

Hur blir en väderprognos till?

eller

Vad gör SMHI på sina superdatorer?

eller

Smått och gott om SMHI



Anders Höglund

Några kortfakta om SMHI

- Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut
- Myndighet under miljödepartementet
- C:a 600 anställda
- Har kontor i Norrköping, Göteborg, Malmö, Arlanda och Sundsvall
- www.smhi.se

Viktigaste uppgift

- Rädda liv och egendom genom att varna för farligt väder.
- Varningar bl.a. på www.smhi.se.



Weather Sync[®]

Kundanpassade väderprodukter

- Media
 - Prognoser men även redaktionellt material
- Energi
 - Fortum, Vattenfall: Planering av produktion
- Handel, Landtrafik & bygg
 - Kommuner: Snöröjning
 - NCC: Asfaltering
- Fastighetsstyrning
 - Fastighetsägare: Styrning av uppvärmning



SMHI Weather Solutions™



Freak wave off Durban...

Weather Sync[®]

Kundanpassade väderprodukter

- Sjöfart
 - Rederier över hela världen
 - Weather Routing
 - Spar bunker (bränsle)
 - ETA
 - Undvika hårt väder
 - Fleet Web
 - Följ fartyg, ETA, planerade rutter, färdhistorik etc.



ITAL FLORIDA

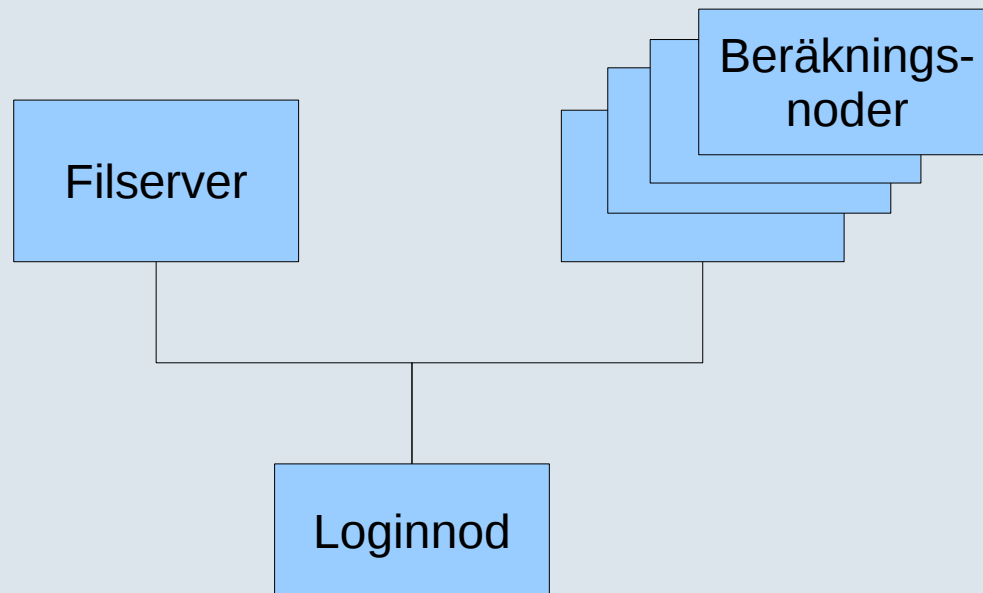
TRIESTE

IMO 9308039

22.06.2007

Superdatorer

- Tillhandahålls av NSC
- Linux-kluster
- Nätverk: Infiniband
- MPI



Superdatorer

	Startad	#cpu-kärnor
• Bore	juni 2008	448
• Blixt/Pavel	feb 2005	174
• Tornado	aug 2005	264
• Dunder	sep 2005	104
• Gimle	juni 2008	672
• Mer information på www.nsc.liu.se/systems/		

Operationell produktion

	Startad	#cpu-kärnor	
• Bore	juni 2008	448	Huvudmaskin
• Blixt/Pavel	feb 2005	174	Backup
• Tornado	aug 2005	264	
• Dunder	sep 2005	104	
• Gimle	juni 2008	672	

Väderprognos, historik

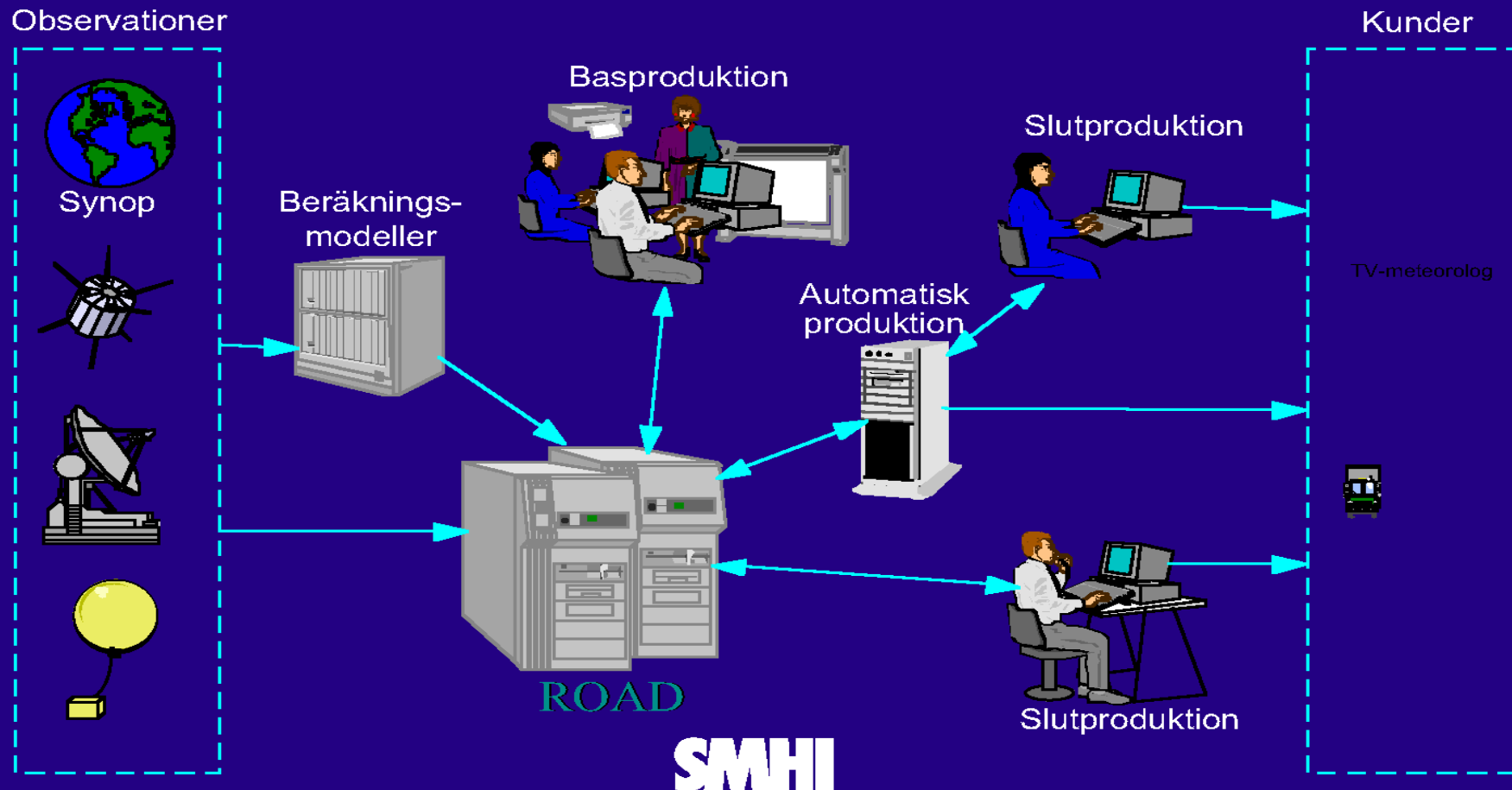
- Mitten av 1800-talet: Omfattande nät av europeiska meteorologiska observationsstationer utan egentlig samordning.
- 14 nov 1854, Krimkriget: Häftig storm över Svarta havet. Stora förluster för franska och engelska flottan. Storm i Europa dagarna innan.
- Ny idé: Utnyttja telegrafan för att samla in observationer.
- Väderlekstjänst i Paris: synoptiska (samtidiga) väderkartor.
- Första officiella SMHI-prognosen: 3 juli 1874

Numeriska väderprognoser, historik

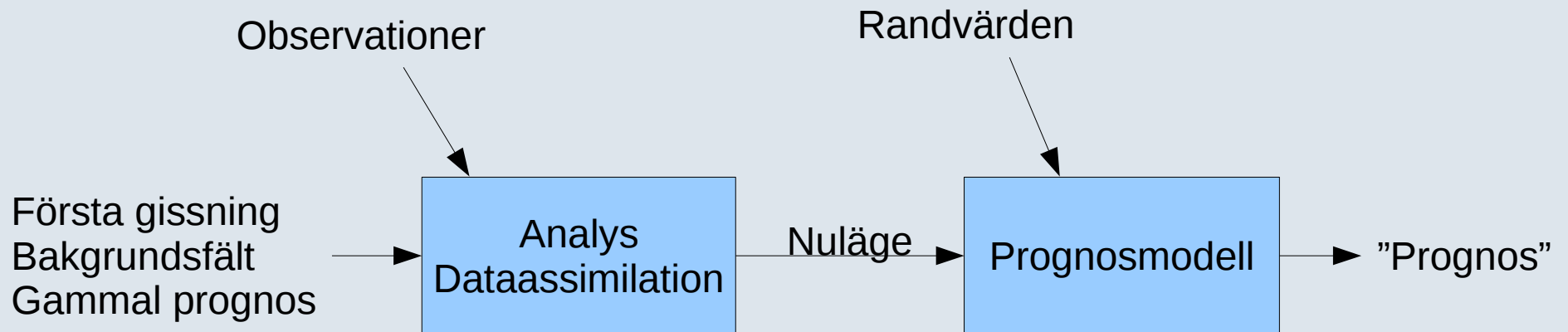
- Vilhelm Bjerknes c:a 1903: beskrev principen för numeriska prognoser
- L.F. Richardson 1921: första heroiska försöket – som misslyckades
- C.G. Rossby 1938: visade hur 'ekvationerna' kunde förenklas
- Charney – Fjörtoft – von Neumann 1950: första lyckade försöket på ENIAC
- MVC-BESK 1953: första operationella prognosen i världen
- SMHI-SAAB D21 1964: SMHI börjar med numeriska prognoser
- ECMWF-CRAY1 1979: Globala operationella prognoser

Väderprognos, översikt

Vädertjänsten



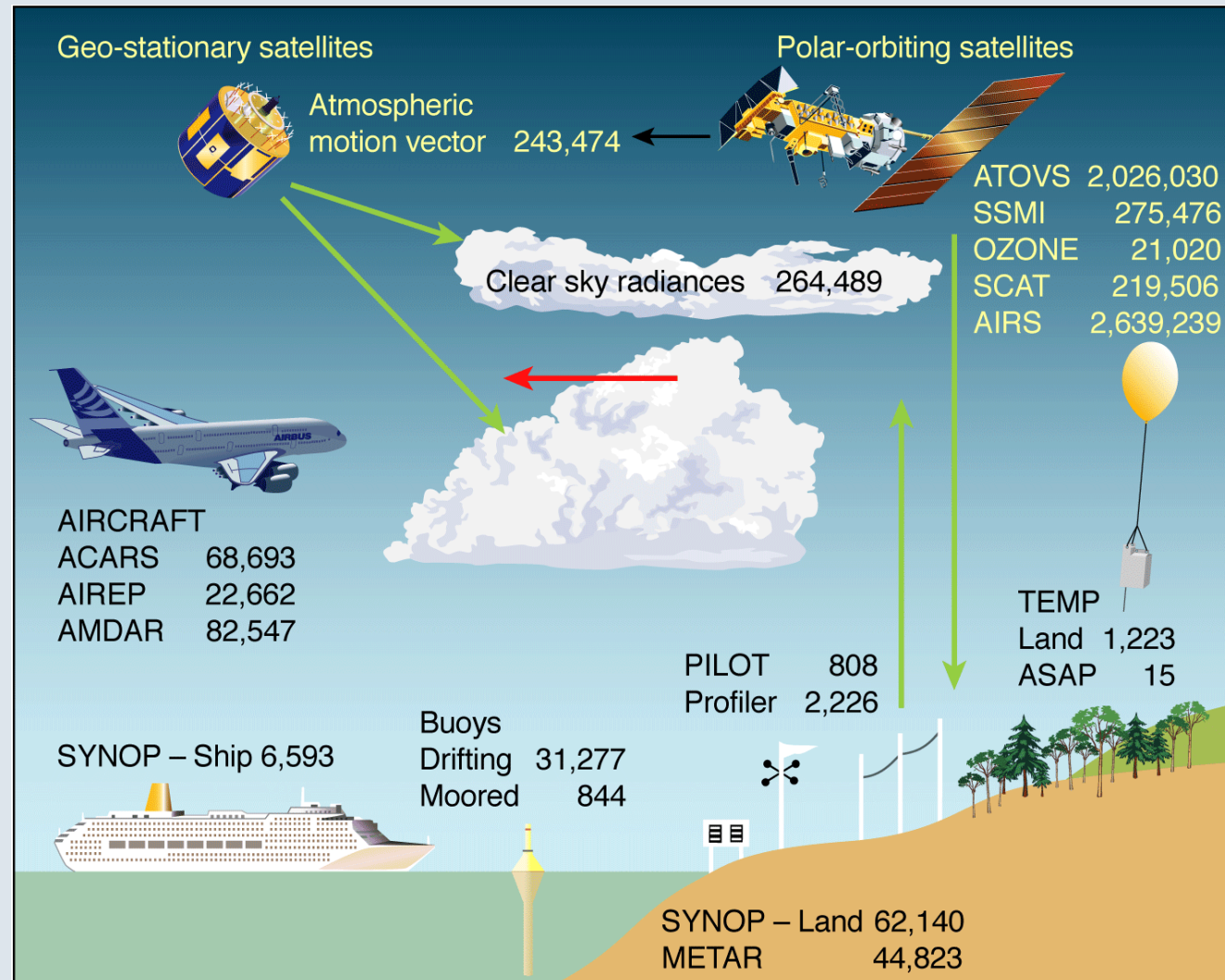
Väderprognos, översikt 2

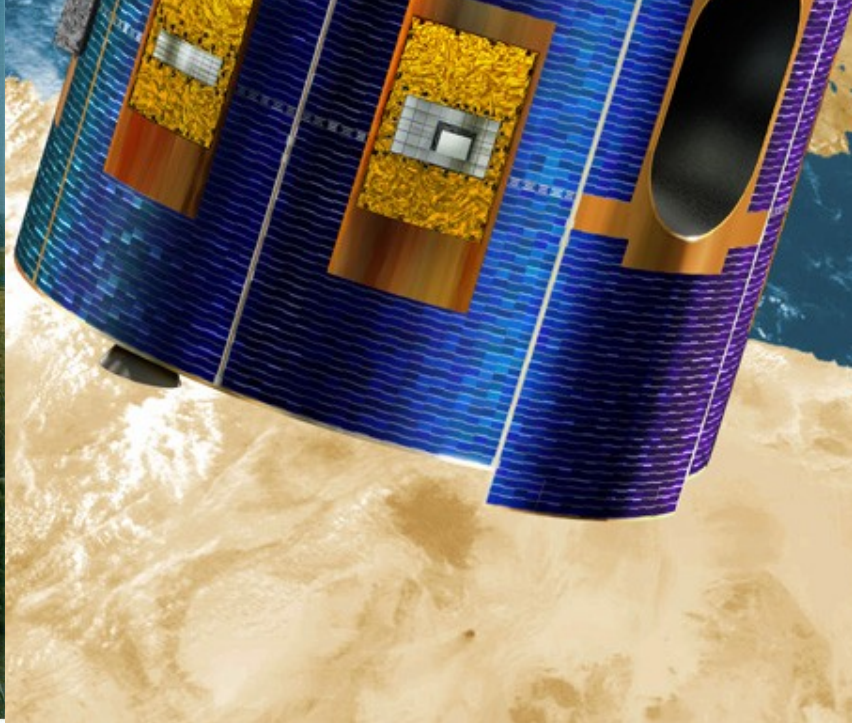
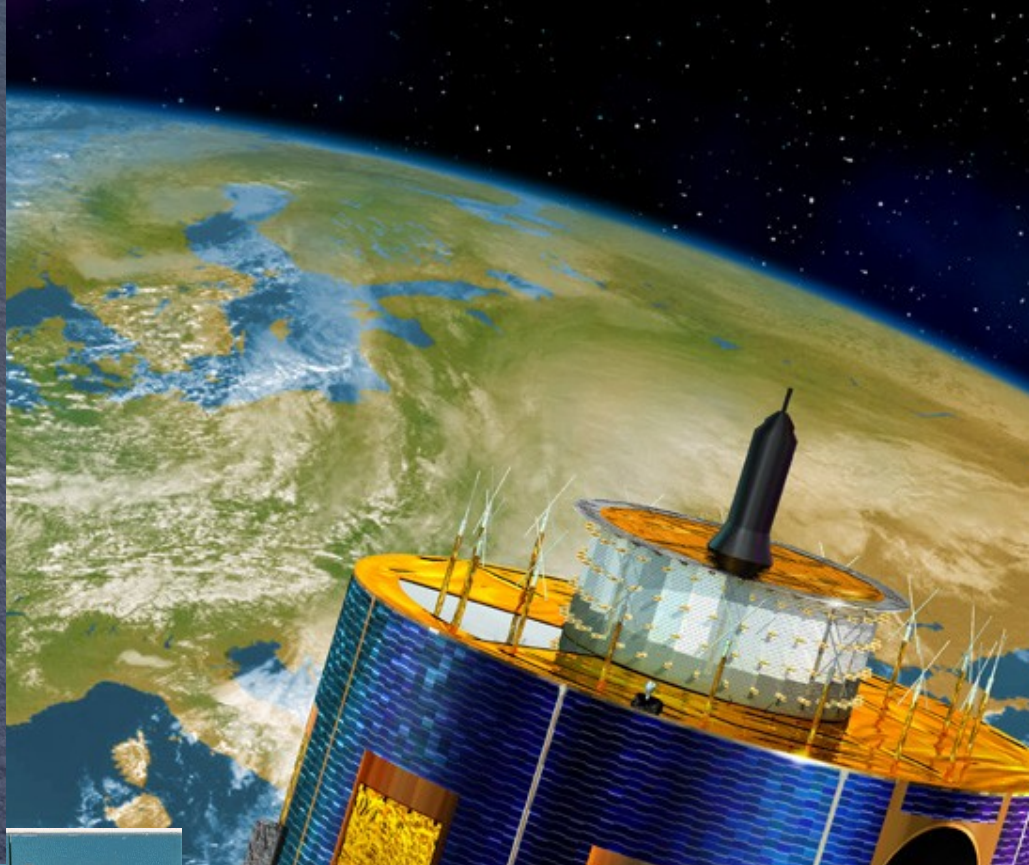


- Ny prognos var 6:e timme (00, 06, 12, 18 UTC)
- Varje prognos går 48h framåt (en del 72h)
- Prognosmodell HIRLAM
 - hirlam.org

Observationer

- Antal observationer mottagna av ECMWF under ett dygn.



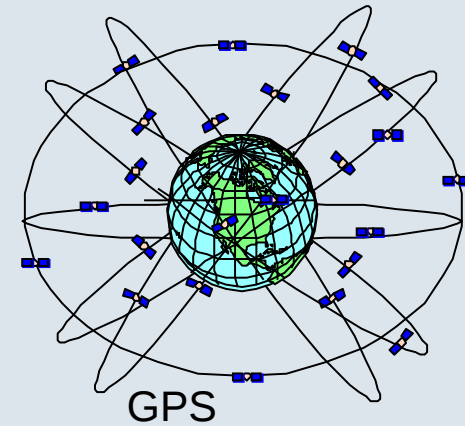


GPS derived moisture

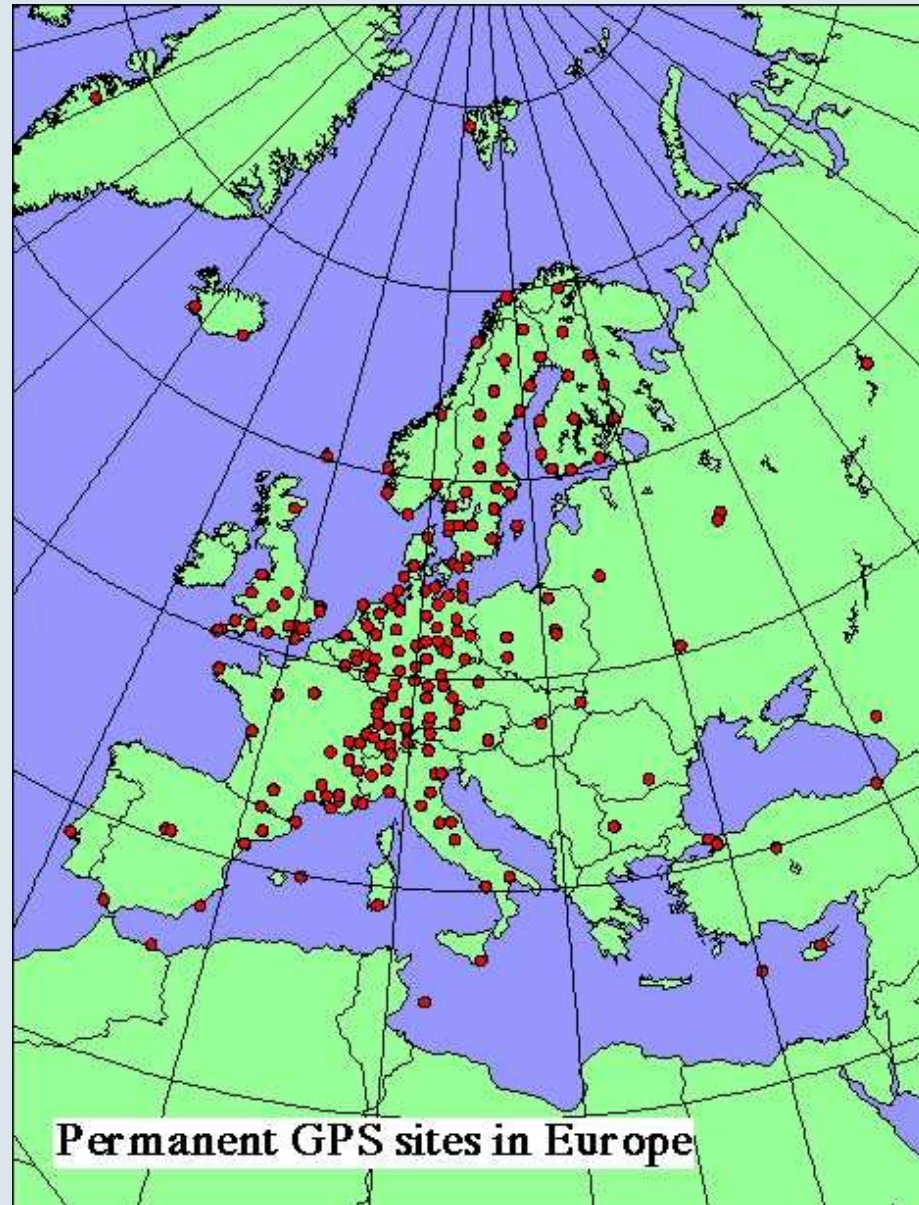
One person's noise is another person's signal

Ground based GPS

- Advantages:
 - High resolution
 - 40 to 50 stations every 15 minutes
 - All weather, all the time
 - Very cheap
- Disadvantages:
 - Only columnar water vapour
 - There may be a bias and correlated errors



Ground based GPS sites



Insamling av observationer

- Texttelegram används fortfarande.

UDEU02 EGRR 171352 RRD

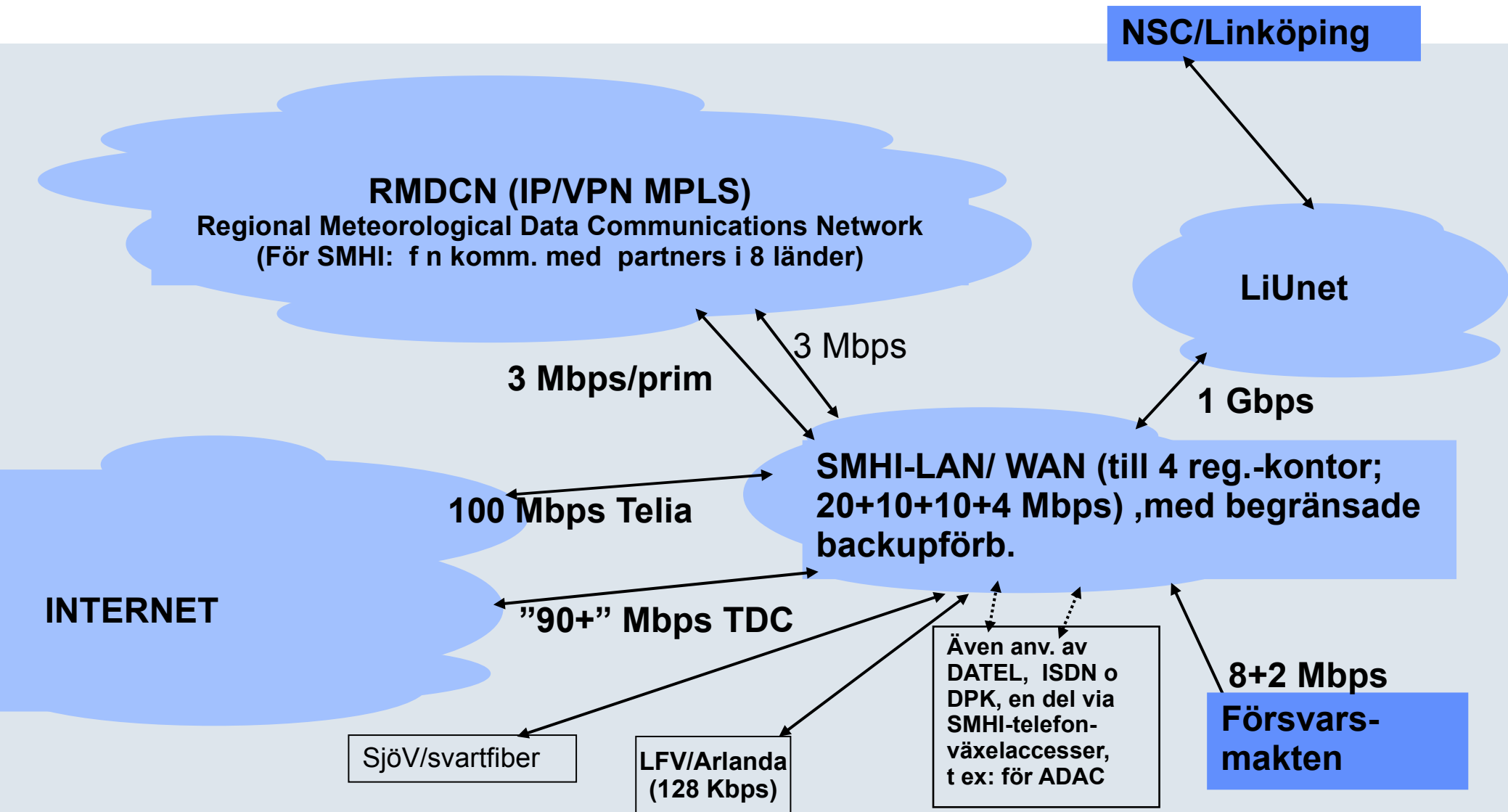
AMDAR 1713

ASC	EU4519	5941N	01803E	171339	F022	MS001	331/028	TB/	S031=
ASC	EU4519	5942N	01804E	171340	F032	MS029	343/027	TB/	S031=
ASC	EU4519	5943N	01802E	171340	F050	MS058	000/030	TB/	S031=
ASC	EU4519	5943N	01758E	171341	F064	MS090	007/026	TB/	S031=
ASC	EU4519	5940N	01755E	171342	F074	MS110	354/038	TB/	S031=
ASC	EU4519	5938N	01752E	171342	F092	MS153	180/034	TB/	S031=
ASC	EU4519	5935N	01749E	171343	F110	MS194	001/034	TB/	S031=
ASC	EU4519	5932N	01746E	171343	F125	MS230	004/033	TB/	S031=
ASC	EU4519	5930N	01743E	171344	F145	MS279	359/032	TB/	S031=
ASC	EU4519	5927N	01740E	171345	F166	MS325	352/023	TB/	S031=

•

- Övergång till binära format pågår (BUFR).

SMHI, Extern datakommunikation, i huvuddrag, 2008-10-08

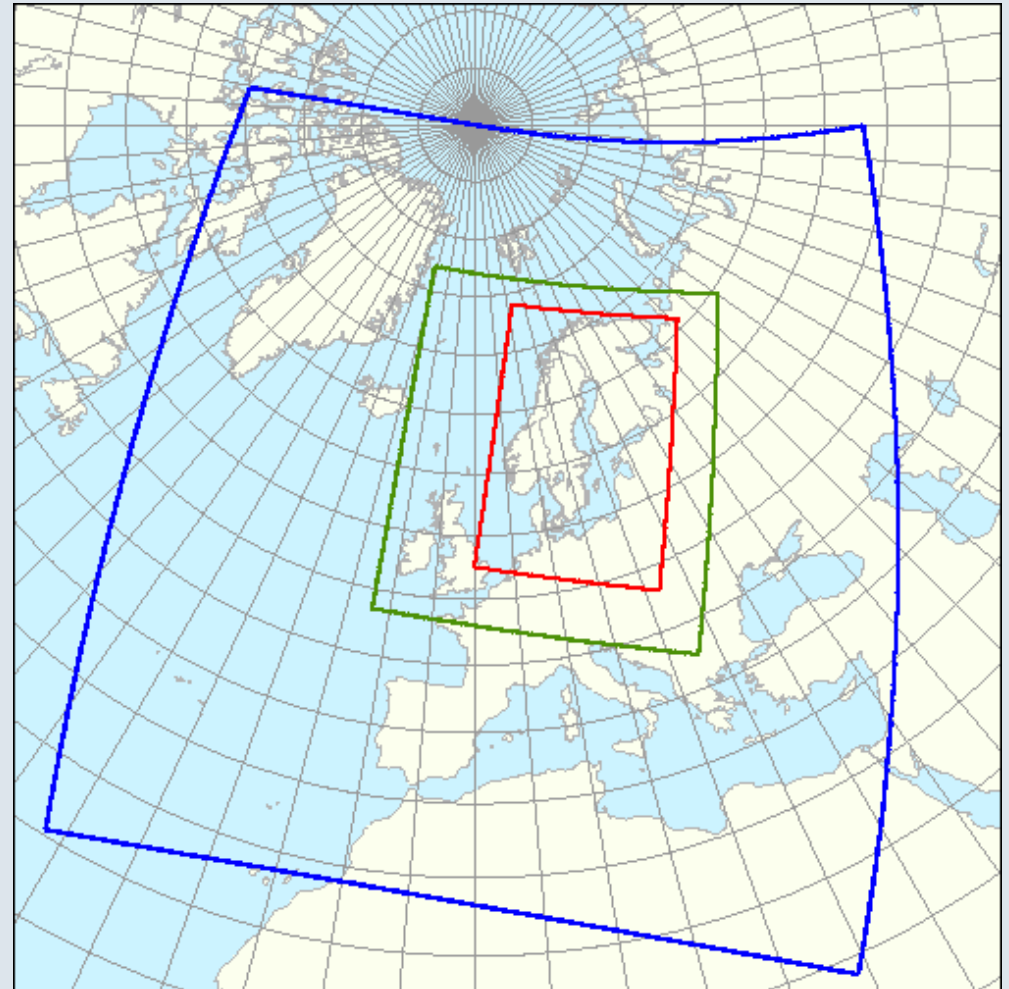


Kvalitetskontroll

- Inkomna observationer kan vara fel.
 - Mätfel
 - Överföringsfel
 - Formatfel
 - Representationsfel
- Grov rimlighet
- Jämför med tidigare prognos
- Position
- Jämför med tidigare position
- Svartlistning av känt dåliga observationer

Områden

- **C22**
 - 306×306×40 gridpunkter
 - 22 km 0,2°
- **E11**
 - 256×288×60 gridpunkter
 - 11 km 0,1°
- **G05**
 - 294×441×60 gridpunkter
 - 5,5 km 0,05°



Roterat lat/lon-grid

- Lat/lon-grid blir tätare närmare polerna.
- Roter bort polerna så att ekvatorn går ungefär mitt i det intressanta området.
- Här: Sydpolen i 30°S 10°V
- Roter först så att nollmeridianen hamnar på 10°V
- Roter därefter så att sydpolen åker längs denna nollmeridian till 30°S
- Övning: Härled formler för att översätta mellan dessa koordinatsystem.
- Övning 2: Härled formler för att översätta mellan vektorer i dessa koordinatsystem.

Analys

- Syftar till att beskriva nuläget.
- Utgår från en tidigare prognos (första gissning, bakgrundsfält) giltig vid referenstidpunkten.
- Modifierar första gissningen med observationer.
- Arbetar med variablerna Temperatur (T), vind (u, v), fuktighet (q) och tryck (p)

Analys

- Hur ska skillnaden mellan observation och bakgrundsfält hanteras?
 - Observationen är inte säkert sanningen.
 - Observationer finns inte i alla gridpunkter.
 - Observationerna är ojämt spridda.

Analys, 3D-var

- Minimera:

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

där

x_b är bakgrundsfältet, första gissningen,

x är det nya tillståndet,

B är kovariansmatrisen för bakgrundsfältet, beskriver hur felet i bakgrundsfältet i olika gridpunkter statistiskt beror av varandra.

- Första termen ger en kostnad för att avvika från första gissningen.

Analys, 3D-var

- Minimera:

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

där

y är observationerna

H är observationsoperatören, omvandlar ett modelltillstånd till motsvarande observationer.

R är kovariansmatrisen för observationsfelet

- Andra termen ger en kostnad för att avvika från observationerna.

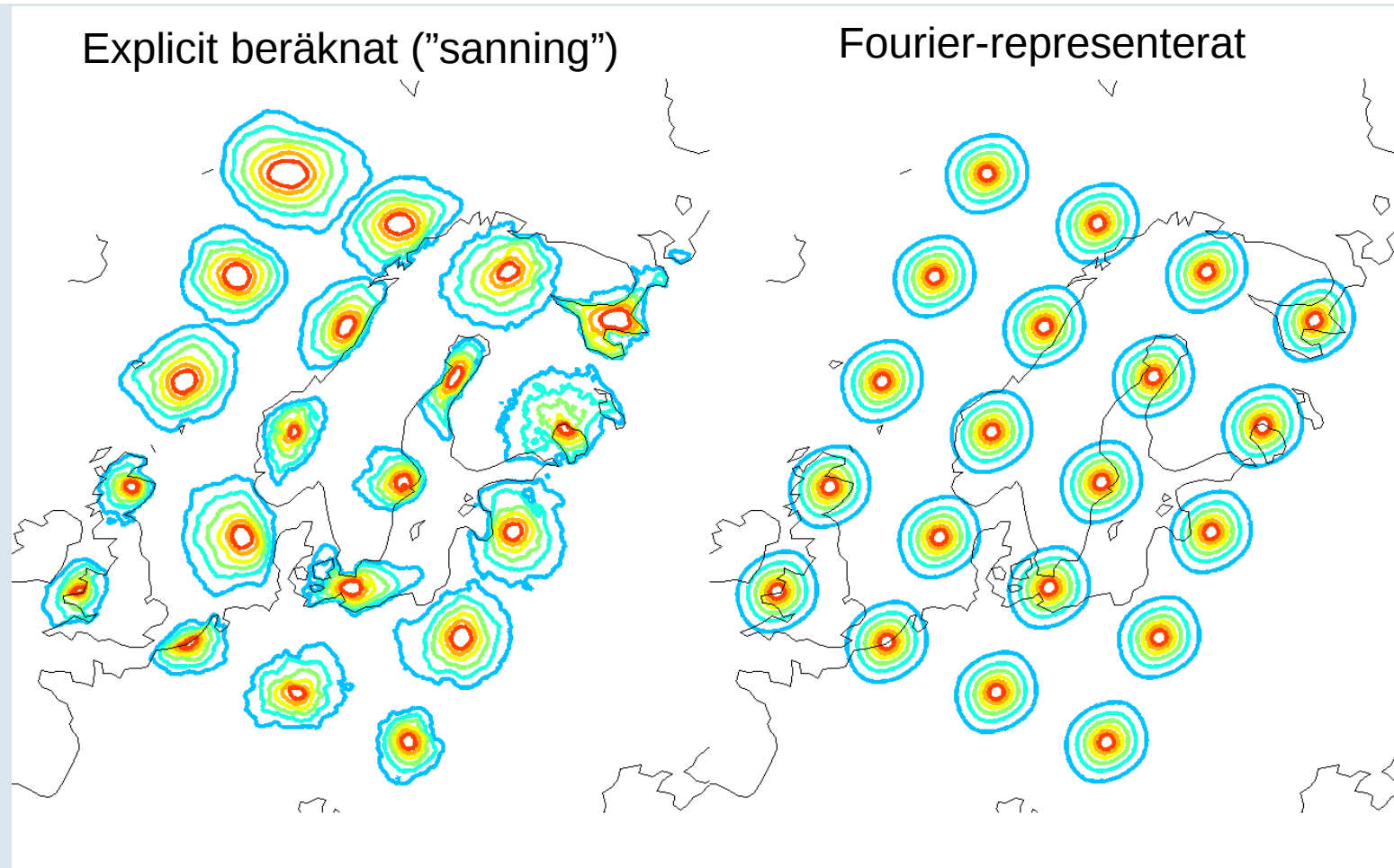
Bakgrundsfelskovariansmatrisen

- Matrisen B innehåller kovarianser mellan alla gridpunkter och alla prognosvariabler.
- E11-området: $256 \times 288 \times 60$ gridpunkter, 5 variabler ger att B har storleken $22118400 \times 22118400 \approx 5 \times 10^{14}$ element.
- Redan i enkel precision (4 bytes per tal) måste man ha ett par petabyte minne.
- Trix och approximationer är nödvändiga!

Bakgrundsfelskovariansmatrisen

- Genom ett variabelbyte frikopplas beroendet mellan olika variabler (i princip).
- Fouriertransformering gör B nästan diagonal.
- Approximation: antag diagonal.

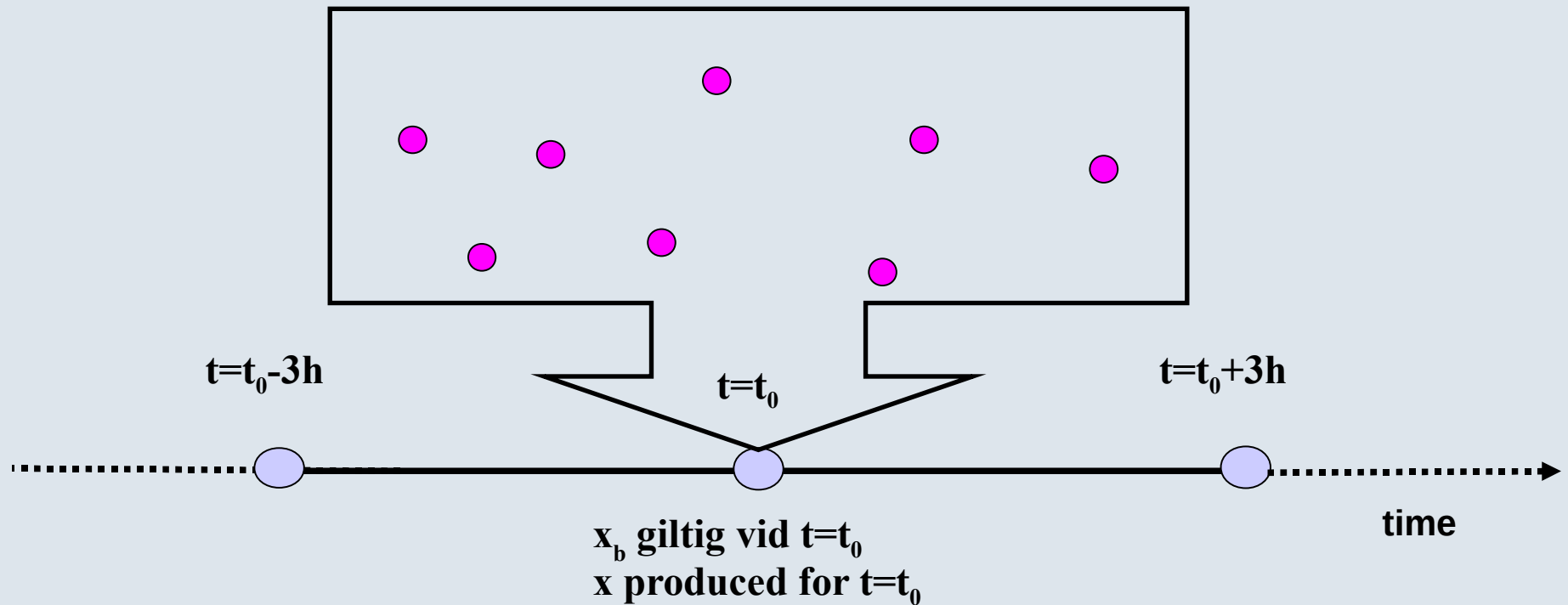
Exempel: 2m-temperatur



- Projekt: VarAn försöker att använda wavelets istället för Fouriertransform.

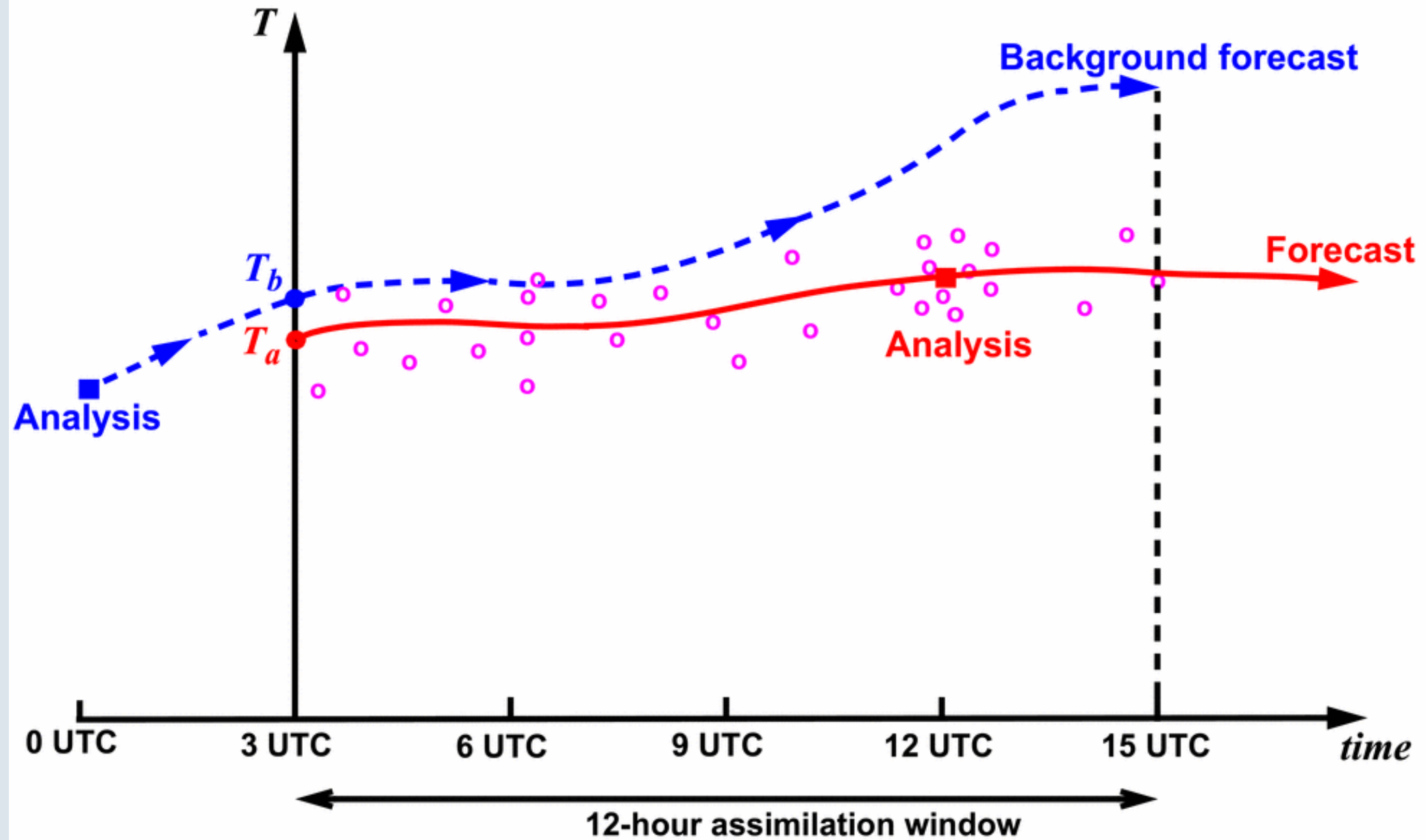
3D-var

● -observationer



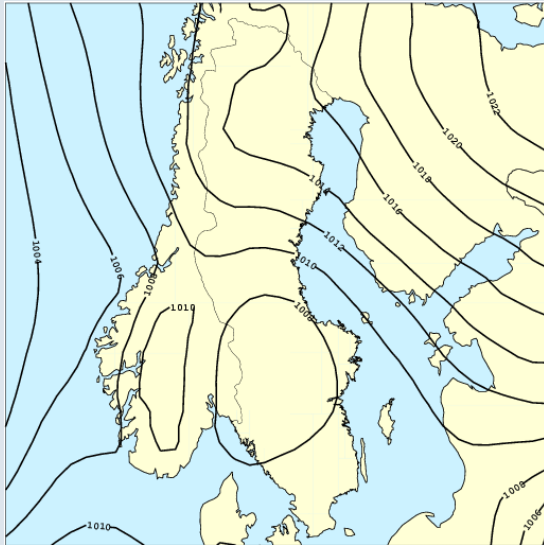
$$J(x) = J_b(x) + J_o(x) = \frac{1}{2}(x - x_b)^T B^{-1}(x - x_b) + \frac{1}{2}(y - Hx)^T R^{-1}(y - Hx)$$

4D-var



Prognosmodell

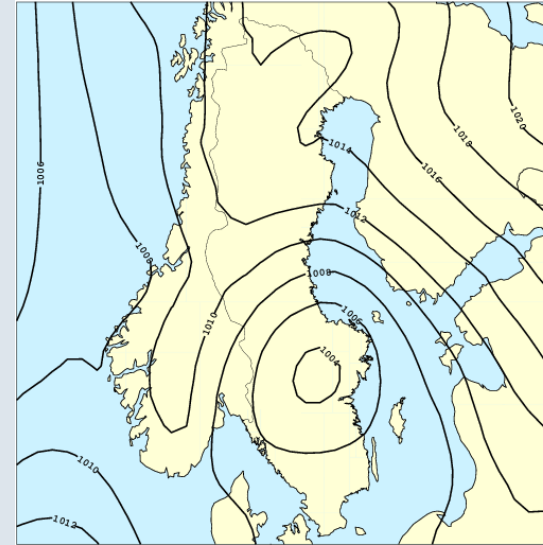
Analys



T, u, v, w, q, p_s



Prognos



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

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

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

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

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

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

$$p = qrT(1 + 0.61q)$$

Prognosmodell

- Randvillkor
 - Marken: Markschema, modell för marken och markanvändning.
 - Hav: Bl.a. oceanografisk modell
 - Geografiskt: Från ECMWF

Från modell till prognos

- En modellör kallar utdatat från modellen för en prognos.
- En meteorolog kallar utdatat från modellen för ett underlag till en prognos.
- Meteorologen tittar på utdata från många modeller (SMHI 3 modeller, ECMWF: 3 modeller, NCEP, UK Metoffice, DWD) men även många observationer.
- Meteorologen kombinerar resultaten (eventuellt modifierat) till en prognos.
- Detta görs i ett system som kallas PMP.

Följdjobb

- Hiromb: Oceanografisk cirkulationsmodell
- Swan: Vågmodell (GPL)
 - Official homepage: www.swan.tudelft.nl
 - Homepage: vlm089.citg.tudelft.nl/swan/index.htm
- Resultat kan ses på produkter.smhi.se/OceanWeb/
 - Se även www.seprise.eu
- Match: Atmosfärkemisk spridningsmodell
 - Körs på Pavel
- Plus massor av andra modeller som inte körs på superdator, exempelvis hydrologiska modeller (vatten mellan regn och hav), skogsbrandrisk och oljespridningsmodell

Match: exempel

BAPS-K Match-Reactor 2006033006+036 - Microsoft Internet Explorer provided by SMHI

Arkiv Redigera Visa Favoriter Verktyg Hjälp

Adress http://jbaps/JBaps/Match/Products/20060330-1147-43.600/Output/Metgraf/html/AtSource_Cs137_200603300600+036.html Gå till

Länkar MATCH expert MATCH prognosmet SSI nya hemsidan SSI gamla hemsidan SMHI Seatrack Web

[Up](#)

Area: AtSource

Match-Reactor simulation valid at **31 Mar 18 UTC 2006**, 31 hours after first release

Source 1: **Oskarshamn (Fire): Emission 0.08 TBq/s; Start 30 Mar 11 UTC 2006; Duration 9 hour(s)**

Valid Time: FRI 31 MAR 2006 18UTC
1 Hour Cs137 concentration

SMHI THU 30 MAR 2006 06UTC+036

1e-3 0.01 0.1 1 10 100 1000 1e+4
Bq/m³

Valid Time: FRI 31 MAR 2006 18UTC
Total accumulated Cs137 deposition

SMHI THU 30 MAR 2006 06UTC+036

0.1 0.3 1 3 10 30 100 300 1000
kBq/m²

Valid Time: FRI 31 MAR 2006 18UTC
Time-integrated Cs137 concentration

SMHI THU 30 MAR 2006 06UTC+036

3e-4 3e-3 0.03 0.3 3 30 300
kBq*h/m³

Map 1: **1 Hour Cs137 concentration (Bq/m³) near ground**

Map 2: **Total (dry+wet) accumulated Cs137 deposition (kBq/m²) from start of forecast**

Map 3: **Time-integrated Cs137 concentration (kBq*h/m³) from start of forecast**

Conversion Table for integrated concentrations

Klar Local intranet

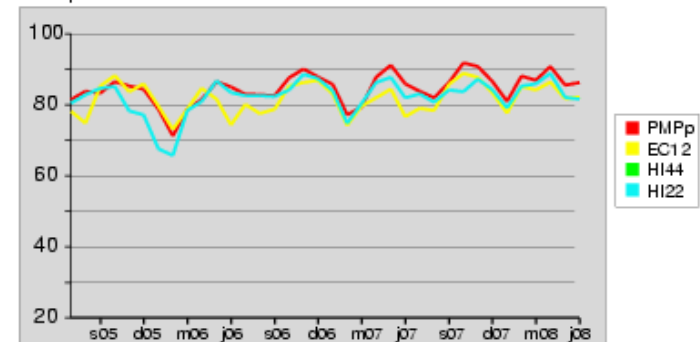
Validering

- Vad är en bra prognos?

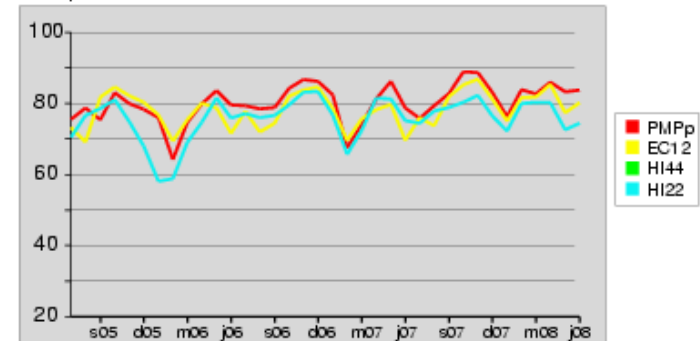
Iddsene – temperatur

20050601 – 20080531

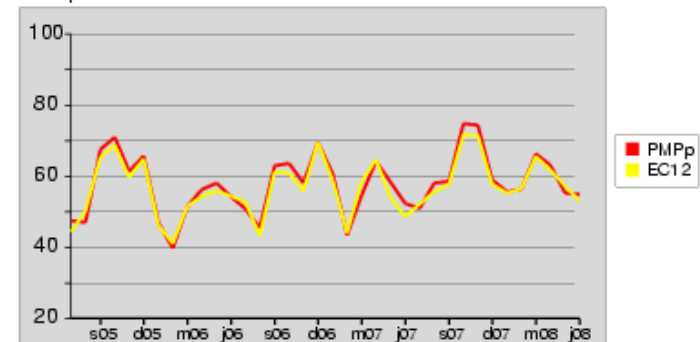
Temperatur 2m D0 12 utc



Temperatur 2m D+1 12 utc



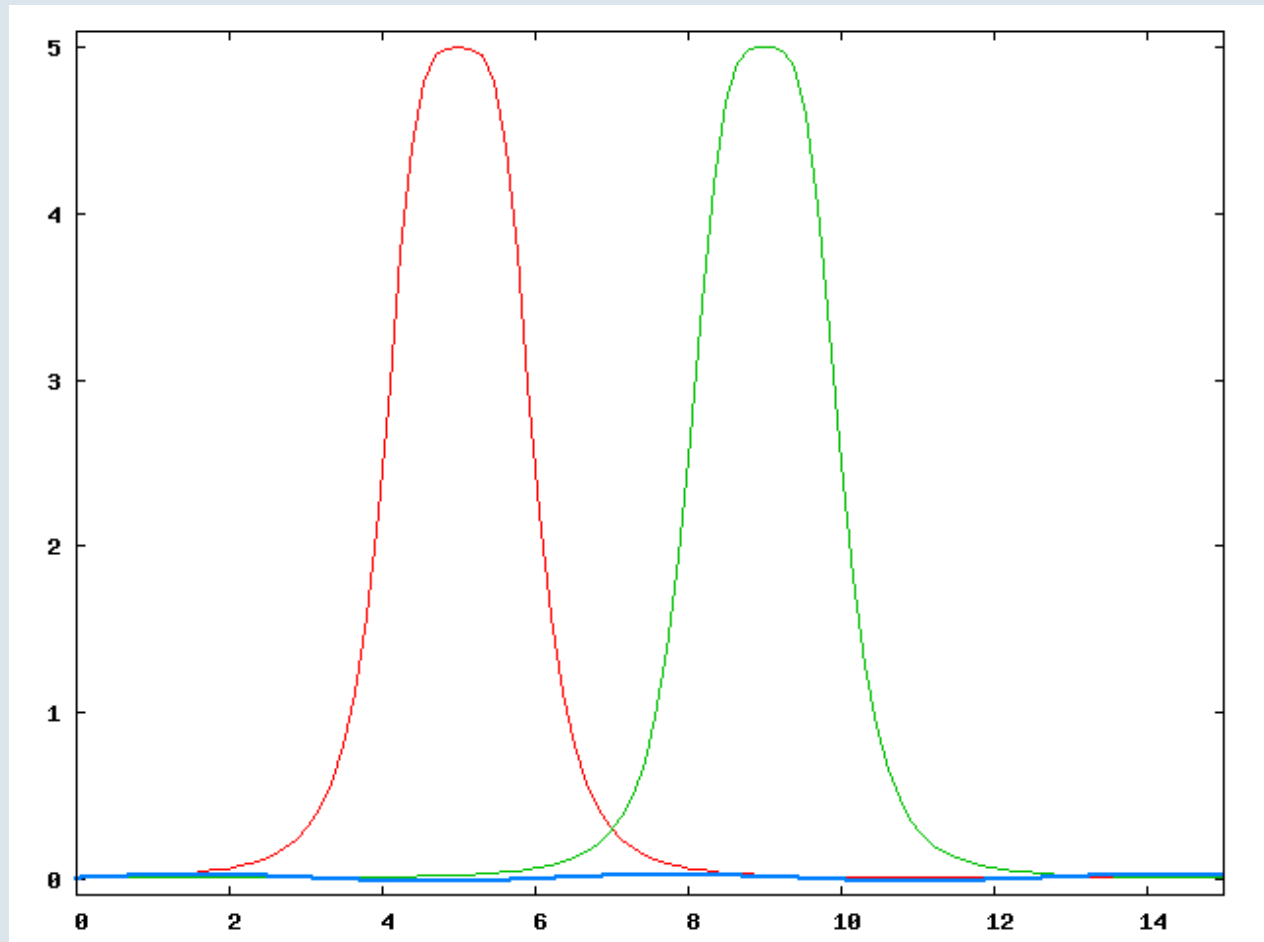
Temperatur 2m D+5 12 utc



En gratis presentation över de träffprocent som återfunnits på sidan 1.0 sedan 3 år tillbaka.
Med temperatur avses här middagsvärdet kl.12 utc.
Daglig uppdatering av kurvorna kan beskådas på <http://www-int.smhi.se/sp/verit/webver.ht>

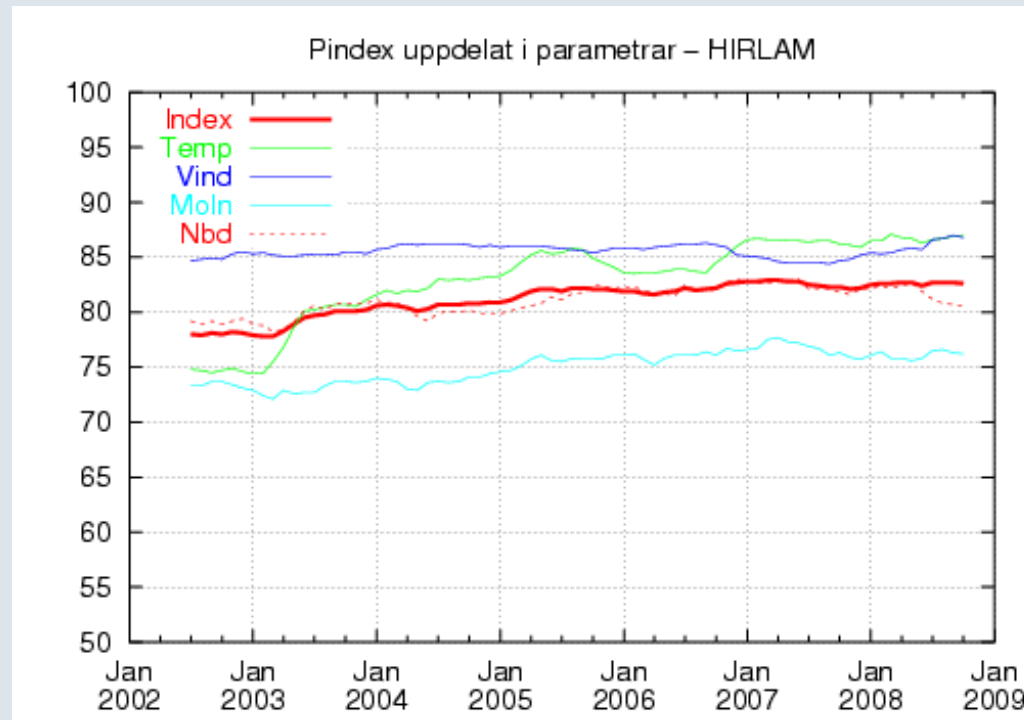
Dubbelfel

- Röd: observation
- Grön och blå: olika prognoser
- Vilken är bäst?



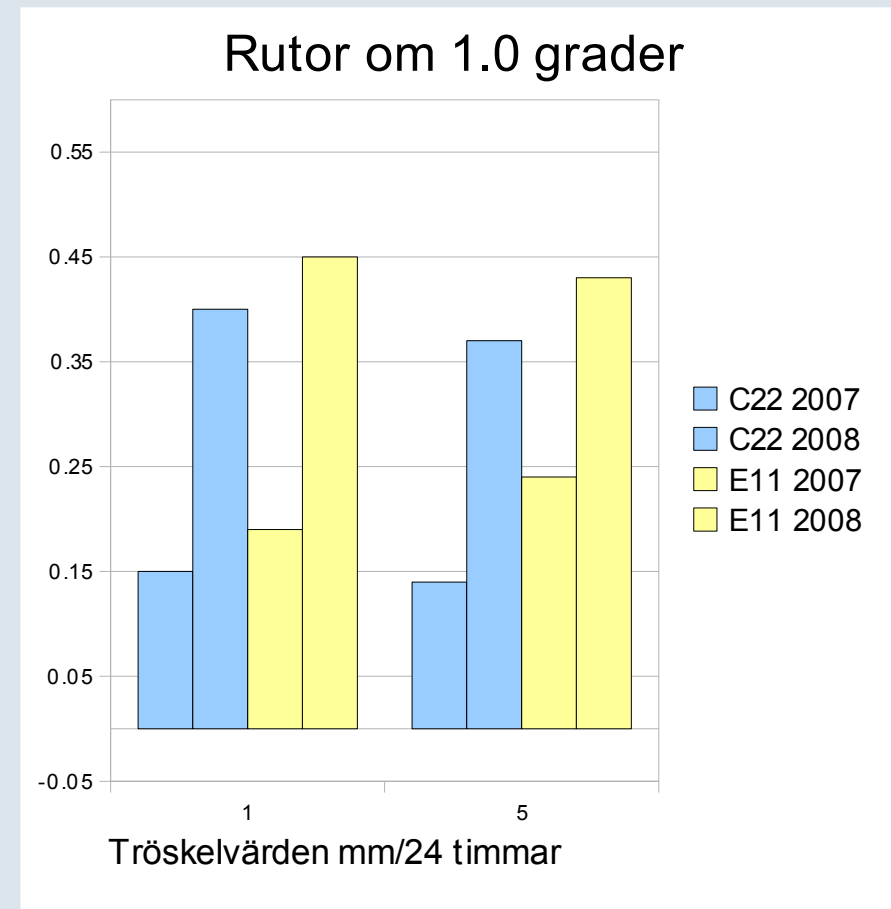
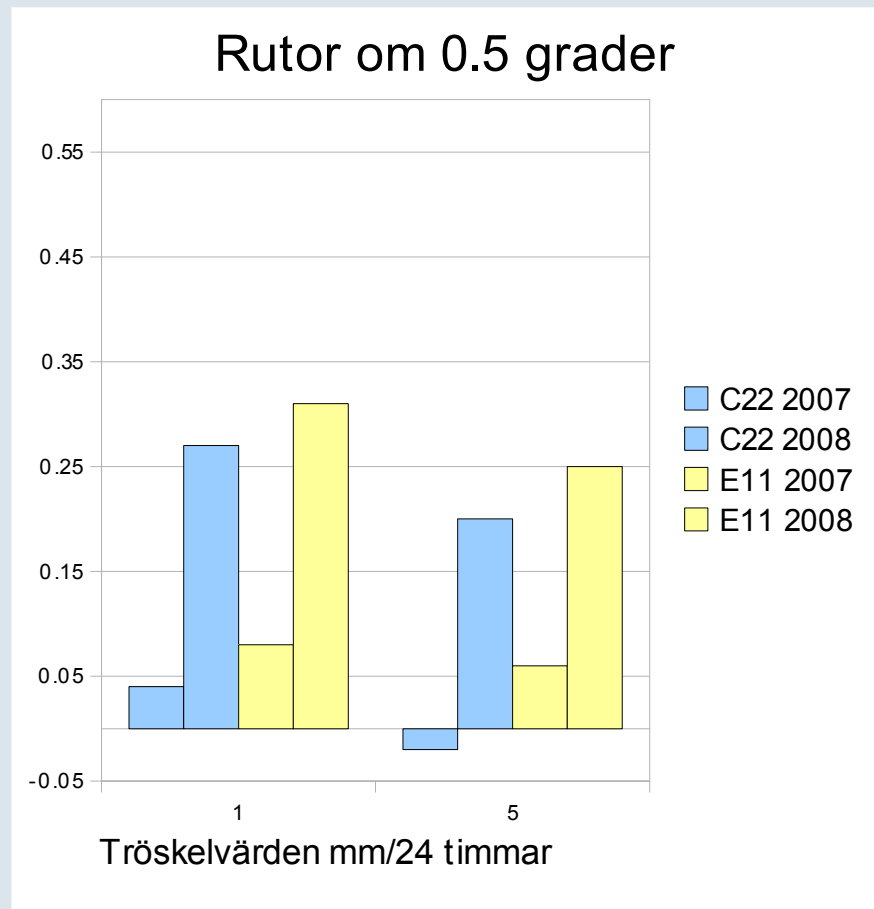
Prognosindex

- Sammanvägning av flera kvalitetsmått



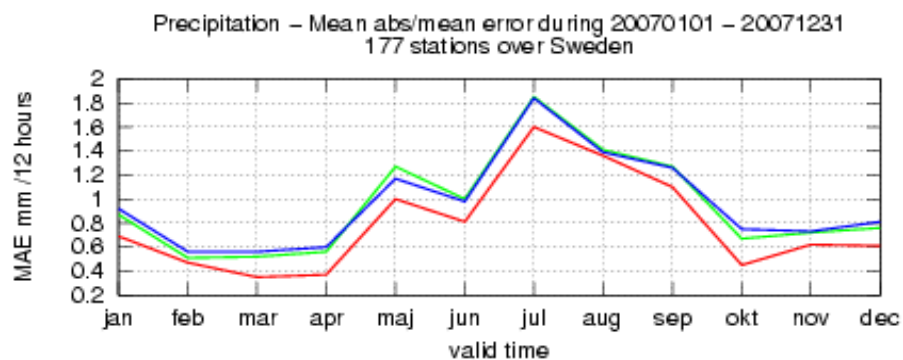
Nederbörd – FBSS

- Mäter geografisk precision

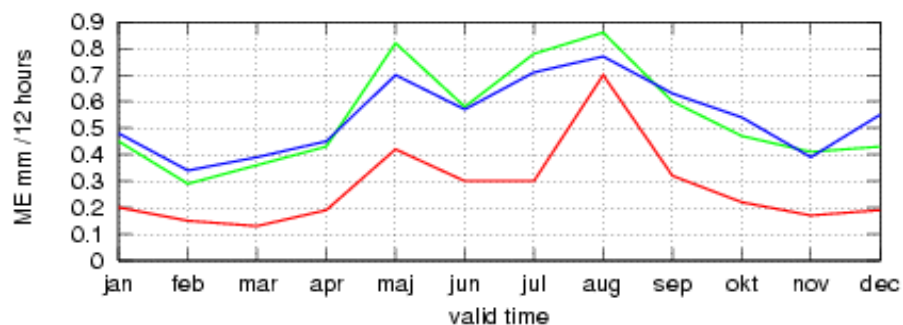


Nederbörd – MAE och ME

2007

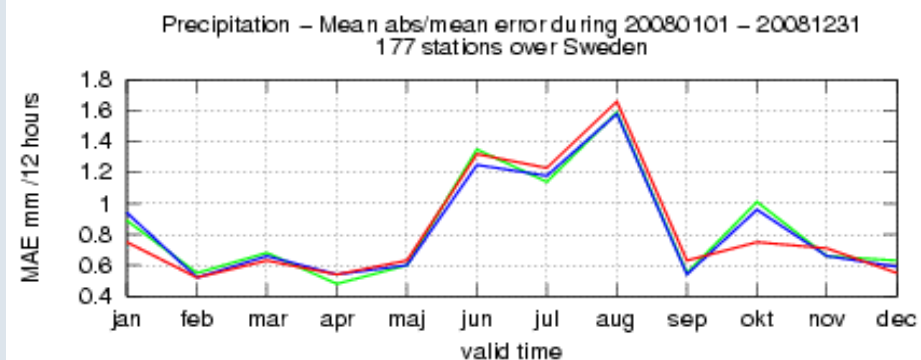


Hirlam11 00+018 MAE= 0.956
Hirlam22 00+018 MAE= 0.970
Ecmwf 12+030 MAE= 0.789

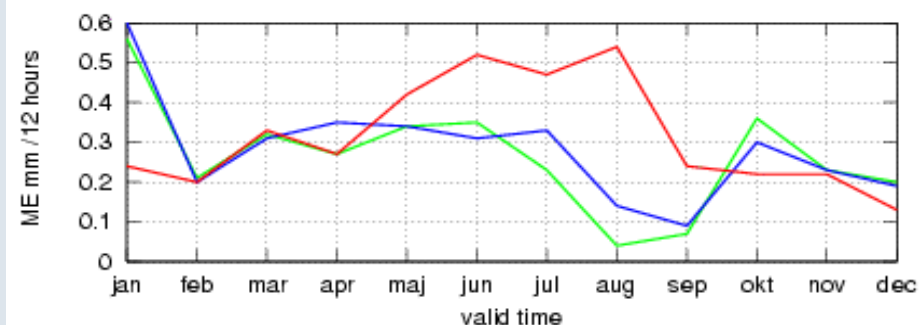


Hirlam11 00+018 ME= 0.541
Hirlam22 00+018 ME= 0.545
Ecmwf 12+030 ME= 0.274

2008



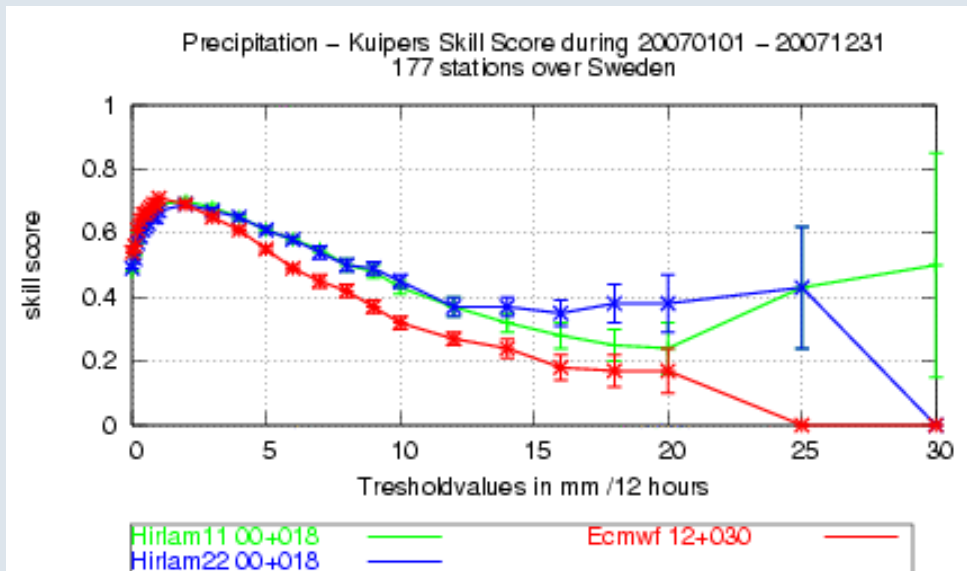
Hirlam11 00+018 MAE= 0.840
Hirlam22 00+018 MAE= 0.833
Ecmwf 12+030 MAE= 0.823



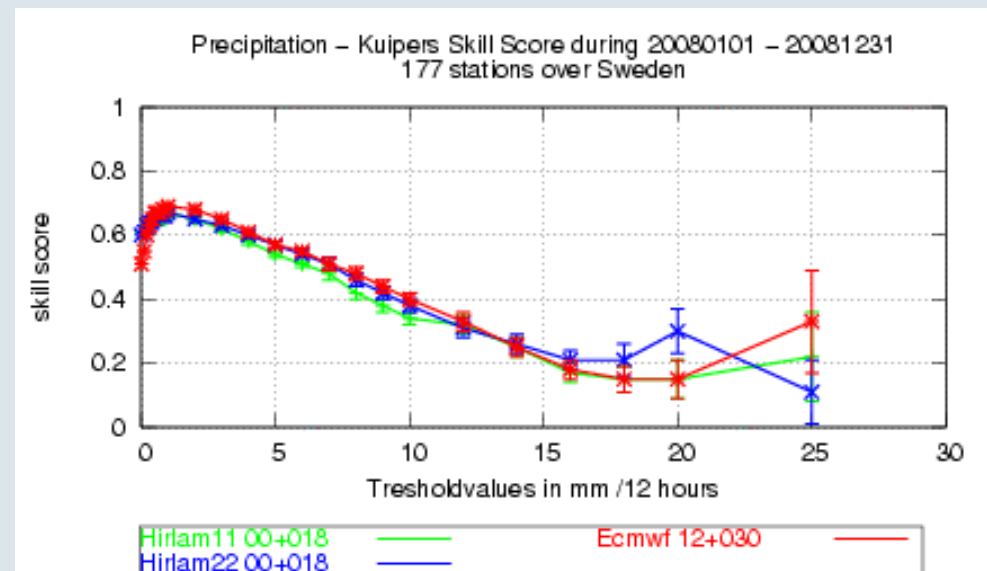
Hirlam11 00+018 ME= 0.267
Hirlam22 00+018 ME= 0.284
Ecmwf 12+030 ME= 0.317

Nederbörd – KSS

2007



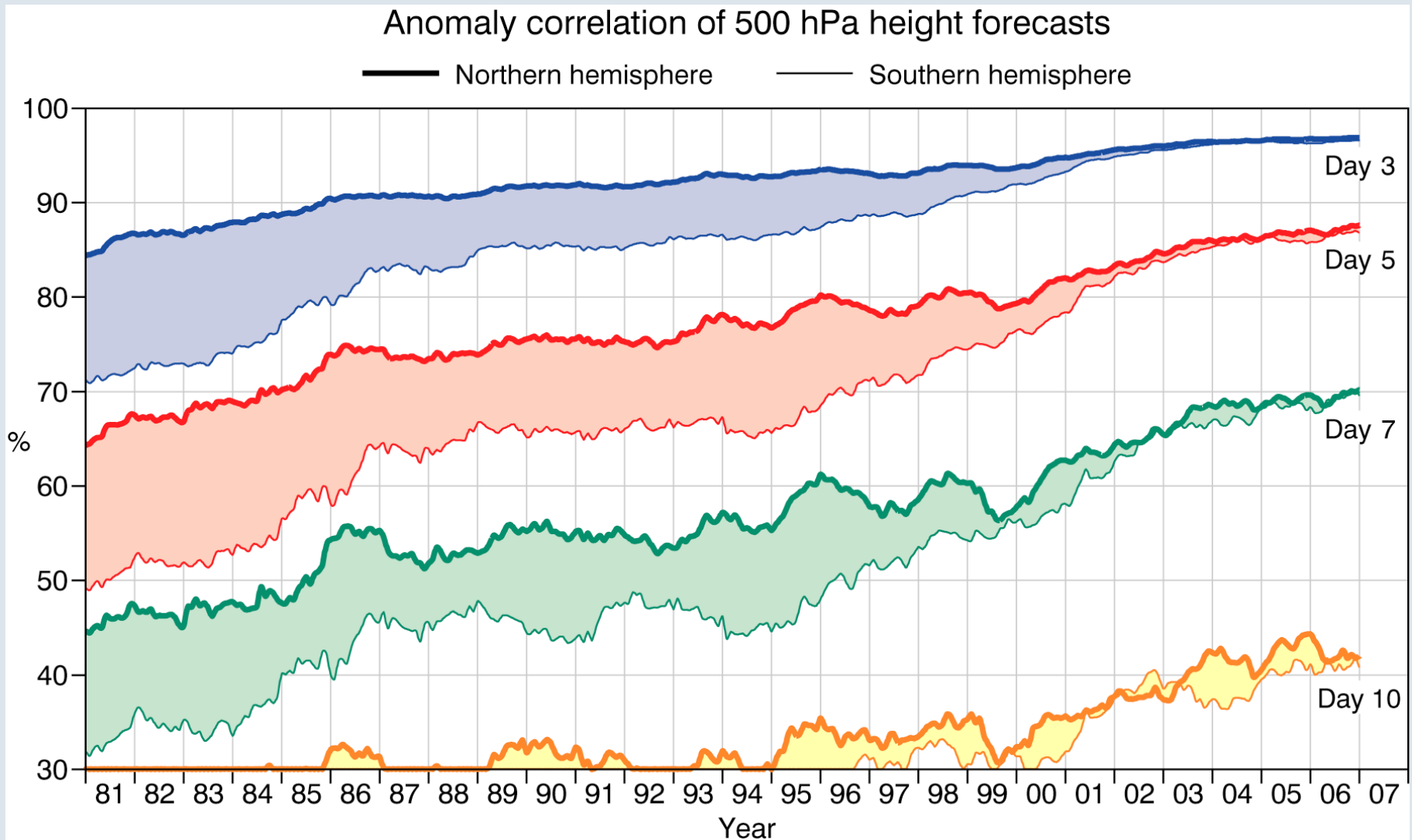
2008



Validering, slutsats

- Olika mått säger olika saker.
- Man måste förstå vad måtten mäter.
- Man måste titta på flera mått.

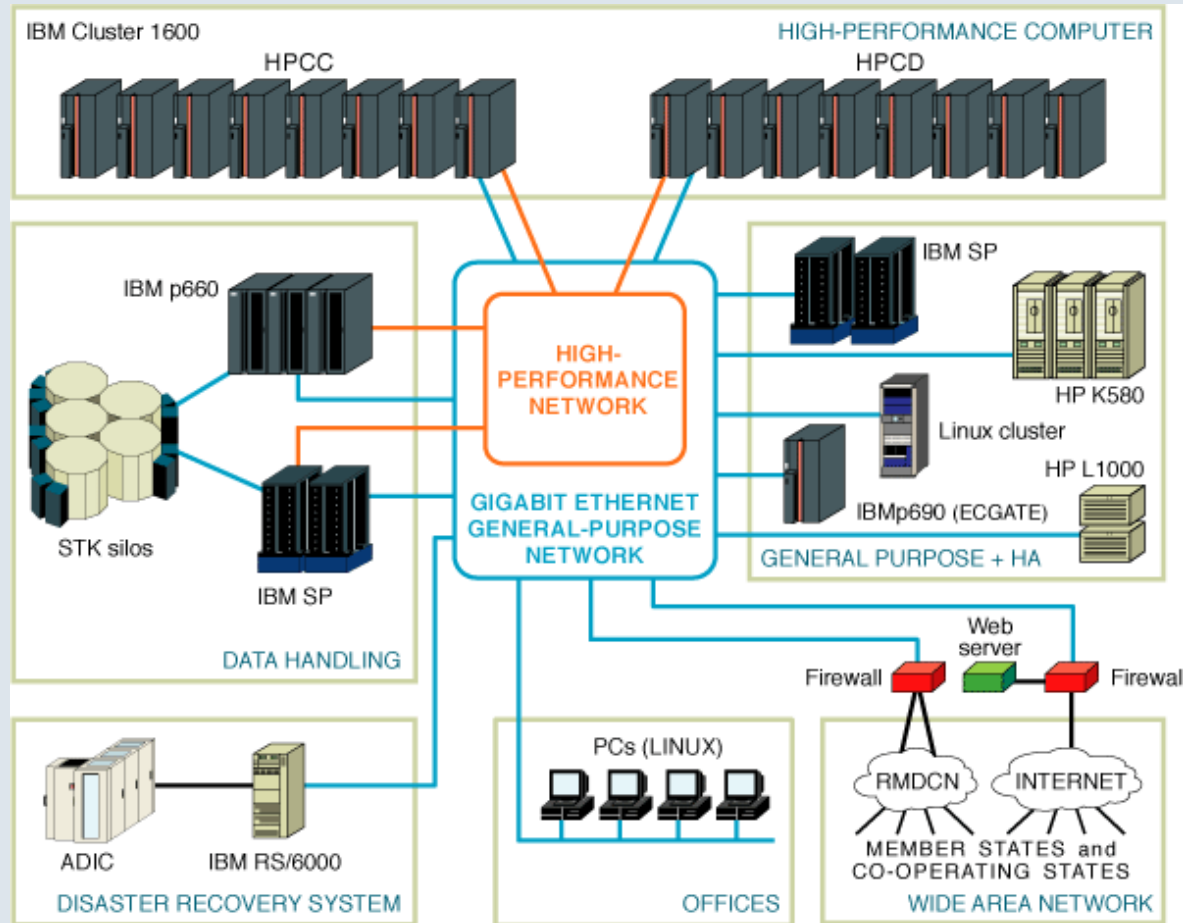
Modellkvalitet ECMWF



Mer om ECMWF

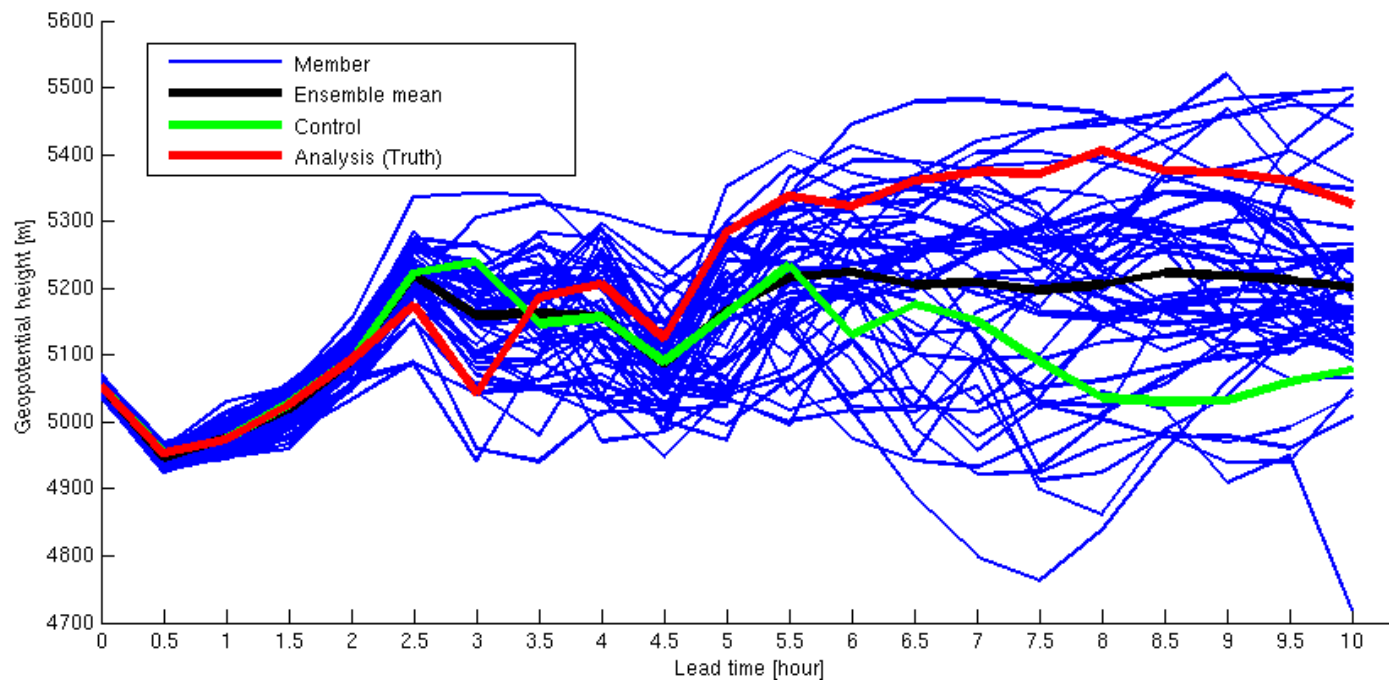
- European Center for Middle range Weather Forecasts
- Samarbete mellan europeiska vädertjänster
- Finns i Reading, England
- www.ecmwf.int
- Stort arkiv
 - Petabyte 17 okt 2004
 - Exabyte 2019

ECMWF, datorsystem



Bättre prognos med mer datorkraft: Ensembleprognos

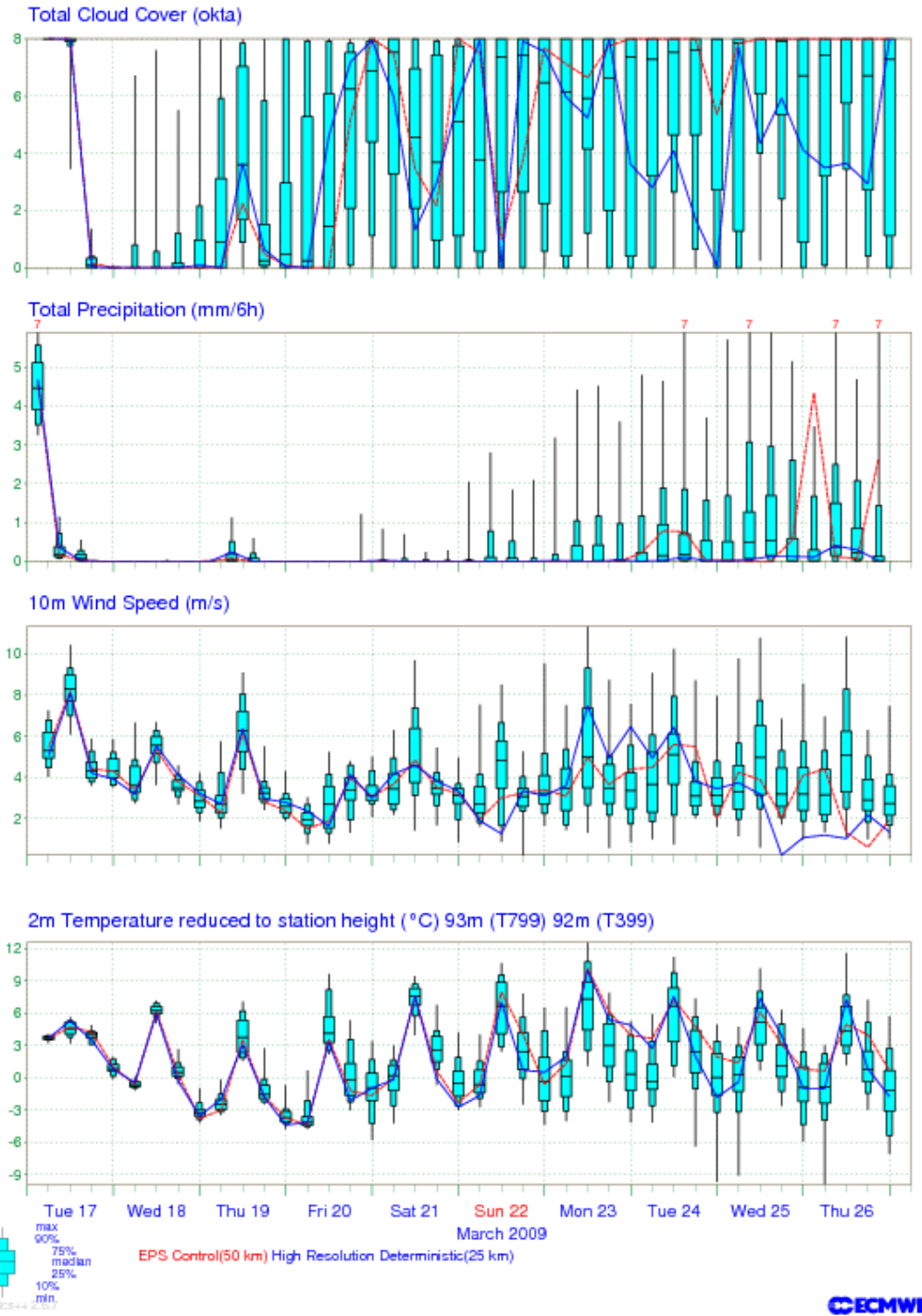
- Stör analysen systematiskt (analysfel)
- Stokastisk fysik (modellfel)
- ECMWF: 51 ensemblemedlemmar, 15 dygn



Prognos för Linköping

- Referenstid: 2009-03-17 00 UTC

EPS Meteogram
 Linköping (38m) 58.2° N 16° E
 Deterministic Forecast and EPS Distribution Tuesday 17 March 2009 00 UTC



Ensemble på annat sätt

- Flera olika modeller: multimodellensemble.
- En modell, olika referenstidpunkter: Lagged ensemble.
 - Kallas även poor mans ensemble.

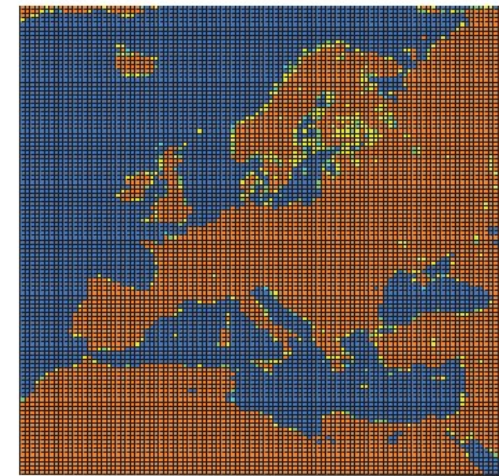
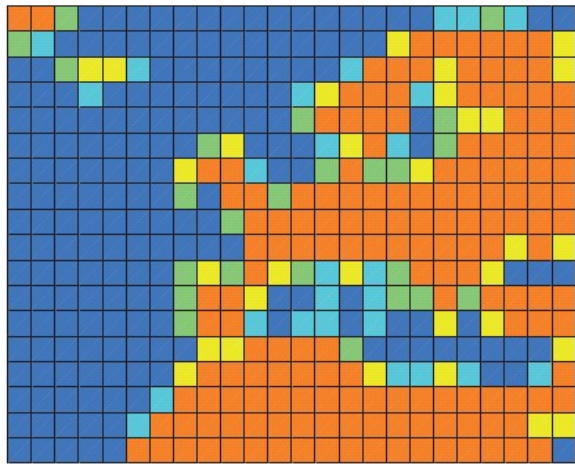
Några ECMWF-produkter

- Månadsprognoser
 - 32 dagar, en gång per dag
 - Ensemble med 51 medlemmar
- Säsongspromnoser
 - 7 månader, en gång per månad.
 - Ensemble med 41 medlemmar.
 - 13 månader, fyra gånger per år.
 - Ensemble med 11 medlemmar.
- ERA-40
 - Återanalys av åren 1957 till 2002

Klimat

	Startad	#cpu-kärnor	
• Bore	juni 2008	448	Huvudmaskin
• Blixt/Pavel	feb 2005	174	Backup
• Tornado	aug 2005	264	Klimat
• Dunder	sep 2005	104	
• Gimle	juni 2008	672	

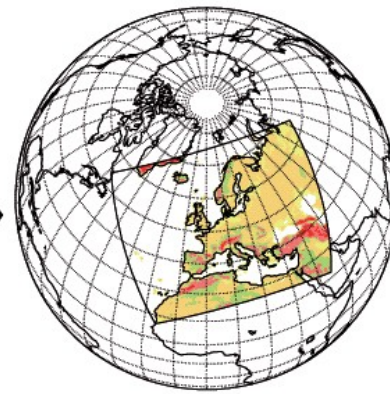
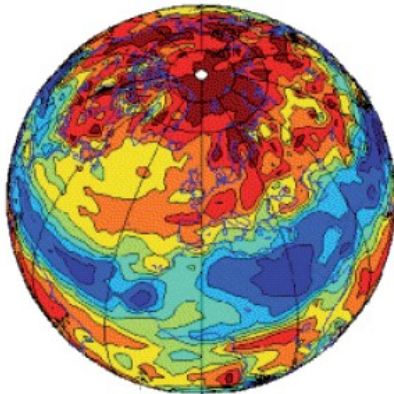
Rosby Centre: Dynamisk nedskalning av GCM-data med RCM



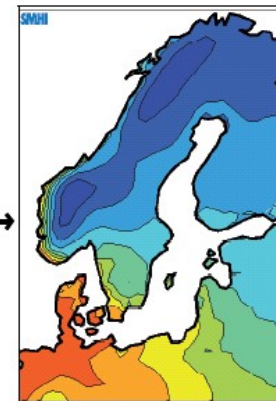
Global klimatmodell
ECHAM4/OPYC3, HadAM3H

Regional klimatmodell
RCAO, RCA3

Utsläppsscenario
SRES A2, SRES B2

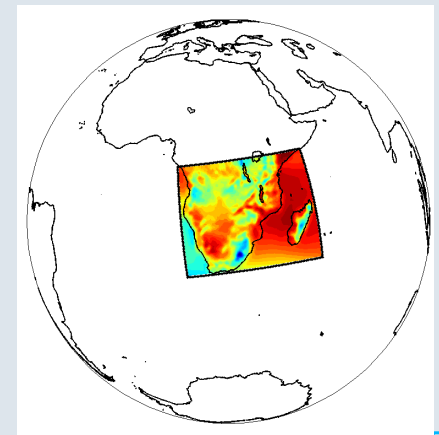
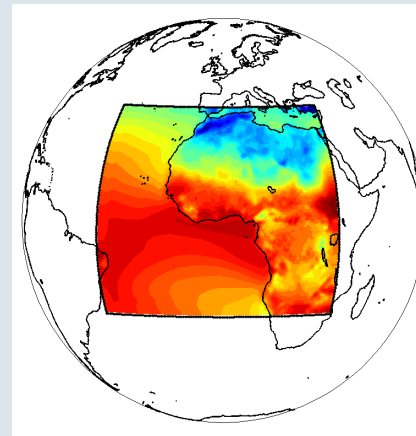
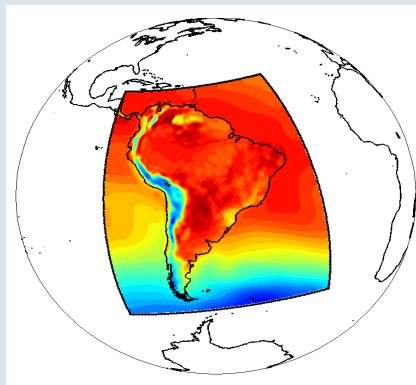
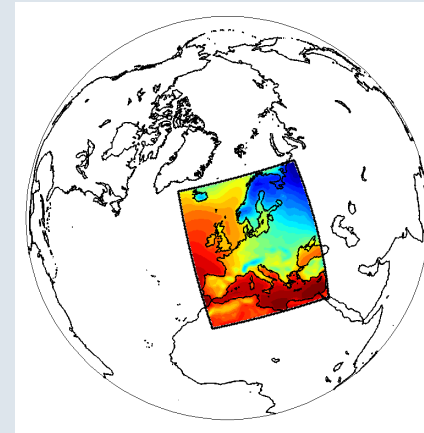
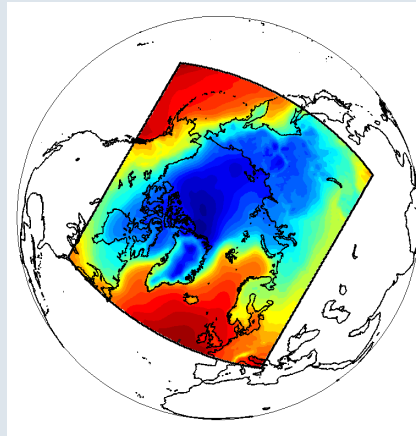
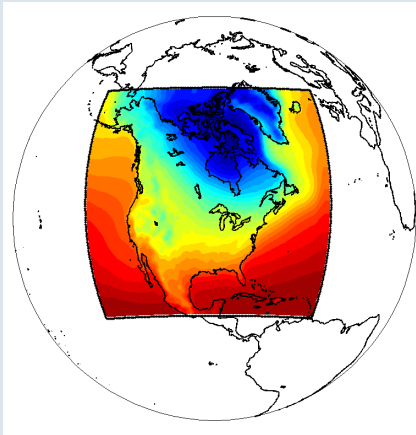


Klimat-
variabler



www.smhi.se

The Regional Modelling System is used globally!



Klimatmodeller

- 150 år modelltid
 - 50 km, 100×100×25 gridpunkter, 1-1,5 vecka
 - 25 km, 200×200×25 gridpunkter, 6 veckor
- Flera terabyte utdata per körning.

Rosby Centre: Exempel F&U

- Undersöka sjöars inverkan på klimat.
- Utveckling av ny klimatmodell, EC-EARTH, i samarbete med andra europeiska vädertjänster och universitet.

Forskning och utveckling

	Startad	#cpu-kärnor	
• Bore	juni 2008	448	Huvudmaskin
• Blixt/Pavel	feb 2005	174	Backup
• Tornado	aug 2005	264	Klimat
• Dunder	sep 2005	104	FoU
• Gimle	juni 2008	672	FoU

Exempel på F&U

- Förbättring av nuvarande prognosmodell, HIRLAM.
- Förbättring av analysen (4D-var, VarAn).
- Test och utveckling av ny prognosmodell, ALADIN, HARMONIE, ALARO
- Spridningsmodell för luftföroreningar, MATCH, uppdragsverksamhet, scenariekörningar och kartläggning.
- Algblomningsprognos, SCOB1
- Miljömässigt säkra fartygsleder: BalticWay

Slut!

