

Økoinformatik

– økologi i en syndflod af data

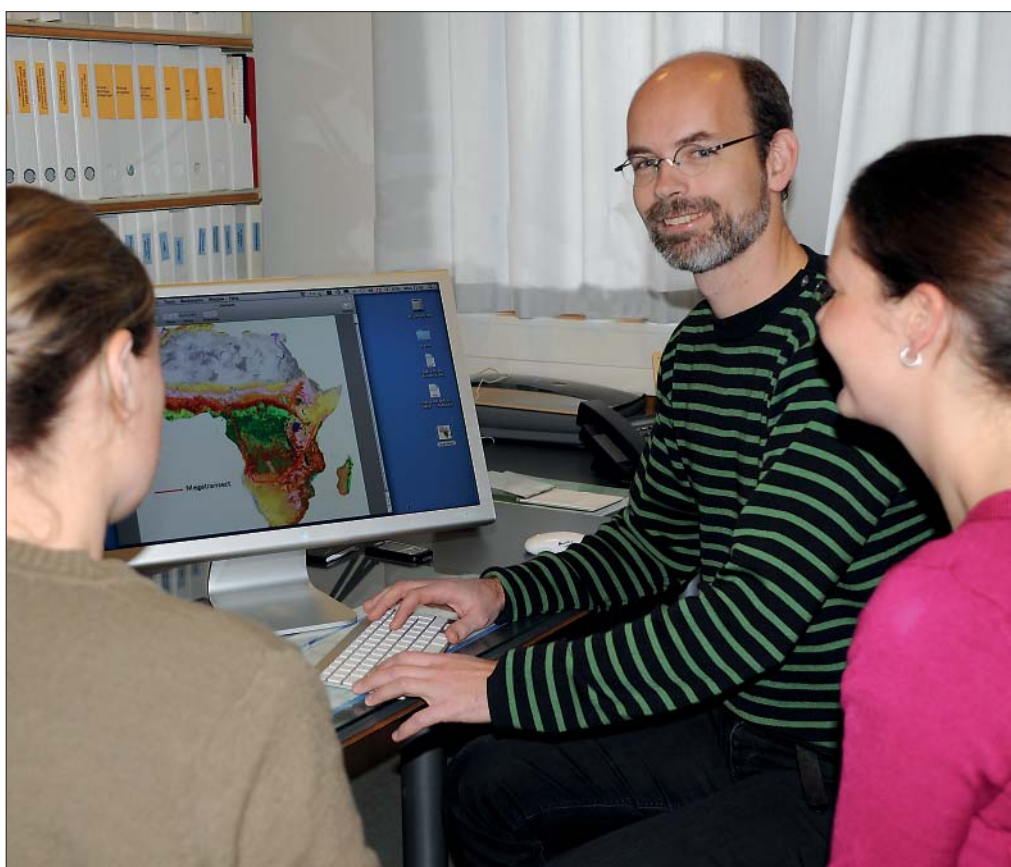
Den teknologiske udvikling driver i disse år en revolution af forskningen i økologi, biodiversitet og miljø. Massive datamængder og stærkt stigende regnekraft gør, at vi langt bedre end tidligere kan belyse de yderst komplekse sammenhænge i Jordens økologiske systemer.

Af Jens-Christian Svenning,
Brody Sandel, Camilla Fløjgaard
& Mads C. Forchhammer

■ Satellitter i kredsløb om Jorden registrerer løbende miljøet og klimaet i selv de fjerneste afkroge af kloden. Århundreders data på planter og dyrs forekomst bliver i stigende grad tilgængelige i web-baserede dataportaler ved et simpelt klik på musen, og nye biologisk data bliver løbende indsamlet i store overvågningsprogrammer. De massive datamængder, computerens stadig stærkere regnekraft, og en rivende udvikling inden for data-analyse driver en revolution i forskningstilgangen inden for økologi og miljøvidenskab.

Et videnskabeligt paradigmeskifte

Den hastige udvikling inden for informationsteknologi og sensorteknologi (f.eks. *remote sensing* dvs. ”fjern-måling”, fra satellitter og fly) er i disse år



Jens-Christian Svenning på økoinformatisk feltarbejde.

årsag til, at tilgangen til naturvidenskabelig forskning ændrer sig. Den teknologiske udvikling gør, at data på en lang række

områder strømmer ind i et hidtil uset omfang – et fænomen, der malende kaldes ”data-syndfloden”. Det er en stor

udfordring at håndtere de massive datamængder. Men først og fremmest er informationsrigdommen dog en fantastisk

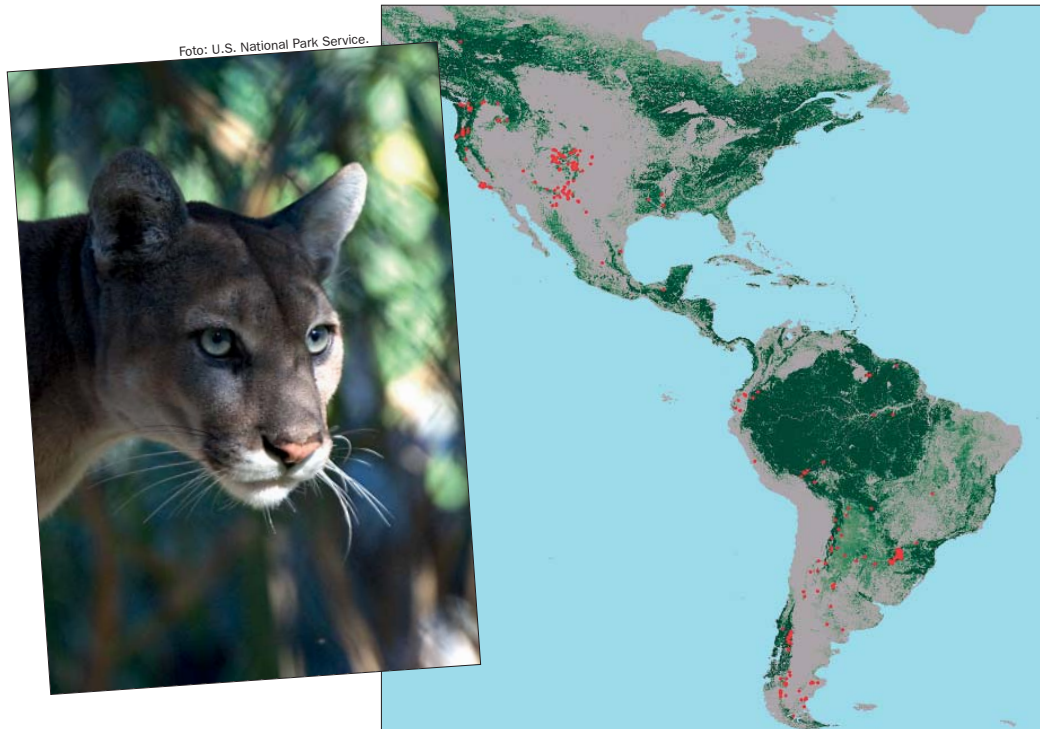
mulighed for videnskabelige fremskridt. Derved driver den et skifte fra den klassiske eksperimentelle forskningstilgang til en ny informatik-baseret forskning baseret på håndtering, integration og modellering af store mængder data.

Den informatik-baserede tilgang til økologi og miljøvidenskab kaldes *økoinformatik*. Den dækker alle aspekter af disse forskningsområder fra populationsdynamik over biodiversitetsmønstre og økosystemers funktion til natur- og miljøforvaltning. På det molekylærbiologiske område har den tilsvarende informatik-baserede tilgang (*bioinformatik*) haft stor succes i over 20 år. Den brede udvikling af økoinformatikken er derimod i startfasen. Årsagen er dels den langt større kompleksitet i de økologiske data, dels at det først er nu, at store mængder relevante data rent faktisk strømmer ind.

Et stigende antal satellitbaserede miljømålingsprogrammer giver os adgang til miljødata fra hele kloden i høj opløsning. Andre klima- og miljøforskningsprogrammer producerer også store mængder data. F.eks. forestår Danmarks Miljøundersøgelser (DMU), Aarhus Universitet flere store monitoringsprogrammer i Arktis og Danmark. Museer og samlinger digitaliserer og gør i stor stil data tilgængelige igennem web-baserede dataportaler. Eksempelvist giver *Global Biodiversity Information Facility* nu adgang til 217 millioner registreringer af arter fra hele verden. De massive mængder molekylære data indgår også som en vigtig komponent i økoinformatikken.

Økokompleksitet er den store udfordring

Økologiske systemer er meget komplekse, med mange vigtige samspil imellem forskellige organismer og imellem organismer og miljøet på tværs af rumlige og tidsmæssige skalaer (*økokompleksitet*). Økologer og andre biologer har været opmærksomme på denne kompleksitet siden Charles Darwin,



Observationer af puma (*Puma concolor*) fra Global Biodiversity Information Facility (GBIF) og en vigtig habitatfaktor trædække (%) målt vha. MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer-sensoren (MODIS) på NASA's Terra-satellit.

Havstigninger og de danske strandenge

Nutidige forhold

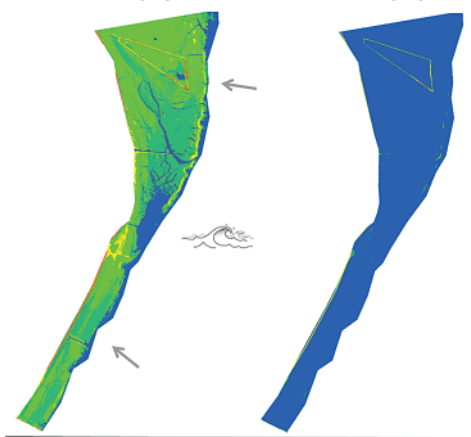


■ Hav ■ Nedre strandeng ■ Mellemside strandeng ■ Øverste strandeng ■ Kystnært overdrev ■ Andet

Strandenge er en naturtype, der findes i overgangszonen mellem hav og land. Naturtypen er omfattet af EU's Habitatdirektiv og overvåges i NOVANA-programmet. I et økoinformatisk projekt ledet af ph.d.-studerende Jesper E. Moeslund har vi i samarbejde med grundforskningscenteret MADALGO ved Datalogi (ledet af Professor Lars A. Arge), Danmarks Miljøundersøgelser og Jordbrugsvidenskab ved Aarhus Universitet undersøgt

sammenhængen mellem vegetationen og terrænet i de danske strandenge. Vi sammenstillede høj-præcisions terrændata på 1-2 m rumlig opløselighed (opmålt for hele landet fra fly vha. en laser-baseret måleteknologi, LIDAR) med mere end 1000 NOVANA vegetationplots fra de danske strandenge og data for alle arternes salttolerance. Herudfra beregnede vi den statistiske sammenhæng mellem terrænhøjde og dominansen af

År 2100



(a)

År 2100

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

(b)

(a)

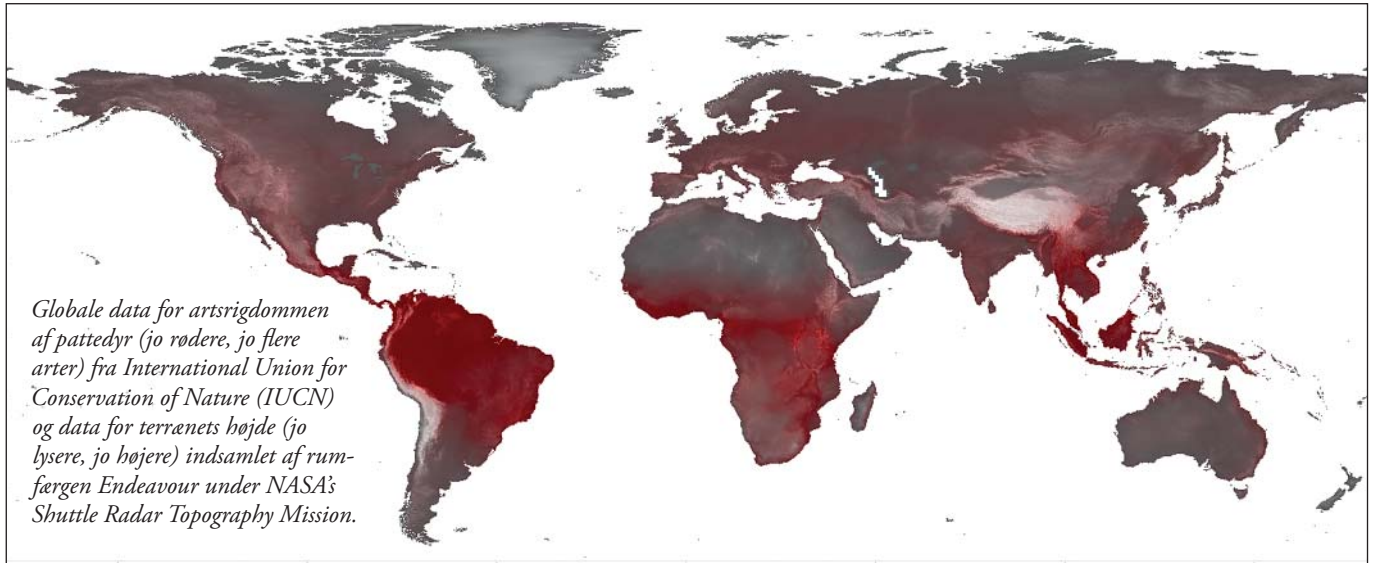
(b)

(a)

(b)

(a)

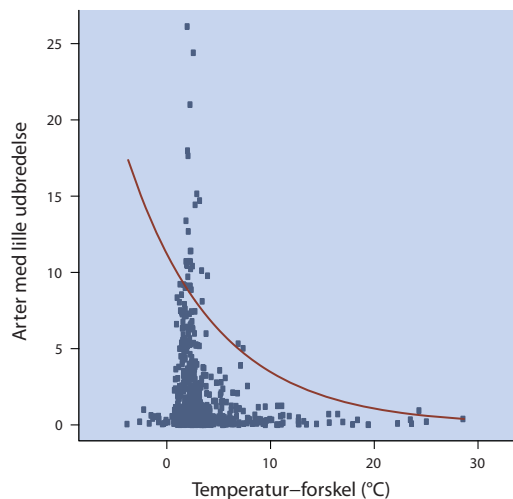
(b)



Hvor findes de sjældne dyr?

Ræven, husmusen og rotten har formået at sprede sig til næsten alle afkroge af Jorden. Men langt de fleste pattedyr findes kun i små områder. Økoinformatisk forskning har vist, at sådanne sjældne arter primært findes i områder hvor klimaet har været stabilt over tusinder til millioner af år. De sidste 3 millioner år i klodens historie har været præget af dramatiske klimasvingninger fra istider til mellemistider. Istidernes kulde fordelte sig ujævnt, og i nogle områder forblev klimaet nogenlunde stabilt trods de globale klimasvingninger.

Figuren viser den øvre grænse (95-percentilen) for antallet af sjældne pattedyr (fra International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN) som funktion af ændringen i temperatur siden Sidste Istids Maksimum. Istidsklimaet er rekonstrueret



ved hjælp af klimamodeller, som minder om de modeller der bruges til en almindelig vejrsigt. Øget artsdannelse og mindsket risiko for uddøen i de stabile

områder i kombination med begrænset spredning ud fra disse områder kan være årsag til koncentrationen af sjældne arter der.

men mangel på data og for lille regnekraft har indtil for nyligt gjort det umuligt at repræsentere denne kompleksitet i økologiske undersøgelser. Det råder data-syndfloden og den økoinformatiske forskningstilgang nu bod på. Det er et stort fremskridt, da netop økoko-kompleksiteten er helt central for økologiske systemers funktion og deres dynamik i tid og rum. Ny økoinformatisk forskning

viser således tydeligere og tydeligere, at fortidige klimaændringer i samspil med vandringer af arter på tværs af kontinenterne er afgørende for hvilke og hvor mange arter, der findes på en given lokalitet. Generelt er netop klimaændringer, arters spredningsmønstre og samspillet mellem de forskellige arter særligt vigtige for økoko-kompleksiteten: Klimaet er meget vigtigt for mange biologiske processer

og varierer stort set uophørligt, fra det lokale mikroklima og årstidsvariation til globale klimagrader og variation over tidsskalaer for årtier til millioner af år. Spredning er især vigtigt, fordi mange arter har begrænset spredningsevne, hvilket sætter grænser for deres respons til ændringer i miljøet. F.eks. kan det tage århundereder eller endda mange årtusinder for en art at sprede sig til

områder, der er blevet gunstige efter en klimaændring. Endelig bidrager samspillet mellem forskellige arter med yderligere kompleksitet i de økologiske systemer, f.eks. kan en art gennem konkurrence udelukke en anden art fra et bestemt område, eller diversiteten af en gruppe arter kan afhænge af en anden gruppe arter. Antallet af frugtædende fugle i tropiske områder afhænger således ikke bare af klimaet, men i endnu højere grad af diversiteten af figentræer (en vigtige fødekilde). Økoinformatikken tillader os at kombinere store mængder relevante data af ofte meget forskellig natur på tværs af skalaer. Derved er der håb om, at vi kan få en langt bedre forståelse af de økologiske systemer og den rolle deres kompleksitet spiller for deres funktion og dynamik.

Økologi i en verden i forandring

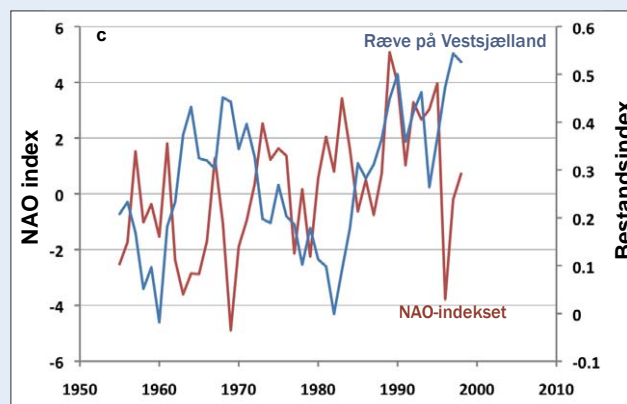
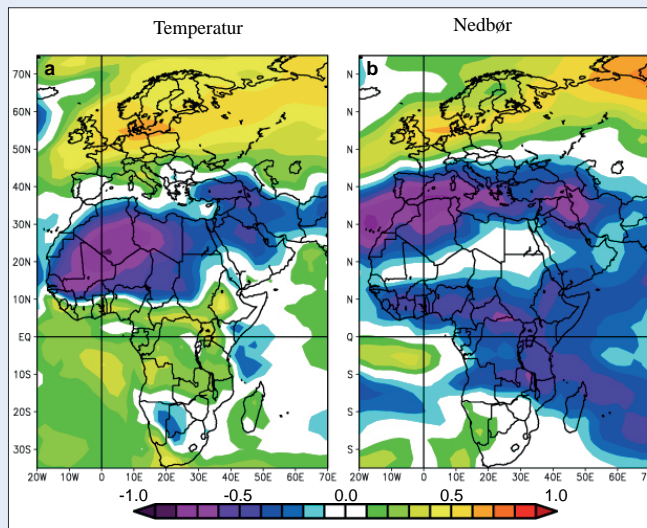
Mulighederne i økoinformatikken er store ikke bare i forhold til grundlæggende videnskabelige spørgsmål inden for en lang række biologiske forskningsområder, men har også stort potentiale i den strategiske forskning. Økologiske systemer er meget vigtige for vores samfund, hvor de bidrager med vigtige ressourcer såsom mad og rent vand såvel som rekreativt og åndeligt. Jordens miljø – ikke mindst klimaet – er under hastig ændring

på grund af det stigende antal mennesker og vores aktiviteter. Vi kan allerede nu se, at mange økologiske systemer påvirkes, bl.a. er omkring 20 % af Jordens pattedyr og planter truede, primært af habitatødelæggelse og overforbrug. Det er helt centralt for den fremtidige samfundsudvikling, at vi er i stand til at forudsæ de økologiske konsekvenser af tilsigtede og utilsigtede miljøændringer, ikke mindst som vidensgrundlag for en forvaltning, der optimerer samspillet mellem samfund og de økologiske systemer. Der er derfor stort behov for en langt bedre forståelse af de økologiske systemer, deres dynamik i tid og rum, og den rolle økoko-pleksiteten spiller heri. Her spiller økoinformatikken en afgørende rolle. Klimaændringernes effekt på de økologiske systemer repræsenterer netop den type komplekse stor-skala problemstillinger, som det kræver en økoinformatisk tilgang at belyse.

Økologi i det 21. århundrede

Der er ingen tvivl om, at den fremtidige forskning i økologi og miljøvidenskab i stigende grad vil have et stærkt økoinformatisk element. Den teknologiske udvikling vil med stor sandsynlighed fortsætte og give stadig voksende muligheder for økoinformatisk forskning. Dermed vil der være stort potentiale for fremskridt i vores fundamentale forståelse af økologiske systemer og deres komponenter, f.eks. biodiversiteten. Samtidig vil klimaændringer og andre ændringer i det globale miljø gøre det stadig mere vigtigt at kunne forudsige de økologiske systemers respons og planlægge derefter. For at realisere disse muligheder er det centralt, at der fortsat arbejdes på at forbedre datatilgængelighed (den økoinformatiske infrastruktur), at sikre de kommende generationer af forskere i økologi og miljøvidenskab en stadig stærkere baggrund i informatik, samt at fremme tværfaglige miljøer, så økoinformatikkens fulde potentiale kan realiseres i krydsfeltet mellem biologi, miljøvidenskab og datalogi. ■

Klima og effekter: den Nordatlantiske Oscillation (NAO)



I den nordlige hemisfære er årstids- og langtidssvingningerne i vinterklimaet stærkt påvirket af et stort atmosfærisk system kaldet den Nordatlantiske Oscillation (NAO). NAO måler svingninger i den atmosfæriske trykforskel mellem Azorerne (Portugal) og Stykkisholmur (Island). Disse svingninger påvirker retningen og hastigheden af de vestlige vinde tværs over Nordatlanten og dermed også svingninger i den regionale temperatur og nedbør. For Danmark og Europa får vi varme og våde vintre, når NAO-indekset er højt. Omvendt er vintre med lavt NAO-indeks typisk kolde og tørre. Man har målt svingninger i NAO-indekset siden 1864, altså i 147 år. Figur a og b viser sammenhængen (korrelationen) mellem NAO-indeks og hhv. temperatur og nedbør. Den orange farve omkring Danmark indikerer en positiv sammenhæng.

Økoinformatisk forskning har vist, at årlige ændringer i NAO påvirker en lang række dyr og planter gennem dets indflydelse på lokale vejrforhold. Eksempelvis påvirkes ræven i Danmark negativt af høje NAO-vintre, hvor de varme, våde og blæsende vintre tilsyneladende har en negativ effekt. Figur c viser sammenhængen mellem NAO-indekset (rød kurve) og antallet af ræve på Vestsjælland (blå kurve).

Om forfatterne:



Jens-Christian Svenning er professor i økoinformatik ved Biologisk Institut. svenning@biology.au.dk



Brody Sandel er fælles post-doc ved Biologisk Institut og MADALGO, Datalogisk Inst. brody.sandel@biology.au.dk



Camilla Fløjgaard er fælles ph.d.-studerende ved Biologisk Institut og DMU. camilla.fløjgaard@biology.au.dk



Mads C. Forchhammer er professor ved DMU og GCRC, Grønlands Naturinstitut. E-mail: mcf@dmu.dk Alle ved Aarhus Universitet.

Videre læsning

Økoinformatik & Biodiversitet: biology.au.dk/en/researchgroups/ecoinformatics

Om paradigme-skiftet:

- 2020 Computing, *Nature* vol. 440, nr. 7083 (2006)
- Big Data, *Nature* vol. 455, nr. 7209 (2008)
- *The End of Theory: The Data Deluge Makes the Scientific Method Obsolete*, *Wired Magazine* (2008)
- *Lysindfald ganget med vand*, *Weekendavisen* nr. 40 (2009)

Eksempler på datakilder:

- NASA's Earth Observing System: science.nasa.gov/earth-science
- Global Biodiversity Information Facility: www.gbif.org, og dens danske afd.: www.danbif.dk
- NOVAVA: www.dmu.dk/myn-dighedsbetjening/overvaagning/blst/novava
- Greenland Ecosystem Monitoring: www2.dmu.dk/gem