Fjärranalys i klimatarbetet

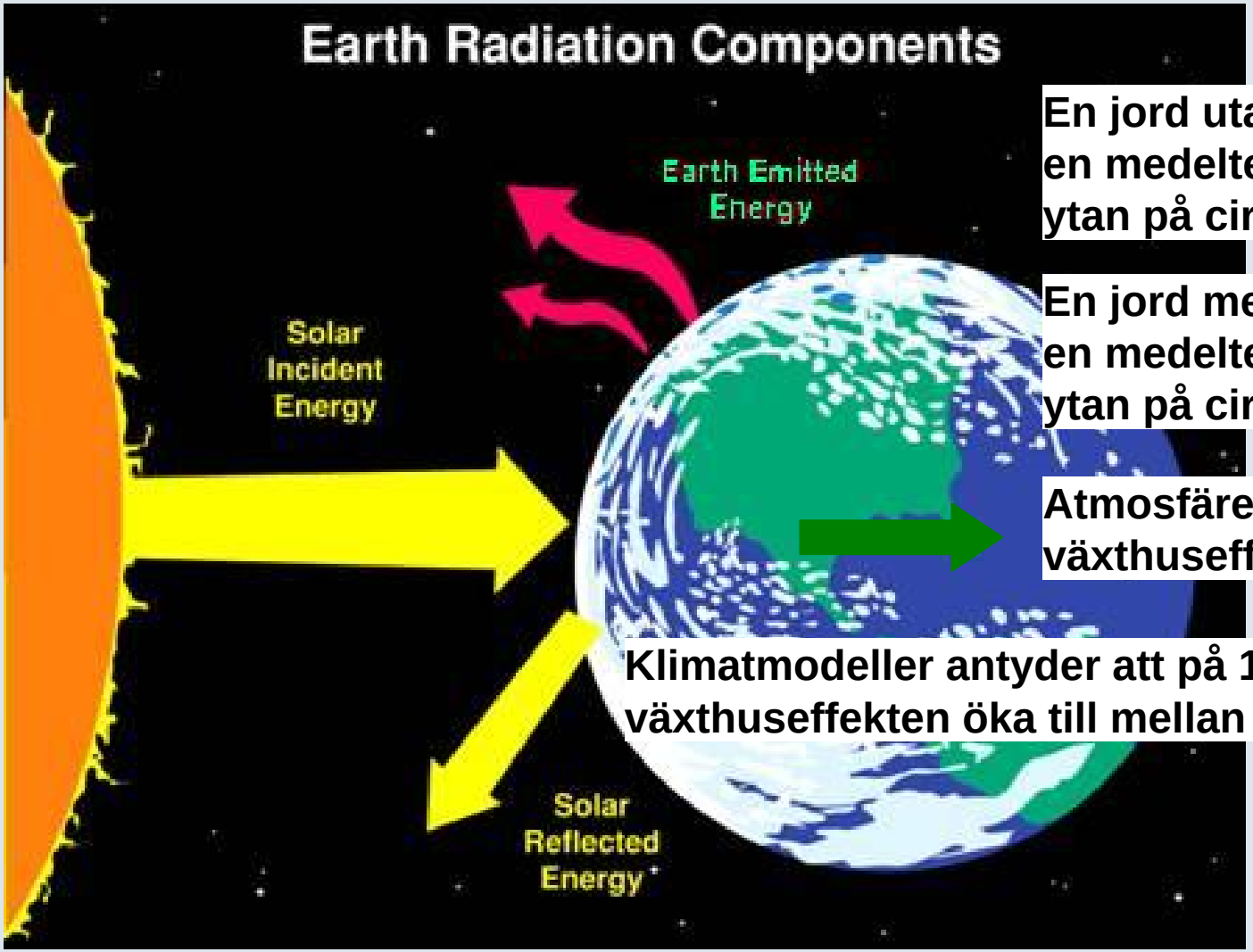
En översikt över satelliternas och satellitdatas roll i övervakningen av klimatet

Karl-Göran Karlsson
SMHI, Norrköping

Innehåll:

- **Introduktion – grundläggande klimatfaktorer**
- **Vad säger klimatmodellerna?**
- **Vad kan vi observera och mäta från satellit?**
- **Fallgropar och problem**
- **Pågående och planerade aktiviteter**
- **Reflektioner inför framtiden**

Solstrålningen bestämmer ytterst jordens klimat - men förhållandena vid jordytan kan ändå variera



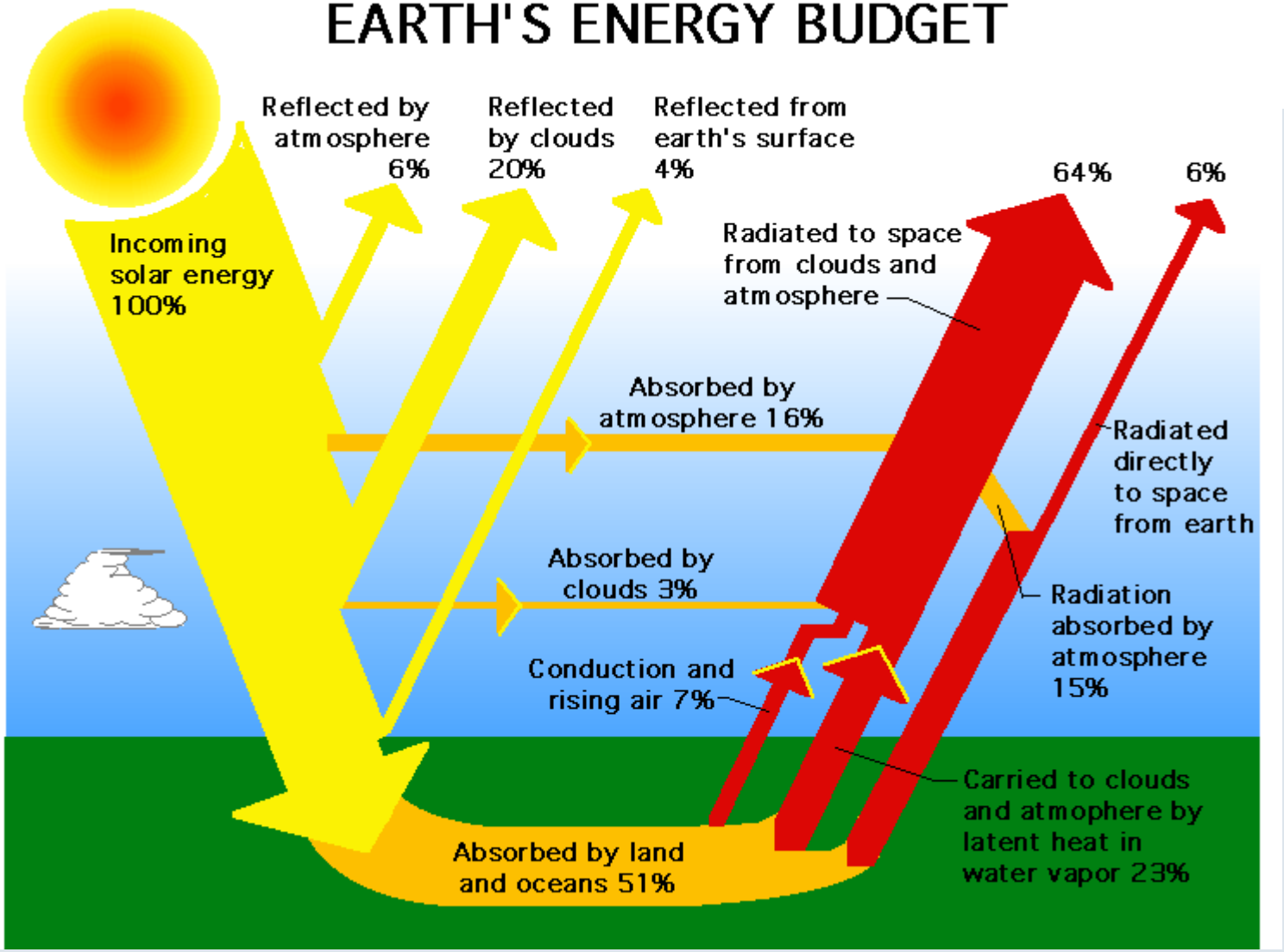
En jord utan atmosfär ger en medeltemperatur vid ytan på cirka -18 °C

En jord med atmosfär ger en medeltemperatur vid ytan på cirka +15 °C

Atmosfärens ”normala” växthuseffekt = +33 °C !

Klimatmodeller antyder att på 100 år kan växthuseffekten öka till mellan +35 °C och +39 °C

EARTH'S ENERGY BUDGET



(from http://eosweb.larc.nasa.gov/EDDOCS/RadiatonBudget/Intro2.html)

Klimatövervakning från satellit: Vad kan och bör vi mäta?

Parametergrupp 1: Strålningsbalans vid toppen av atmosfären

- **Total inkommande och reflekterad solstrålning** Begränsad framgång
- **Total emitterad terrestrisk värmestrålning** Begränsad framgång

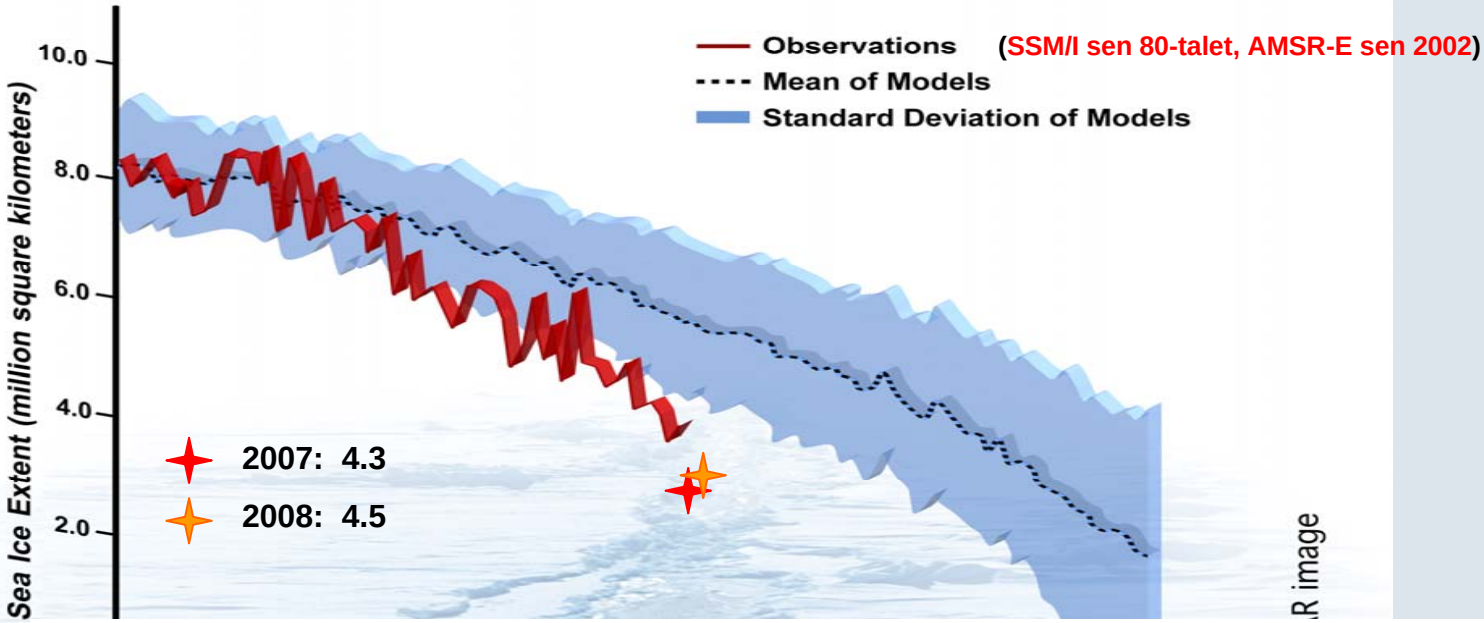
Parametergrupp 2: Faktorer viktiga för enskilda strålningsflödeskomponenter

- **Molnighet och molnegenskaper** Begränsad framgång
- **Atmosfärisk vattenånga (+ andra växthusgaser)** Mycket utmanande
- **Aerosoler** Mycket utmanande
- **Jord- och havsytans strålningsegenskaper (t ex albedo och yttemperatur SST)** Lyckosamt

Parametergrupp 3: Indirekta klimateffekter

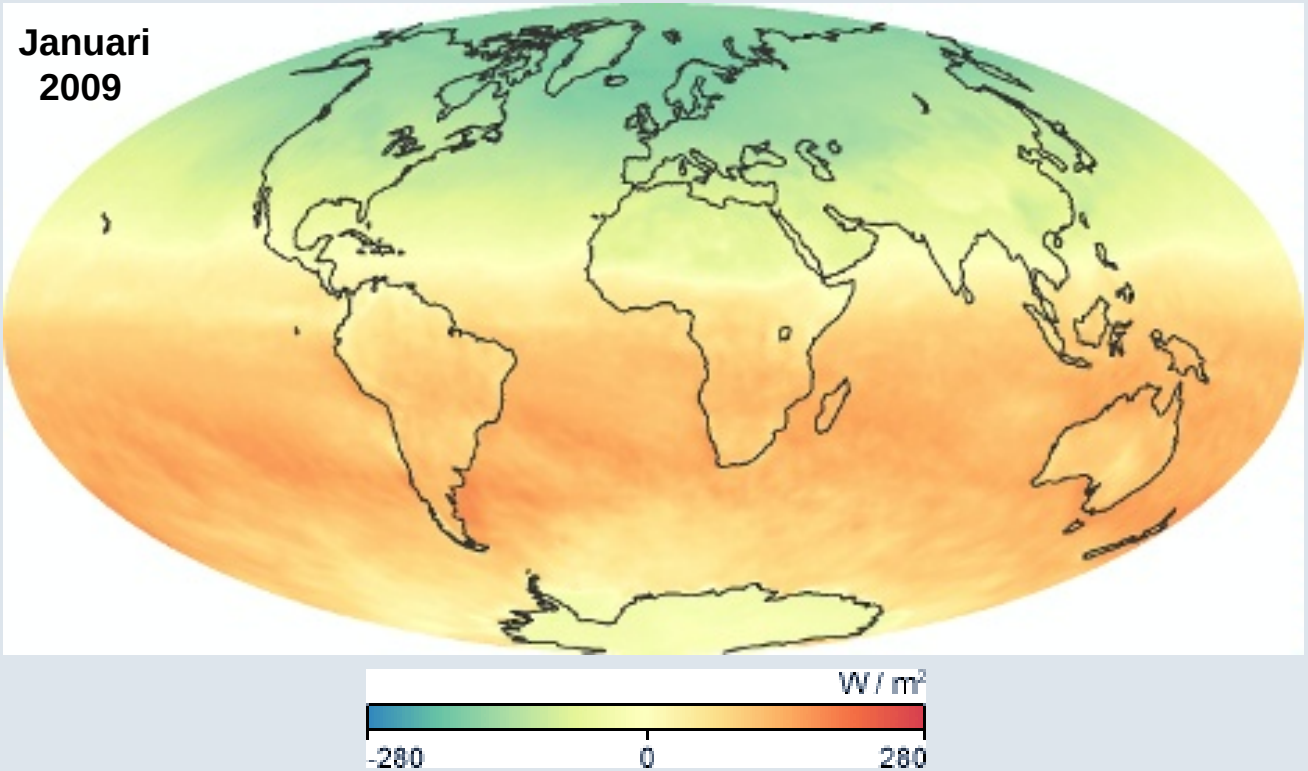
- **Förändringar i kryosfär (isutbredning, glaciärer)** Lyckosamt
- **Förändringar i biosfär (vegetationsförändringar, ökenutbredning)** Lyckosamt

Exempel på när satellitdata spelat en väsentlig roll i klimatövervakningen – isutbredningen i Arktis



Ny insikt på senare år:
Oceanografiska observationer från satellit kan bli viktiga för fastställande av initialtillstånd för klimatprediktioner 10-20 år framåt i tiden!

Exempel på svårare parametrar att mäta-nettostrålningen vid toppen av atmosfären



Baserat från mätningar av CERES-instrumentet på de polära satelliterna Aqua och Terra

Vad är problemet?

-Stor osäkerhet i medelvärden p g a för dålig tidssampling
(jämför dubblering CO_2-halt vilket ökar instrålning vid ytan 4 W/m^2
vilket också är liktydigt med en minskning av planetära albedot med 1 %)

Varför är molnstudier viktiga för klimatforskningen?

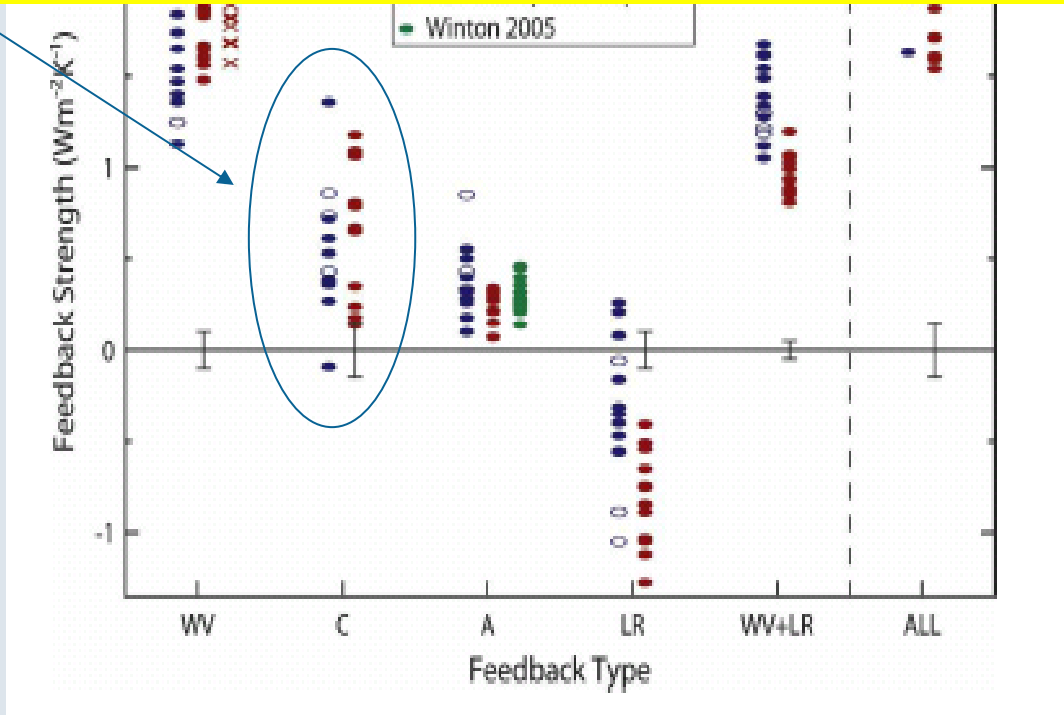
Motivation från IPCC-rapport 2001 (14.2.3.1):

- **Den största enskilda osäkerhetsfaktorn vid bestämningen av klimatets respons till naturliga eller mänskliga förändringar av atmosfärens sammansättning är molnigheten och dess effekt på strålningsförhållandena och den hydrologiska cykeln**
- **Av särskild betydelse är observationer av molnegenskaper och molndistribution jämfört med naturliga klimatfluktuationer (t ex ENSO)**

Betydelsen av återkopplingsmekanismer i klimatmodeller

Känslighetsstudier för klimatmodeller avseende styrkan hos återkopplingen (feedback) avseende olika processer (2xCO_2)

- **Moln största enskilda osäkerhetsfaktorn jämfört med albedoeffekt och kombinerad Vattenånga-Stabilitetseffekt!**



WV: Vattenånga

C: Moln

A: Albedo (jordytan)

LR: Stabilitet (temperaturprofil)

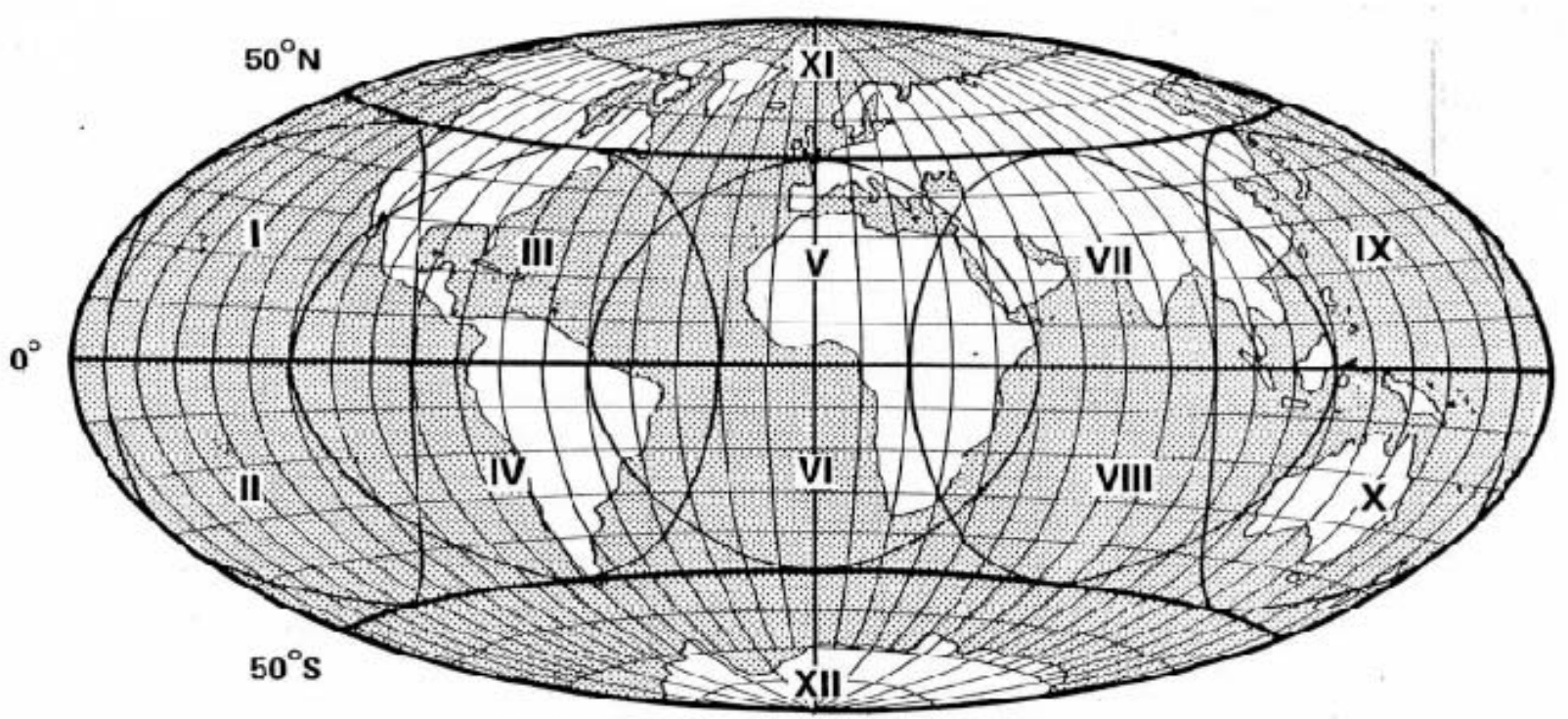
Bony et al., 2006

“Satelliter är ju trots allt ideala för global övervakning så det är väl bara att mäta på eller hur?”

Om det inte vore för spökena **KALIBRERING** och **HOMOGENISERING!!!!!**

Exemplet ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project)

Initial Data processing Sectors for ISCCP



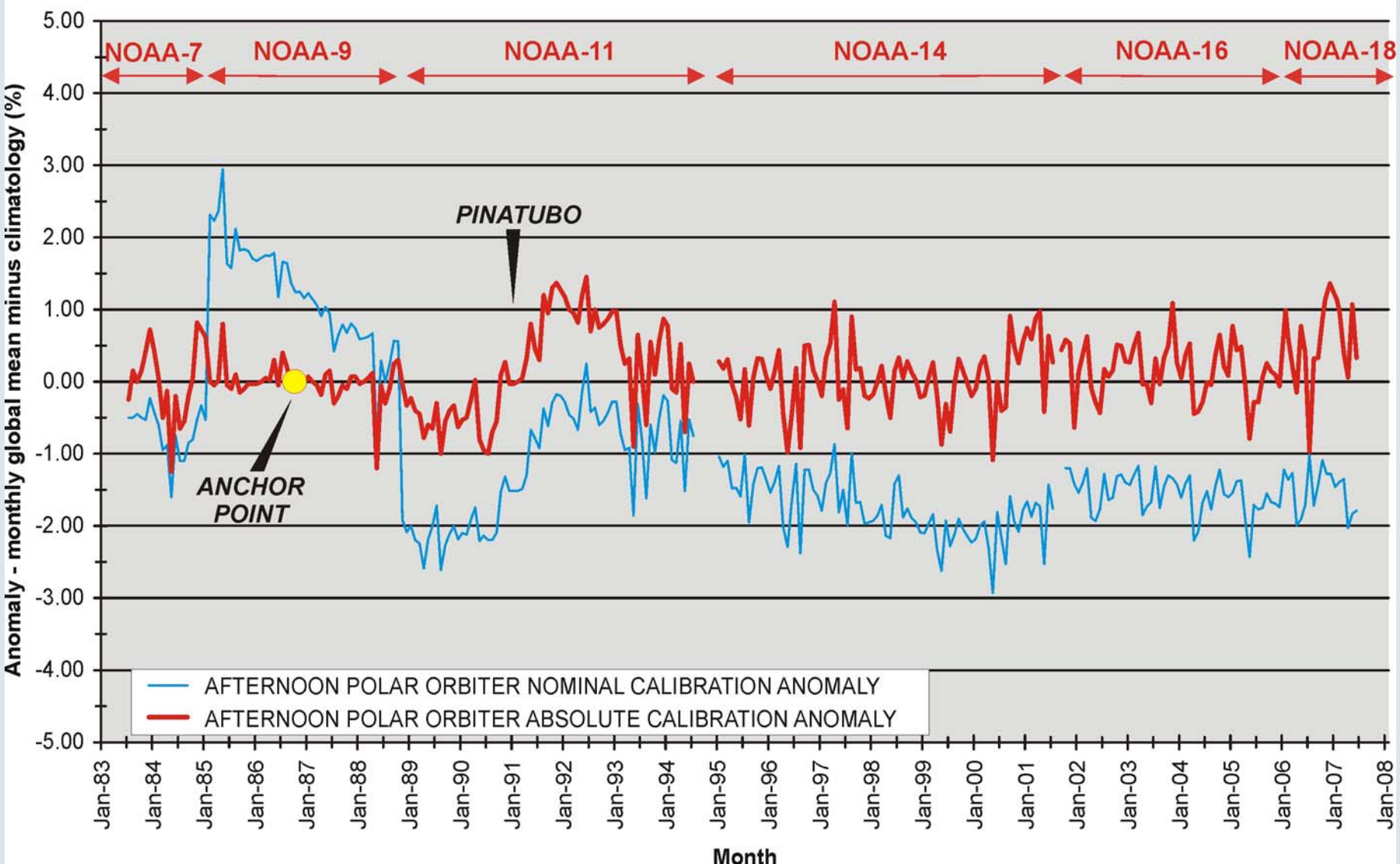
I GOES-W
II GOES-W
III GOES-E
IV GOES-E
V METEOSAT
VI METEOSAT

VII INSAT
VIII INSAT
IX GMS
X GMS
XI NOAA*; METEOR
XII NOAA*; METEOR

ISCCP

WCRP
World Climate Research Programme

ISCCPs kalibrering av visuella radianser
- tillämpning av principen konstant jordalbedo (!)



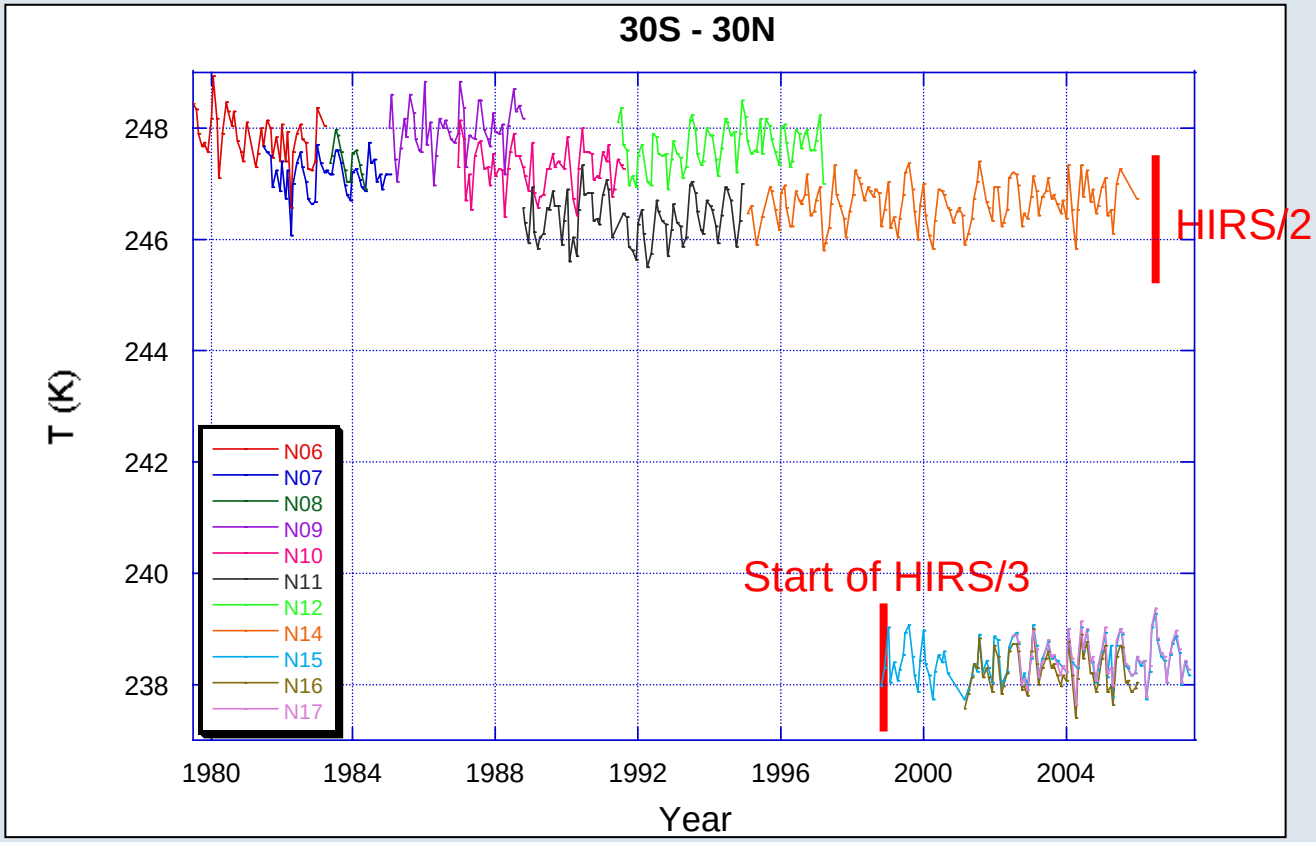
Kalibreringsproblemets dimensioner

Slutsats från ISCCP-studier (Brest et al., 1997)

”Mean proporties of Earth are more nearly constant over decadal time scales than are calibrations of these radiometers.”

Alltså, vi behöver lägga mycket mer resurser på förbättring av instrumentkalibrering innan vi med säkerhet kan detektera sanna klimat-trender!

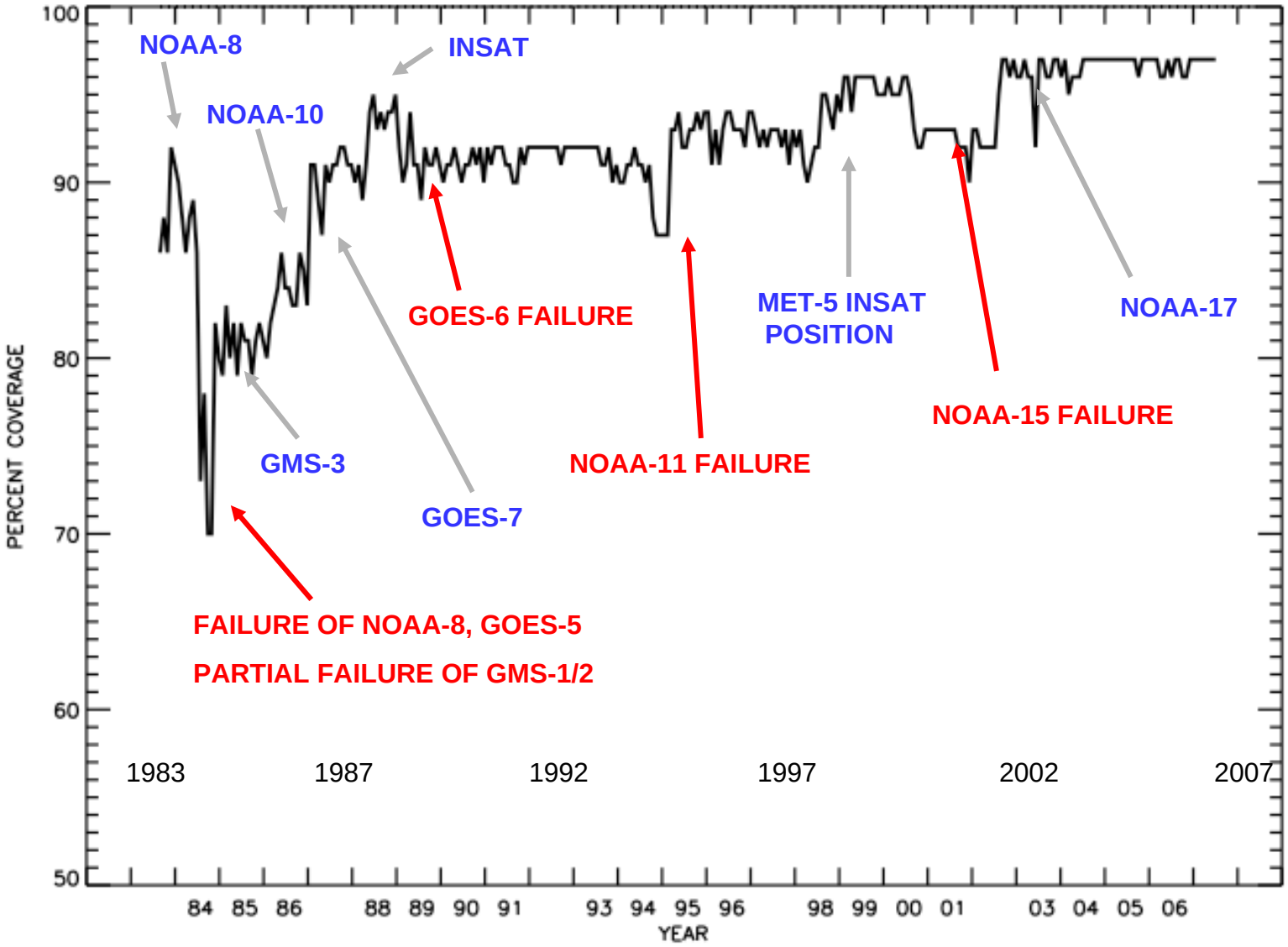
Annat exempel: Osäkerheter i satellitmätningar av fuktighet i övre troposfären p g a kalibreringsproblem



Oberoendet mellan individuella HIRS/2 (sonderingsinstrument på NOAA-satelliterna) instruments kalibrering har lett till bias mellan de olika satelliterna. Betydligt bättre stabilitet från och med HIRS/3.

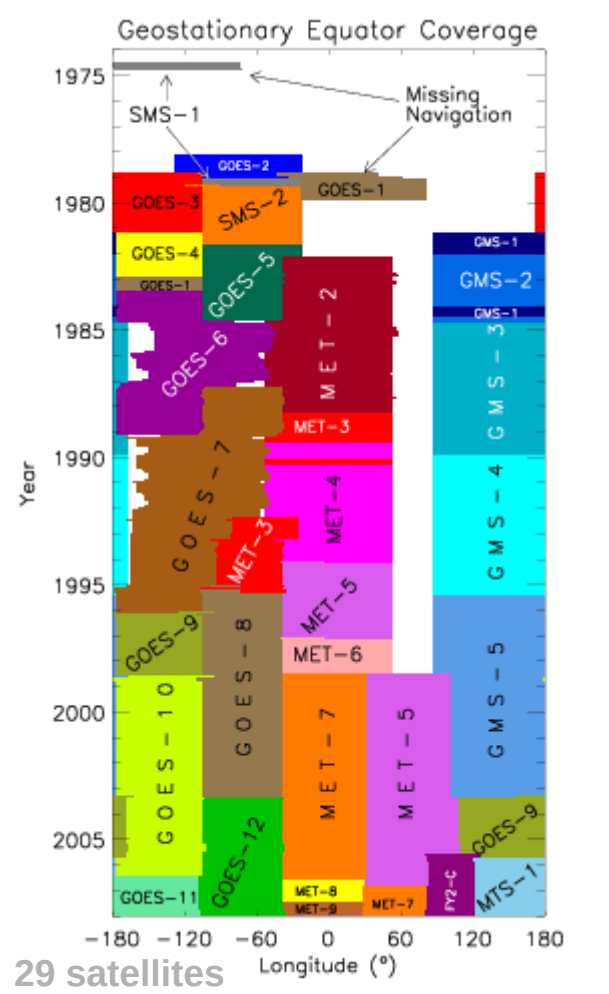
Denna bias har lett till en fundamental osäkerhet i långa serier av troposfäriska fuktighetsmätningar

Förändringar i ISCCPs globala täckning

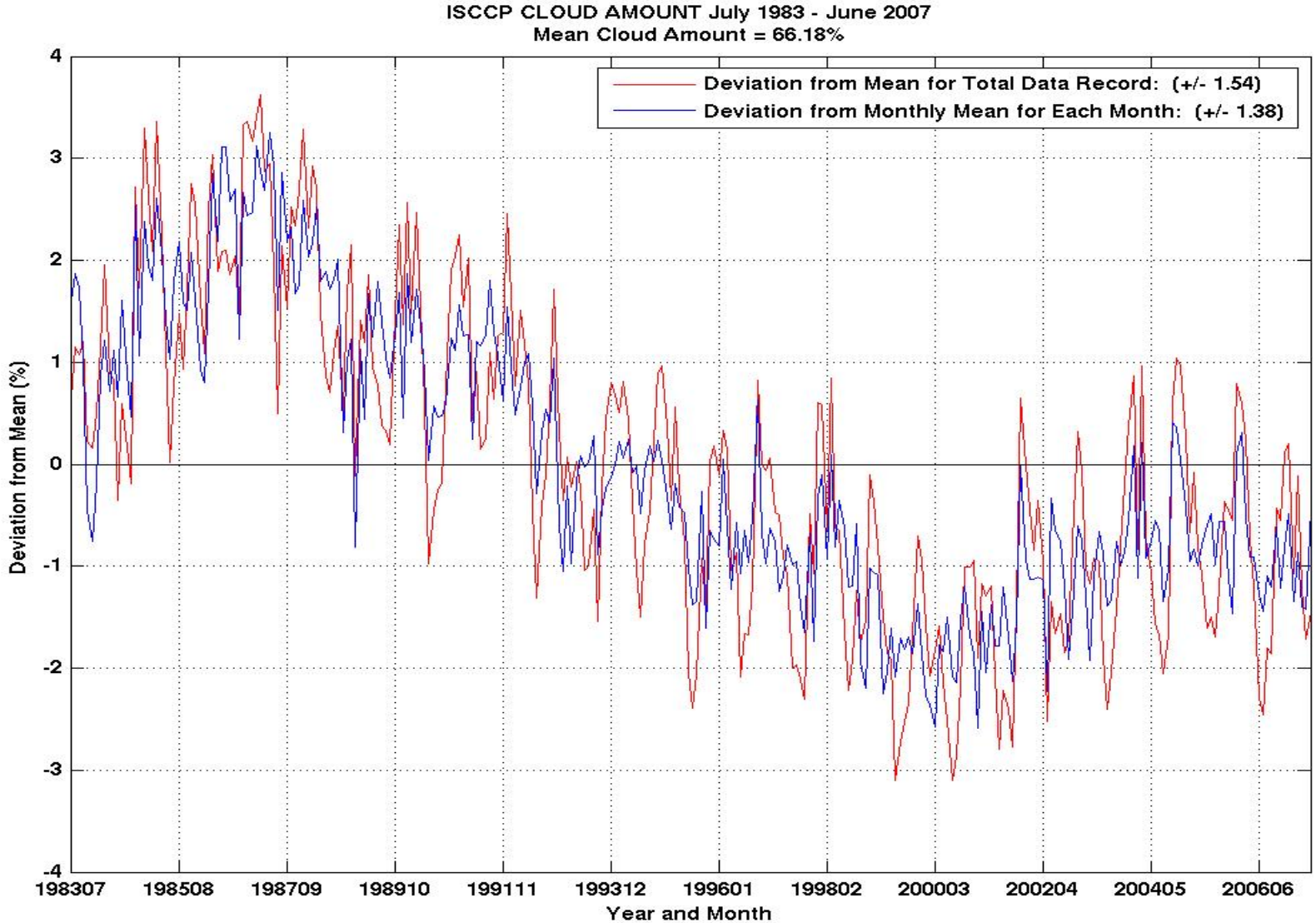


Alternativ visualisering av ISCCPs globala datatäckning

B1 Status - 2007



29 satellites

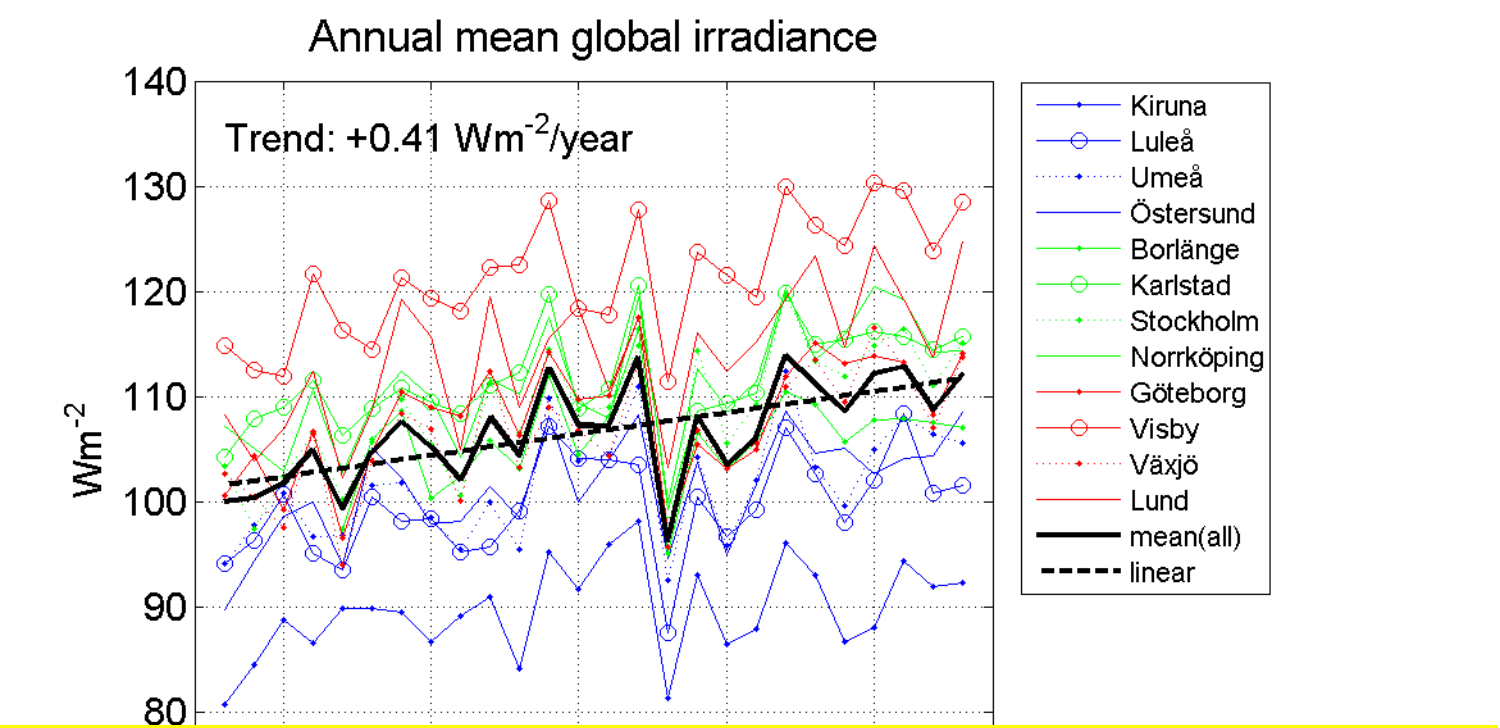


ISCCP

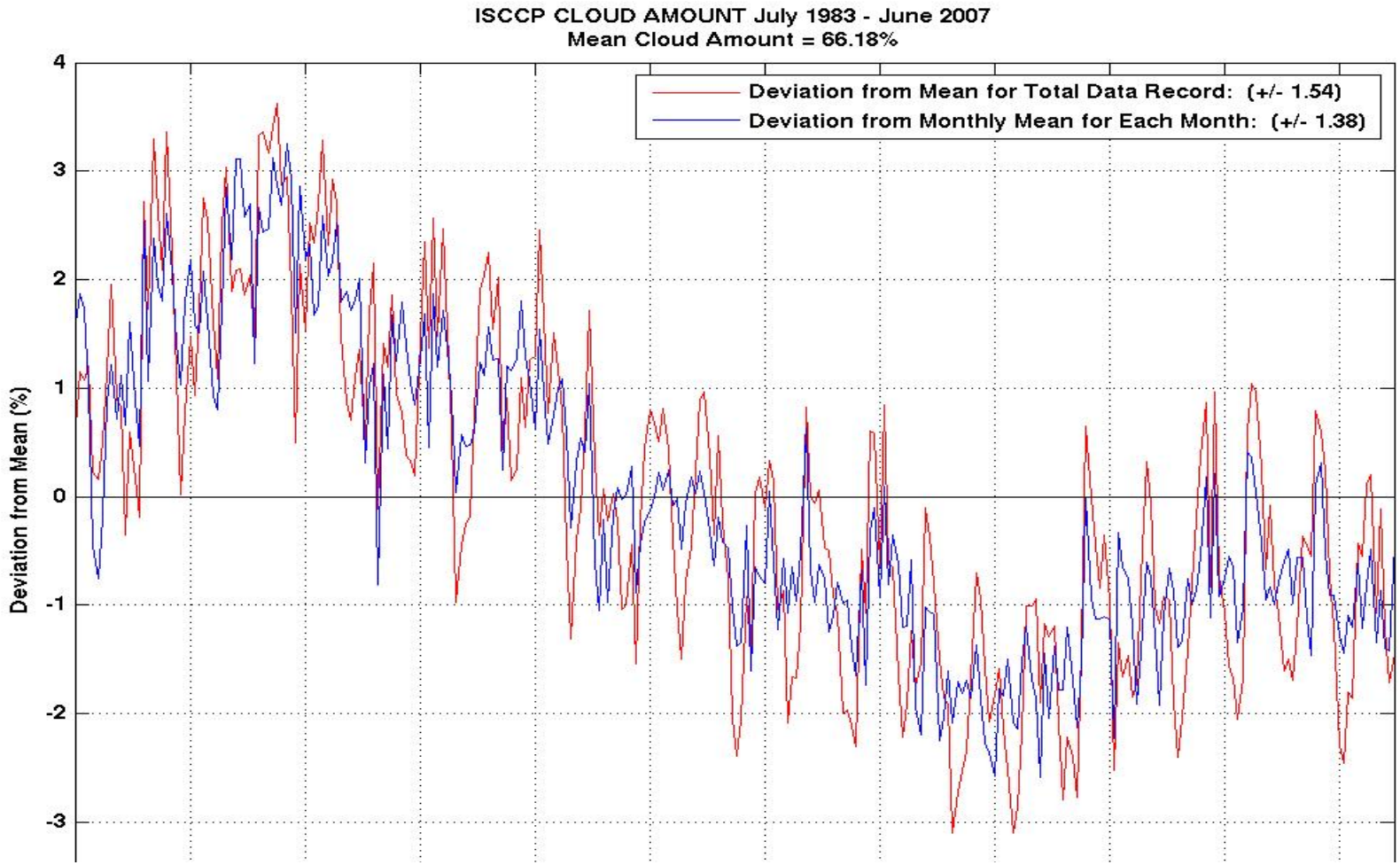
WCRP
World Climate Research Programme

Uppmätt total solstrålning vid SMHIs solstrålningsnät: Positiv trend sen 80-talet ("global brightening")

- *Effekt av minskande total molnighet?*



Allmän uppfattning i nuläget:
"Global brightening" orsakas av allt renare luft i Europa och USA genom förbättrad rening av utsläpp samt möjligen också på grund av minskad förekomst av dimma ("fotokemisk smog")

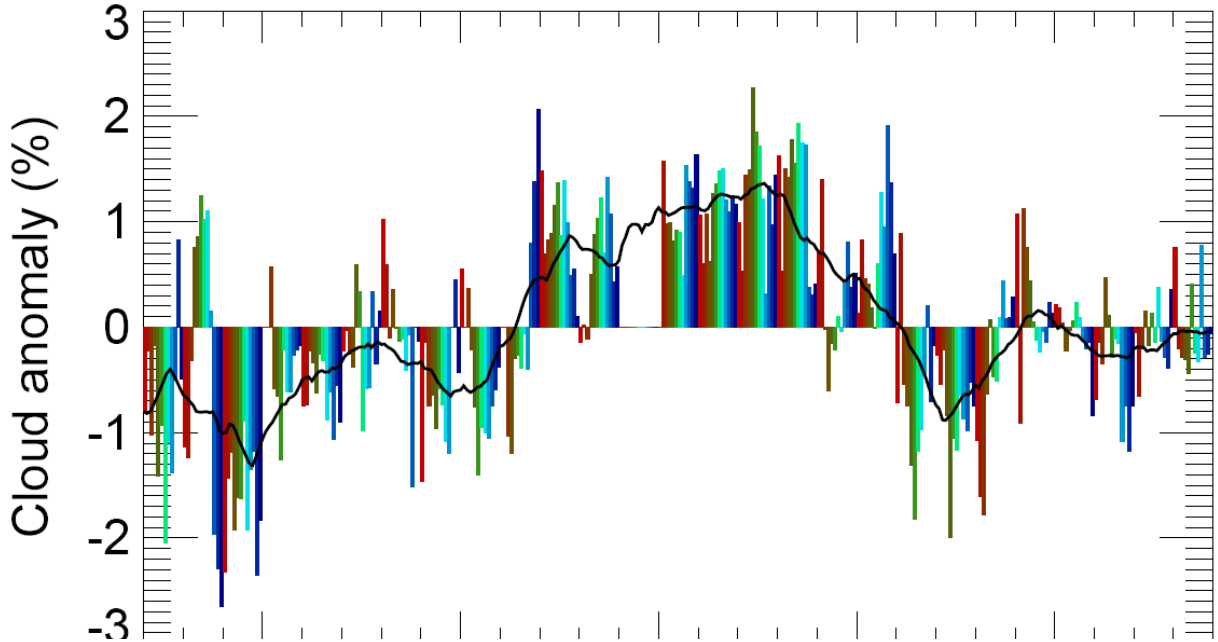


Fler misstolkningar:
Minskningen av ISCCP-molnigheten ansågs sammanfalla med den 11-åriga solcykeln vilket gav spekulationer om ett samband mellan kosmisk strålning och molnighet (Svensmark, Marsh m fl)

ISCCP

WCRP
World Climate Research Programme

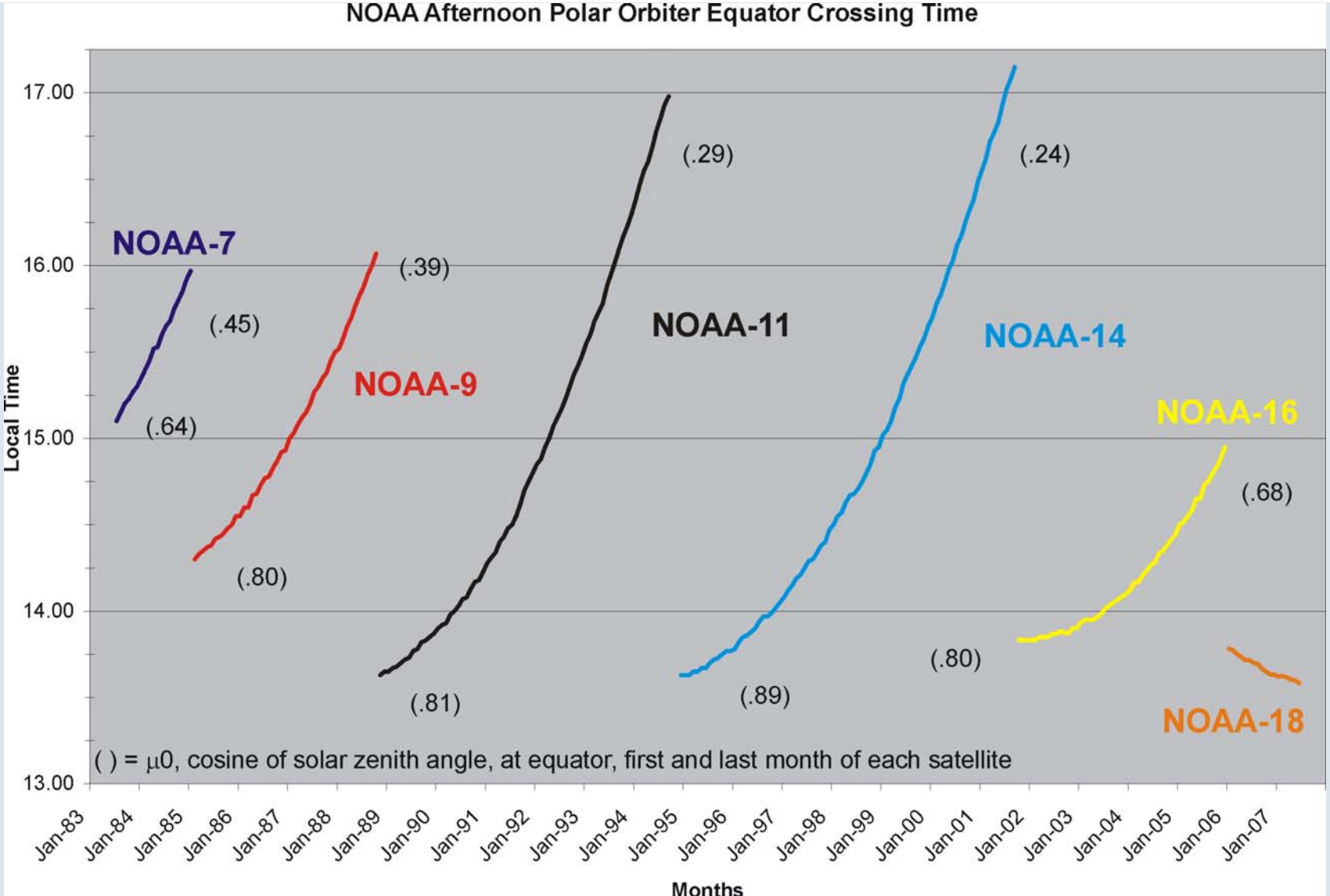
Andra satellit-baserade molnklimatologier stöder inte ISCCP-serien – Exemplet nedan visar global molnighet från AVHRR (Patmos-x, Heidinger, 2008)



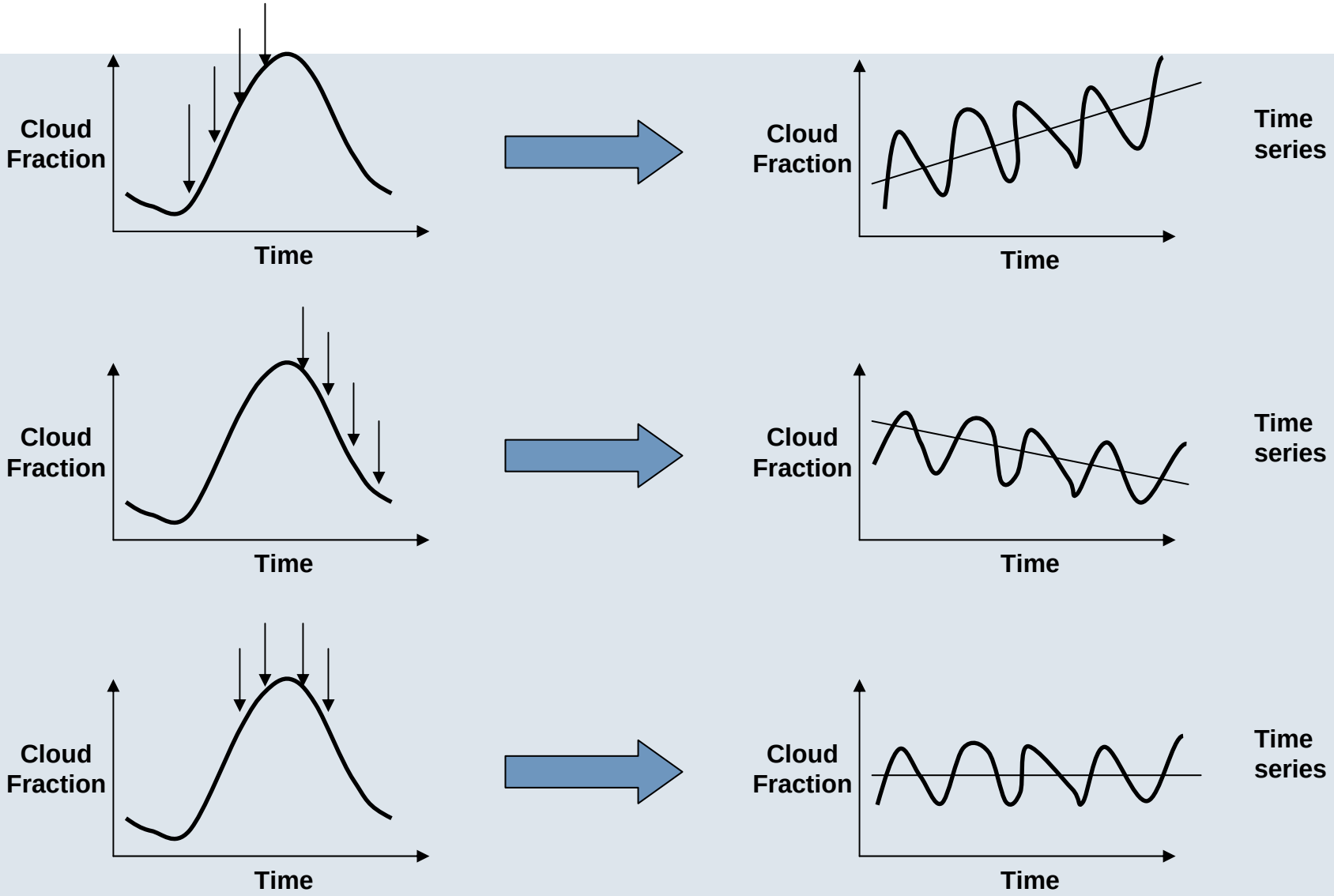
Slutsats i nuläget (efter att ha bedömt ett flertal olika globala dataset):

Det finns ingen allmän konsensus att den globala molnigheten skulle ha förändrats nämnvärt de senaste 25 åren! Dock är variationen så stor mellan de olika dataseten att fortsatt arbete med förbättrad kalibrering och homogenisering ter sig absolut nödvänding för att man skall kunna dra säkra slutsatser.

Förändringar i NOAA-satelliternas passagetider vid ekvatorn
- tider för eftermiddagspassagerna



Vad betyder detta för globala molnighetsanalyser?
- Molnighetens dagliga cykel gör att man lätt kan få artificiella trender!



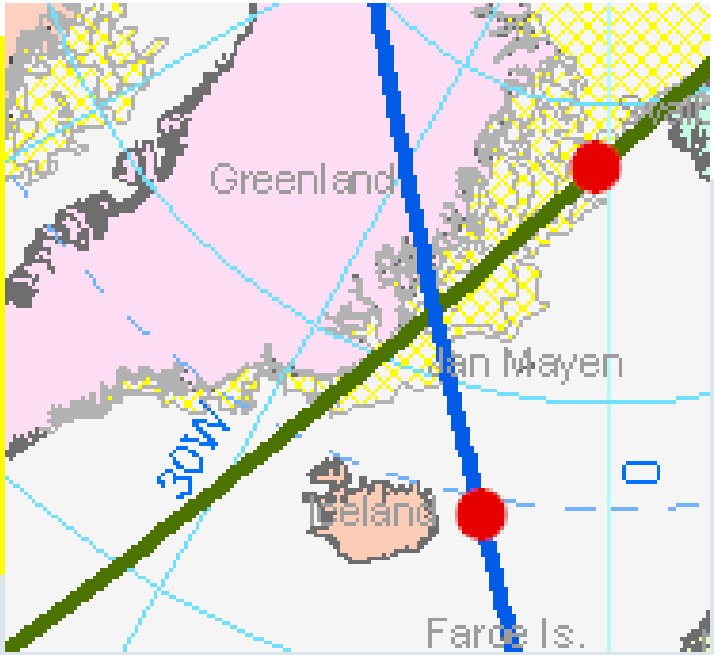
GSICS (Global Space-based Intercalibration System) - En internationell ansträngning för att höja kalibreringsstandarden

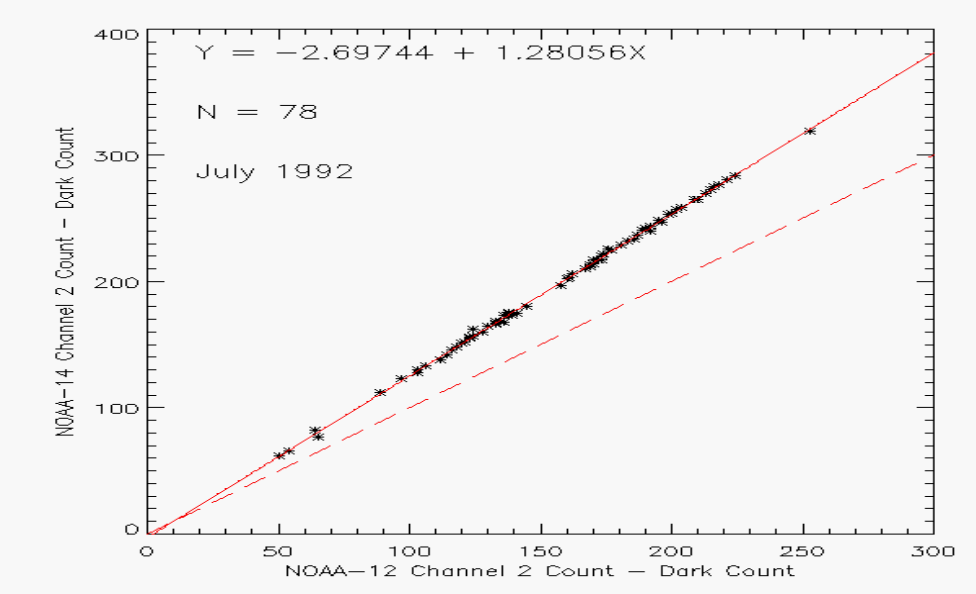
- Global Space-Based Intercalibration System (GSICS) är ett system för operationell övervakning och utvärdering av kalibreringen av data från meteorologiska satelliter
- GSICS ingår i WMO Space Programme och CGMS (Coordination Group for Meteorological Satellites) åtagande
- GSICS deltagare är de meteorologiska satelliteoperatörerna (NOAA, EUMETSAT, m fl)
- En tung komponent I GSICS arbete är jämförelse mot nya satellitdata med mycket noggrann kalibrering (t ex instrumenten MODIS och IASI)
- GSICS coordination center: NOAA/NESDIS (GSICS Chair: M. Goldberg)
  http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/spb/calibration/icvs/GSICS/index.html

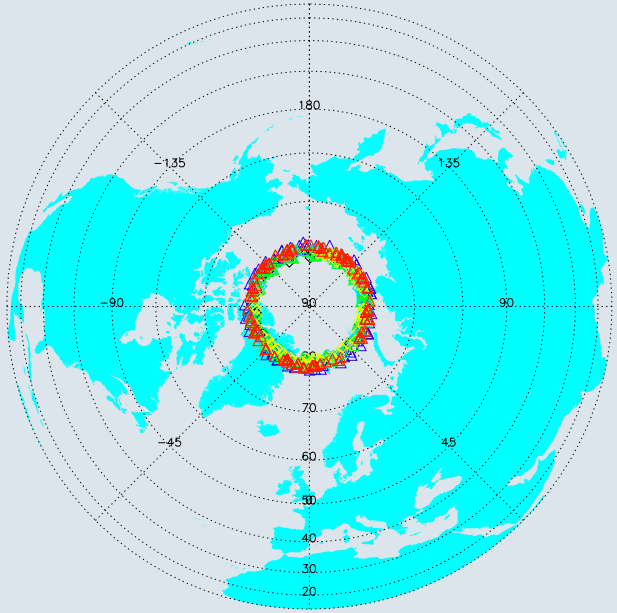
Exempel på speciella framsteg:

Använding av samtidiga satellitpassager (SNOs) för jämförelser mellan satelliter ("inter-calibration")

T ex kalibrering av eftermiddags-NOAA med MODIS och överföring till morgon-NOAA med SNOs mellan morgon och eftermiddagssatelliter!

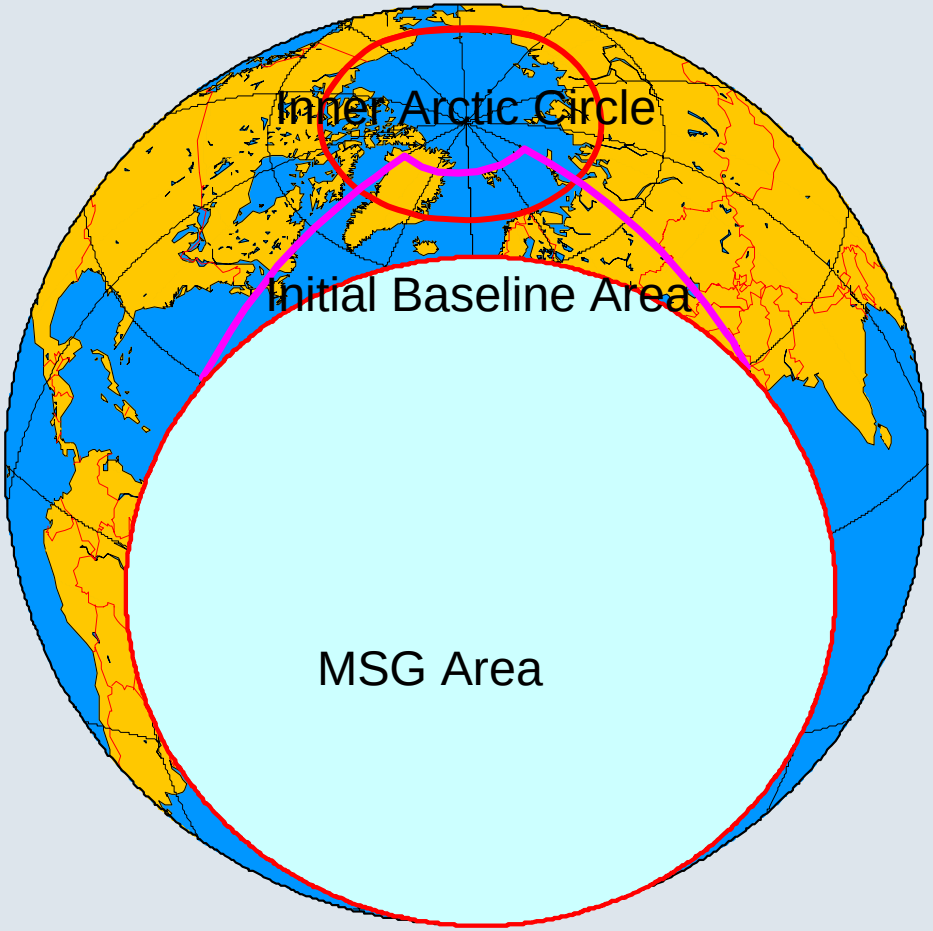






(Heidinger, 2007)

Processering av moln-, vattenånge- och strålnings-produkter inom ramen för EUMETSAT Climate Monitoring EUMETSAT Satellite Application Facility (CM-SAF)

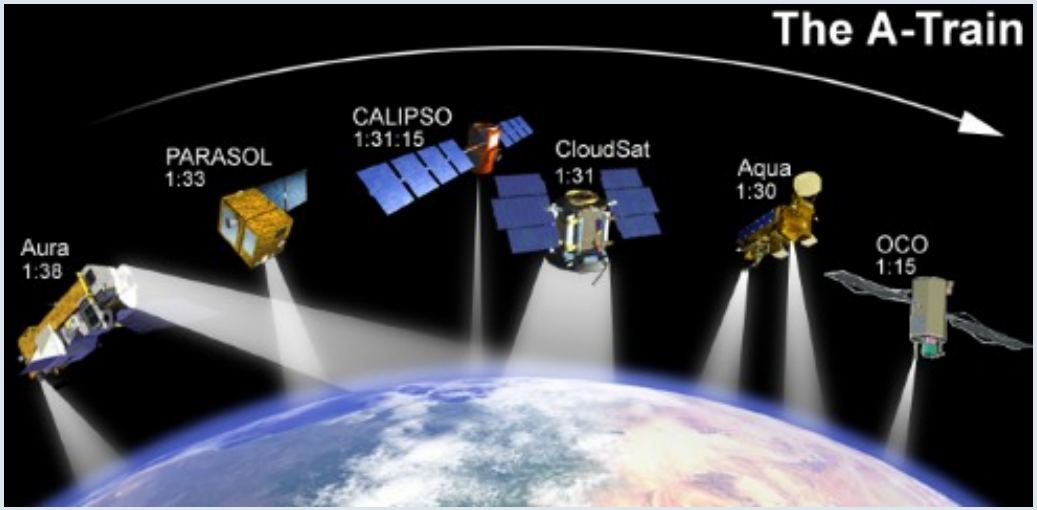


Processeringsareor för produkterna från klimat-SAF projektet

(mer information om CM-SAF finns i två poster-presentationer!)

Utvärdering av CM-SAFs arktiska molnprodukter med molnradarn CPR på CloudSat och molnlidarn CALIOP på CALIPSO

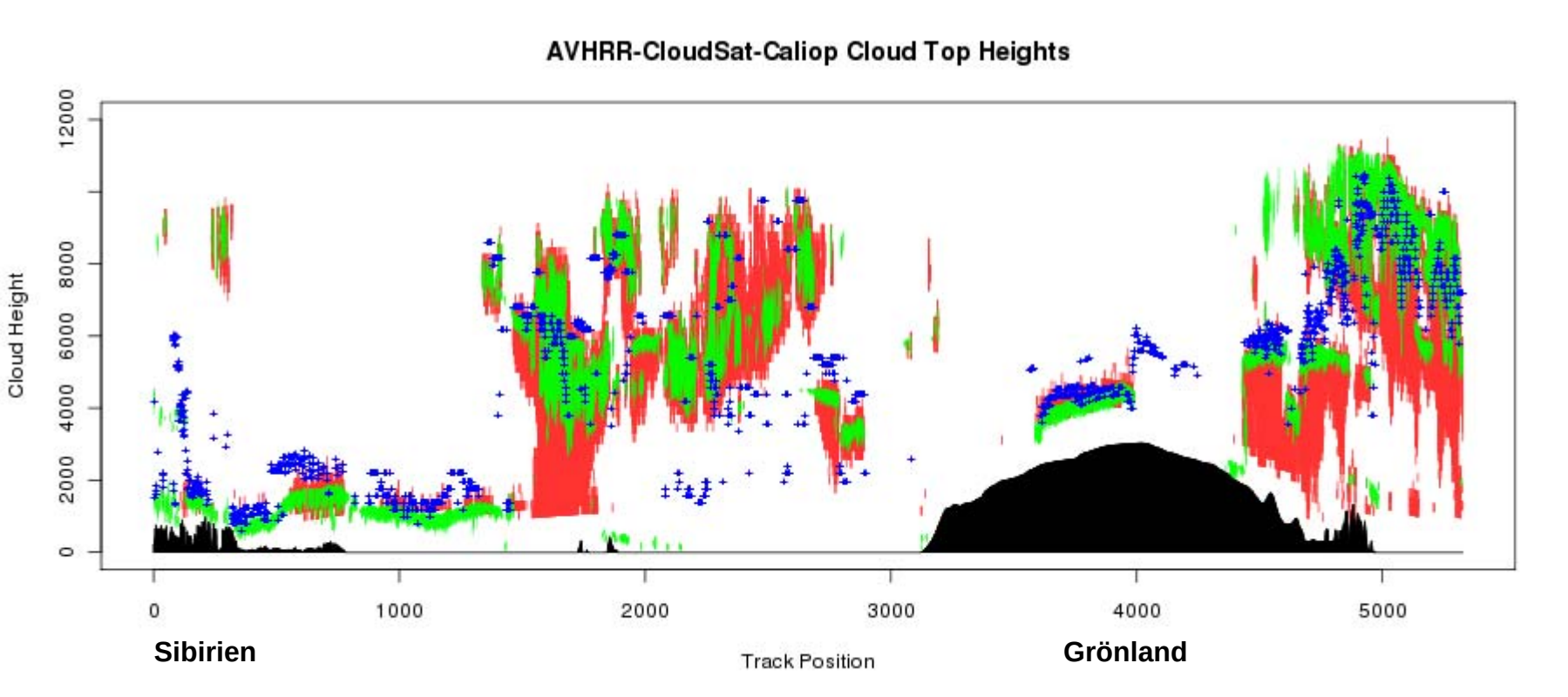
- Användning av samtidiga observationer (”simultaneous nadir overpasses – SNO”)



Notera observationssekvensen för A-Train (”Aqua train”):

- Först passerar Aqua (MODIS med 1 km bildupplösning)
- CloudSat passerar 1 minut senare (upplösning 1.7 km)
- CALIPSO passerar 1 minut och 15 sekunder senare (upplösning 1 km)

Tvärsnitt med AVHRR-, CloudSat- and CALIPSO-resultat – (NOAA-18 along-track 27 July 06:12)



Rött : CloudSat

Grönt: CALIOP

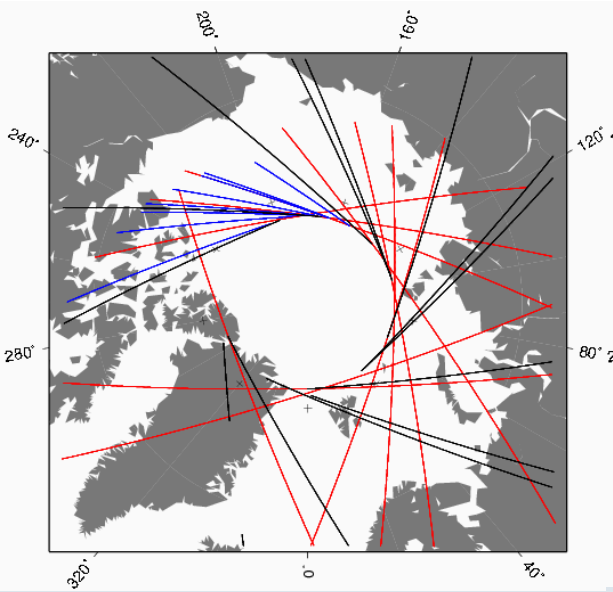
Blått: Molntopp från AVHRR

Översikt över alla studerade fall under 2007

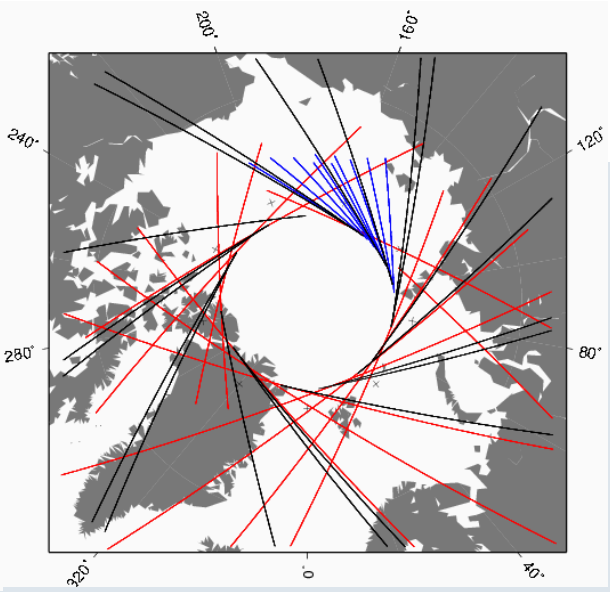
Blått: NOAA-17

Rött: NOAA-18

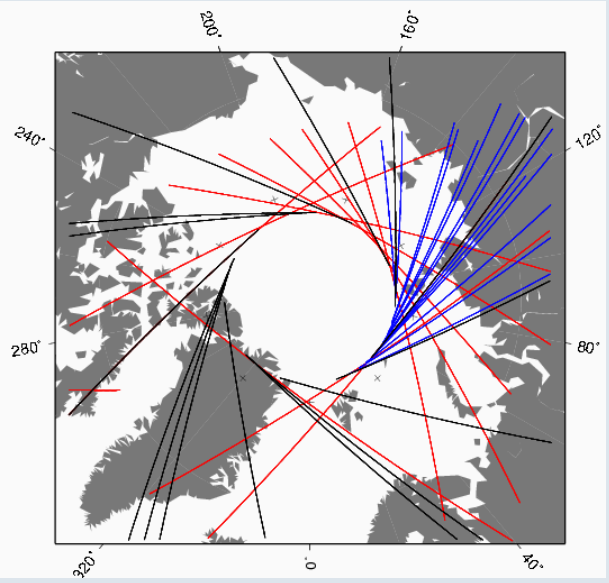
Svart: METOP-2



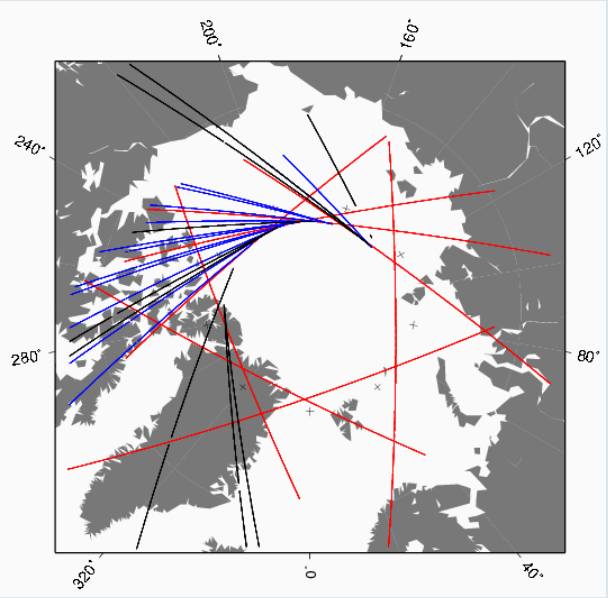
June 2007



July 2007



August 2007



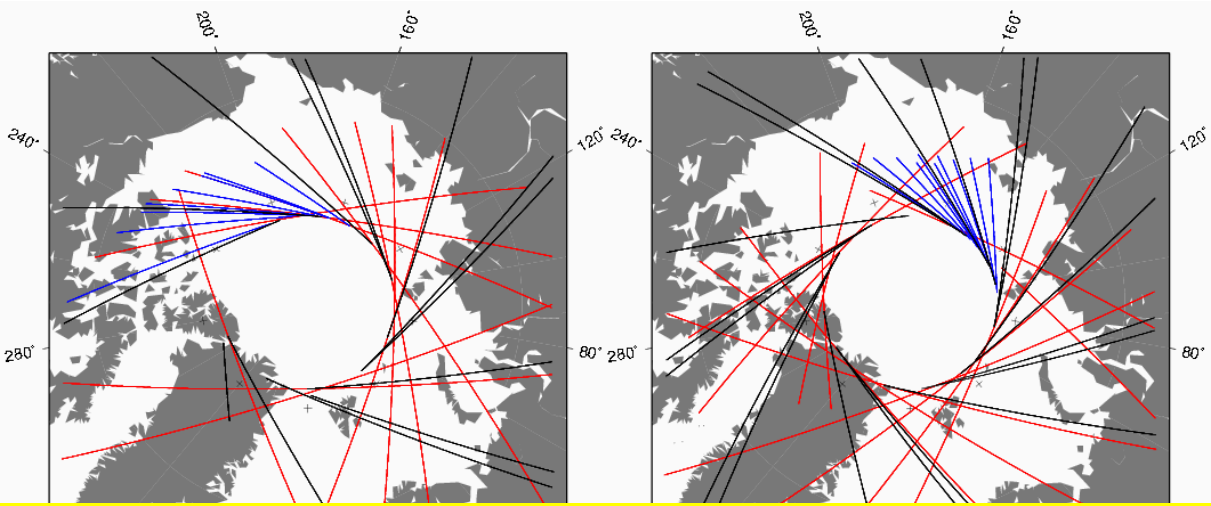
December 2007

Översikt över alla studerade fall under 2007

Blått: NOAA-17

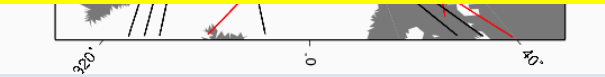
Rött: NOAA-18

Svart: METOP-2

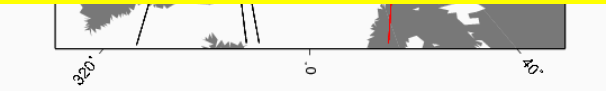


Allmänna resultat:

- **Molndetektion under polarsommaren fungerar mycket bra (fel i molnmängd på endast några få procent)**
- **Molndetektion under polarvintern fortsatt mycket svår (molnmängd underskattas 20-30 %)**
- **Molnhöjdsbestämning kan vara svår för de lägsta molnen p g a kraftiga temperaturinversioner vintertid och p g a i det närmaste isotermi i de lägsta 2-3 kilometerna sommartid**

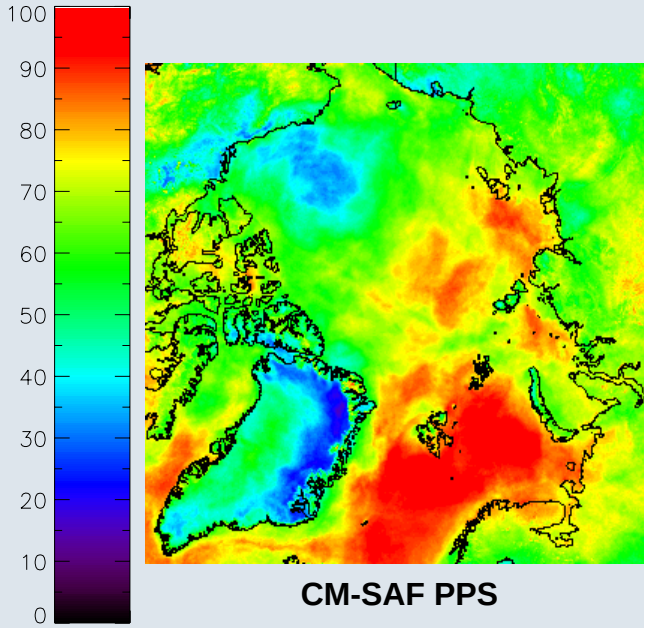


August 2007

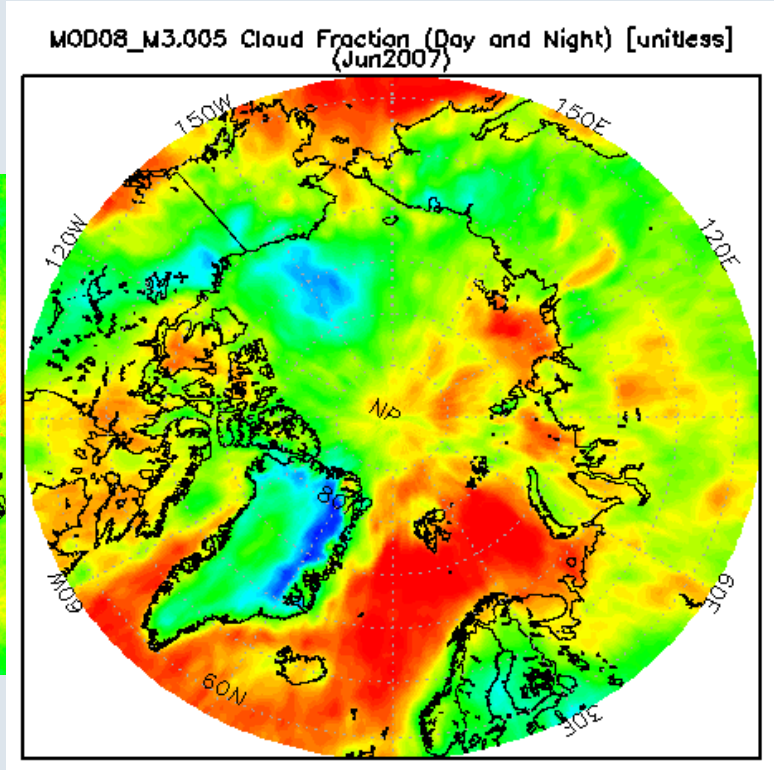


December 2007

Jämförelse mellan AVHRR-uppskattad molnighet och molnanalyser från MODIS instrumentet - Exempel månadsmedelvärde juni 2007



CM-SAF PPS



AVHRR

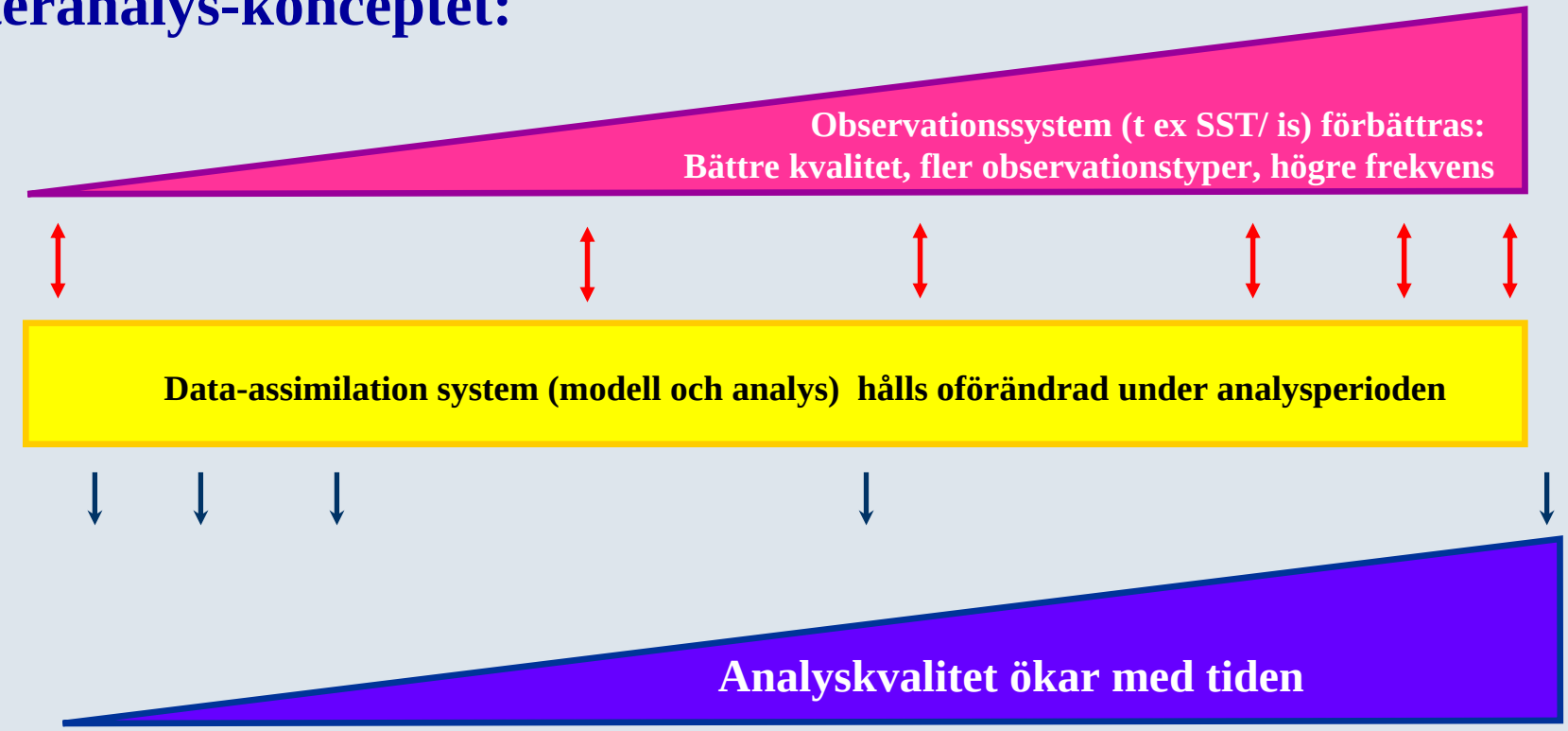
MODIS

Planer för arbetet i CM-SAF samt angränsande Rymdstyrelseprojekt

- Start av processering av Arktiska produkter (molnprodukter + ytalbedo) under 2009
- Fokusering på framtagning av långa homogena och välkalibrerade tidserier av produkter
- För SMHI är huvuduppgiften att ta fram en global tidsserie av molnighet 1982-2010 från AVHRR GAC data (Global Area Coverage)
- Internationellt samarbete intensifieras kring klimatövervakning från satellit *(Exempelvis skall GAC-serien 1982-2010 tas fram i samarbete med NOAA)*
- Nytt Rymdstyrelseprojekt startas för att utvärdera klimatmodeller (EC-Earth) i Arktis med hjälp av A-train data, in situ mätningar och CM-SAFs GAC dataserie 1982-2010

Återanalyser baserad på konsistenta modell-baserade analyssystem blir allt viktigare i framtiden – även (eller framförallt!) för satellitdata-användning!

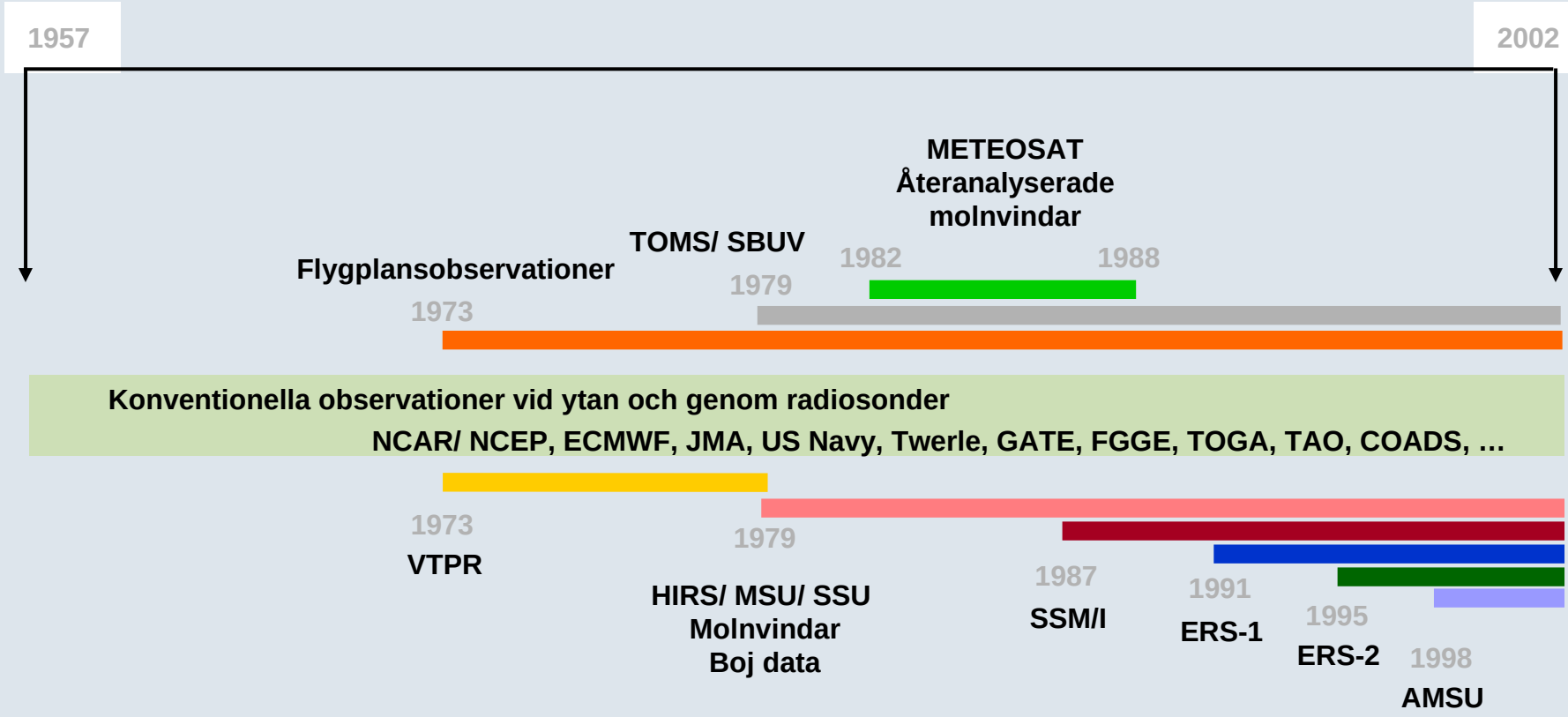
Återanalys-konceptet:



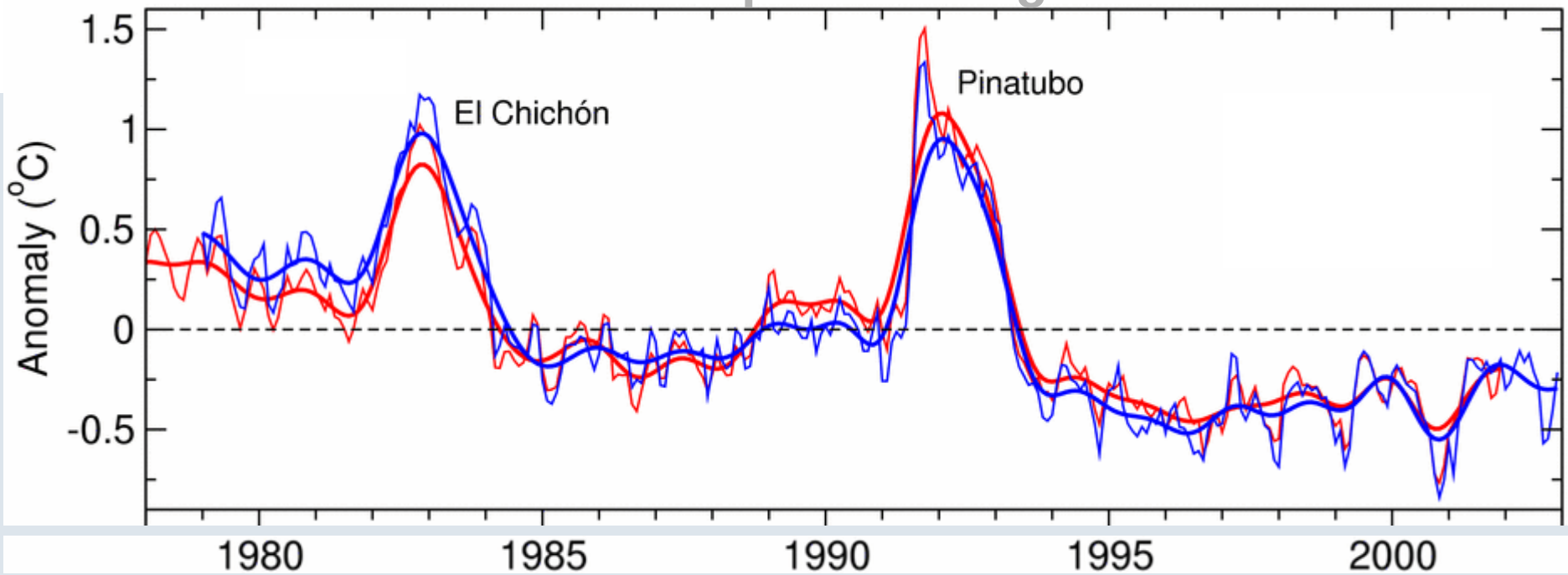
Översikt över observationer använda av återanalysprojektet ERA-40 och ERA-Interim
(ERA=ECMWF Re-Analysis)

ERA-CLIM: Nästa stora återanalysprojekt 1939-2012

- **Ansökan (ECMWF + flertal partners) till EU 7:e ramprogram**



Exempel på ERA-40 resultat med hög satellitinfluens: Trend hos temperatur i lägre stratosfär

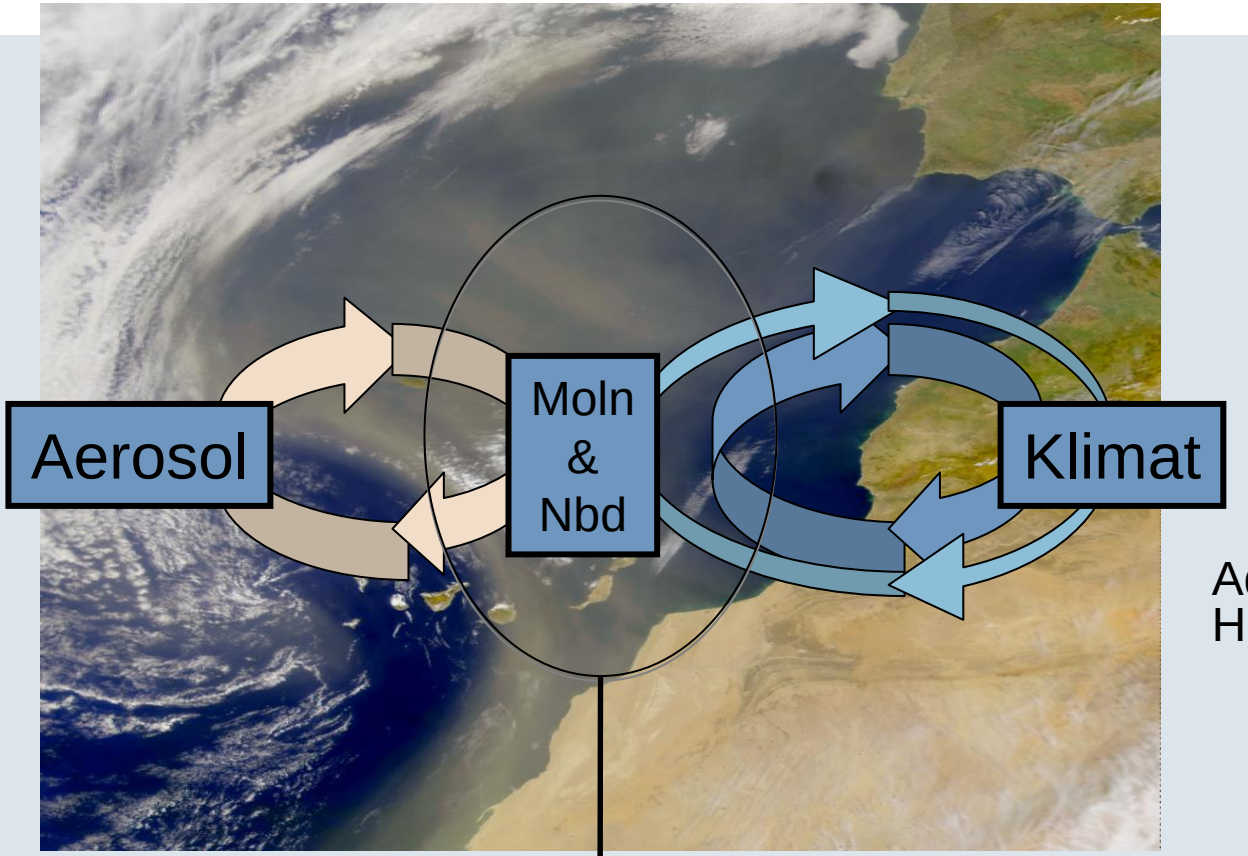


MSU-4 data analyzed by Mears et al. (2003)

ERA-40 equivalent from Ben Santer

Linear trend:	**MSU-4**	**- 0.39°C/decade**
	ERA-40	**- 0.30°C/decade**
	NCEP	**- 0.82°C/decade**

Två stora framtida utmaningar för modeller och analyssystem:
Kopplingen mellan aerosoler-moln-nederbörd +
Kopplingen mellan klimat och biosfär (kolcykeln)



Adapted from Hobbs, 1993.

As an orange cloud formed as a result of a dust storm over the Sahara and caught up by air currents – reached the Phillipines and settled there with rain, I understood that we are all sailing in the same boat. Vladimir Kavalyonok, USSR cosmonaut

För fjärranalysen gäller det att hitta nya sätt att underlätta förståelsen och övervakningen av dessa mer komplicerade klimatfaktorer