

Johan Södling 2013-10-16

Väderprognosmodeller och deras begränsningar

Kort om mig

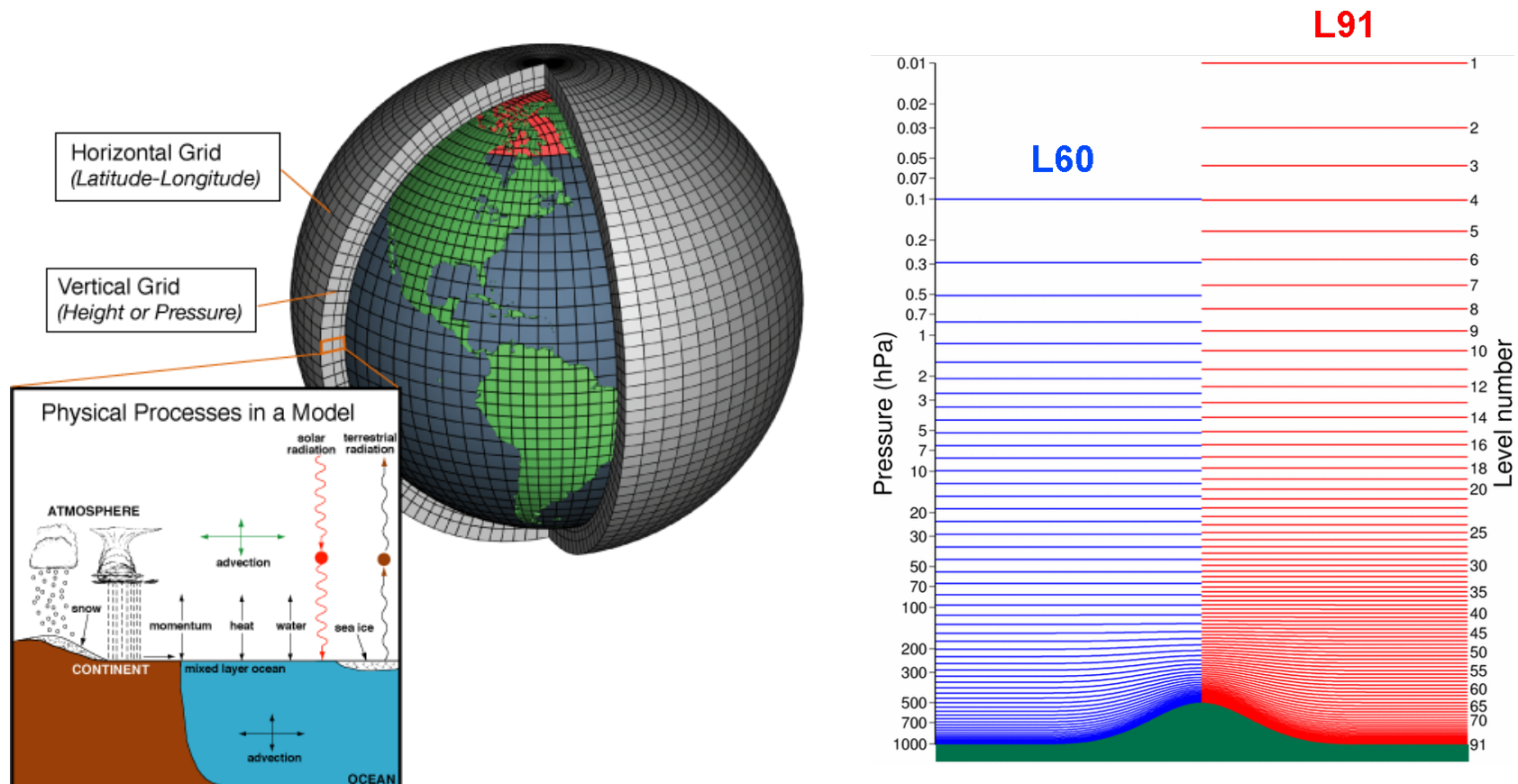
- Jag jobbar på SMHI i Norrköping på Affärsavdelningen, utvecklingsenheten som statistiker.
- SMHI står för "Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut"
- SMHI är en statlig myndighet som levererar beslutsunderlag till kommuner, privatpersoner, företag, med mera.
 - SMHI är tvådelad, dels statligt finansierad, samt affärsfinansierad.
- Det är viktigt att påpeka att SMHI gör mycket mer än att utfärda värderprognoser. Vi utvecklar ny metodik för väderprognoser, forskar om klimatförändringar, vattenstånds-prognoser, vattenförings-prognoser, m.m.
- Jag har en magister i matematik från Linköpings universitet.
- Jag kom in på SMHI via mitt exjobb, och blev sedan anställd där.

Introduktion till NWP

- NWP står för *Numerical Weather Prediction*, och använder matematiska modeller samt atmosfärens aktuella tillstånd för att uppskatta dess framtida tillstånd.
- En NWP-modell kan täcka hela jorden, eller ett begränsat område.
- Gemensamt för NWP är att de gör ett antal approximationer och förenklingar av atmosfären, för att göra det beräkningsmässigt praktiskt och analytiskt möjligt att se hur den kommer att utvecklas framåt i tiden.

Introduktion till NWP

- NWP-modeller delar in atmosfären i ett antal *boxar* i alla 3 rumsdimensioner. Nedan visas en bild över en global NWP:s indelning av atmosfären:

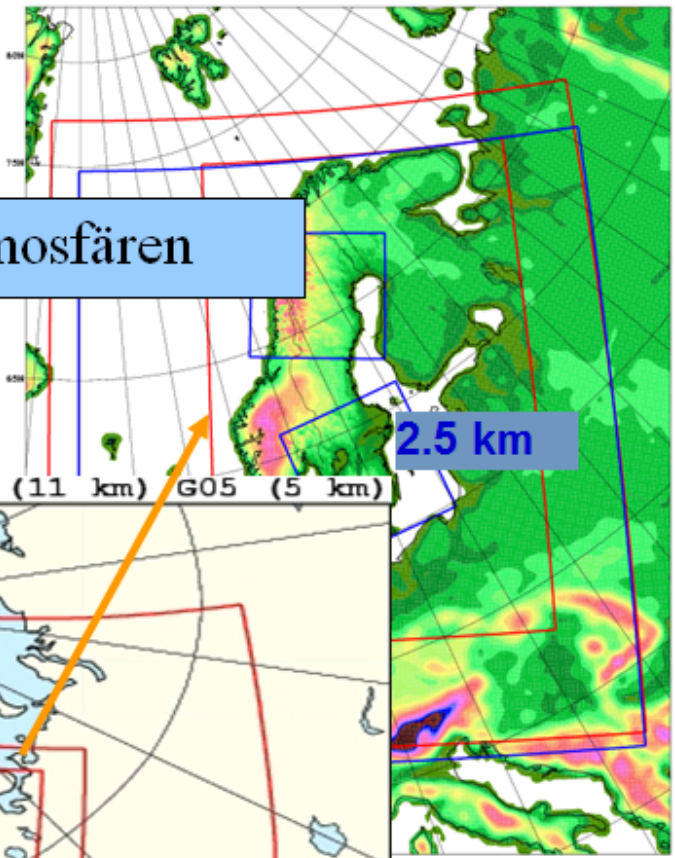
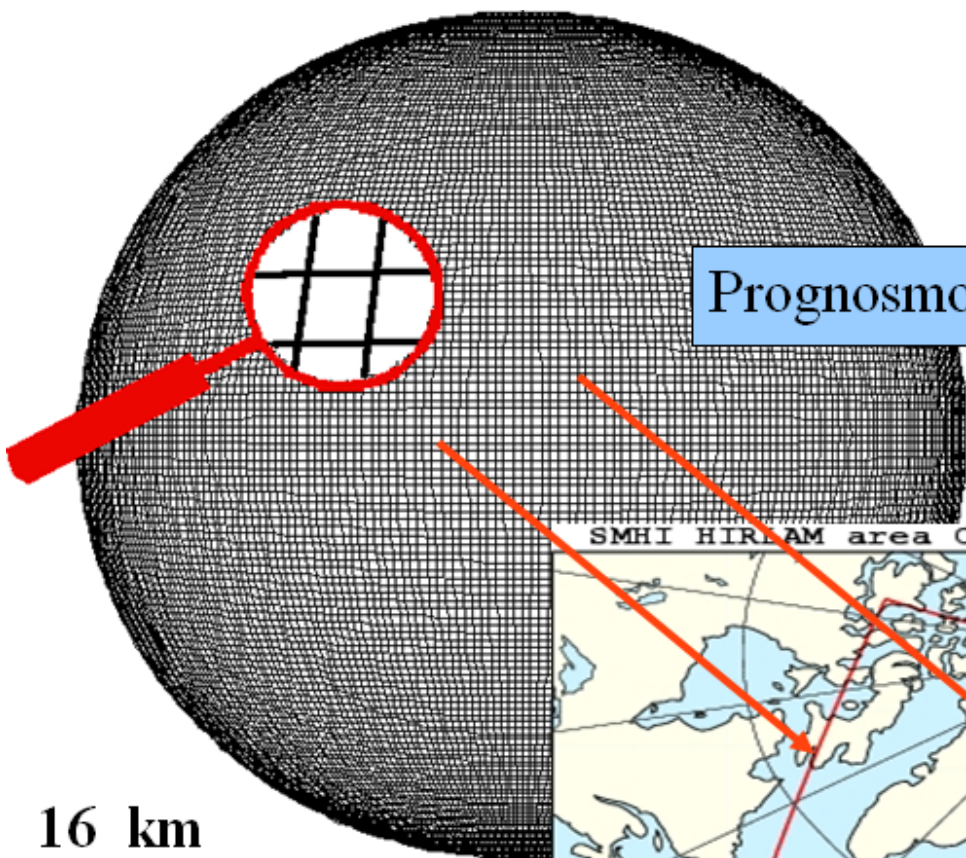


Introduktion till NWP

- I en NWP är tiden indelad i diskreta steg. Modellen stegar framåt i tiden i dessa steg, och för varje tidssteg uppdateras modellens variabler.
- I var och en av dessa boxar så beräknas ett antal meteorologiska variabler, såsom lufttryck och temperatur. Efter varje tidssteg så byter boxarna information med varandra och variabelvärdena uppdateras.
- Hur hög rumsupplösning man har på sin NWP är i praktiken enbart begränsat av ens beräkningskraft. Eftersom datorers beräkningskraft ökar varje år så blir rumsupplösningen på NWP-modeller högre och högre.
- Om man begränsar sin NWP till ett visst område, t.ex. Norden, så kan man köra på högre rumsupplösning över detta område än vad man kunnat göra om man kört modellen globalt.
- Om man ökar rumsupplösningen i en NWP så bör man också öka tidsupplösningen, för att bättre kunna fånga de utbyten som sker mellan boxarna på denna finare skala.
 - Det finns ett villkor som heter Courant–Friedrichs–Lewy som måste uppfyllas för konvergens i diff-ekvationerna. Detta villkor ser ut såhär:

$$C = \frac{u\Delta t}{\Delta x} \leq C_{max}$$

Prognosmodeller för atmosfären



SMHI HIRLAM area C22 (22 km) E11 (11 km) G05 (5 km)

16 km
ECMWF

22 km
11 km
5 km

HARMONIE

HIRLAM

I-D Hi



Introduktion till NWP

- Utväxlingen av data mellan boxar, samt hur modellens tillstånd uppdateras, styrs av ett system av differentialekvationer, till exempel:

Momentum equation:	$\frac{d\mathbf{V}}{dt} = -\alpha\nabla p - 2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{V} - g\hat{\mathbf{k}} + \mathbf{F}$
Mass-conservation:	$\frac{\partial\rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho\mathbf{V})$
Ideal gas-law:	$p\alpha = RT$
1st law of thermodynamics:	$Q = C_p \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dp}{dt}$
The eq. for conservation of water:	$\frac{\partial\rho q}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho\mathbf{V}q) + \rho(E - C)$

- Navier-Stokes ekvationer är basala i NWP-modeller.

Introduktion till NWP

- Som för alla modeller som förändras i tiden så behöver man i NWP-modeller ange ett initialtillstånd för alla ingående variabler.
- För NWP vill man ha initialtillstånd för t.ex. temperatur, lufttryck, luftfuktighet, med mera...
- För att få fram initialtillståndet gör man en *data-assimilering*, där man utnyttjar flera observationsdatakällor för att få en uppfattning av atmosfärens aktuella tillstånd. Man kan använda sig av t.ex.
 - Satellit
 - Radar
 - Automatstationer
- Hur man sedan bäst använder all denna indata för att skapa initialtillstånd för alla boxar som utgör NWP-modellen är en hel vetenskap, och är ett aktivt forskningsområde.

Introduktion till NWP

- På samma sätt som initialtillståndet kan ses som randvillkor i tiden, så behöver modellen randvillkor i rummet om den körs över ett begränsat område.
- Dessa randvillkor kommer oftast från en global modell som körs med grövre upplösning. I praktiken gör man alltså så att man kör en global modell med ganska så grov upplösning (säg 25 km) parallellt med sin högupplösta modell (säg 5 km), och för varje tidssteg hämtar randvillkoren för den högupplösta modellen från den globala modellen. Motivationen bakom detta är att minska beräkningsbehovet, att köra hela globala modellen på 5 km upplösning skulle bli för beräkningstungt. Dessutom kan beräkningstiden överstiga prognostillfället.

Introduktion till NWP

- Många meteorologiska processer är för fina för att fånga på den rumsskala som modellen kör på. T.ex. bildning av cumulusmoln sker på en mindre rumsskala än vad modeller idag kör på.
- För att kunna modellera dessa processer använder man något som kallas *parametrisering*. Detta går ut på att man istället för att modellera dessa processer explicit i modellen så approximeras processerna och sker på en "sub-grid"-skala. Denna förenklade processmodell kräver även att man anger ett antal numeriska parametrar inuti modellen.
- Ett ytterligare exempel på parametrisering är fallhastigheten hos regndroppar. I en enkel NWP-modell skulle denna hastighet kunna sättas till ett fixt värde v_{prec} . Parametern v_{prec} blir då en i modellen ingående parameter, och om vi ändrar dess värde så påverkar vi väderutvecklingen i NWP-modellen.

Osäkerhet i NWP-modeller

- Nu när vi har lite bakgrundskoll på NWP-modeller så kan vi börja spekulera i potentiella felkällor. Dessa fel kommer att ackumulera, vilket gör det svårare och svårare att göra en tillförlitlig prognos ju längre fram i tiden man tittar. Dessa felkällor begränsar alltså vår möjlighet att utfärda pålitliga prognoser hur långt fram i tiden som helst.

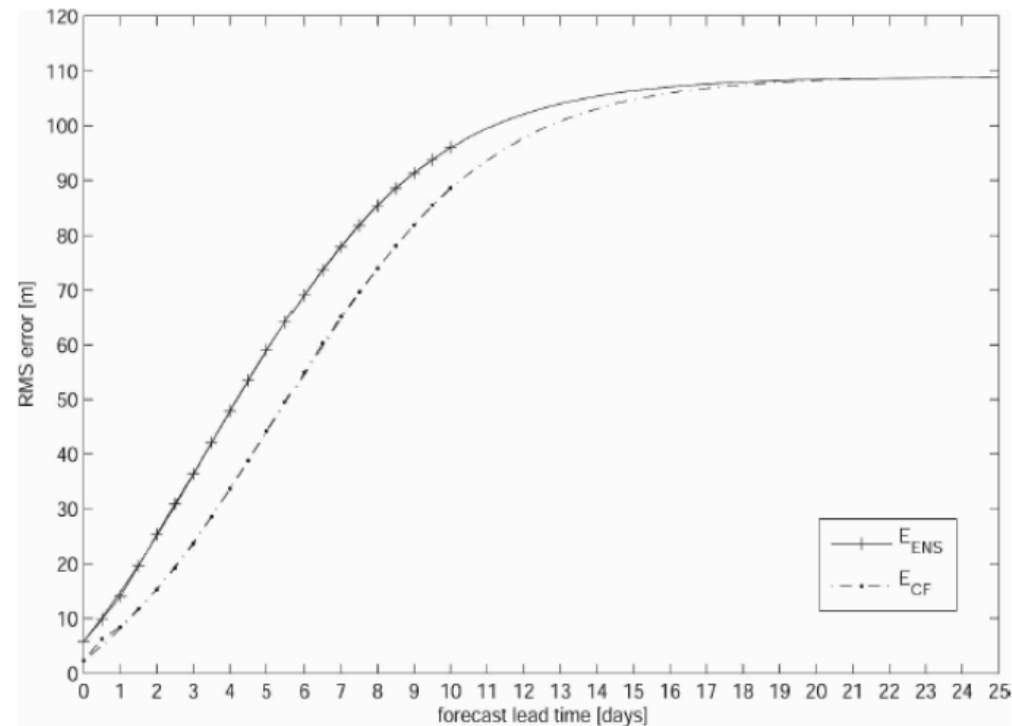


FIG. 4. Rmse of E_{ENS} and E_{CF} as a function of lead time extrapolated beyond 10 days for the time period DJF 2004/05.

Osäkerhet i NWP-modeller

- Det finns flera svårigheter med att få ett bra initialtillstånd.
 - De mätningar man har är troligen inte på samma grid som modellen, så någon form av interpolation krävs ofta. Hur denna ska utföras är inte trivialt.
 - Fel i mätdata
 - Om man baserar initialtillståndet på flera datakällor, t.ex. både radar och satellit, kan dessa ibland ge konflikterande information. Hur man bäst viktat ihop de olika datakällorna är också svårt.

- Om man kör sin modell över ett begränsat område så brukar man hämta randvillkoren från en global modell med lägre upplösning. Denna modell är (högst) troligen inte felfri, utan här introduceras fel i modellens ränder.

Osäkerhet i NWP-modeller

- Diskretiseringen av rum och tid introducerar ett fel i modellen. Ju grövre upplösning man har, desto svårare har modellen att fånga småskaliga händelser såsom nederbördsskurar.
- Det är lockande att tänka "högre rumsupplösning => bättre prognoskvalitet". I huvudsak är detta sant, med högre upplösning så fångar man småskaliga processer bättre, men högre rumsupplösning tenderar också att accelerera felfortplantningen ju längre fram i tiden man tittar. Detta kan bland annat förklaras av att risken för fasfel är större om man har en högre upplöst modell.
- Algoritmerna i modellen kan introducera fel i output. Approximativa samband, numerisk lösning av differentialekvationer, trunkering av variabelvärden, avrundade värden på konstanter, etc. kan alla bidra till att öka felfortplantningen.
 - T.ex. så lider diff-ekvationssystemet av den så kallade *fjärilseffekten*, dvs att en liten förändring i initialtillstånd ger stor effekt på framtida tidsstegs output.

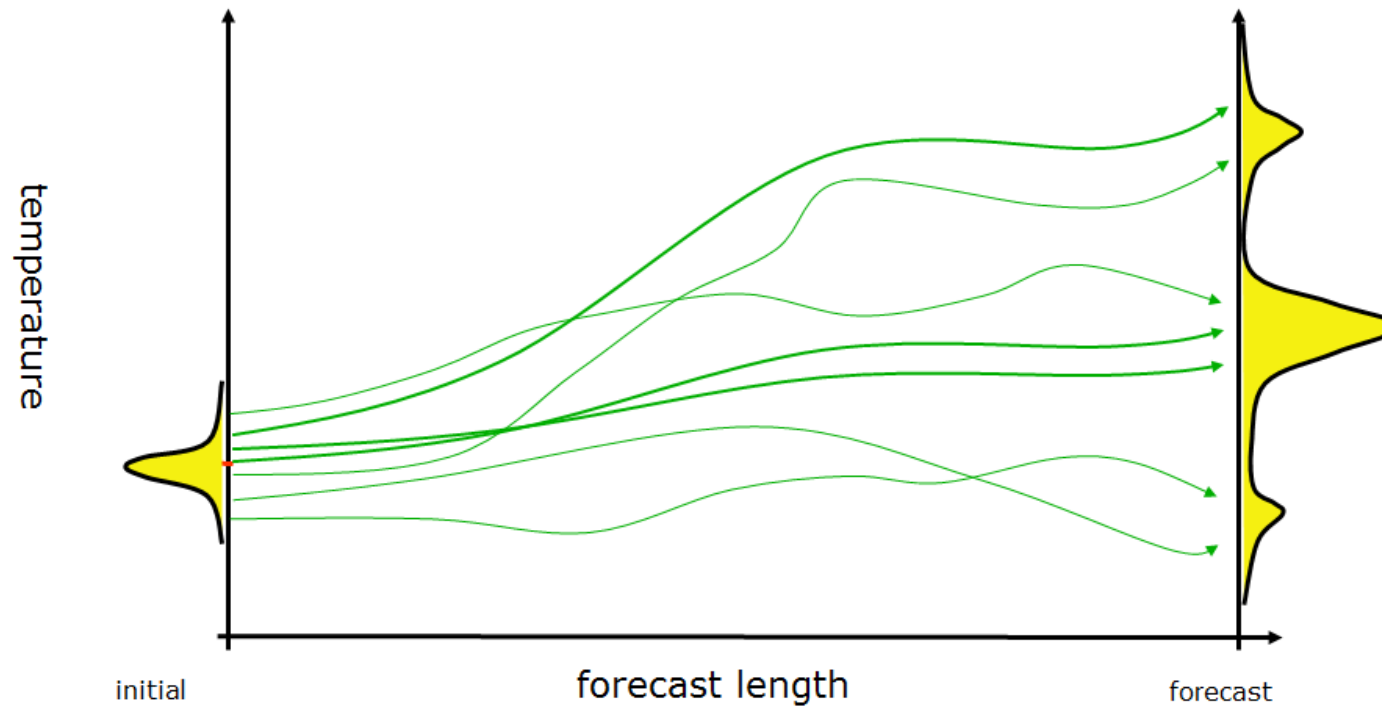
Osäkerhet i NWP-modeller

- Parametriseringen av modellen påverkar också fel i output. I praktiken har en NWP-modell väldigt många ingående parametrar, och många styr approximativa samband som det är svårt (omöjligt) att veta det korrekta värdet för. Därför finns det ofta flera olika parametervärden som är "lika troliga" men som ger olika väderutvecklingar.
- Slutligen så är atmosfären kaotisk, och hur bra metoder, initialtillstånd eller starka datorer vi än får så kommer det (högst troligen) alltid att finnas en gräns för hur långt fram i tiden man kan göra detaljerade prognoser. Eftersom systemet är kaotiskt så kommer felen, hur små de än är, att fortplanta sig ju längre fram i tiden man tittar, och till slut så har man helt förlorat signalen i prognosen.

Metoder för att uppskatta prognosfelet

- En vanlig approach för att få fram vad som är "brus" i en NWP och vad som är en signifikant signal är att göra en så kallad Ensemble-prognos. I princip går denna teknik ut på att köra flera modelluppsättningar parallellt över samma område och tidsperiod. Mängden av alla dessa modeller kallar man för en *ensemble*.
- Oftast så kör man först en modell med alla "vanliga" inställningar. Denna körning kallas för referenskörningen.
- Sedan perturberar man t.ex. initialtillståndet och/eller parametreringen för att få en något annorlunda, men lika trolig, modell. På detta sätt genererar man alla ensemble-medlemmar.
- Man har nu ett antal, i praktiken kanske 20-30, NWP-modeller som man kör över sitt område. Genom att titta på spridningen i output från dessa modeller så får man en bild över osäkerheten i atmosfären. Man får även en bättre inblick i vad som är en signifikant signal.
- I praktiken kör man ensemble-medlemmarna på lite lägre upplösning än om man bara kört en modell, för att spara på beräkningskraft.
- Ensemble-ansatsen ger alltså en bild av felfortplantningen – hur stor effekt har en liten förändring i initialtillståndet på modellens output?

Metoder för att uppskatta prognosfelet



the weather development as a
Probability Density Function

(Leith, 1974)

Matematikanvändning på SMHI

- Jag har jobbat dels på hydrologiska forskningsenheten i 2 år, och nu 1 år på utvecklingsenheten på affärsavdelningen. Under mina 3 år på SMHI skulle jag säga att följande matematikkurser kommer till användning på SMHI:
 - Statistik och sannolikhetslära: anpassningstest av data till fördelning, tidsserie-analys, mått på samband mellan dataserier, etc.
 - Numerisk analys: Många problem behöver lösas numerisk, så kännedom om numeriska metoder kommer till användning.
 - Linjär algebra: Vi jobbar ganska mycket med vektorer, för t.ex. variabler som vind, ytvattenströmmar, undervattenströmmar. saker som kommer till användning är t.ex. basvektoruppdelning och vinkelmätning.
 - Reglerteknik, där systemet i fråga är t.ex. en NWP eller hydrologisk modell.
 - Ordinära och partiella differentialekvationer: NWP-modeller styrs av diff-ekvationer, så det är viktigt att både förstå dessas analytiska egenskaper, samt hur man bäst löser dem numeriskt.
- Övrigt: Det är även viktigt på SMHI att behärska något programmeringsspråk, t.ex. Python eller Matlab.

Matematikanvändning på SMHI

- Det finns i dagsläget ett antal matematiker på SMHI, spridda över de olika avdelningarna. Några jobbar på forskningsenheter, några (som jag) på utvecklingsenheter.
- En befogad fråga som några av er troligen redan funderat på: *Måste man inte kunna meteorologi/hydrologi/oceanografi för att jobba på SMHI?*
 - Svaret är att även om kunskap om meteorologi självklart hjälper så jobbar man i praktiken i grupp, där man kompletterar varandras kompetenser. I den grupp jag jobbar i är vi 2 meteorologer, 1 matematiker och en civilingenjör i elektronikdesign. Vi kompletterar varandra bra, och jag tycker att vi lär oss en hel del av varandra.
 - SMHI erbjuder även en del grundkurser i meteorologi, hydrologi, etc.
 - Slutligen så lär man sig såklart under jobbets gång!

(lite reklam)

- SMHI tar ofta in både exjobbare och sommarjobbare.
 - Vi har t.ex. på min avdelning en exjobbare som läser teknisk matematik på LTH.
- Om du tycker att exjobb/sommarjobb på SMHI låter intressant, håll koll på smhi.se, mer specifikt under "Jobba på SMHI", så finns det flikar för exjobb och sommarjobb.
- Om du har frågor om exjobb eller kanske en egen idé till exjobb/sommarjobb så går det bra att mejla mig, så kan jag svara eller hänvisa till (förhoppningsvis) rätt person: johan.sodling@smhi.se

Det var allt!

- Frågor?