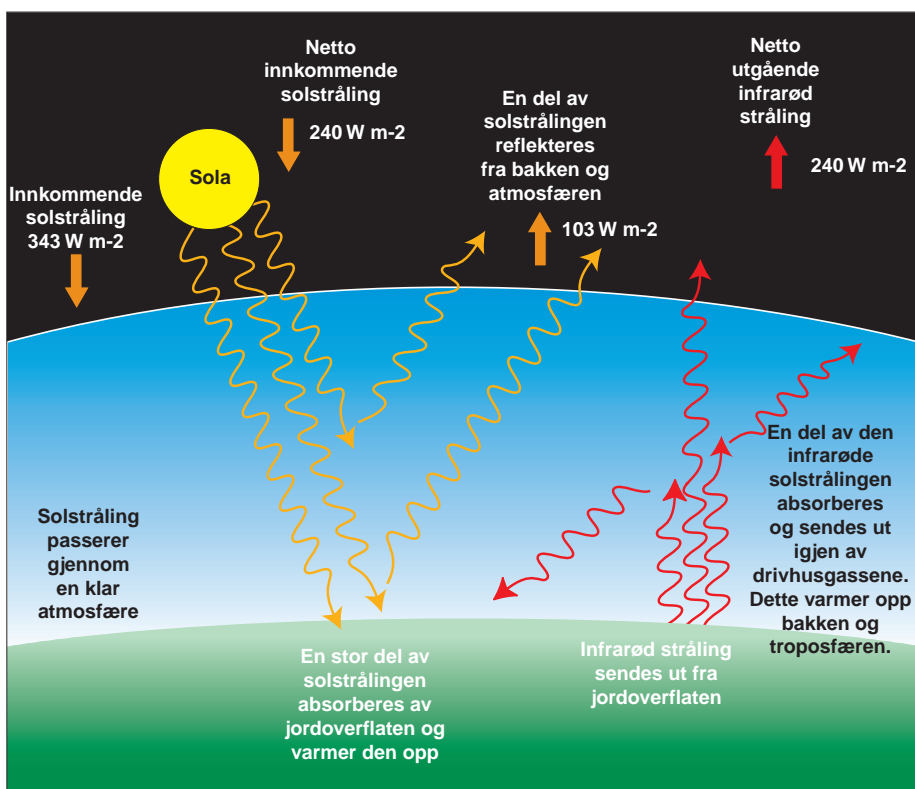
Skyer

Skyene er viktige i atmosfærens varmebudsjett. De absorberer infrarød stråling fra jordoverflaten og returnerer en del av varmen. Det er grunnen til at det er varmere om natten når det er overskyet enn i klarvær. Men skyene hindrer også solstråling i å komme ned til bakken, noe som har en avkjølende effekt. De siste årene har satellittdata vist at skyene totalt gir en svak avkjøling globalt sett.

Partikler i troposfæren

I troposfæren svever det partikler av ulike størrelse. De kan virvles opp i luften fra bakken, eller de kan dannes i atmosfæren ved kondensasjon som omdanner gasser til partikler. Det kan f.eks. dannes sulfatpartikler fra gassformig svoveldioksid (SO_2). Utslipp av nettopp SO_2 fra forbrenning av fossilt brensel utgjør, sammen med sotpartikler, en viktig kilde til partikler i atmosfæren fra menneskelig virksomhet.

Partikler i troposfæren påvirker klimaet særlig på to måter. For det første reflekterer og absorberer de solstråling, og for det andre virker de som kjerner for dannelse av skydråper. Det er mange usikkerheter knyttet til beregninger av klimaendringer på grunn av partikler. Utslipp av SO_2 har økt i industrialiserte områder. De siste årene er utslippene redusert noe over



Strålingsbalanse.

Europa, men de øker for tiden sterkt i andre regioner, særlig i deler av Asia.

Komponenter i klimasystemet

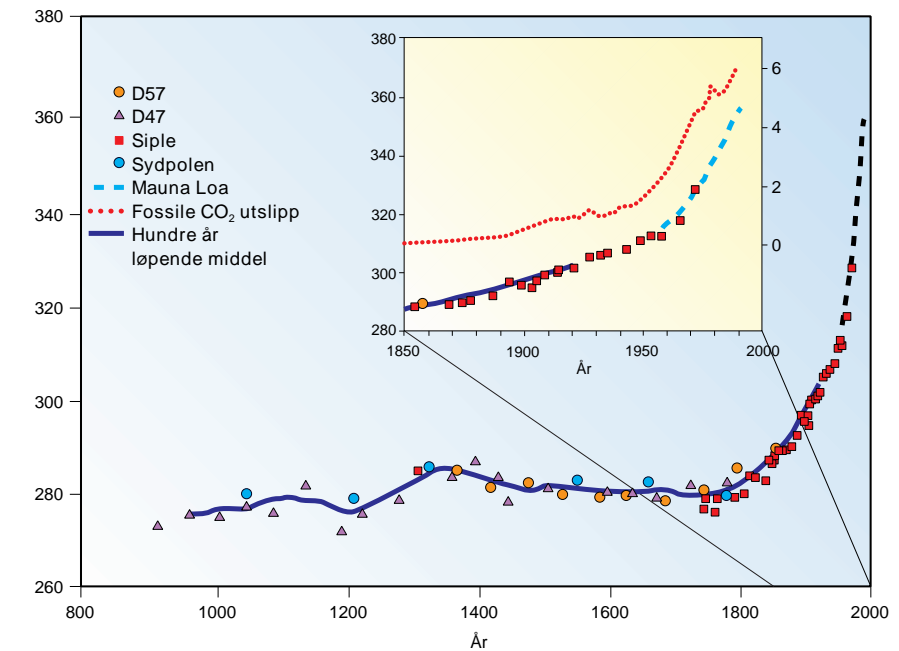
Det naturlige klimasystem er svært sammensatt. Det består av en rekke komponenter og det finnes mange prosesser som spiller en viktig rolle. Mange av disse prosessene påvirker hverandre gjensidig gjennom såkalte tilbakekoblinger (feedback). Det som driver klimasystemet er oppvarming ved innkommende solstråling og avkjøling ved utgående jordstråling. Disse prosessene er ikke i likevekt i hver enkelt geografisk region, og vind i atmosfæren og strømmer i havet sørger for at det opprettholdes en global balanse.

Atmosfæren

Atmosfæren spiller en meget viktig rolle i klimasystemet. De klimaendringer som mennesket kan komme til å forårsake, har sitt opphav i en endring i atmosfærens strålingsbalanse (se figur til venstre) grunnet økt konsentrasjon av drivhusgasser. I tillegg til strålingsbalansen vil energi overføres mellom jordoverflaten og atmosfæren ved fordampning og kondensasjon av vann og ved direkte varmeledning.

Havet

Havet absorberer mer enn halvparten av den solstrålingen som når ned til overflaten. Energien lagres som varme i havet og transporteres fra tropiske til høyere bredder ved havstrømmer. Energien frigjøres fra havet dels ved varmestråling og dels ved fordampning. Havstrømmene er drevet av



Blandingsforhold for CO₂ de siste 1000 år

denne varmeutvekslingen med atmosfæren og ved at vindene setter opp havstrømmer.

Kryosfæren

På jorda finnes vann i alle tre aggregat-tilstander; som damp, væske, og i fast form. Den delen av klimasystemet som inneholder de faste formene, snø og is, kalles kryosfæren. Snø og is kan påvirke atmosfæren, og dermed klimaet, på ulike tidsskalaer: Snødekke på bakken fra noen dager til måneder, sjøis fra måneder til år, mens isbreene i Antarktis og på Grønland er nærmest permanente, og kan påvirke klimaet over århundrer og årtusener. Forekomsten av snø og is har også stor betydning for jordoverflatens refleksjonsevne, såkalt albedo.

Biosfæren

Alle levende organismer, planter og dyr, utgjør tilsammen det vi kaller biosfæren. Biosfæren både på land og i havet styrer strømmen av flere drivhusgasser til og fra atmosfæren, havet og jordsmonnet. Dette gjelder særlig CO₂ og CH₄. Mange av de prosessene som styrer dette avhenger av klimaet. Klimaendringer vil derfor ha merkbar virkning på biosfæren. På den annen side vil endringer i biosfæren påvirke klimaet. Dette skjer særlig ved at endringer påvirker karbonomsetningen som igjen vil påvirke at-

mosfærens CO₂-innhold. Endringer i biosfæren kan også påvirke klimaet ved at vegetasjon influerer på avrenning og fordampning som er viktig for atmosfærens vanninnhold og varmebalanse.

Geosfæren

Geosfæren dannes av den faste jord, dvs. fjell og jordsmonn. Prosesser som involverer geosfæren er også viktige for klimasystemet. Jordsmonnet utveksler både gasser, partikler og fuktighet med atmosfæren og omfatter også ferskvannet som er lagret i grunnen (grunnvannet). Utvekslingen avhenger, blant annet, av type jordsmonn og av vegetasjonen.

Skalaer i tid og rom

Klimasystemets kompleksitet skyldes ikke bare at mange komponenter er involvert, men også at prosessene finner sted på ulike skalaer både i tid og rom. Atmosfæren reagerer raskt på endringer i strålingsbalansen. Det tar bare noen timer eller dager. I havet foregår det prosesser som krever mye lengre tilpasningstid, fra noen måneder til flere hundre år. Noen fenomener foregår på svært lokal skala, mens andre foregår på global skala. De små skalaene påvirker de store og vice versa. Dette er en av årsakene til at klimasystemet oppfører seg kaotisk.

Stasjonen på Zeppelinfjellet

Ny stasjonsbygning

Målestasjonen på Zeppelin-fjellet ved Ny-Ålesund ble bygget i 1988-1989 og offisielt åpnet i 1990. Etter 10 års bruk oppfylte bygningen ikke lengre de behov som stilles for å kunne operere avanserte måleinstrumenter. I andre halvår 1999 ble derfor den gamle bygningen revet og fjernet og en ny stasjon ble bygd på samme sted. Miljøverndepartementet i Norge bevilget de nødvendige midlene og i tillegg ble midler bevilget fra Knut och Alice Wallenbergs stiftelse via MISU (Meteorologiska institutionen, Stockholms universitet).

Bygget er bygget etter tradisjonell byggemetode med spesiell vekt på avstivning, vindtetting og fundamentering. Årsaken til dette er de ekstreme vindforholdene som kan forekomme på fjelltoppen. Vegg og tak er isolert med tanke på energiøkonomisering.

Det ble satset mye på å unngå å benytte materialer med emisjoner som kan påvirke målingene. Alle materialer ble derfor vurdert og godkjent av NILU før bruk. Stasjonen er utstyrt med ventilasjonsanlegg som styrer overtrykk i enkelte rom og undertrykk i andre. Stasjonen sett under ett har undertrykk i forhold til omgivelsene for å unngå at aktiviteten på stasjonen skal forstyrre luftprøvetakingen på utsiden. All utluft fra stasjonen blir ført i rør 150 m ned langs fjellsiden før den slippes ut for å unngå forurensning av måleluften. Stasjonen har komplett elektrisk, tele og dataanlegg.

I planleggingen ble det fokusert mye på å oppnå en rominndelingen som sikret en så fleksibel og effektiv

brukssituasjon som mulig. Stasjonen har derfor flere adskilte laboratorier hvorav noen benyttes fast av NILU og MISU, og noen er tilrettelagt for mer kortsiktig bruk, for eksempel målekampanjer og gjesteforskere. Bygningen har fått ny datalinje, som sikrer direkte kommunikasjon med instrumenter fra NILU.

Stasjonen ble offisielt nyåpnet av Kronprins Haakon Magnus 2. mai 2000.

Beskrivelse av stasjonen

Ny-Ålesund ligger på vestkysten av Svalbard ved 79 grader nord og målestasjonen på Zeppelinfjellet ligger derfor i et uforstyrret arktisk miljø. I tillegg til atmosfærestudiene som utføres på stasjonen, arbeides det i Ny-Ålesund med studier av marine og terrestriske økosystemer, breer, fysiske egenskaper i snø og is, solinnstråling og jordoverflatens energibalanse.

Zeppelinstasjonen ligger 474 meter over havnivået og er et meget velegnet målepunkt for overvåking av atmosfæren siden den ligger over innersjiktet.

Målestasjonen er en viktig del av den EU-finansierte «Large Scale Facility for Arctic Environmental Research» som koordineres av Norsk polarinstitutt i samarbeid med andre europeiske institusjoner. Dette har gjort det mulig for en rekke europeiske forskningsgrupper å gjennomføre målekampanjer på stasjonen.

Måleaktivitetene på Zeppelinstasjonen bidrar til en rekke globale, regionale og nasjonale overvåkingsnettverk:

- EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme under «UN Economic Commission for Europe»)
- Network for detection of stratospheric change (NDSC under UNEP og WMO)
- Global Atmospheric Watch (GAW under WMO)
- Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP)

Zeppelinstasjonen eies og drives av Norsk polarinstitutt (NP). NILU er ansvarlig for den vitenskapelige virksomheten på stasjonen.

NILUs klimagassmålinger

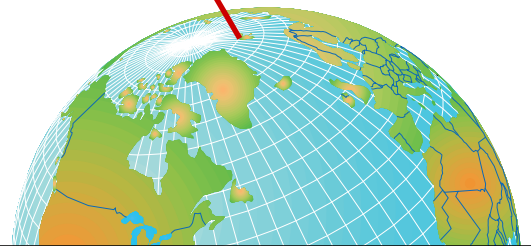
NILUs forskningsaktiviteter på Zeppelinstasjonen er rettet mot følgende mål:

- Karakterisering av den arktiske atmosfæren og studier av atmosfæriske prosesser og forandringer
- Undersøkelser av atmosfærisk langtransport av forurensninger
- Studier av stratosfærisk ozon og klimarelaterte spørsmål

Halogenerte komponenter

Målinger av lettflyktige halokarboner har pågått siden sommeren 2000. Det måles for tiden på 23 forskjellige komponenter. Instrumentet leverer målinger av god kvalitet for de aller fleste komponenter.

Målinger fra Zeppelinfjellet har blitt sammenlignet med målinger fra tilsvarende instrumenter i Mace Head på Irlands vestkyst og på Jungfraujoch i de Sveitsiske alper. Målingene fra



Zeppelinfjellet ligger på et nivå litt lavere enn Mace Head og noe lavere enn Jungfraujoch. Variasjonen i måleverdier er også en del lavere enn på de to andre stasjonene. Dette er som forventet, siden Zeppelinfjellet ligger lengre vekk fra kildene.

Metan

I perioden for bygging av ny målestasjon har målinger av metan blitt utført ved en provisorisk målestasjon nedenfor Zeppelinfjellet (gruvebadet). Ved ferdigstilling av ny stasjon ble nye målinger startet opp i ny stasjonsbygning. Målinger fra gruvebadet vil bli undersøkt med tanke på mulige lokale metankilder.

Målinger av metan blir utført hver time. Måleserien har flere hull som skyldes driftstekniske forhold i ny bygning vår og sommer 2000. Ventilasjonsp problemer har medført perioder sommer og høst hvor data må forkastes grunnet kontaminasjon, men generelt ser dataene ut til å være av god kvalitet. Målinger i ny stasjon har vært beregnet mot ukalibrert standard. Kalibrering må utføres og data for perioden må rekalkuleres før måledataene kan godkjennes.

Karbonmonksid

NILUs CO-instrument har vært til reparasjon ved NILUs laboratorier på Kjeller. Kontinuerlige målinger vil bli startet opp igjen i år 2001.

Partikler

Aethalometeret har målt i tiden 9. mars til 1. mai i år 2000. Dette er en interessant periode, p.g.a. forekom-

Zeppelinstasjonen

Målestasjonen ligger på Zeppelinfjellet like ved Ny-Ålesund. Den gamle målestasjonen fra 1988 ble revet sommeren 1999. Ny stasjonsbygning sto klar til innflytting i februar 2000.

Stasjonen ble offisielt åpnet av Kronprins Håkon Magnus 2. Mai 2000.

Fakta:

- 474 meter over havet
- 79° 54' Nord, 11 53' Vest
- Zeppelinfjellet ved Ny-Ålesund i Kongsfjorden på Svalbard
- Stasjonen eies og drives av Norsk Polarinstitutt.
- NILU er ansvarlig for vitenskapelig virksomhet på stasjonen.



«Målestasjonen på Zeppelinfjellet ligger i et uforstyrret arktisk miljø...»

sten av «arctic haze», som er en viktig type partikler i Arktis. Aethalometeret måler mengden av sot og gir et anslag av absorpsjonen av solstråling på partikler. Flere episoder av langtransportert forurensning i form av partikler ble funnet våren 2000. Vi holder for tiden på med kvalitetskontroll av dataene.

Andre NILU-aktiviteter

I tillegg til bestemmelse av klimagasser har NILU derfor en rekke andre måleaktiviteter på Zeppelinstasjonen og i Ny-Ålesund.

Svovel- og nitrogenkomponenter

Siden 1990 har NILU, på oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (SFT), gjennomført målinger av svovel- og nitrogenkomponenter i luft på Zeppelinstasjonen. Måleprogrammet omfatter døgnlige bestemmelser av SO_2 , SO_4^{2-} , $(\text{NO}_3^- + \text{HNO}_3)$ og $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)$.

Resultatene rapporteres til Statlig program for forurensningsovervåking.

Bakkenært ozon

Siden 1990 er det, på oppdrag fra SFT, blitt utført kontinuerlige målinger av luftkonsentrasjoner av bakkenært ozon på Zeppelinstasjonen.

Resultatene rapporteres til Statlig program for forurensningsovervåking.

Persistente organiske forbindelser og tungmetaller i luft

I over 20 år har NILU gjennomført studier av forekomst i luft av persistente organiske forurensninger (POP) og tungmetaller i Arktis. Siden 1993 er

dette blitt rutinemessig utført på Zeppelinstasjonen. Måleprogrammet omfatter heksaklorsykloheksaner (HCH), heksaklorbenzen (HCB), klor-daner, polyklorerte bifenyler (PCB), DDT-gruppen, polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og tungmetaller. I tillegg er en rekke andre komponenter undersøkt. Dette omfatter komponenter som for eksempel bromerte flammehemmere, toksafener og dioksiner.

Resultatene blir rapportert til AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme).

Hovedkomponenter i nedbør

Siden 1981 er det, på oppdrag fra SFT, blitt gjennomført bestemmelser av hovedkomponenter i nedbør på Ny-Ålesund. Målingene foregår nede i Ny-Ålesund.

Resultatene rapporteres til Statlig program for forurensningsovervåking.

Stratosfære ozon

De prosessene som fører til nedbrytning av ozon-laget over Antarktis er også aktive i Arktis. Betydelig ozonnedbrytning er blitt observert om våren i de seinere år. Ozonnedbrytningen skyldes klor som stammer fra klorfluorkarboner (KFK) og andre liknende kjemikalier og brom fra industrielt produserte haloner. NILU har instrumenter på Ny-Ålesund som bestemmer ozonmengden og noen av de kjemiske komponentene som fører til nedbrytningen. Disse instrumentene er basert på optiske metoder som måler forandringene av solstrålingen gjennom atmosfæren. I tillegg bestemmes nivået av ultrafiolett stråling (UV)

på bakken. Målingene foregår på Sverdrupstasjonen nede i Ny-Ålesund.

MISU

Meteorologisk Institutt Stockholms Universitet (MISU) måler nivået av karbondioksid og atmosfæriske partikler på Zeppelinstasjonen.

Karbondioksid

Målingene av karbondioksid (CO_2) gjøres med et kontinuerlig infrarødt instrument. I tillegg tas det, sammen med andre institusjoner, flaskeprøver i Ny-Ålesund som analyseres med hensyn på CO_2 , ^{13}C , ^{18}O , CH_4 and CO .

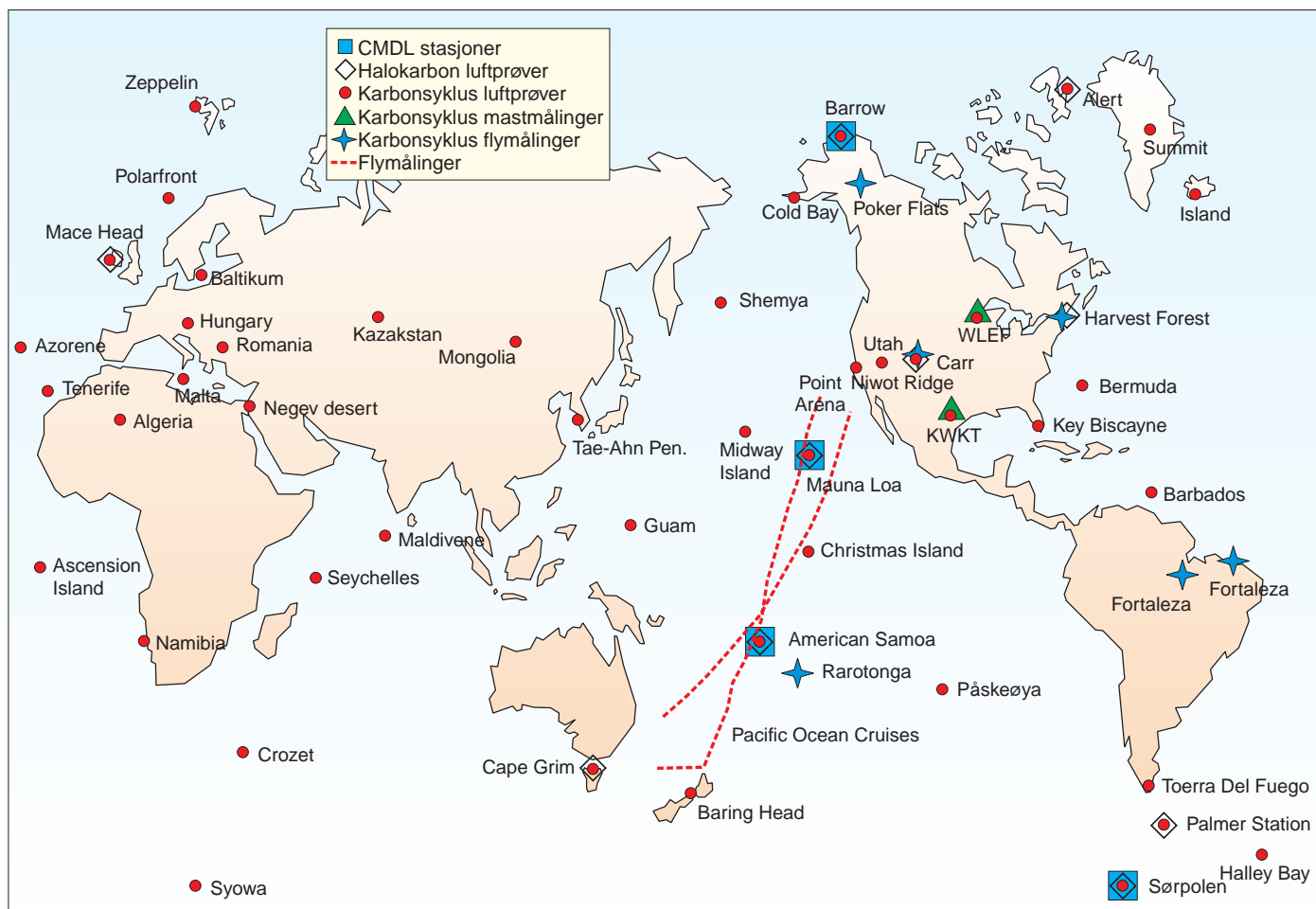
MISUs CO_2 -målinger har tre mål:

- Foreta bakgrunnsmålinger
- Gi detaljert beskrivelse av variasjonene i konsentrasjonen i Arktis i tidsskalaer fra minutter til tiår.
- Forstå hvordan menneskelig aktivitet og klimatiske forandringer påvirker det globale karbonets kretsløp, som igjen gir variasjoner i konsentrasjonene av atmosfærisk CO_2 og metan.

Partikler

For å studere partikler i atmosfæren opererer MISU flere måleinstrumenter på Zeppelinstasjonen. Partikler og aerosoler sprer og absorberer lys og kan derfor påvirke Jordas strålingsbalanse. I hovedsak er nye partikler relativt små og derfor gir størrelsesfordelingen av partiklene indikasjon på om de er generert lokalt eller er langtransporterte.

MISU benytter en optisk partikkel-teller (OPC) som gir konsentrasjonen



NOAAs verdensomspennende stasjonsnett. Stasjoner på norsk område er Zeppelinfjellet og værskipet Polarfront.

av aerosolpartikler. Størrelsesfordelingen studeres med en «Differential mobility analyzer (DMA)».

For å studere hvordan aerosol partikler i atmosfæren påvirker den globale strålingsbalansen, er det nødvendig å bestemme partiklenes lysspredning og absorpsjon. MISU benytter et integrerende nephelometer til kontinuerlig bestemmelse av lysspredningsegenskapene. Spredningsverdiene er høyest om vinteren fordi lufta da er mest forurenset med relativt høy partikkelmasse pr. volumenheter. Antallet partikler i lufta kan likevel være høyest om sommeren fordi det da dannes mange nye små partikler.

For å studere kjemiske prosesser i atmosfæren arbeider MISU også med å bestemme den kjemiske sammensetningen av aerosoler.

NOAA

NOAA CMDL (The Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory ved The National Oceanic and Atmospheric Administration i USA) opererer et globalt luftprøvetakingsnettverk. Zeppelinstasjonen inngår som ett målepunkt i dette nettet (se figur av NOAAs stasjonsnett over).

Prøver samles en gang pr. uke i stålflasker og analysene utføres i Boulder, Colorado i USA. Måleprogrammet omfatter CH_4 , CO , H_2 , N_2O , og SF_6 . Resultatene benyttes til å studere tidstrender, sesongvariasjoner og global fordeling av klimagasser.

SOGE

SOGE (System for Observation of halogenated Greenhouse gases in Europe) er et forskningsprosjekt som for NILUs del først og fremst bygger på overvåkingsdata fra GCMS-instru-

mentet på Zeppelinstasjonen. I prosjektet studeres såkalte halogenerte klimagasser, dvs. gasser som inneholder klor, fluor og/eller brom, som alle er med i den kjemiske gruppen halogener. Det gjelder dermed tre av de seks komponentgruppene som omfattes av Kyoto-protokollen (HFK , PFK og SF_6), og samtlige stoffer som omfattes av Montreal-protokollen.

I prosjektet skal måledata fra NILUs GCMS-instrument analyseres sammen med data fra tilsvarende instrumenter på tre andre stasjoner i Europa, Mace Head (Irland), Jungfraujoch (Sveits) og Monte Cimone (Italia). Dataene skal brukes til å bestemme trender i konsentrasjonene av de halogenerte klimagassene. Det trengs flere år med data for å oppnå dette, så resultatene her vil komme først mot slutten av SOGE, som startet i desember 2000 og varer i tre år. I bestemmelsen av trendene vil en også benytte data fra FTIR-

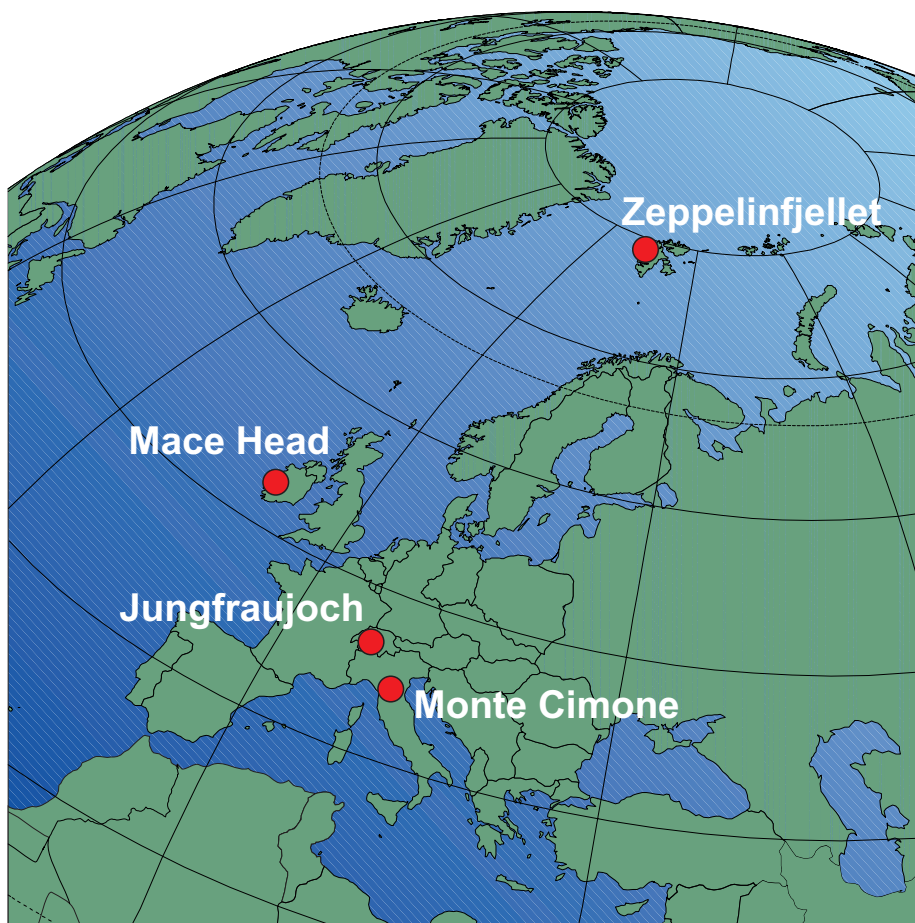


instrumenter (Fourier Transform Infra Red) som har målt mengden av noen få av de aktuelle gassene fra bakken og til atmosfærens yttergrense i minst ti år på to av stasjonene, i Ny-Ålesund og på Jungfraujoch.

Måledataene skal dernest brukes til vurdere og verifisere utslipp av de halogenerte klimagassene i Europa. Basis for dette er episoder med høye konsentrasjoner som måles med GCMS-instrumentene. Disse episodene forekommer når luftmassene som kommer inn over målestasjonene inneholder relativt ferske utslipp. Ved hjelp av meteorologiske data og modeller skal man finne ut hvor utslippene kommer fra, og dette skal brukes til å utvikle utslipp for de ulike komponentene i ulike regioner av Europa.

I SOGE skal også virkningen av de halogenerte gassene på klima og ozonlag beregnes. Flere typer modeller skal benyttes til dette, både modeller som beskriver transport og kjemisk omvandling i troposfæren og i stratosfæren, og modeller som beskriver solstråling og terrestrisk stråling i atmosfæren. Bl.a. skal det beregnes verdier for ODP (Ozone Depletion Potential) og GWP (Global Warming Potential).

SOGE finansieres gjennom EUs 5. rammeprogram. NILU koordinerer prosjektet. Fra Norge deltar også Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo. Det er videre deltakere fra England, Sveits, Italia, Tyskland og Belgia.



I SOGE-prosjektet inngår fire målestasjoner i Europa

Klimagass- målinger

Instrumenter og målemetoder

Halokarboner

Et instrument for målinger av lettflyktige halokarboner (KFK, HFK og HKFK) ble montert våren 2000. Et tjuetalls komponenter måles i prøver som tas og analyseres automatisk hver fjerde time. Instrumentet som brukes er en gasskromatograf med massespektrometrisk detektor (GC-MS). Til prøvetaking og oppkonsentrering av prøvene brukes et automatisk adsorpsjon/desorpsjonssystem utviklet ved University of Bristol, England. Instrumentet er ett av tre instrumenter i Europa som alle brukes i SOGE-nettverket. Miljøet ved Bristol University er ledende i verden når det gjelder prøvetaking og analyse av KFK og erstatningsstoffer. De lager instrumenter for målinger av halokarboner i atmosfæren som benyttes i AGAGE (Advanced Global Atmospheric Gases Experiment), et program for global overvåking av klimagasser, med deltakere fra de fremste miljøer på området i verden. Kalibrerings- og kvalitetssikringsarbeidet ved slike trendanalyser er av avgjørende betydning. Dette arbeidet er satt i et globalt system hvor NILU er i ferd med å bli en aktiv deltaker.

Den geografiske plasseringen på Zeppelinstasjonen gjør det helt nødvendig med helautomatisering av GC/MS-instrumentet. Dette er avansert teknologi og det er svært utfordrende å operere så avansert utstyr uten daglig ettersyn av kompetent personell. Ved hjelp fra gruppen ved Universite-

tet i Bristol mener NILU nå at vi har utviklet et system som er tilpasset disse forholdene.

Ved bruk av dataprogrammer for fjernstyring kan instrumentet følges opp daglig fra NILU på Kjeller. Programmet gir mulighet til direkte kommunikasjon med PC'en som styrer hele GC/MS-instrumentet på Zeppelin-stasjonen. Måledata blir lastet ned daglig til NILU for videre bearbeiding og kvalitetskontroll. Til databearbeiding er anskaffet et system utviklet ved Scripps Institution of Oceanography, San Diego. Samme system brukes i AGAGE og forholdene er dermed lagt til rette for enkel utveksling og rapportering av data.

For å unngå at de mest krevende vedlikeholdsrutiner av MS instrumentet (rensing av ionekilde o.l.) avbryter måleseriene for lenge, er det blitt kjøpt

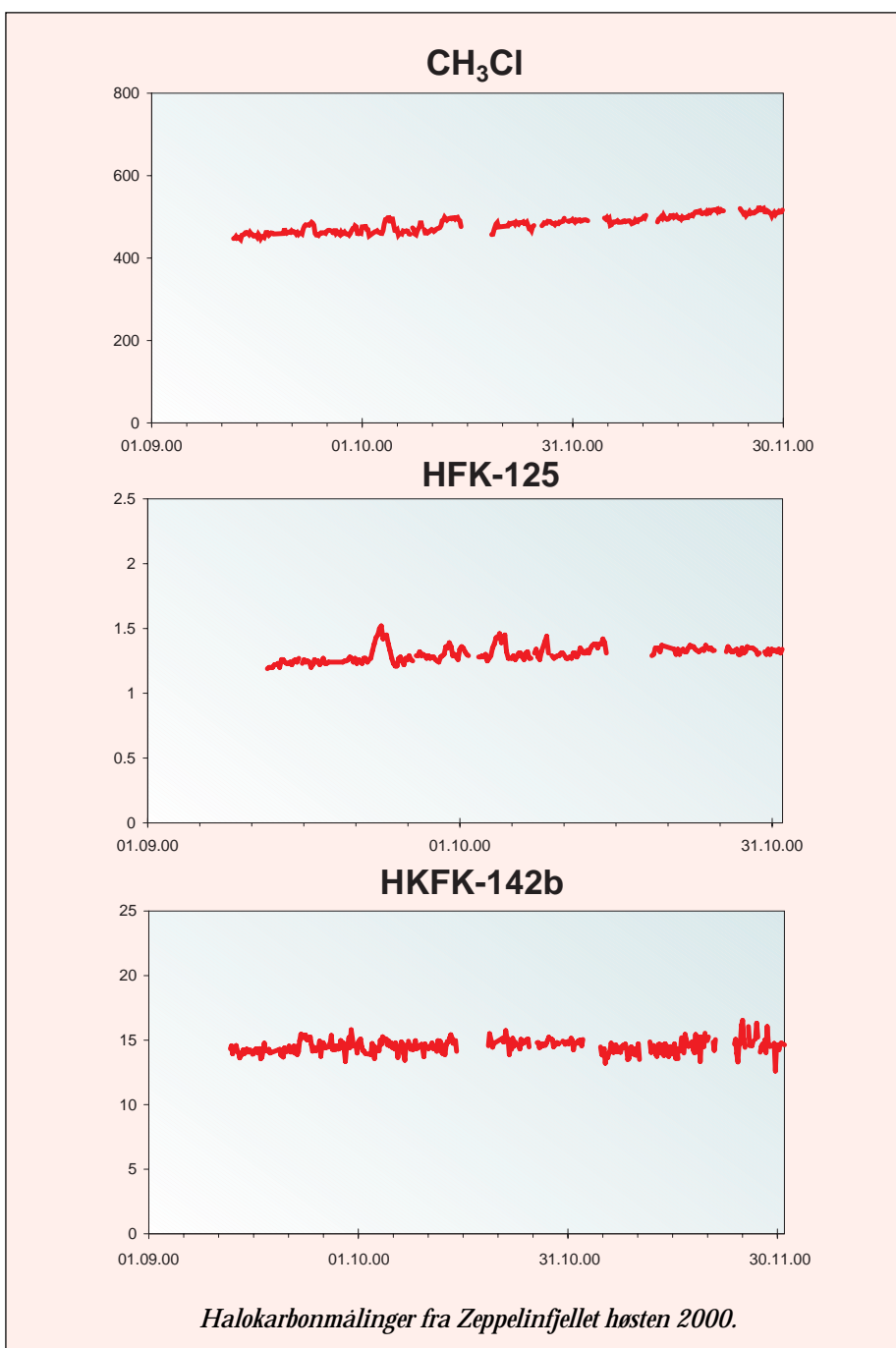
inn ekstra sett med utstyr. På denne måten håper vi å holde perioder med drift-stans grunnet vedlikehold og reparasjoner så korte som mulig.

Metan

Metan måles automatisk hver time ved bruk av en gasskromatograf med flammeionisasjonsdetektor (GC-FID). Metan-instrumentet ble opprinnelig bygget som en prototyp og for en stor del satt sammen av gamle, brukte deler. Nærmere to års drift av instrumentet ga en viss slitasje på enkelte deler og avdekket svakheter i konstruksjonen. Høsten 1998 ble det nødvendig å utføre noen større reparasjoner etter en tids driftstans. Det ble da klart at flere deler måtte skiftes ut og at enkelte ombygginger måtte utføres for å forhindre tilsvarende problemer. PC og programvare måtte også skiftes/for-



ADS-GC-MS, instrument for måling av lettflyktige halogenererte forbindelser.



nyes for å sikre problemfri overgang til år 2000. Ny PC og nytt operativsystem var også nødvendig for å sikre on-line dataoverføring og tilnærmet sanntids presentasjon av data på internett. Etter at det ble montert nytt nettverk i den nye stasjonen er det igjen behov for visse modifikasjoner av programvaren for å etablere automatisk overførsel til NILU av måledata. Instrumentet produserer relativt store mengder med data og det arbeides med å lage brukerprogrammer som kan kombinere effektiv databearbeiding og god kontroll av kvaliteten på måledata.

I perioden for bygging av ny målestasjon (sommer 1999 - vinter 2000) ble instrumentet plassert nedenfor Zeppelinfjellet (gruvebadet). Målinger i ny stasjonsbygning startet opp umiddelbart etter innflytting i februar 2000. Grunnet uheldige bygningstekniske forhold har instrumentet hatt en del driftstans. Dette har blitt rettet i løpet av sommeren. Enkelte kortere perioder med måledata må forkastes grunnet uheldig konstruksjon av prøveinntak og ventilasjonsanlegg.

Instrumentet kjøres for tiden med ukalibrert standard. Denne vil bli bestemt mot ny standardgass som er bestilt fra NOAA. Målingene fra Zeppelinstasjonen vil da bli bestemt mot samme referanse som NOAAs verdensomspennende målenett.

Måledata

Halokarboner

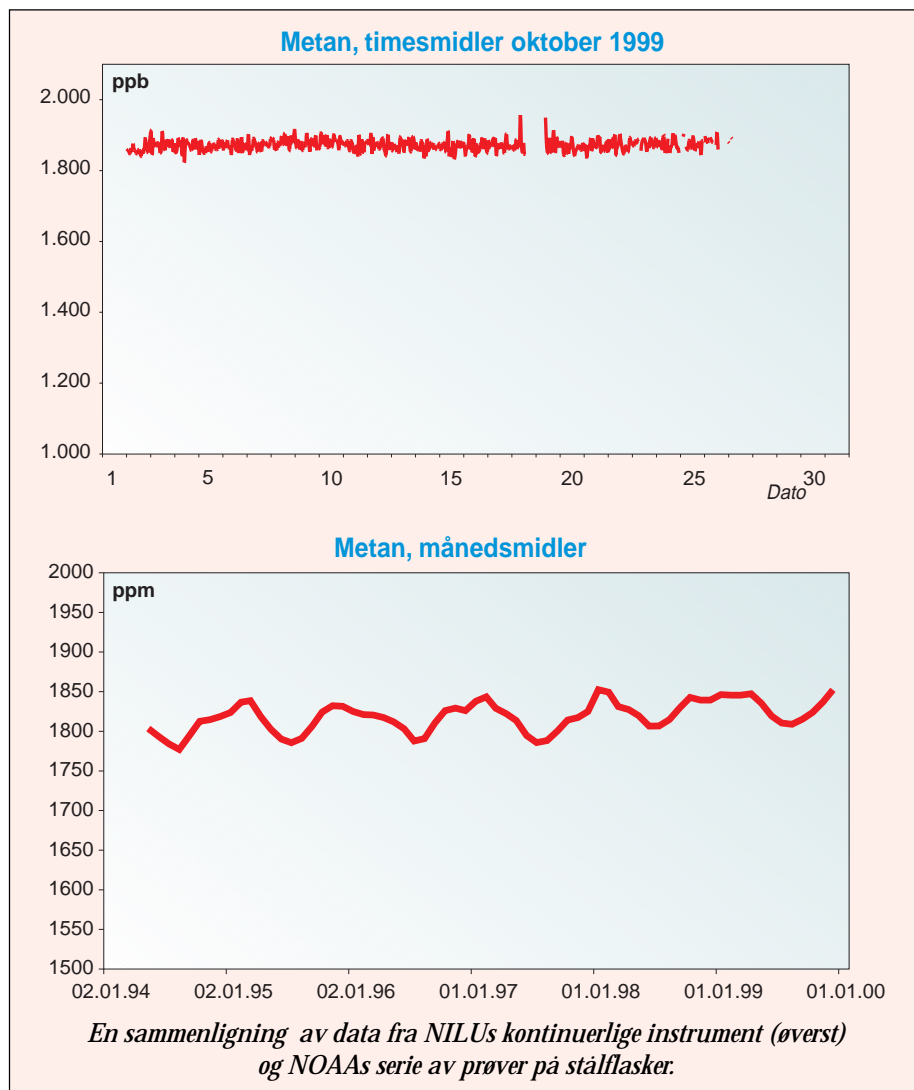
Målinger av lettflyktige halokarboner har pågått siden sommeren 2000. Det måles for tiden på 23 forskjellige komponenter. Instrumentet leverer målinger av god kvalitet for de aller fleste komponenter.

Det knytter seg visse usikkerheter til målinger av KFK-22 grunnet visse uheldige bygningstekniske omstendigheter i den nye stasjonen. Blant annet er det installert kjølemaskiner basert på KFK-22.

Det arbeides med å finne andre løsninger for kjølingen slik at disse kjølemaskinene kan fjernes. Sammen med et underdimensjonert ventilasjonsanlegg og feilkonstruert prøveinntak har dette i enkelte målinger gitt et for høyt nivå av denne komponenten. En har også valgt å forkaste målinger av de andre komponenter i disse prøvene. Andelen av kontaminerte prøver er imidlertid liten.

Målinger fra Zeppelinfjellet har blitt sammenlignet med målinger fra tilsvarende instrumenter i Mace Head på Irlands vestkyst og på Jungfraujoch i de Sveitsiske alper. Målingene fra Zeppelinfjellet ligger på et nivå litt lavere enn Mace Head og noe lavere enn Jungfraujoch. Variasjonen i måleverdier er også en del lavere enn på de to andre stasjonene. Dette er som forventet, siden Zeppelinfjellet ligger lengre vekk fra kildene.

En regner med at utstyr for å inkludere målinger av metylbromid, perfluorkarboner og SF₆ vil bli tilgjengelig i løpet av et par år. Forsøk utført til nå tyder på at eksisterende utstyr kan



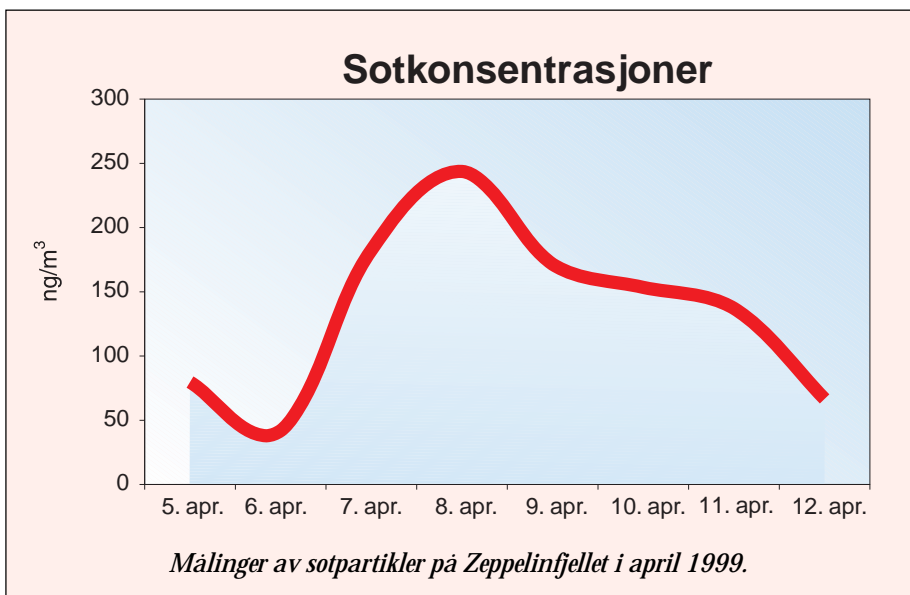
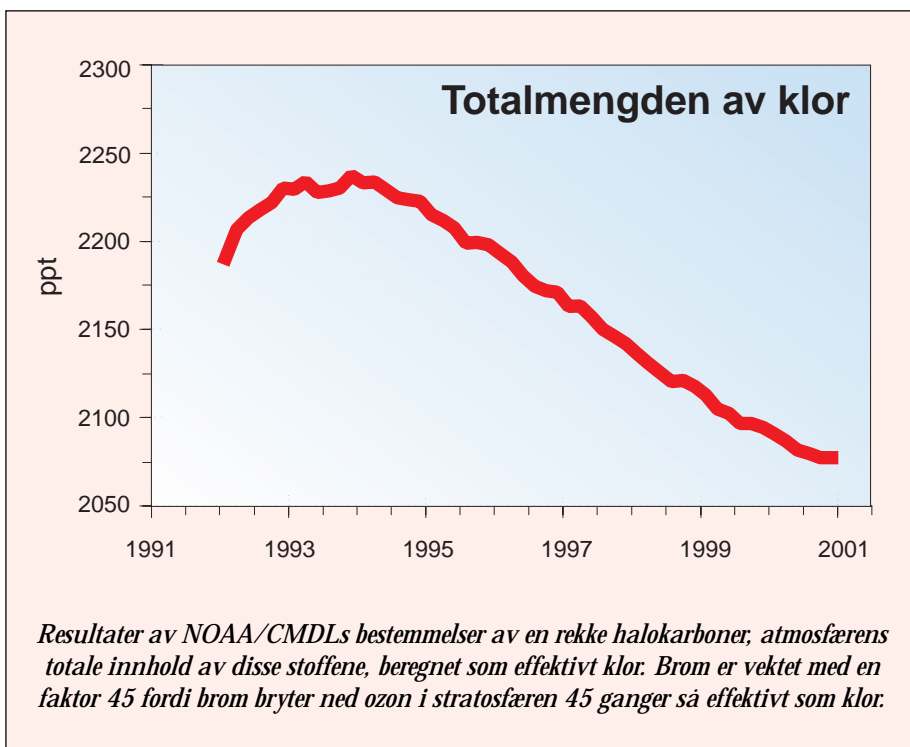
justeres til også å utføre SF₆-målinger med brukbar kvalitet. Nye standarder som inkluderer kalibrerte verdier for SF₆ er under anskaffelse.

Kalibrering og bruk av standarder organiseres i med samarbeidspartnere i SOGE-prosjektet. I tillegg til bruk av samme primærstandarder vil det bli arrangert interkalibreringer. Alle primærstandarder i SOGE-prosjektet bestemmes mot felles referanse med AGAGE-programmet.

Metan

Målinger har pågått i ny stasjonsbygning siden innflytting i februar 2000. Det har vært en del driftsstans, hovedsaklig grunnet uheldige bygningsforhold. En del data må forkastes grunnet feil i konstruksjon av luftinntak i stasjonsbygningen. Dette ble rettet på i september 2000. Siden det har instrumentet stort sett fungert normalt. Det arbeides med å utvikle brukerprogrammer for å effektivisere behandlingen av måledata.

Klimagass- modellering



Trender

Som et resultat av Montrealavtalen, er totalmengden av klor i atmosfæren i ferd med å reduseres. Mange av gassene som omfattes av avtalen overvåkes ved målinger på en del bakgrunnsstasjoner, bl. a. i nettverkene til NOAA og AGAGE. Enkelte gasser, med relativt kort oppholdstid i atmosfæren, er allerede kraftig redusert. Dette gjelder særlig metylkloroform (CH_3CCl_3). De mest langlivede gassene har minket lite, til tross for reduksjon av utslipp. I noen tilfeller er det fremdeles utslipp, til tross for regulering gjennom Montrealavtalen. Det gjelder f.eks. KFK-12 (CF_2Cl_2) gjennom diffuse utslipp fra kasserte kjøleskap i industrialiserte land. Dessuten er det en del utslipp i utviklingsland. Figuren til venstre viser hvordan totalmengden av klor er redusert de siste årene. Den største del av reduksjonen skyldes nedgangen i metylkloroform.

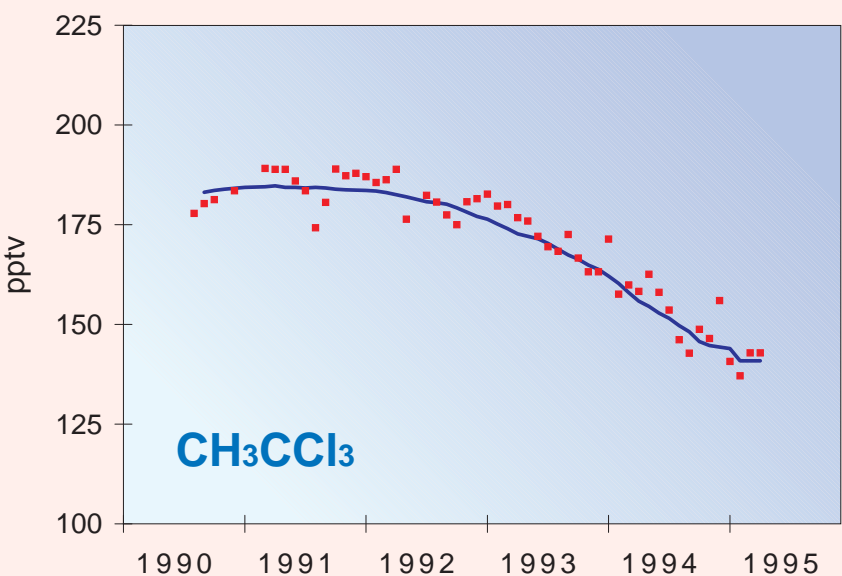
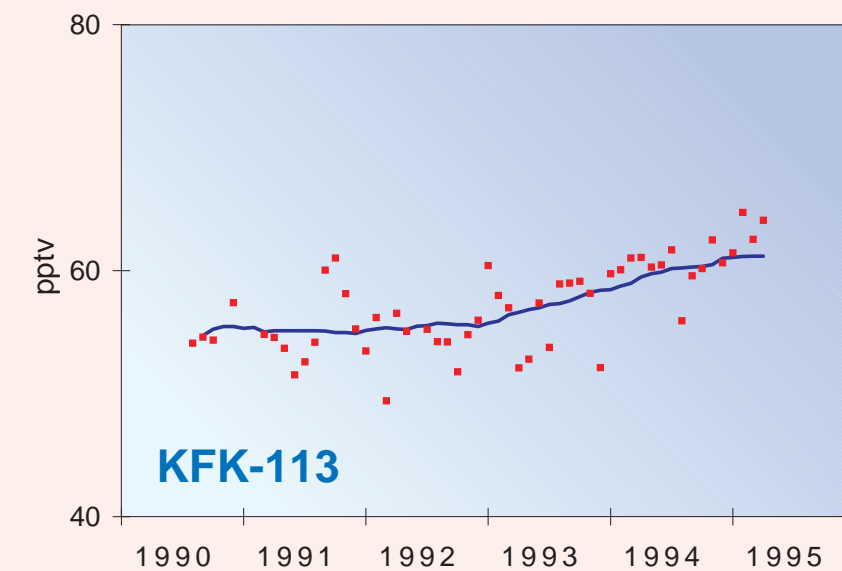
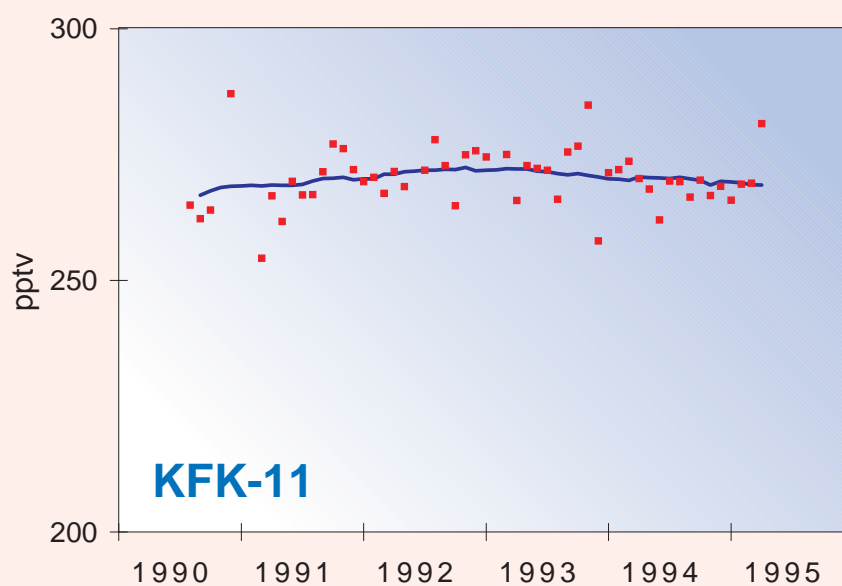
Et hovedsiktemål med den norske klimagassovervåkingen er å studere trender i dataene. Til dette formålet trenger vi data fra lange tidsserier. Det vil således ta noen år før vi kan bestemme trender basert på data fra de kontinuerlige instrumentene (CH_4 -GC og GC/MS) på Zeppelinstasjonen. Vi kan imidlertid også benytte flaskeprøver samlet av NILU gjennom en 5-årsperiode 1990-1995. Våre målinger viser også den markerte nedgangen i metylkloroform (se figur neste side). De bekrefter også at KFK-12 ennå ikke har nådd sitt maksimale nivå. Dette ses også tydelig av data fra Jungfraujoch, som inngår i SOGE-prosjektet (se figur side 18).

Budsjetter

Et annet mål med overvåkingen av klimagassene er å studere deres budsjetter. For KFK, PFC og SF₆ gjelder dette kun bestemmelse av deres kilder, fordi de ikke har nevneverdige sluk ved bakken og fordi de ikke inngår i kjemiske reaksjoner i troposfæren. HFK og HKFK har en langsom nedbrytning i troposfæren ved reaksjon med OH-radikalet, men i noen sammenhenger kan man se bort fra dette fordi nedbrytningen er svært langsom.

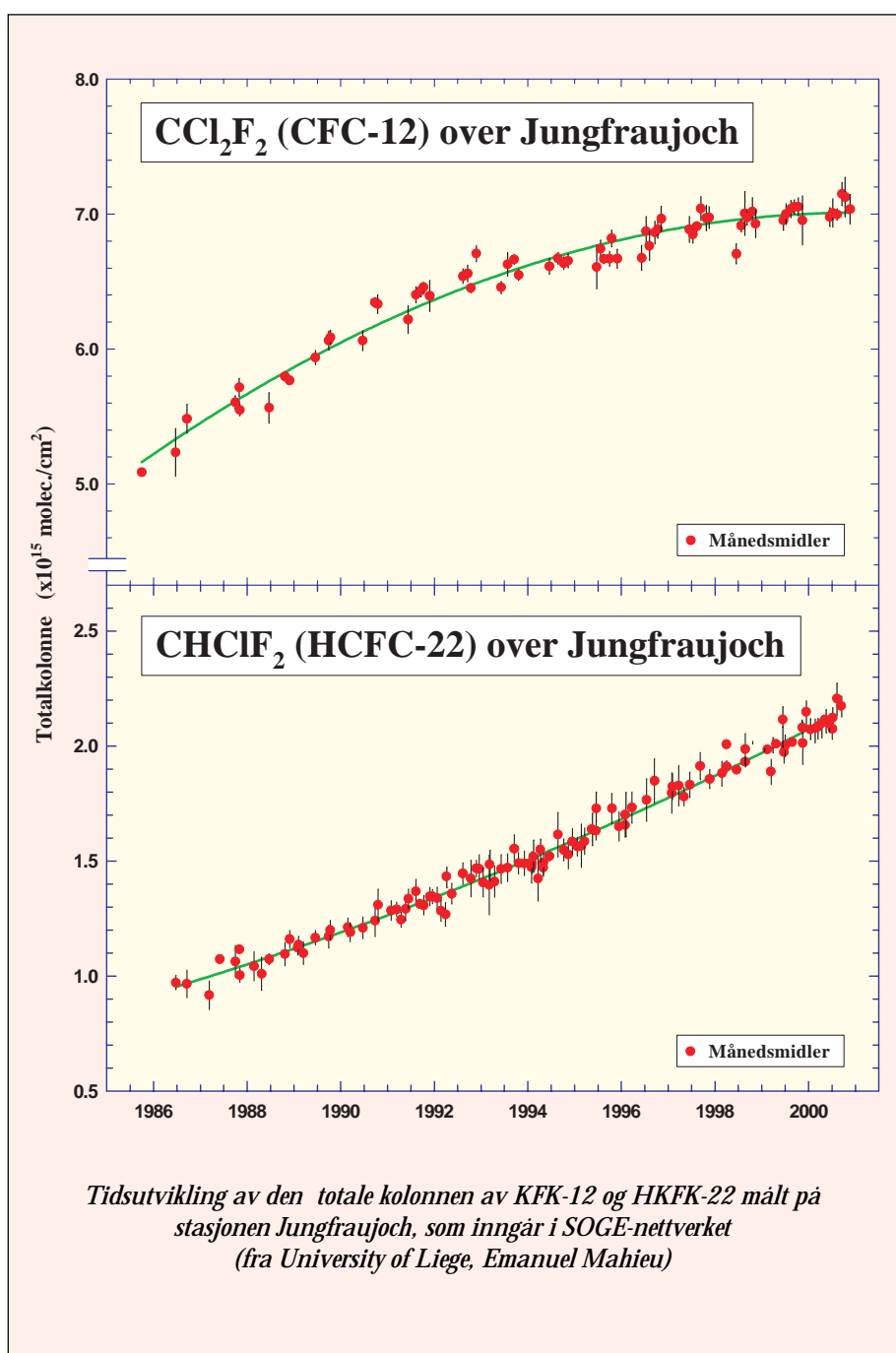
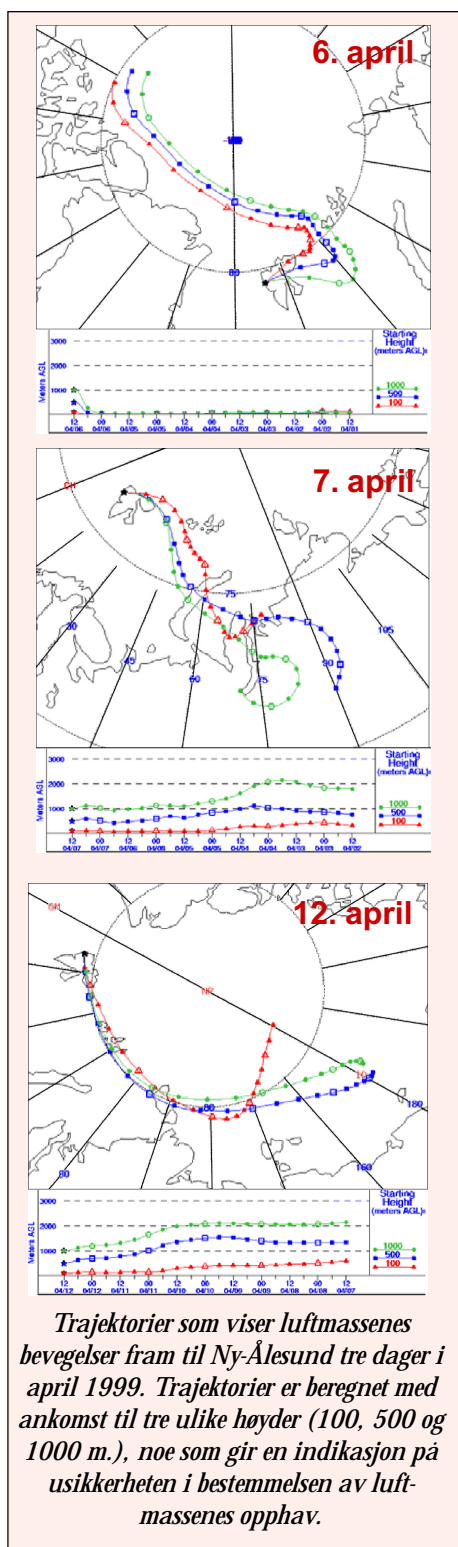
NILU benytter ulike teknikker for å studere klimagassenes budsjetter. En hovedbasis er modeller basert på meteorologiske data. En har benyttet trajektorier basert på meteorologiske data. På denne måten kan man studere enkeltepisoder. Ved særlig høye konsentrasjoner er det mulig å spore opprinnelsen til luftmassen. NILU har tidligere gjort dette for flere komponenter målt på Zeppelinfjellet, som for eksempel ozon og kjemiske forløpere samt ulike persistente organiske forurensninger (POP).

Som et eksempel på de mulighetene som ligger i trajektorieanalyser, har vi studert en episode av transport av sotpartikler til Ny-Ålesund fra Eurasia. Episoden fant sted i april 1999. Sotmålingene er vist i figuren nederst til venstre. På neste side viser kartet luftmassenes opprinnelse ved tre ulike tidspunkter i løpet av perioden. Kartene viser at luften på en av dagene med høyest sotkonsentrasjon (7. april) ankom Ny-Ålesund fra Russland (Kolahalvøya). Umiddelbart før episoden (6. april) og etter episoden (12. april) kom luften fra rene arktiske områder.



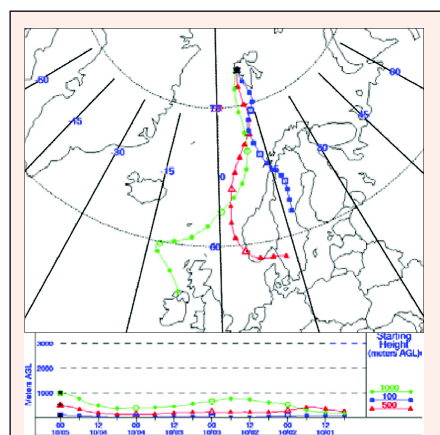
Resultater av NILUs bestemmelser av metylkloroform og KFK-113 i luft på Zeppelinfjellet.

«NILU overvåker klimagasser for å studere trender...»



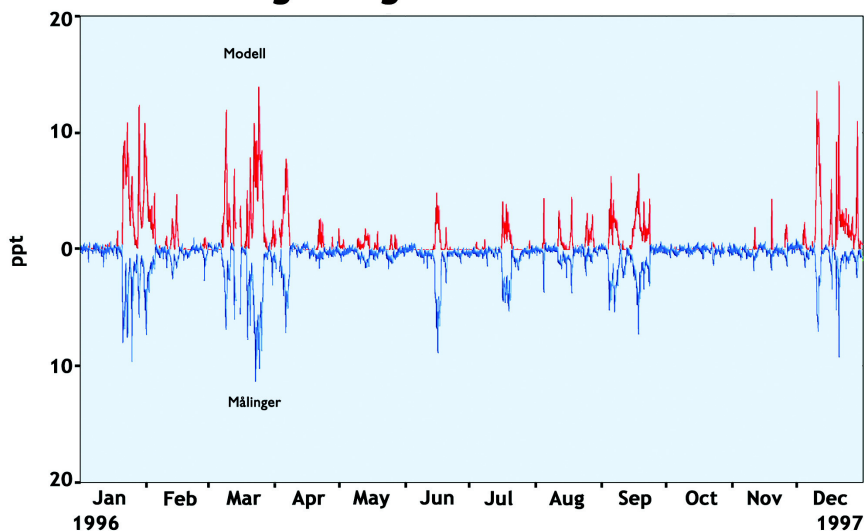
Transport av sot fra industrialiserte områder bidrar til et velkjent fenomen, arktisk dis (Arctic haze), som påvirker klimaet i arktis, særlig på vårparten.

Resultatene fra GC/MS-instrumentet har vært brukt til å identifisere episoder der målte høye konsentrasjoner kan føres tilbake til utslipp i Europa. Figur nedenst til høyre viser data fra en periode høsten 2000, da det forekom noen slike episoder. Figuren under viser lufttrajektorier som ankom Ny-Ålesund 5. oktober 2000. Trajektoriene kan føres tilbake til Skandinavia og de britiske øyer. Det kan også hende at utslippene har funnet sted tidligere enn det som fremgår av figuren, f.eks. på det europeiske kontinent.



Trajektorier som viser luftmassenes bevegelser fram til Ny-Ålesund 5. oktober 2000 da det var en episode med høye konsentrasjoner av noen halogenerte komponenter. Trajektorier er beregnet med ankomst til tre ulike høyder (100, 500 og 1000 m.), noe som gir en indikasjon på usikkerheten i bestemmelsen av luftmassenes opphav.

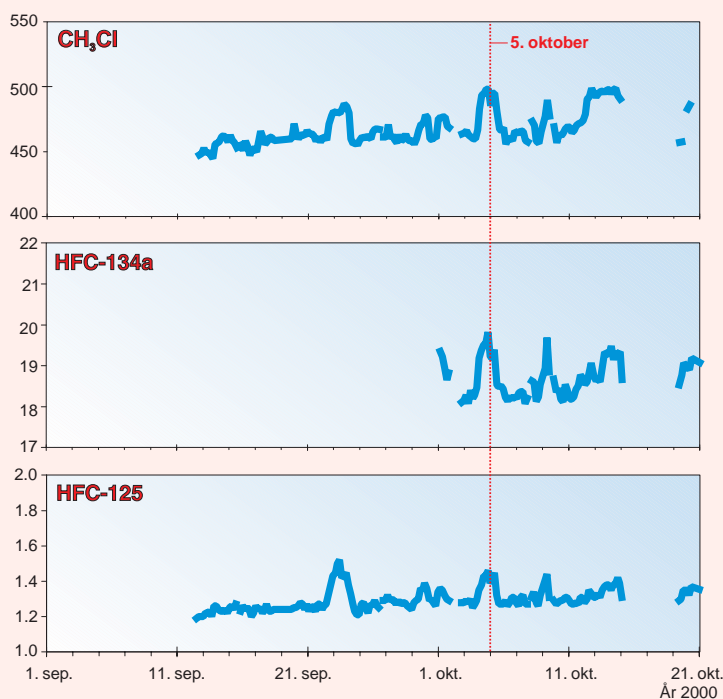
Målte og beregnede verdier av KFK-11



Observasjoner av KFK-11 på Mace Head og beregninger med en modell som skal benyttes til å analysere GC/MS-data fra Ny-Ålesund. Modellberegningene er vist i rødt, og med positive verdier oppover, målingene er vist i blått og er rotert om null-aksen som gir positive verdier nedover.

I prosjektet SOGE vil det bli benyttet en modell som er utviklet ved UK Meteorological Office. I modellen beregnes en stort antall trajektoriebaner for luftpartikler. Trajektoriene startes over hele Europa. Luftpartiklenes baner frem mot målestasjonene i SOGE, bl.a. Zeppelinstasjonen, beregnes, og utslipp fanges opp på veien. Tidligere

eksperimenter basert på resultater for en del KFK-gasser på Mace Head har demonstrert at modellen gir en god sammenheng mellom de målte tids-seriene og utslippene fra Europa (se figur til over). Denne modellen vil brukes til å analysere GC/MS-dataene fra Ny-Ålesund.



GC/MS-målinger på Zeppelinfjellet høsten 2000.



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, 2027 Kjeller

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

Media: 958 46 220

e-post: nilu@nilu.no

www.nilu.no