

Data assimilering för numeriska väderprognoser

Norrköping, torsdag, 4 oktober, 2012

Magnus Lindskog

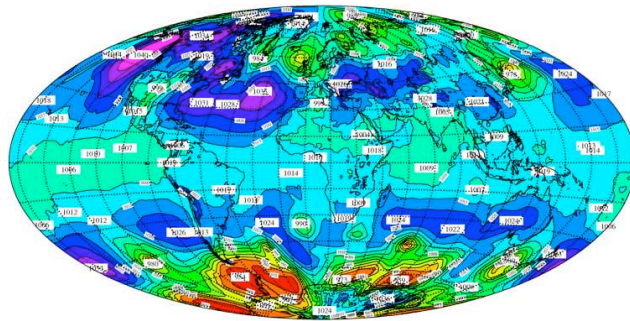
- Introduktion
- Bakgrundsfält
- Metodik
- Observationer
- Osäkerheter och fel
- Förbättringsmöjligheter

Numeriska väderprognoser (begränsat område eller global)

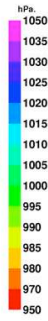
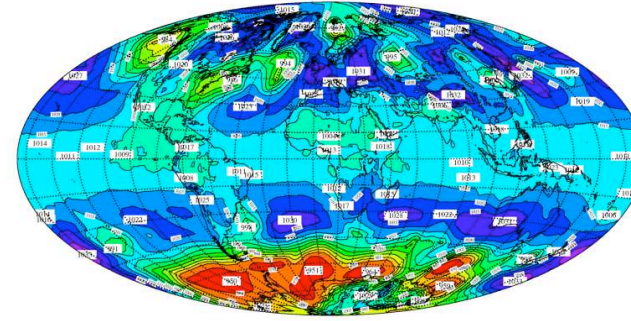
start-tillstånd

Global

numerisk prognos

 $T, u, v, w, q, p_s, \dots$ 

upp till 10 dygn



$$\frac{dp}{dt} = -\rho \text{div} \mathbf{c}$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{\tan \varphi}{R} uv - \frac{uw}{R} + f'v - f'w - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{R \cos \varphi \partial \lambda} + F_\lambda$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{\tan \varphi}{R} u^2 - \frac{vw}{R} - fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{R \partial \varphi} + F_\varphi$$

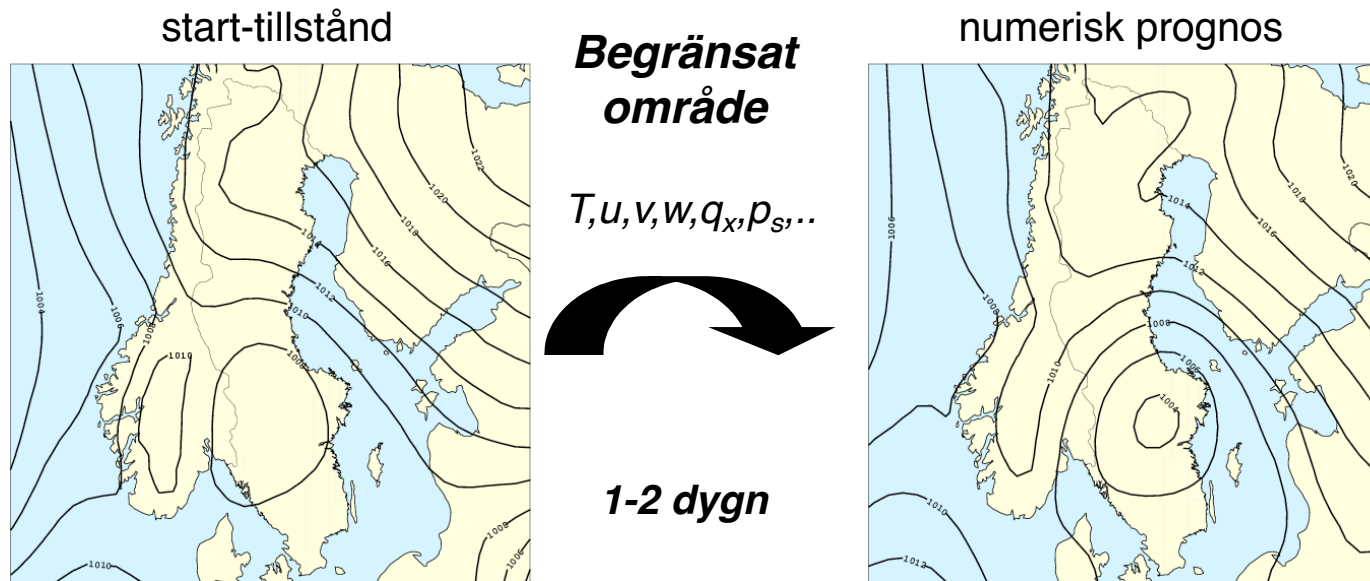
$$\frac{dw}{dt} = \frac{u^2}{R} + \frac{v^2}{R} + f'u - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + F_z$$

$$c_p \frac{dT}{dt} = Q + \alpha \frac{dp}{dt}$$

$$\frac{dq}{dt} = s(q) + D$$

$$p = \rho R_d T (1 + 0.61q)$$

Numeriska väderprognoser (begränsat område eller global)



$$\frac{dp}{dt} = -\rho \text{div} \mathbf{c}$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{\tan \varphi}{R} uv - \frac{uw}{R} + fv - f'w - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{R \cos \varphi \partial \lambda} + F_\lambda$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{\tan \varphi}{R} u^2 - \frac{vw}{R} - fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{R \partial \varphi} + F_\varphi$$

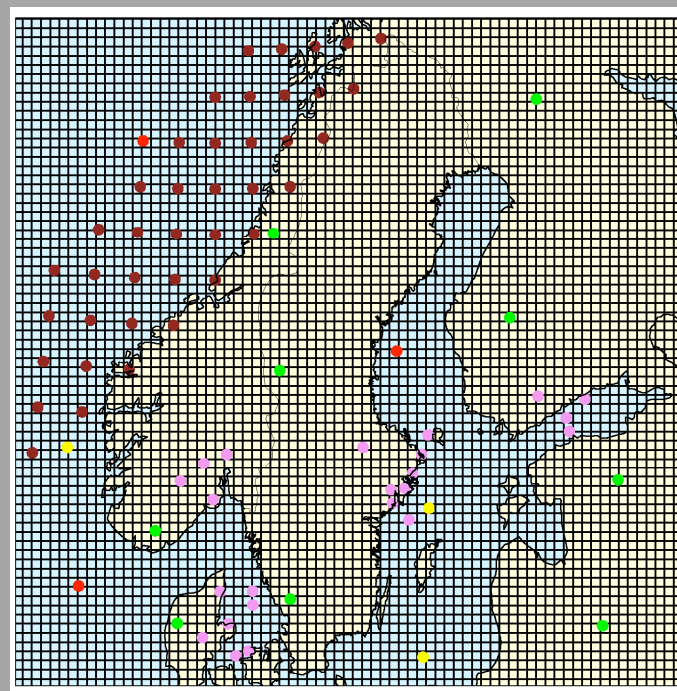
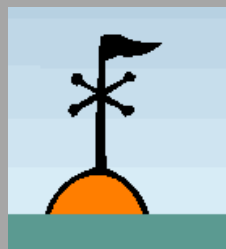
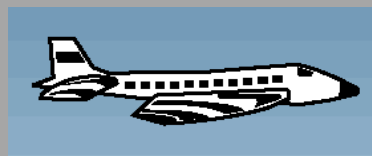
$$\frac{dw}{dt} = \frac{u^2}{R} + \frac{v^2}{R} + f'u - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + F_z$$

$$c_p \frac{dT}{dt} = Q + \alpha \frac{dp}{dt}$$

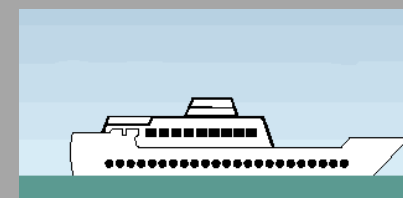
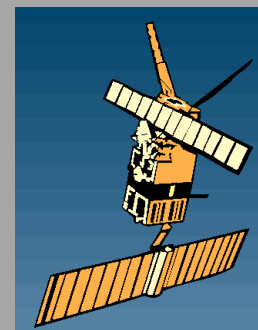
$$\frac{dq}{dt} = s(q) + D$$

$$p = \rho R_d T (1 + 0.61 q)$$

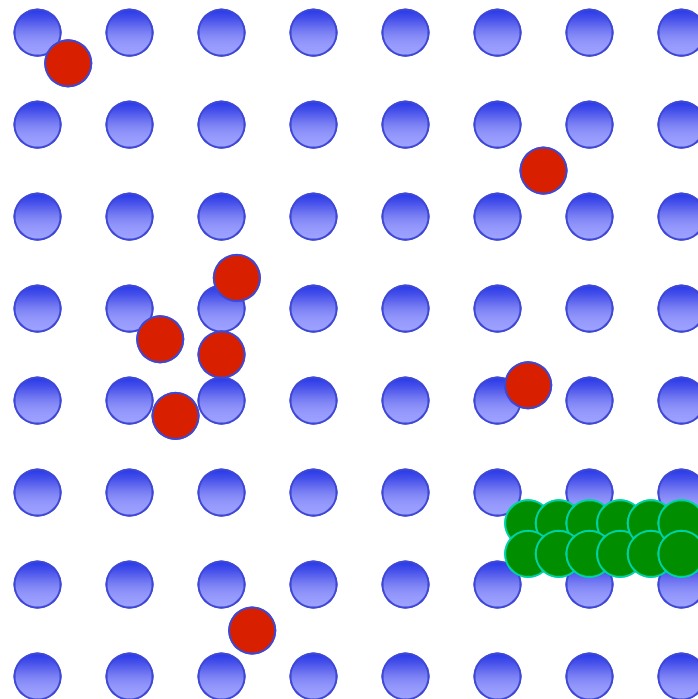
Data assimilering



(a priori information behövs)



Bakgrundsfall



- Bakgrundsfall
- Konv. observationer
- Sat. observationer

Bakgrundsfelstatistik

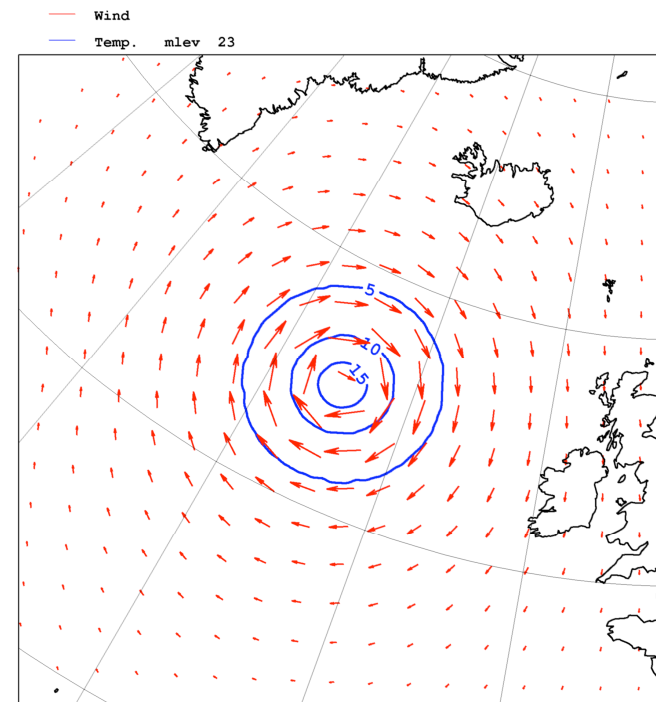
Bakgrundsfelen karaktäriseras av dess **standardavvikelser** (σ^b) och dess **korrelationer** (de senare ofta kallade strukturfunktioner).

standardavvikelser (σ^b)

$\sigma^b \gg \sigma^o$ ➡ **Stor** vikt till observation

$\sigma^b \ll \sigma^o$ ➡ **Liten** vikt till observation

korrelationer (strukturfunktioner)



Globala numeriska väderprognoser



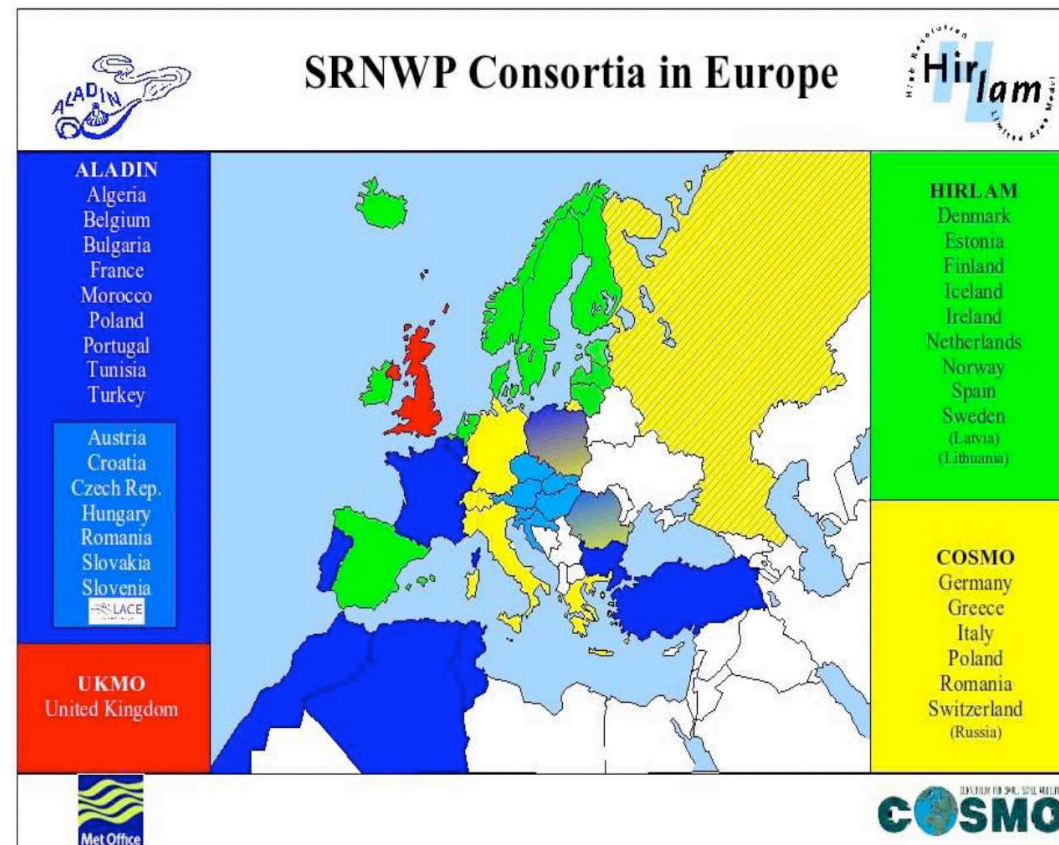
The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF, the Centre) is an independent intergovernmental organisation supported by 34 States. Its Member States are:

Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, the Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, United Kingdom.

Co-operation agreements with:

Bulgaria, Croatia, Czech Republic, Estonia, the former Yugoslav Republic of Macedonia, Hungary, Israel, Latvia, Lithuania, Montenegro, Morocco, Romania, Serbia, Slovakia and Slovenia.

Numeriska väderprognoser för begränsat område



ALADIN/HIRLAM nära samarbete startade 2005

Variationell data assimilerings

Målfunktion:

$$J = J_b + J_o = \frac{1}{2} \delta x^T B^{-1} \delta x + \frac{1}{2} (Hx^b + H_{tl} \delta x - y)^T R^{-1} (Hx^b + H_{tl} \delta x - y)$$

där

$$\delta x = x - x^b = (\delta u \ \delta v \ \delta T \ \delta q \ \delta \ln p_s)^T$$

x^b Bakgrundsfält

B Bakgrundsfel

R Observationsfel

H, H_{tl} Observationsoperator

Det $\delta x^A = x^A - x^B$ som medför att J antar sitt minima kallas **analysinkrement** och visar den modifiering minimeringen lägger till bakgrundsfältet.

$$J^{MIN} = J_b + J_o = \frac{1}{2} (x^A - x^B)^T B^{-1} (x^A - x^B) + \frac{1}{2} (Hx^b + H_{tl}(x^A - x^B) - y)^T R^{-1} (Hx^b + H_{tl}(x^A - x^B) - y)$$

$x^A = x^B + \delta x^A$ kallas meteorologisk **analys** och utgör det av assimileringen beräknade bästa möjliga starttillståndet.

Hur minimerar man J?

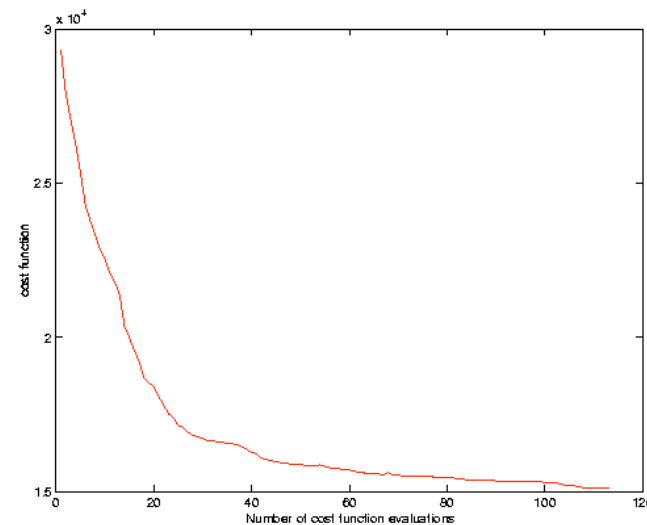
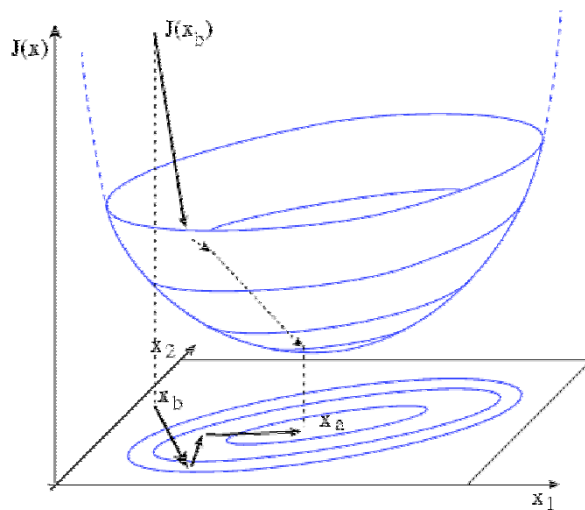
Målfunktion:

$$J = J_b + J_o = \frac{1}{2} \delta x^T B^{-1} \delta x + \frac{1}{2} (Hx^b + H_{tl} \delta x - y)^T R^{-1} (Hx^b + H_{tl} \delta x - y)$$

Minima då gradienten är noll

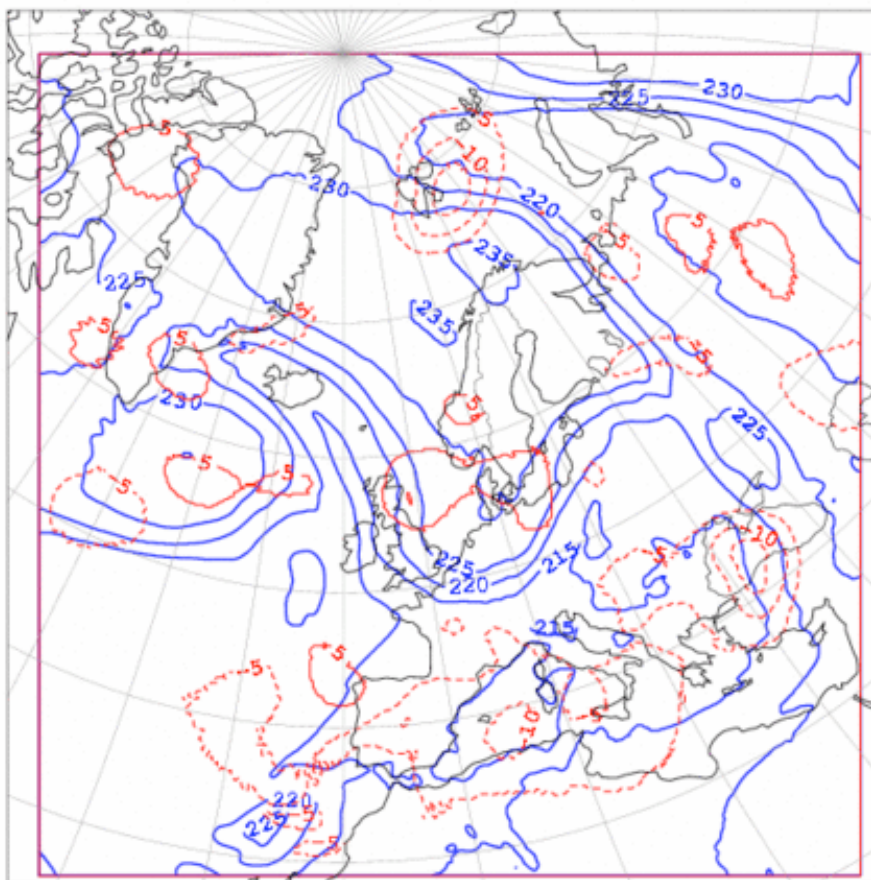
$$\nabla_{\delta x} J = 0$$

iterativt förfarande



Exempel på **analysinkrement** och **bakgrundsfält** för data assimilerings

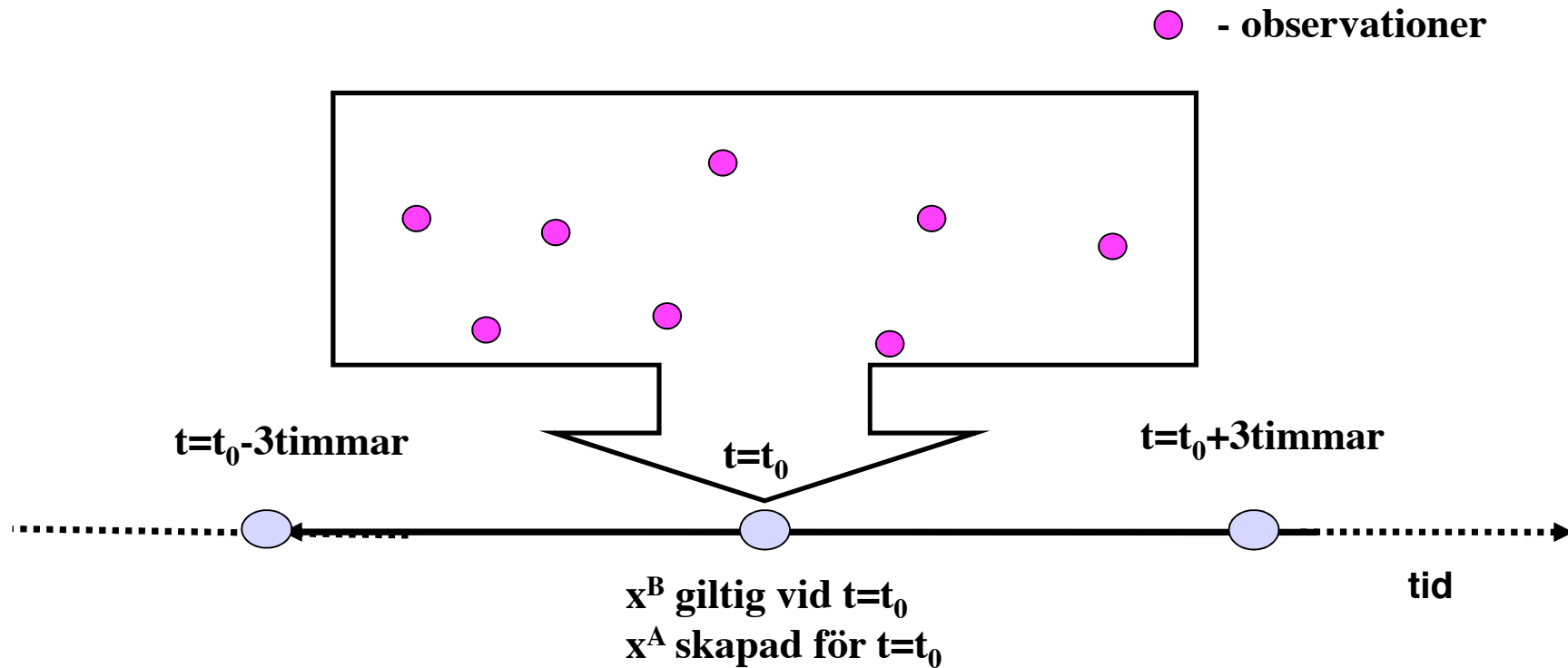
temperaturfält i 200 hPa nivå



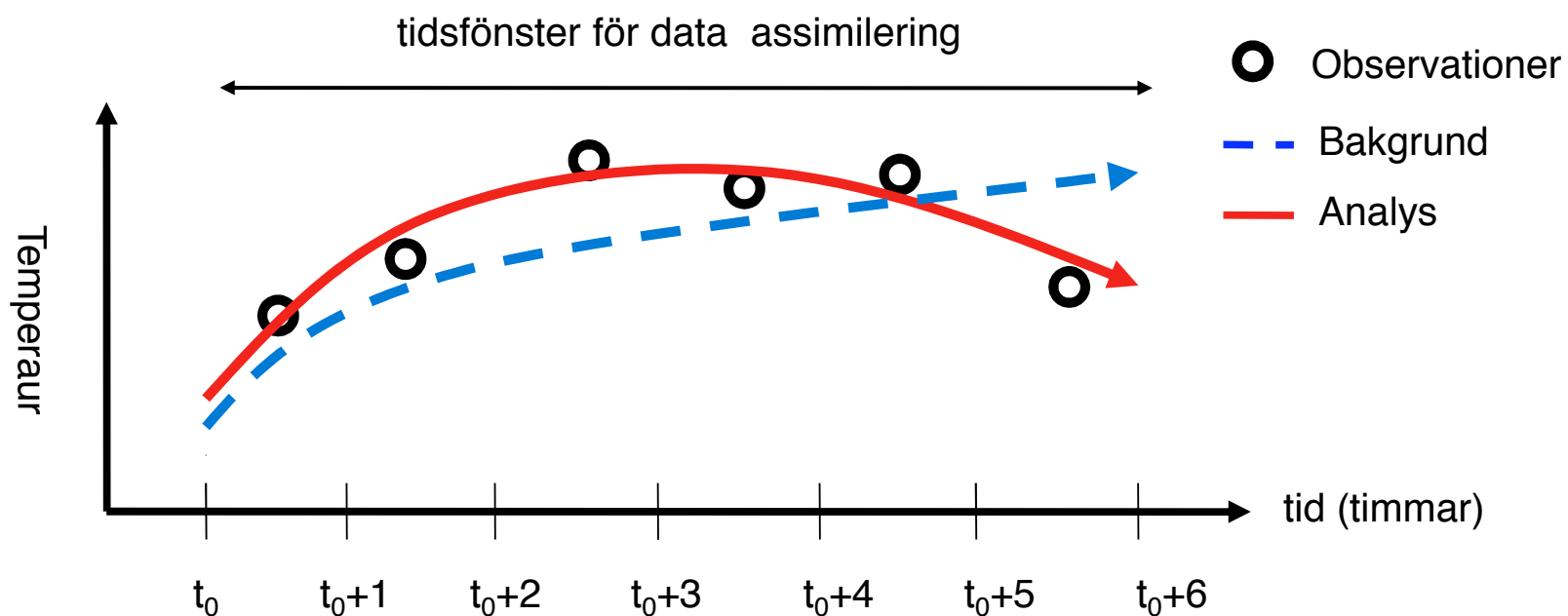
**Analysinkrement
temperatur.
Enhet: tiondels Kelvin**

**Bakgrundfält
temperatur.
Enhet: Kelvin**

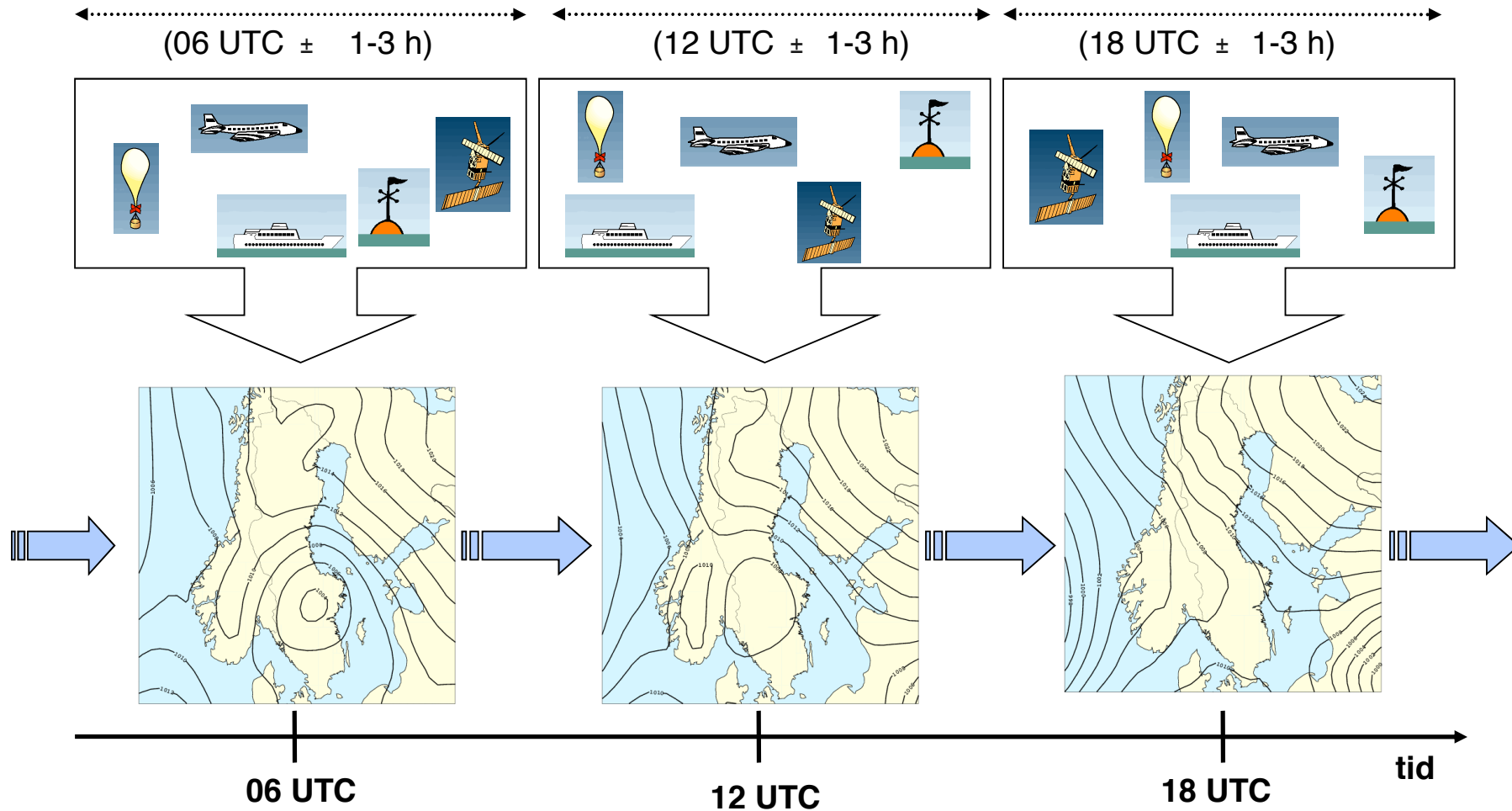
3-dimensional variational data assimilation (3D-Var)



4-dimensional variational data assimilation (4D-Var)



Intermittent data assimilering

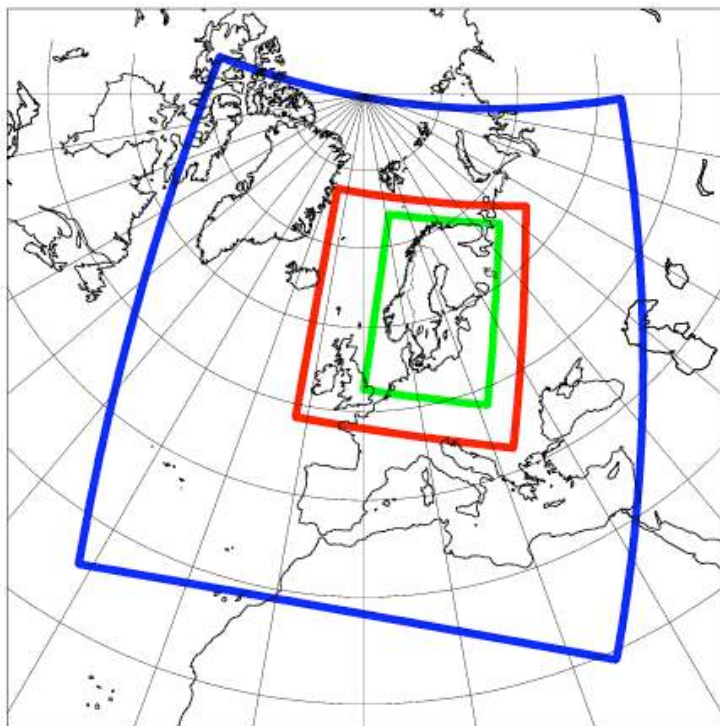


Initialisering

- All data-assimilering skapar vissa obalanser det resulterande analysfältet på grund av tex förenklade antaganden.
- Om inte obalanser mellan mass- och vind-fält korrigeras genereras orealistiska gravitationsvågor.
- Därför väljer man ofta att reducera dessa obalanser i en så initialiseringsprocess, en form av filter. Detta kan ske antingen som del av data-assimileringen eller i ett separat steg efter data assimileringen.
- Efter starten tar det emellertid en viss tid (spin-up tid ~1-10 timmar) innan alla modellens balanser infunnit sig (tex fuktighetsfältets balans med mass- och vind-fält).

Data assimilering i SMHIs modeller

Nuvarande operationella

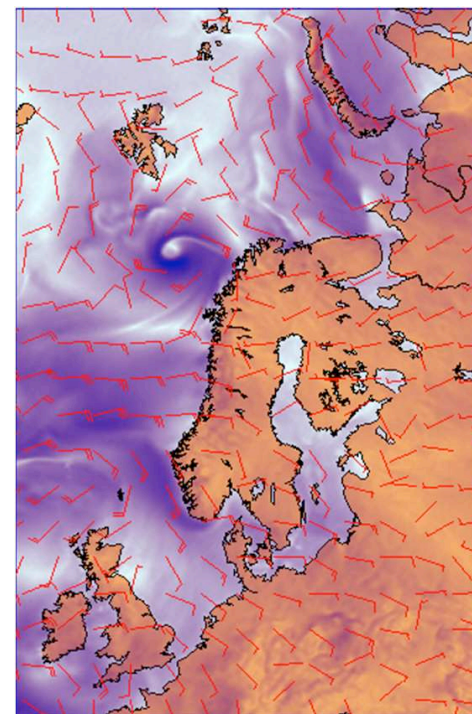


SMHI C11 (4D-VAR)

SMHI E11 (3D-VAR)

SMHI G05 (3D-VAR)

Planerat 2014



3D-VAR

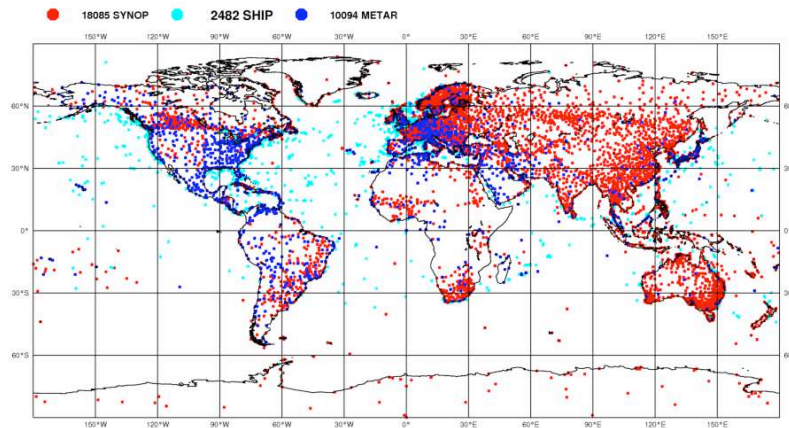
Vilka typer av observationer?

- **Konventionella** (görs vid synoptiska tidpunkter, 00,06,12,18 UTC, utom markobservationer, som rapporterar varje timma, och flygplansobservationer som har ännu tätare rapportering. Observerar kvantiteter som också är modellvariabler, in-situ mätningar).
- **Satellit** (observationerna är oftast inte modellvariabler, från satelliter som sköts av Eumetsat, NOAA, Japan, Kina, Ryssland, fjärr-mätningar).
- **Lokala icke-konventionella data källor** (fjärr-mätning eller in-situ).

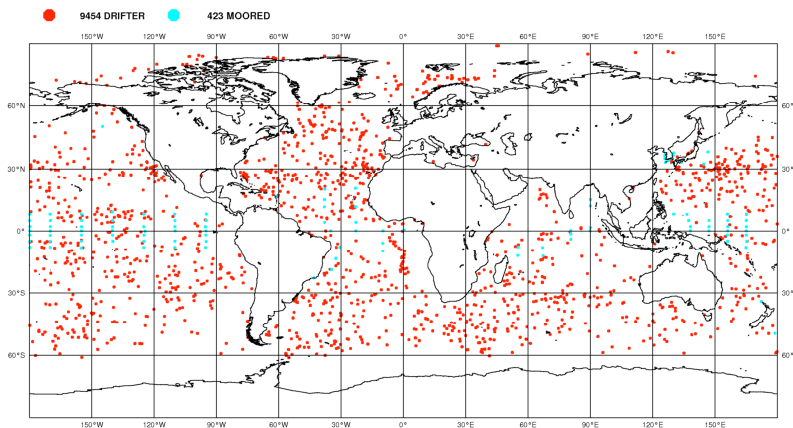
Konventionella markobservationer (SYNOP/SHIP/DRIBU)

Marktryck, vind 10m, temperatur 2m, fuktighet 2m

ECMWF Data Coverage (All obs DA) - SYNOP/SHIP
26/APR/2010; 00 UTC
Total number of obs = 30661



ECMWF Data Coverage (All obs DA) - BUOY
26/APR/2010; 00 UTC
Total number of obs = 9877



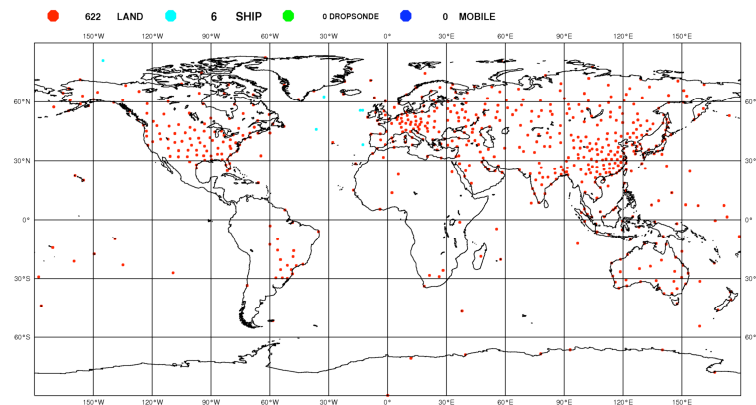
Observationer

ECMWF Data Coverage (All obs DA) - TEMP

26/APR/2010; 00 UTC

Total number of obs = 628

Temperatur, vind, specifik fuktighet, marktryck



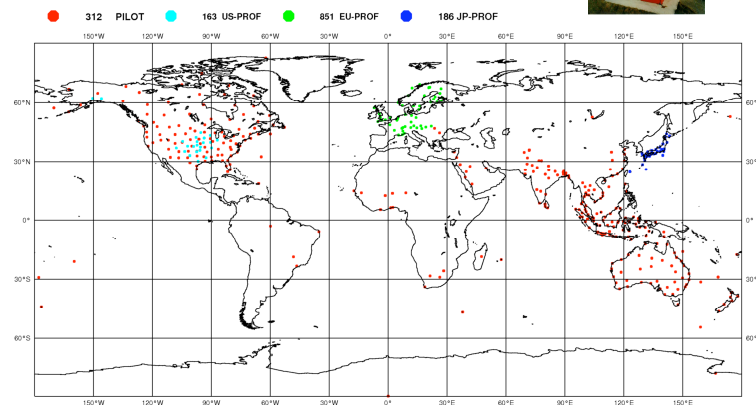
Konventionella observationer i
atmosfären
sonderingar och flygplan

ECMWF Data Coverage (All obs DA) - PILOT/PROFILER

26/APR/2010; 00 UTC

Total number of obs = 1512

Vind

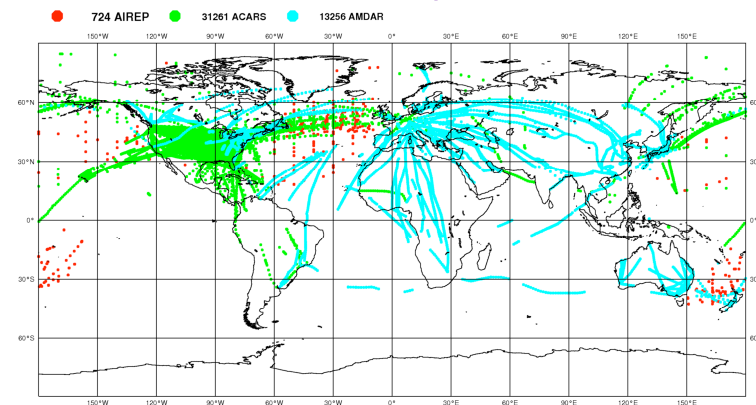


ECMWF Data Coverage (All obs DA) - AIRCRAFT

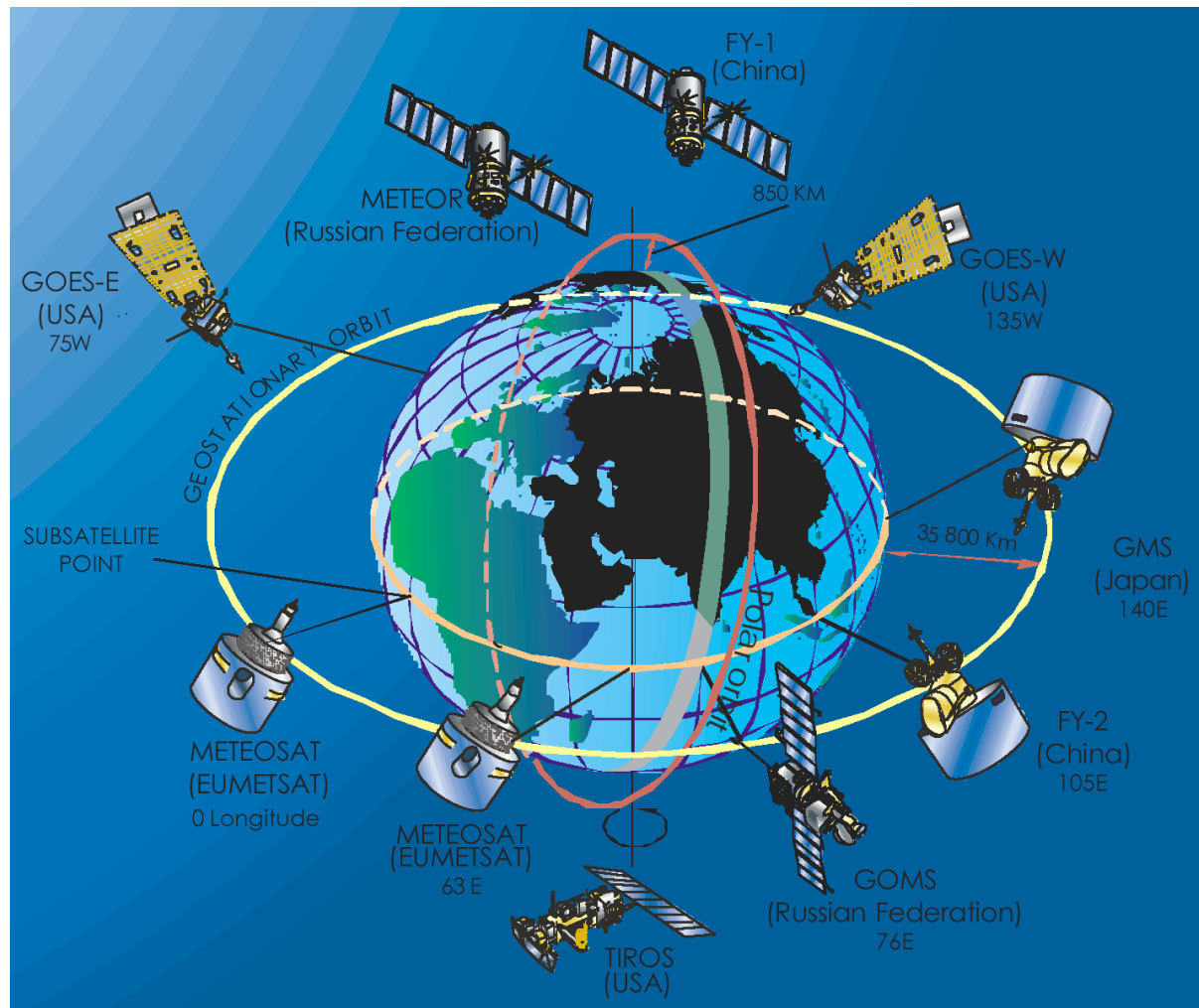
26/APR/2010; 00 UTC

Total number of obs = 45241

Vind och temperatur

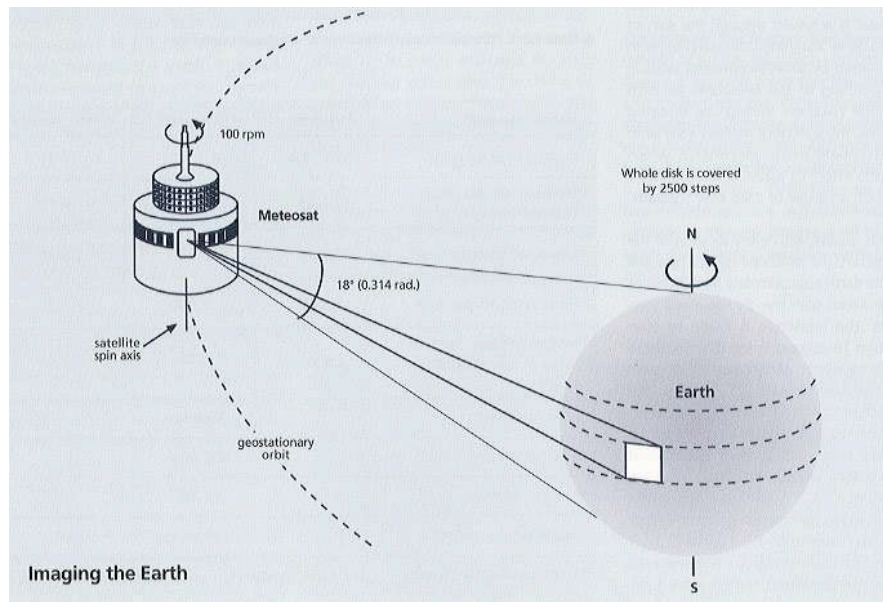


Satellitbaserade observationssystem geostationära och polära satelliter

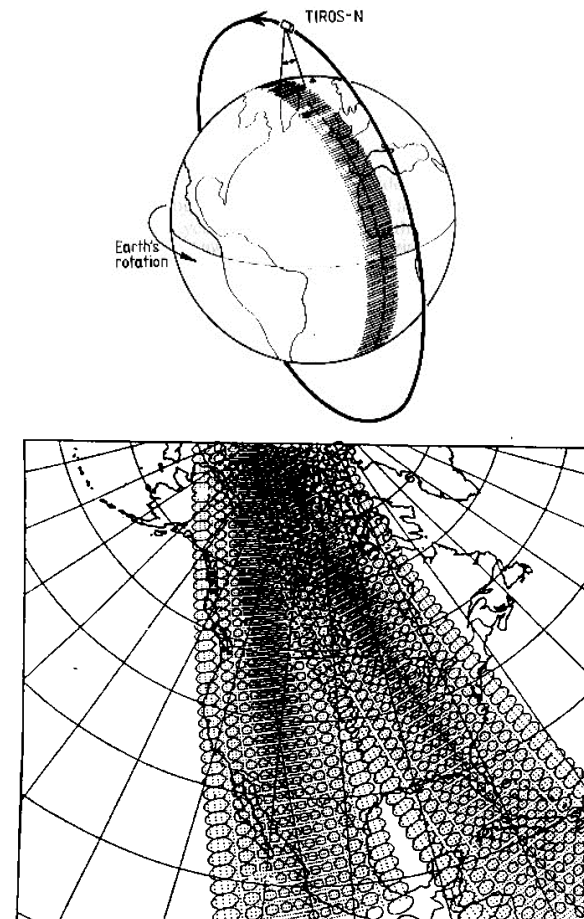


Observationer

Scanning för geostationär satellit



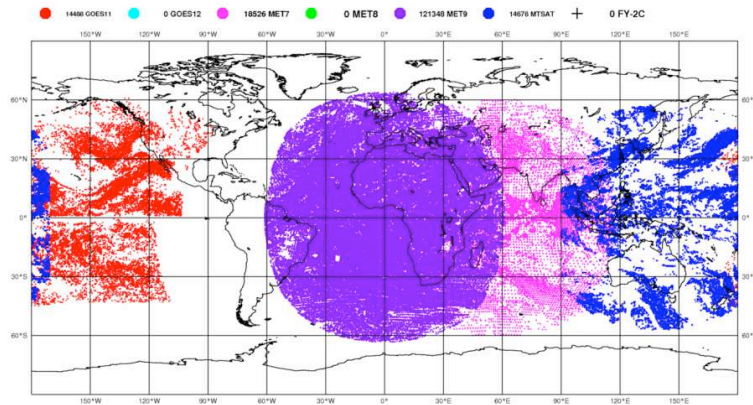
Scanning och 'footprint' för polär satellit



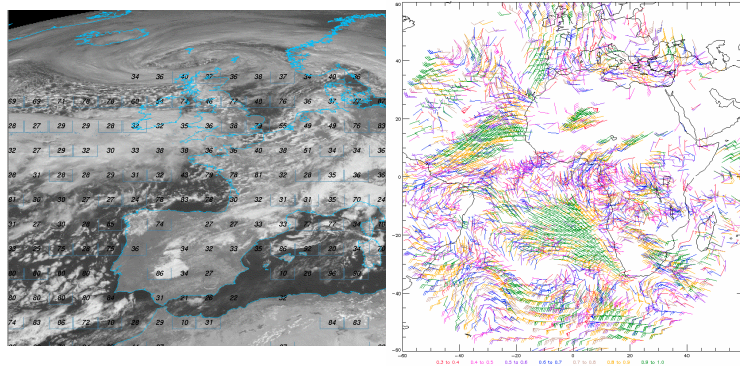
Observationer

Atmospheric Motion Vectors från geostationär satellit

ECMWF Data Coverage (All obs DA) - AMV WV
26/APR/2010; 00 UTC
Total number of obs = 169040

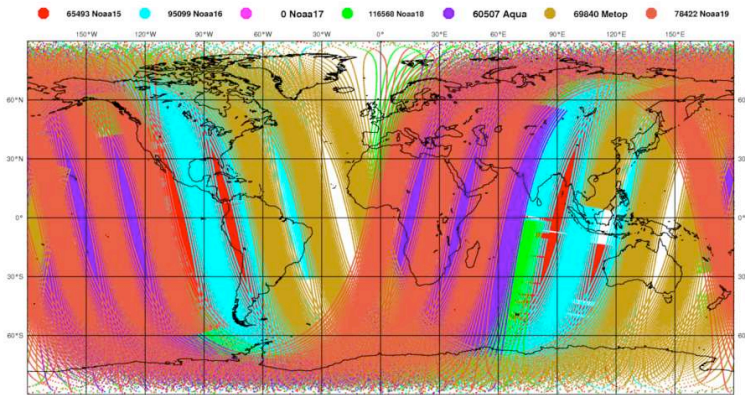


vindar erhållna från sekvens av satellit bilder



ATOVS AMSU-A radianser från polär satellit

ECMWF Data Coverage (All obs DA) - AMSU-A
26/APR/2010; 00 UTC
Total number of obs = 485929



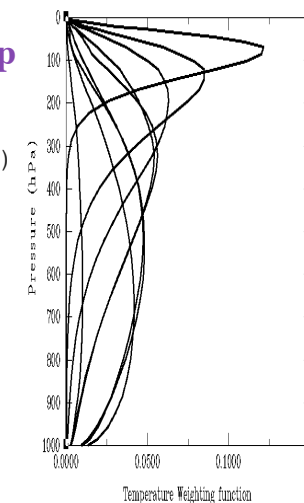
Radiansten L vid atmosfärens topp

$$L(v) = \int_0^{\infty} B(v, T(z)) \left[\frac{dT(v)}{dz} \right] dz$$

+ (surface emission) + (surface reflection) + (surface scattering)
+ (cloud/rain contribution)

där

L-radiance, v -frequency, T -temperature,
 z -height, B -black body emission, $\frac{dT(v)}{dz}$
-change of transmittance with height.



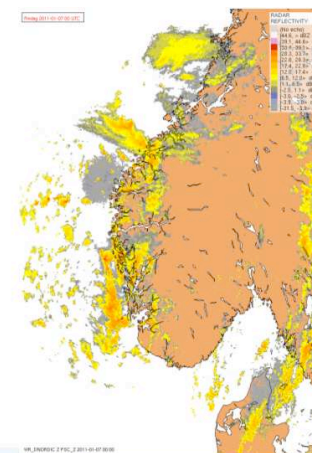
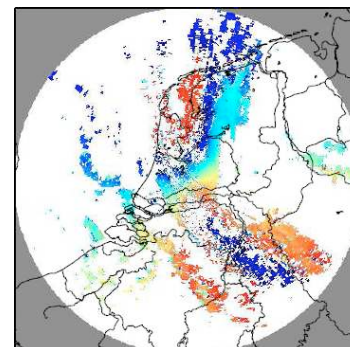
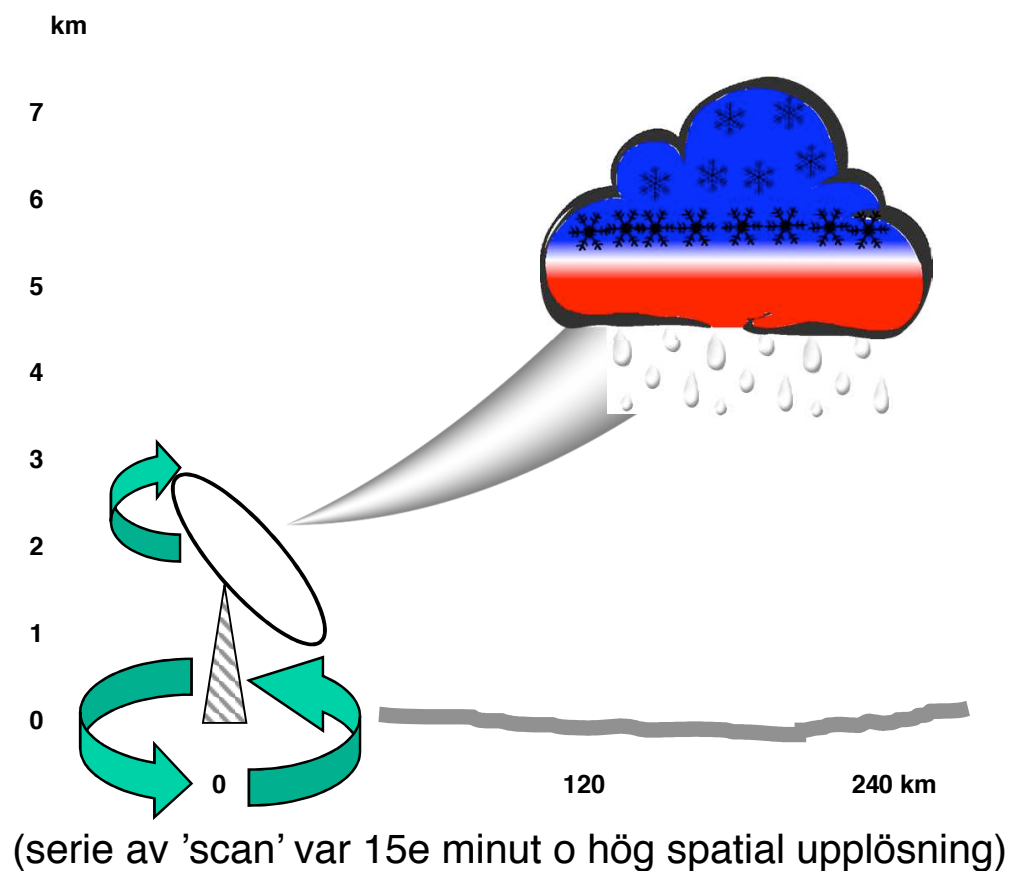
Observationer

SMHI

Lokala icke-konventionella observationer

väderradar

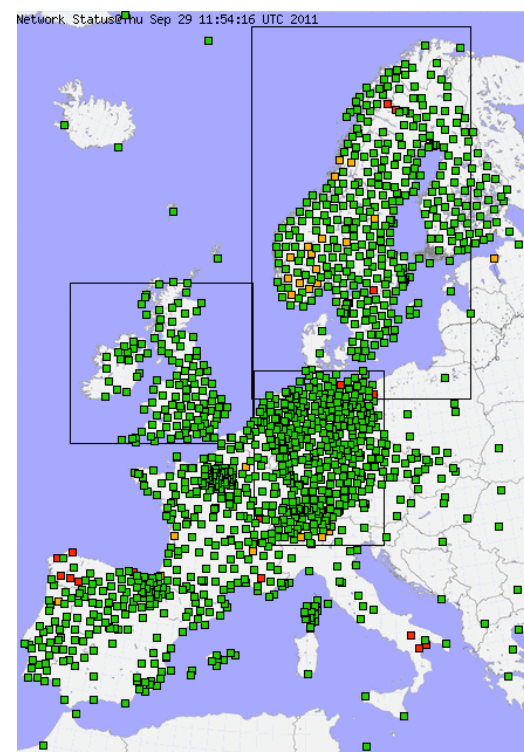
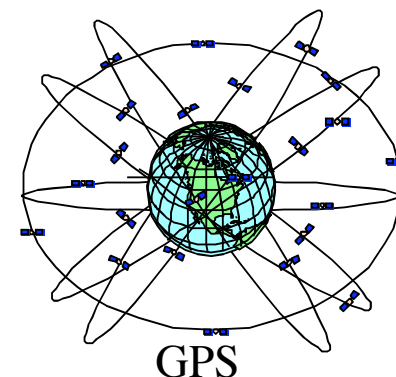
radialvindar och fuktighet



Lokala icke-konventionella observationer Mark baserade GPS mätningar

Vertikalt integrerad fuktighetsprofil

- Mätning av den del av tidsfördröjning av en signal från satellit till markstation som beror på atmosfärens fuktighet.
- Ett antal sådana lutande profiler ger information om vertikalt integrerade fuktighetsprofilen över markstationen.
- Observationer var 15 e minut och med hög horiontell upplösning.



Hur kommer observationerna till modellen?

- Konventionella: Global Telecommunication System (GTS)
- Satellit observationer: lokala antenner, sänds ut av EUMETSAT till medlemsländer
- Lokala observationer (och ev. andra med) via ftp

Hur länge kan man vänta på observationerna?

- ECMWF: omkring 4 timmar cut-off tid
- HIRLAM; 2 timmar cut-off tid
- Ännu mer högupplösta lokala modeller: Ännu kortare cut-off tid

Observationsfel

Tre typer av observationsfel

- **Systematiska fel (bias)**

felkalibrerade instrument, felplacerade instrument ,

Åtgärd: Bias-korrigera observationen (innan eller under data-assimilering)

- **Naturliga fel**

instrumentfel, representativitetsfel, persistensfel

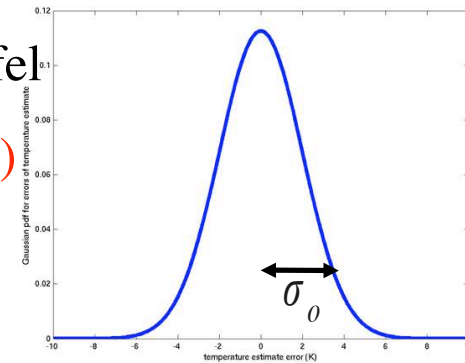
Åtgärd: Beskriv (modellera felet i data assimileringen)

- **Grova fel**

felrapportering, felavkodning, kommunikationsproblem, ...

Åtgärd: Identifiera och släng bort dessa observationer

Gaussisk sannolikhetsfördelning



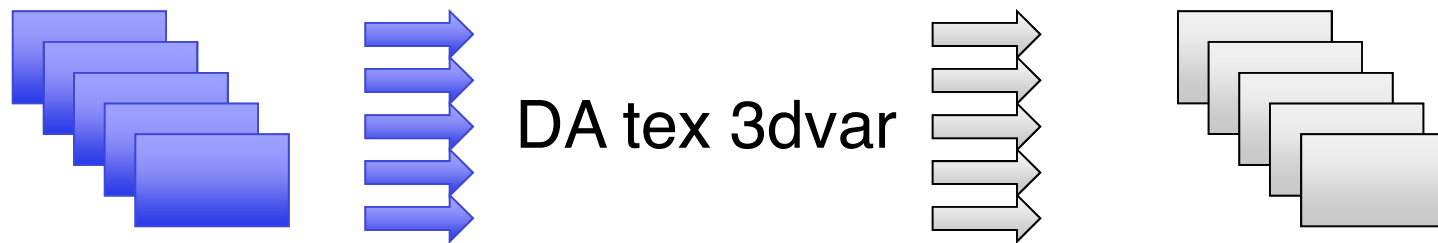
Hur påverkar analysfelen prognosen?

- Analysen innehåller alltid vissa fel, viss osäkerhet.
- Ibland extra stora analysfel på grund av felaktig hantering av observationer.
- Vissa analysfel kommer inte att påverka prognoskvalitén nämnvärt.
- De analysfel som sker i dynamiskt aktiva områden kan väsentligt degradera prognoskvalitén.
- Felen fortplantar sig icke-linjärt i tiden vad som kan förklaras med advection

Framtida utmaningar

- Bättre nyttjande av lokala observationer med hög upplösning i tid o rum viktigt för högupplösta modeller täckande begränsat ett område.
- Uppskatta o beskriva observationsfelens korrelationer.
- Hantering av fas-fel i bakgrundsältet.
- Introducera ensemble-baserade metodiker för att bättre representera flödesberoende i data assimileringen.

Ensemble data assimilation



$$J(x_i) = \frac{1}{2} (x_i - x_{bi})^T B^{-1} (x_i - x_{bi}) + \frac{1}{2} (H(x_i) - y_i)^T R^{-1} (H(x_i) - y_i)$$

Pert. obs.

