



KLIMAMODELLER

En klimamodel er kort sagt en computersimulering af Jordens klimasystem, inklusive atmosfære, oceaner, landjord og iskapper. Klimamodeller kan bruges til at genskabe fortidens klima og fremskrive scenarier for klimaet i fremtiden.



LÆS MERE om de største og mest anvendte klimamodeller i Danmark og Europa på geoviden.dk/fortidsklima.

1

En klimamodel er bygget op omkring et tredimensionelt gitter, hvor opløsningen – det vil sige, hvor finmasket gitteret er – varierer fra model til model. I denne figur er opløsningen ekstremt høj for at fremme forståelsen.

HVORDAN KAN LIGNINGER LAVE KUNSTIGE ORKANER?

Klimaforandringer får temperatur og hav til at stige, og det giver store problemer for natur og mennesker. Derfor forsøger forskere ved hjælp af avancerede computerprogrammer kaldet klimamodeller at blive klogere på de komplekse dynamikker og sammenhænge, som styrer Jordens klima. Men hvordan fungerer en klimamodel egentlig? Det svarer professor ved Niels Bohr Institutet Eigil Kaas på her.

TEKST: FIE KRØYER DAHL • LAYOUT: LYKKE SANDAL

En klimamodel er en matematisk efterligning af de processer, som styrer Jordens klima. Hvis man skal forsøge at tegne en klimamodel, ville den – meget forsimplet – se ud som grafikken herover: et tredimensionelt net af gitterpunkter, som inddeler vores fysiske verden i rumlige kvadrater.

Kort sagt er klimamodeller avancerede computerprogrammer, der hurtigt kan lave mange meget komplicerede matematiske analyser – i fagsprog kaldet modellering. Modellen udregner interaktionerne mellem forskellige dele af Jordens klimasystem, herunder landjorden, oceanerne og atmosfæren, som omgiver vores planet.

ET VIGTIGT VÆRKTØJ

For at kunne lave udregningerne skal klimamodellen bruge nogle faste input i form af grundlæggende klimadata. Den vigtigste faktor er Solens stråler, som styrer hele Jordens energibalance – den kan du læse om på side 18.

Derudover er input om atmosfærens kemiske

sammensætning, Jordens rotation, topografi og tryk også essentielle, og på baggrund af de mange forskellige udregninger kan klimamodellen komme med bud på, hvordan det globale klima vil udvikle sig.

Netop klimaets udvikling er der stor opmærksomhed på verden over, og en af forskerne på området er meteorolog og fysiker Eigil Kaas. Han er professor ved Niels Bohr Institutet

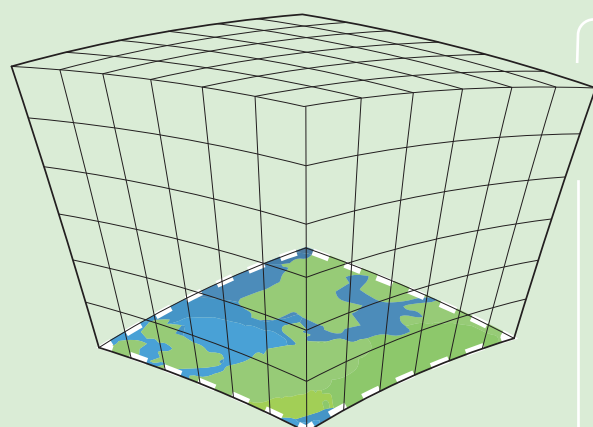


EIGIL KAAS

Professor og leder af sektionen for Klima og geofysik ved Niels Bohr Institutet (NBI) på Københavns Universitet.

Uddannet meteorolog fra Københavns Universitet og ph.d. i meteorologi fra samme sted.

Arbejder med at analysere målinger og resultater fra beregninger med klimamodeller.



2

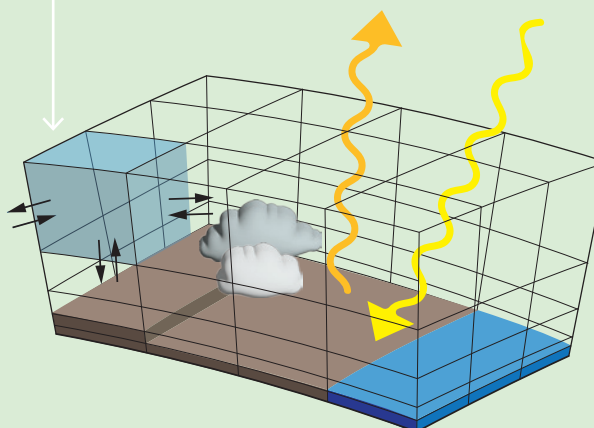
Klimamodellens tredimensionelle gitter dækker **atmosfære, oceaner og landjord**. De nederste lag i gitteret er egentlig ikke vandrette, men følger formen på bjerge, dale osv. (kaldet topografi).

3

Alle processer i Jordens klimasystem er internt afhængige af hinanden. Det efterligner klimamodellen, så når der sker en ændring i en af firkanterne i gitteret, påvirker det nabo-firkanterne.

4

I samtlige firkanter i det tredimensionelle gitter løser klimamodellen konstant ligninger, der f.eks. beskriver temperatur, tryk, vind og luftfugtighed.



på Københavns Universitet, hvor han arbejder med at analysere målinger og resultater fra beregninger med klimamodeller.

”Klimamodeller er et vigtigt værktøj til at fortælle os noget om klimaets udvikling. Derfor arbejder vi hele tiden på at forbedre og optimere dem, blandt andet ved at se på, hvordan modellerne kan blive endnu hurtigere til at regne, fortæller han.

EN MILLIARD VARIABLE

I princippet skal en moderne klimamodel ifølge Eigil Kaas kun modtage relativt få informationer, og så skal computeren selv kunne regne resten ud.

Men mere om det senere.

Inden du læser videre, er der nemlig først nogle helt grundlæggende principper, som skal være på plads. På side 18 kan du læse om, hvordan Jordens energibalance og drivhuseffekten fungerer, og det er fint at vide noget om, når man skal forstå klimamodeller.

Allerførst ser vi nærmere på, hvordan man laver en matema-

tisk modellering af klodens klima. Det kan gøres på forskellige niveauer, fortæller Eigil Kaas:

”Du kan sætte dig ned og skrive en lille ligning baseret på helt grundlæggende fysik. Her har du en variabel, f.eks. temperatur, og et input, som er den indstråling, der kommer fra Solen. Ud

“Det hele ligger i ligningerne, der beskriver naturvidenskabens love.”

EIGIL KAAS

PROFESSOR VED NIELS BOHR INSTITUTET

fra det helt simple regnestykke kan du faktisk sige noget om, hvordan temperaturen på Jorden er.”

Derfra kan man fylde mere og mere på regnestykket. Det øger kompleksiteten, og derfor er det smart at få hjælp fra computere, som kan levere den nødvendige regnekraft. Det kræver nemlig ret meget at lave de udregninger, som skal bruges til det, der i dag kaldes en fuldt dynamisk klimamodel. Det er sådan nogle, som for eksempel FN's klimapanel, IPCC, baserer deres udregninger og fremskrivninger af klimaet på (se figur side 12).

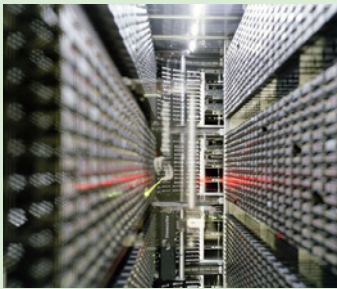
Institutioner som Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) og De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) bruger en tilsvarende fuldt dynamisk klimamodel, når de skal lave vejrsigter og forske i blandt andet fortidsklima, som magasinet her handler om.

INTERN AFHÆNGIGHED

En dynamisk klimamodels fornemmeste opgave er at simulere, altså efterligne, processerne i virkelighedens klimasystem. Det indebærer blandt andet atmosfærens udvikling med skyer, vanddamp og drivhusgasser, mekanismerne i vindsystemer, effekten af overfladetryk og nedbør, udviklingen af oceaner og havis, påvirkningen af planter, kulstofkredsløbet

HVAD ER MODELLERING?

En matematisk model er en overførsel af nogle virkelige forhold til en beskrivelse, som kan analyseres med matematik i form af ligninger. Typisk vil de virkelige forhold være forsimplet, for at det bliver muligt at beskrive dem matematisk. Matematiske modeller anvendes inden for de fleste naturvidenskabelige fagområder. Kilde: Wikipedia



AI SKAL NEDBRINGE ENERGIFORBRUGET

En klimamodel er grundlæggende et meget avanceret computerprogram, og det er der en ret betydelig ulempe ved: De kæmpestore computere bruger utrolig meget strøm. Derfor er der stort fokus på, hvordan energiforbruget kan mindskes. Forskere er i fuld gang med at undersøge, hvordan man ved hjælp af AI kan gøre dele af modellens computersystem hurtigere og bedre med mindre energi.

til opvarmning af havet. Et varmere hav giver varmere luft – og så videre.

TAK TIL NATURVIDENSKABSFOLK GENNEM TIDEN

For at kunne efterligne virkelighedens klimasystem og den interne afhængighed mellem alle naturlige processer skal klima-

modellen fodres med noget mad, som kan hjælpe den på vej. Den mad består af en masse fysiske, kemiske og biologiske love, der udtrykkes i matematiske ligninger. Ligningerne har dygtige videnskabsfolk igennem tiden stillet op for at kunne beskrive verden omkring sig, f.eks. solarkonstanten, som beskriver Solens indstråling på en flade.

Det er deres solide arbejde, som forskere i dag kan trække på:

”Nutidens klimamodeller er i den grad et udtryk for, at naturvidenskabelige discipliner arbejder sammen tværfagligt. Det er et bevis på, hvad videnskaben er i stand til som helhed,” siger Eigil Kaas.

De naturlige processer på Jorden er altså beskrevet i ligninger, og når ligningerne bygges ind i et computerprogram, kan beregningerne gå meget hurtigt. Forskerne kan få rigtig mange parametre med i beregningerne – temperatur, luftfugtighed, vindhastighed, CO₂-indhold og trykket ved havets overflade for bare at nævne nogle af dem – og en fuldt dynamisk klimamodel består af op til en milliard forskellige variable.

Det er her, at det tredimensionelle gitternet, som du læste om i starten af artiklen, kommer ind i billedet. Beregningerne foregår nemlig i alle de mange krydsende gitterpunkter, og der er en konstant interaktion mellem alle rum i gittersystemet. Det er, fordi alle Jordens processer som nævnt tidligere er internt afhængige.

”Hver firkant er totalt afhængig af, hvad der sker i firkanten ved siden af den. Der sker en konstant vekselvirkning, og det gør, at de mange variable i ligningerne hele tiden ændrer sig,” forklarer Eigil Kaas.

Et eksempel er vind. Når det blæser, skubbes luften fra en firkant over i anden – og det påvirker blandt andet luftfugtigheden i nabofirkanten. Den falder, og dermed er der et parameter, som har ændret sig. Det betyder, at variabelen i ligningen, der udregner luftfugtighed i netop den pågældende firkant, ændres. Og sådan kører det derudad.

UD AF DET BLÅ

Når man skal sætte klimamodelen i gang med at regne, sætter man ifølge Eigil Kaas typisk parametrene, som de var for et par hundrede år siden. Parametrene vil være faktiske målinger fra starten af 1800-tallet og af f.eks. atmosfærens

– kort sagt alle mulige naturvidenskabelige processer. Geologi er dog ikke med i beregningerne – læs hvorfor i boksen på side 23.

Alle de mange processer er internt afhængige af hinanden. Sker der en ændring et sted i klimasystemet, har det en effekt andre steder: Mere CO₂ i atmosfæren giver højere temperaturer. Højere temperaturer medfører et større indhold af vanddamp i atmosfæren, og det forstærker drivhuseffekten, som holder på varmen. Højere temperatur får is og sne både på hav og land, f.eks. Grønland, til at smelte – og mindre is er lig med mindre refleksion af solens stråler, som igen bidrager



SÅDAN ER JORDENS ATMOSFÆRE OPBYGGET

Rundt om Jorden ligger de luftlag, som vi kalder atmosfæren. Den strækker sig cirka 100 kilometer ud i rummet, men de nederste 30 kilometer rummer 99 procent af dens samlede masse. De fysiske og kemiske processer, som betyder noget for livet på Jorden, foregår især i de nederste 15 kilometer.

Jordens atmosfære består af 78 procent kvælstof, også kaldet nitrogen (N₂), samt en

række andre gasser. En del af dem kaldes drivhusgasser:

- Vanddamp (H₂O)
- Kuldioxid (CO₂)
- Lattergas (N₂O)
- Metan (CH₄)
- Ozon (O₃)
- Halocarbener

Drivhusgasserne udgør kun cirka en procent af atmosfæren, men de har stor betydning for klimaforandringer.

Kilde: Eigil Kaas og lex.dk

(NÆSTEN) HELE VERDEN I ÉN MODEL

De nyeste klimamodeller kaldes Earth System Models (ESM) og simulerer stort set alle fysiske, kemiske og biologiske processer på Jorden.

ESM giver forskerne et endnu stærkere kort på hånden, når de skal 'se' ind i fremtiden. I forhold til mindre avancerede klimamodeller, som "kun" omfatter de fysiske processer i atmosfæren og havet, giver ESM et mere holistisk billede, idet det simulerer stort set alle fysiske, kemiske og biologiske processer på Jorden. Den medtager alle aspekter af det enorme økosystem, som udgør Jorden og giver forskerne mulighed for i endnu højere grad at forstå, hvordan det hele fungerer.

Der er dog også en del af Jordens økosystem, som EMS ikke omfatter, nemlig geologiske processer. F.eks. indgår der ikke vulkansk aktivitet og forvitring af bjergarter.

Det skyldes, at de geologiske processer foregår på en tidsskala, der strækker sig over flere millioner år, og ESM laver beregninger på processer, der foregår over meget kortere perioder.

Kilde: Eigil Kaas og lex.dk

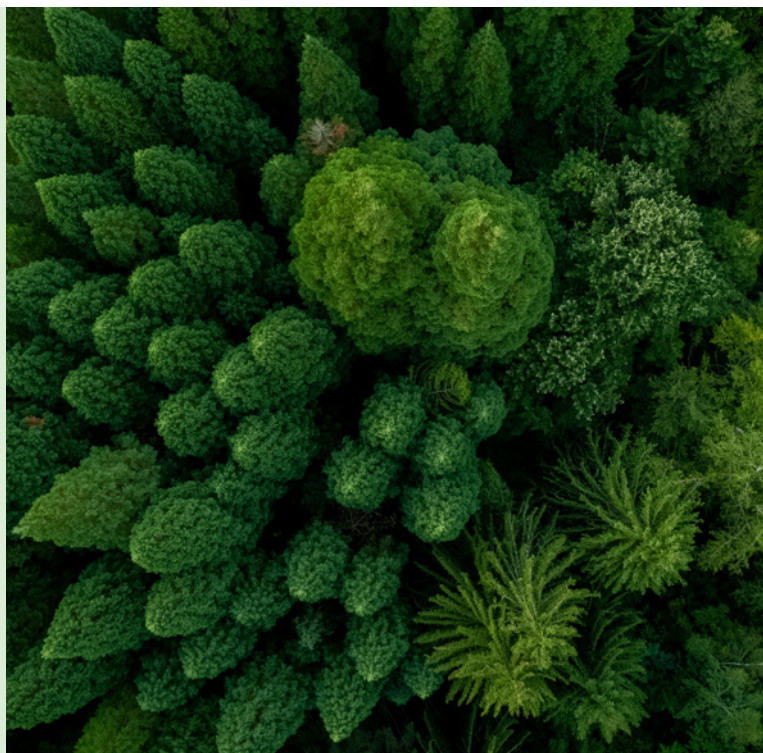


Foto: Envato

indhold af CO₂, udledningen af fossile brændsler, temperaturer på forskellige havstrømme, luftfugtighed og lignende.

"Man giver så at sige klimamodellen et snapshot af en helt tilfældig dag og bruger den dag som 'starttilstand'. Når så modellen er i gang, sker udviklingen af klimaet helt af sig selv," forklarer Eigil Kaas.

Det kan måske være lidt svært at forstå, så han uddyber:

"Det hele ligger i ligningerne, der beskriver naturvidenskabens love. Når først man har defineret nogle parametre og givet klimamodellen et udgangspunkt, så sørger matematikken for, at det simulerede klima udvikler sig – nærmest ud af det blå, kan det føles som."

De mange forskellige ligninger, som computeren hele tiden regner på, gør altså, at der f.eks. skabes højtryk og lavtryk i det simulerede klima, og at der kommer skub i de store havstrømme.

SIN EGEN BALANCE

Efterhånden som klimamodellen kører, danner den sit 'eget' klimasystem. Modellens tid er speedet gevaldigt op i forhold til virkeligheden, og afhængig af, hvilken klimamodel man bruger, skal den bruge nogle måneder på at nå ind i sin egen balance. Her simulerer den nutidens klima og dets naturlige variationer fra dag til dag, år til år og århundrede til århundrede.

Når klimamodellen er nået ind i sin egen balance, kan man vurdere, hvor nøjagtig den er. Her ser man på de større variationer i klimaet og vurderer gennemsnitsklimaet. Man ser også på, om modellen laver tilstrækkeligt med tropiske

orkaner, og om den f.eks. har formået at skabe havstrømmen El Niño.

"Kvaliteten vurderes på, om klimamodellen eftergør virkelighedens klima på alle mulige parametre. Det er ikke et forsøg på at simulere en bestemt dag, f.eks. juleaften 2050, men hvis statistikken fra klimamodellen ligner virkelighedens statistik, så er det en god klimamodel," forklarer Eigil Kaas.

Det kan man undersøge ved lave et 30-års gennemsnit af modellens klima, eksempelvis for CO₂-indhold, og vurdere, om det passer med gennemsnittet af virkelige data fra samme periode.

"Det gør det ikke altid – men det er tæt på. Man skal nærmest sidde med en lup for at se forskellene," siger Eigil Kaas.

RET SÅ PRÆCISE

De bedste klimamodeller er altså efter Eigil Kaas' vurdering ret så præcise, når man laver den type sammenligninger. Kvaliteten skyldes især, at satellitdata nu er så gode, at man f.eks. kan se temperaturforskellene hele vejen ned igennem atmosfæren og ikke kun i den yderste del af atmosfæren.

Faktisk er de mest anvendte klimamodeller så nøjagtige, at en meteorolog ikke nødvendigvis vil kunne se forskel på en computersimulering og virkelighedens klima, hvis man viste vedkommende en enkelt del af modellens udregninger – f.eks. atmosfærens udvikling set fra satellit. Og klimamodellerne forbedrer sig konstant. Nogle af dem omfatter også hele biosfæren, det vil sige de processer, som blandt andet planter står for. Derfor er man gået over til at bruge betegnelsen Earth System Models (ESM). Det kan du læse mere om i boksen her på siden.